Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2018;8(1):25-34

Decoding Seismic Stability Model of Historic Brick Buildings of Iran

ARTICLE INFO

Article Type
Descriptive Study

Authors
TaherTolou Del M.S.* *PhD*

How to cite this article
TaherTolou Del M S. Decoding Seismic Stability Model of Historic Brick Buildings of Iran. Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2018;8(1):25-34.

*Architecture Department, Architectural Engineering & Urban Design Faculty, Shahid Rajayee Teacher Training University,Tehran, Iran

Correspondence
Address: Architecture Department, Architectural Engineering & Urban Design Faculty, Shahid Rajayee Teacher Training University,Tehran, Iran. Postal Code: 1678815811
Phone: +98 (21) 22970074
Fax: +98 (21) 22970033
msttd@srttu.edu

Article History
Received: July 11, 2016
Accepted: January 13, 2018
ePublished: August 21, 2018

ABSTRACT

Aims The defect in the protection, conservation, maintenance, solidification, and restoration of historic brick buildings of Iran is a performance failure indicator in preserving the authenticity of Iranian architectural heritage in structural interventions. The aim of this study was to decode the seismic stability model of historic brick buildings of Iran.

Instruments & Methods The present descriptive research with survey method was conducted on the community of valuable and stable Iranian historic monuments; 36 cases were selected by judgmental non-random sampling method. A researcher-made questionnaire was used to determine the technical and engineering qualities of the buildings structures. Initially, a design model was developed and, then, modified with experimental data and path analysis aid. The data were analyzed by SPSS 19 software, using exploratory factor analysis and the varimax method in Kaiser standardization and AMOS 15 software with structural equation modeling (SEM) and absolute fit, adaptive fit, parsimonious fit, and regression.

Findings Three main high-value factors of 37.19%, 36.95%, and 22.07%, were found with the names of earthquake damage marvelous, affordability of direct seismicity, and indirect seismicity. There was a significant relationship between the destruction potentiality and tremor with the affordability of seismicity resistance of the monuments. Destruction and tremor potentiality had a significant effect on affordability and indirect resistance of seismicity.

Conclusion The seismic stability model of historic brick buildings of Iran is confirmed, in such a way that with the proliferation of destruction potentiality or tremor, the seismic destruction of the buildings is intensified and with the development of direct resistance to earthquakes, the seismic stability of the buildings is intensified. Increasing indirect resistance and, in fact, the dimensional proportions factor, as an intervention, increases seismic stability of the buildings.

Keywords Historic Brick Buildings of Iran; Seismic Stability Model; Structural Equations; Improvement and Restoration

CITATION LINKS

[1] Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic ... [2] Architectural heritage protection: Guidelines for planning authorities : Guidance on part iv of the planning and development ... [3] Research on historic structures in seismic areas in ... [4] Behavior of masonry in the Northridge (US) and Tecomán–Colima (Mexico) earthquakes: Lessons learned, and changes in US design ... [5] Observations on earthquake resistance of traditional timber-framed houses in ... [6] New media, cultural heritage and the sense of place: Mapping the conceptual ... [7] Toward improved national and local action on earthquake-prone heritage ... [8] RehabiMed: Method for the rehabilitation of traditional Mediterranean ... [9] Quality control recommendations for structural interventions on historic ... [10] A philosophy for preservation ... [11] Structural rehabilitation of masonry Vaults. In: Garzuel A, Gallet S, editors. More than two thousand years in the history of architecture: Safeguarding the structures ... [12] From conservation principles to materialization (Or the other way around: How is materialization ... [13] Materials, technologies and practice in historic heritage ... [14] Failure of masonry arches under impulse ... [15] General analysis and application to redundant ... [16] Continuous assessment of historic structures - a state of the art of applied research and ... [17] Principal component analysis in monument ... [18] Educational research: An ... [19] Research method with a thesis ... [20] Research educational and ... [21] Experimental ... [22] Research educational and ... [23] An introduction to the research method ... [24] California Historical Building... [25] Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings ... .

Copyright© 2018, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

رمزگشایی از مدل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران

محمدصادق طاهرطلوع‌دل * PhD
گروه معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

اهداف: وجود نقص در تامین اهداف حفاظت، نگهداری، استحکام‌بخشی و مرمت بناهای تاریخی آجری ایران، شاخص نارسایی عملکرد در حفظ اصالت میراث ارزشمند معماری ایران طی مداخلات سازه‌ای است. هدف این پژوهش، رمزگشایی از مدل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران بود.

مواد و روش‌ها: پژوهش پیمایشی و توصیفی حاضر روی جامعه بناهای تاریخی پایدار ارزشمند ایرانی اجرا شد. تعداد ۳۶ بنا با روش نمونه‌گیری غیرتصادفی قضاوتی انتخاب شد. از پرسش‌نامه محقق‌ساخته برای تعیین خصوصیات فنی و مهندسی کالبد بناها استفاده شد. ابتدا یک مدل اولیه طراحی و سپس با داده‌های تجربی و کمک تحلیل مسیر اصلاح شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 19 از طریق آزمون تحلیل عامل اکتشافی و روش واریماکس در استانداردسازی کایزر و نرم‌افزار AMOS 15 با مدل معادلات ساختاری (SEM) و انجام برازش‌های مطلق، برازش تطبیقی، برازش مقتصد و رگرسیون تحلیل شدند.

یافته‌ها: سه عامل اصلی با ارزش ویژه بالا به‌ترتیب ۳۷/۱۹%، ۳۶/۹۵% و ۲۲/۰۷% با نام‌های خرابی لرزه‌انگیزی، استطاعت لرزه‌پذیری مستقیم و لرزه‌پذیری غیرمستقیم کشف شدند. ارتباط معنی‌داری میان استعداد خرابی و لرزه‌انگیزی با استطاعت و مقاومت لرزه‌پذیری بناهای تاریخی وجود داشت. عامل خرابی و استعداد لرزه‌انگیزی بر عامل استطاعت و مقاومت غیرمستقیم لرزه‌پذیری تاثیر معنی‌داری داشت.

نتیجه‌گیری: مدل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران تایید می‌شود، بدین صورت که با ازدیاد استعداد خرابی یا لرزه‌انگیز، خرابی لرزه‌ای بناها شدت می‌یابد و با توسعه مقدار مقاومت مستقیم در برابر زلزله، پایداری لرزه‌ای بناها افزایش می‌یابد. افزایش مقاومت غیرمستقیم و در واقع عامل تناسبات ابعادی نیز به‌صورت میانجی، پایداری لرزه‌ای بناها را افزایش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: بناهای تاریخی آجری ایران، مدل پایداری لرزه‌ای، معادلات ساختاری، بهسازی و مرمت

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳
* نویسنده مسئول: msttd@srttu.edu

مقدمه

با توجه به گستردگی و تنوع میراث معماری در سطح جهان، حفاظت و بهسازی همه موارد مطرح در یک تراز و در یک زمان ناممکن است، لذا بایستی یک برنامه‌ریزی منطقی براساس تصویب اولویت‌بندی و تشخیص ضرورت‌های عینی به‌عنوان معیار تصمیم‌گیری در امر مداخلات انجام پذیرد. این مطلب نیازمند همکاری مجدانه مقامات ارشد کشورهای مختلف، گروه‌های حامی محیط زیست و سازمان‌های عهده‌دار نگهداری و حفاظت از میراث فرهنگی ملل است. از اوایل قرن بیستم طراحان و سازندگان به‌منظور مقابله با اثرات مخرب زلزله به استفاده از بتن مسلح و فولاد رغبت یافتند. زیرا احساس می‌کردند که سازه‌های بنایی، تحمل و ظرفیت بار زلزله را ندارند. بازبینی عملکرد بناهای سنتی و تاریخی در مقابله و تحمل زلزله‌های سهمگین پیشین و بازنگری پیش‌برداشت گذشتگان موجبات یک اعتماد نوین نسبت به توان لرزه‌ای سازه‌های بنایی تاریخی می‌شود. آیین‌نامه‌های تدوین‌شده برای بناهای نوین، چالش نظرگاه‌های جدید در مورد سازه‌های بنایی و تاریخی را فرا می‌خواند. توجه به این موضوع حایز اهمیت است که جوامع به‌ظاهر فقیر از جنبه مادی بایستی بیشتر از دیگران نسبت به گنجینه‌های فرهنگی خودشان احساس مسئولیت و حراست بنمایند. افراد قبل از هر گونه اقدامی باید با شناسایی و شناساندن این آثار ارزشمند و گرانقدر، میراث معماری خود را که به‌سبب هم‌سازگاری با عناصر طبیعت از گزند عوامل طبیعی مصون مانده‌اند، در جریان جهانی‌شدن فرهنگ‌ها از معرض فراموشی و نابودی برهانند و آنها را از عامل مخرب واقعی میراث فرهنگی یعنی بی‌توجهی، بی‌همتی و عدم حمایت لازم در نگهداری، حفاظت و بهسازی آثار معماری کهن در امان نگه دارند. در این رابطه مشکلات عدیده‌ای در زمینه حفاظت، نگهداری و بهسازی بناهای تاریخی به‌شرح موارد زیر می‌تواند بروز نماید:

۱- مسایل سازه‌ای و عملکرد سامانه‌ای ساختار بناهای تاریخی در تحمل عوامل مخرب فروپاشنده

۲- مشکلات لرزه‌پذیری و تحمل ارتعاشات زلزله‌های مختص پهنه استقرار بنای تاریخی

۳- آسیب‌دیدگی‌ها، فرسودگی‌ها و فقدان اجزا و عناصر سازه‌ای بناهای تاریخی

۴- مسایل فناوری و دانش فنی امر نگهداری مرمت و استحکام‌بخشی سازه‌ای، معماری و تاسیساتی

۵- مسایل حفاظت و پیشگیری از خسارت سازه‌ای در ارتقای استطاعت لرزه‌پذیری

۶- ضرورت‌های استحکام‌بخشی و بهسازی اجزای در معرض فروپاشی و خرابی سازه‌های تاریخی

۷- آشکارسازی و ارزیابی مستمر تغییر شکل‌ها، ترک‌خوردگی‌ها و خرابی‌های توسعه‌یابنده

۸- ارزیابی و تحلیل عملکرد، مدل‌سازی و تخمین احتمال فروپاشی بناهای تاریخی در معرض خرابی

۹- مسایل مستندسازی، جمع‌آوری اسناد تاریخی از گذشته، شرح مداخلات و طبقه‌بندی موارد برای بازیابی

۱۰- عدم شناخت کافی از اجزای سازه‌های تاریخی همچون شالوده‌ها، دیوارها، جرزها و ستون‌ها، گنبدها و قوس‌ها، سقف‌ها، کف‌ها و مناره‌ها

۱۱- سختی تصمیم‌گیری در روش‌های اجرایی همچون عایق‌کاری، تزریق، دوخت، پوشش‌دهی، افزایش مقطع، غلاف‌سازی و جایگزینی

۱۲- سختی تشخیص علایم فرسودگی همچون برآمدگی، فرونشستگی، خیز نامتعارف، آلودگی، بیرون‌پریدگی و ترک‌خوردگی

۱۳- سختی تشخیص عوامل خرابی مکانیکی (محوری، برشی، خمشی و پیچشی)، عوامل شیمیایی (نمک‌ها، محلول‌های اسیدی و قلیایی)، عوامل فیزیکی (حرارت، برودت، رطوبت، ذوب، یخ‌زدگی و همچنین تر و خشک‌شدگی) و به‌ویژه عوامل ارتعاشی زلزله و اثرات پیوسته با آن

این مشکلات در کنار ضرورت حفظ اصالت و هویت آثار ارزشمند معماری می‌توانند اهمیت تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و مداخلات مرمتی را دوچندان نمایند.

پس از تهیه یک فهرست هوشمندانه و اولویت‌بندی‌شده از موارد ارزشمند میراث معماری به انضمام وضعیت تجزیه و تحلیل مواد و مصالح باید آسیب‌های سازه‌ای، چهارچوب‌های قانونی، شاخص‌بندی و پهنه‌بندی خطرپذیری از جنبه میزان آسیب و فروپاشی‌های جدی بازگشت‌ناپذیر، ارزش‌گذاری فرهنگی و دسته‌بندی خطرات عینی، امکان ارزیابی و برنامه‌ریزی مداخلات با رعایت امکانات مالی و اجرایی و توانمندی‌های کار بررسی شود تا به‌منظور بهبود کیفیت بناهای تاریخی، طرح جامع مداخلات در سه

سطح اقدامات اضطراری (در تثبیت روند خرابی)، اقدامات پیشگیرانه (در حفاظت و نگهداری) و اقدامات مرمتی (در بهبود کیفیت عملکرد بناها) تهیه شود و عملیات اجرایی مداخله‌ای متناسب با دستورالعمل‌های معتبر همچون شورای بین‌المللی ابنیه و محوطه‌ها (ICOMOS) صورت پذیرد، به‌طوری که هر گونه کوتاهی در این رابطه می‌تواند موجبات افزایش خطر فروپاشی نقاط حساس سازه‌های تاریخی را فراهم سازد.

طراحی صحیح فرم و ابعاد، تناسبات بدنه و روزنه‌ها، جهت‌گیری بناهای تاریخی، تطابق نوع مصالح مصرفی، رنگ و بافت آنها و فناوری‌های ساخت این گونه بناها به‌صورتی یکپارچه در تنظیم شرایط محیطی درون بنا نسبت به بیرون آن موثر هستند. به عبارت دیگر در بناهای تاریخی اثرات نور، حرارت، رطوبت و ارتعاشات با عملکرد بهره‌برداری آنها هم‌سازگار شده است. در اقلیم‌های متفاوت، بناهای تاریخی هنگام فصل تابستان و زمستان دارای کاربری مطبوعی برای انسان هستند. در عین حال مساله سنت، آداب و فرهنگ نهفته در شیوه عملکرد بناهای تاریخی به‌عنوان سنت ساختمانی پایدار، درسی آموختنی از گذشتگان محسوب شده و یک کارگاه فعال آموزش فناوری سنتی برای طراحان امروزی به‌منظور انطباق حس مثبت بهینه‌سازی ارتباطات و عملکرد کالبد معماری با محیط زیست برای الگوگیری صحیح است. از طرفی با عنایت به کمیابی دانش ساخت‌وساز سنتی به‌کاررفته در احداث بناهای تاریخی و گسترش صنعتی کشورهای در حال توسعه به‌منظور معنابخشی به غنای فرهنگی گذشتگان برای نسل آینده و مبارزه اقتصادی این گونه طرح‌های دیرینه با معماری امروزین، بایستی ارزش‌های واقعی بناهای تاریخی مد نظر قرار گیرد، هم‌سازگاری با محیط زیست و سادگی عملکرد بناهای قدیمی متکی بر تجارب صدهاساله در رفع نیاز افراد محلی در نظر گرفته شود و فهم مبانی نظری و مبادی عملی ساختار طراحی و اجرای بناهای سنتی مزبور مورد بازبینی قرار گیرند. همچنین باید با تحلیل علل سرپابودن بناهای تاریخی ارزشمند، روش‌های اصولی طراحی و ساخت‌وساز معماری پایدار کشف شوند و روش‌های مرمت و هم‌سازگاری بناهای مهم معماری با شرایط محیط طبیعی مورد اشاعه قرار گیرند.

از سوی دیگر الگوی ساخت‌وساز بومی در بناهای تاریخی را می‌توان به‌عنوان یک الگوی شرایط محیطی زنده در طراحی معماری در نظر گرفت. با ترجمه این زبان ساخت زنده بومی به‌عنوان یک زبان ساخت‌وساز نوین و ترویج این روال در معماری امروزین به‌عنوان راهبرد کارآمد طراحی، انطباق و آشتی لازم میان آثار معماری نوین با محیط زیست فراهم می‌شود و پایداری آثار معماری امروزین توسعه پیدا می‌کند. زیرا این گونه آثار برجای‌ماندنی براساس سعی و خطای هوشمندانه طی ادوار گذشته و در طول دوره‌های صدساله عمر بشری شکل گرفته‌اند و با راهبرد زیست‌محیطی‌بودن خود در مقابله با عوامل مخرب محیطی، پایدار مانده‌اند. عوامل موثر در پایداری این گونه بناها عبارت از حفاظت در برابر نفوذ اشعه و حرارت خورشید، بهره‌گیری صحیح از تابش خورشیدی، استفاده از منابع طبیعی بومی، فرم متناسب با کاربری و هم‌سازگار با شرایط محیطی، حفاظت اصولی در برابر باد، باران، سرما، گرما و تحمل عوامل مخرب دیگر در محیط استقرار بوده است. به‌گونه‌ای که طی فصول مختلف سال آسایش کاربری را به‌نحو مطلوب فراهم می‌ساخته‌اند. لذا بهره‌گیری از روش‌های سنتی بناهای ماندگار تاریخی در طراحی بناهای جدید می‌تواند مزیت صرفه‌جویی در انرژی، مواد، مصالح و تامین آسایش داخلی را ظاهر سازد. اثبات این موضوع به‌ازای پایداری بناهای تاریخی طی ادوار گذشته واضح و مبرهن است[1]. لذا بایستی با ارزیابی کافی از اماکن و بناهای تاریخی ارزشمند و توجه کافی به خطرات و تنوع سازه‌ای این بناهای تاریخی، طرح مداخلات، برنامه‌ریزی، رعایت اصول ایمنی، حفاظت و نگهداری در راستای حفظ اصالت و هویت فرهنگی این آثار و ارتقای کیفیت بناهای تاریخی را به تصویب رساند تا زمینه‌های دسترسی آسان، اصلاح خسارت‌های وارده و پیشگیری از بروز حوادث مخرب آتی فراهم شود. باید با جذب کمک‌های به‌موقع مالی و تجهیز امکانات مناسب براساس سیاست‌های حمایتی از میراث معماری ثبت‌شده با رعایت دستورالعمل‌های فنی و ضوابط و مقررات ساختمانی بتوان اقدامات اضطراری و فوری، کوتاه‌مدت و درازمدت حفاظتی و مقاوم‌سازی را سامان بخشید[2].

اختصاصات هندسی، بافت و اتصالات میان عناصر و اجزا، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مواد، مصالح مصرفی به‌ویژه مصالح مرکب، مختلط، رفتار مکانیکی مربوطه در برابر بارگذاری‌های ایستا، متحرک و لرزه‌ای به‌خصوص کمیت و کیفیت ملات بنایی مصرفی بین بافت بنایی و مقاومت‌های برشی و فشاری عناصر و جزئیات بنایی اهمیت فوق‌العاده‌ای در تحلیل سطح آسیب‌پذیری سازه‌های تاریخی داشته است و طرح‌های مقاوم‌سازی و بهبود پایداری لرزه‌ای، این گونه بناها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. جدا از توجه به الگوی آسیب‌پذیری باید به مساله آسیب‌رسانی این گونه بناها هنگام حضور در بافت پُرتراکم شهری توجه کافی شود. حال باید بررسی طاقت فشارپذیری و لرزه‌پذیری این گونه بناها از جنبه سرعت، شتاب و تغییر مکان‌های حاصله در اعضای سازه‌ای و مصالح مورد استفاده در بناهای تاریخی، ارزیابی خزش، تحکیم‌یافتگی و نشست سازه تاریخی مورد توجه قرار گیرد. ضمن بررسی اثرات درمان‌های مقاوم‌سازی و بهسازی در کوتاه‌مدت باید دوام و پایداری سطح ارتقای کیفیت سازه‌ای نیز مورد تفسیر و ارزیابی قرار گیرد تا میزان سازگاری رفتار مواد و روش‌های مرمتی به‌کارگرفته‌شده، تحت کنترل شرایط محیط استقرار قرار بگیرد[3]. لذا بایستی توجه کافی به ساختمان‌های بنایی تحت تاثیر زلزله‌های سهمگین به‌منظور درس‌آموزی برای آینده و عبرت‌اندوزی مبذول نمود که در این رابطه، مواد و مصالح ساختمانی در تعیین رفتار سازه‌های بنایی در مقابله با زلزله دارای نقش اساسی بوده است و می‌تواند روش‌های حفاظت، نگهداری، مقاوم‌سازی و بهبود پایداری بناهای تاریخی را تحت تاثیر قرار دهد. البته نقش اتصالات و نحوه قفل‌وبندشدن اعضای سازه‌های بنایی در رفتار لرزه‌ای آنها نیز موثر است. حتی رعایت اتصال مناسب در تزئینات و الحاقات به اعضای سازه‌ای در بهبود پاسخ لرزه‌ای بنا موثر است[4].

با مشاهده و ارزیابی بناهای سنتیِ دارای قاب‌های چوبی مقاوم در برابر زلزله‌های مخرب ترکیه متوجه می‌شویم که میزان خسارت‌های وارده به این گونه ساختمان‌های قدیمی نسبتاً کم است و گزارش‌های زیادی در عملکرد مناسب چوب در بناهای سنتی موجود در آناتولی ترکیه ارایه شده است. اگر چه این گونه ساختمان‌ها نیز از مصالحی همچون سنگ، آجر و خشت به‌همراه چوب ساخته شده بودند، ولی فناوری و مهارت‌های بومی به‌کارگیری الوارهای چوبی، لرزه‌گیری مناسبی را در این گونه بناهای قدیمی فراهم ساخته بود[5]. به‌عنوان مثال دیگری از پایداری لرزه‌ای معماری سنتی، خانه‌های تاریخی کشمیر را می‌توان نام برد که در زلزله ویرانگر سال ۲۰۰۵ میلادی به‌سبب کاربرد مصالح لرزه‌پذیر بومی محلی به‌خوبی پاسخگو بودند، در حالی که از خشت خام و مصالح بوم‌آورد ساخته شده بودند و انعطاف‌پذیری خوبی در

جذب و توزیع انرژی زلزله از خود نشان دادند. لذا با افزایش آگاهی متخصصان محلی در مورد ویژگی‌های بناهای سنتی مقاوم در برابر زلزله و منطبق با شرایط محیط زیست به‌خوبی می‌توان در زمینه مقاوم‌سازی و فناوری‌های مرمتی بناهای سنتی و قدیمی، تجارب کارشناسان بومی را به اشتراک گذاشت و مدیریت کنترل خسارات بلایای طبیعی و حفظ منابع فرهنگی را به‌خوبی انجام داد. از طرفی اگر تداعی مقوله کالبدی و فیزیکی آثار معماری تاریخی در مقابل مقوله معنا و محتوای فرهنگی به مفاهیم مجازی و رقمی تبدیل شود، ارزش رویارویی کمتری خواهد یافت. یعنی اگر حس فیزیکی مکان تاریخی در ابعاد فیزیکی و هندسی تحت بستر زمان توسط فناوری نوین به مفاهیم ذهنی تبدیل شود، دیگر درک ملموس و حسی مکان تاریخی میسر نیست و تصورات در خیال جایگزین می‌شوند. لذا نبایستی در ازای دستیابی به فناوری‌های نوین از ارزش واقعی بناهای تاریخی و ضرورت حفظ و نگهداری واقعیات عینی ملموس میراث معماری کاسته شود. پس باید حفاظت از عینیت میراث معماری به‌مثابه حفظ عینیت کالبد و هویت انسان دانسته شود[6]. بنا بر آنچه گفته شد، باید گام‌های اساسی در بهبود حس تعلقات میهنی و انجام اقدامات ملی برای حفاظت عینی میراث معماری تاریخی در مناطق زلزله‌خیز ایران برداشته شود. در این راستا موسساتی همچون ICOMO، مرکز بین‌المللی مطالعه، حفاظت و مرمت آثار تاریخی فرهنگی (ICCROM) و آیین‌نامه‌هایی همچون ستاد بحران ایالات متحده (FEMA) می‌توانند کمک‌یار برنامه‌ریزی‌های تخصصی برای تدوین اقدامات مداخله‌ای اصولی باشند. در ایران مرکز کاهش بلایای طبیعی در قاره آسیا عهده‌دار انجام مستندسازی سوابق، بهبود کیفیت بناهای تاریخی، اطلاع‌رسانی، آموزش، پژوهش‌های مقتضی خسارت مختص زمین‌لرزه و برنامه‌ریزی برای بهبود پایداری لرزه‌ای شده است تا بتوان برنامه‌ریزی مداخلات مرمتی یکپارچه‌ای را در مورد بناهای معمولی و تاریخی، سازماندهی کرد و حفاظت و ارتقای کیفیت بناهای تاریخی را به‌نحو اصولی و به‌کمک فناوری‌های مناسب مرمتی مدیریت نمود[7]. براساس مطالب ذکرشده پژوهش حاضر به‌دنبال پاسخگویی به موارد زیر بود:

۱- خصوصیات کالبدی و تناسبات هندسی بناهای تاریخی آجری ایران کدام‌اند؟

۲- فرم‌ها و شکل‌های عامل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران کدام‌اند؟

۳- عوامل مخرب و تضعیف‌کننده پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران کدام‌اند؟

۴- عامل موثر در یکپارچگی هویت و حفظ اصالت یعنی عوامل تشکیل‌دهنده ساختار یا مدل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران کدام است؟

قبل از هر اقدام حفاظتی و مرمتی در مورد معماری میراثی و ارزشمند باید اطلاعات کافی از ابعاد و اجزا و مولفه‌های تاریخی، ارزشی و موضوعی کسب کشود و با نحوه تعریف و تحدید فضا به‌کمک شکل و ریخت یا زمینه استقرار و تحقق پدیده هنری در پهنه هنرهای بصری آشنایی کافی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر با درک رابطه ریخت و زمینه متناظر با رابطه کالبد معماری و فضای تکوین آن، ارزشیابی کیفیت‌ها و کمیت‌های اثر معماری تسهیل می‌شود. با توجه به ابعاد اعتباری سه‌گانه معنا، کارکرد و شکل در فضا به شیوه به‌حضوررساندن حقیقت معنایی زندگانی تحت تاثیر علیت کارکردهای عملکردی فرهنگی در قالب گردهم‌آمدن جهان به‌صورت کالبدی در چیزی به‌عنوان شکل یا ریخت، حضور معنا به‌عنوان مرکزیت وجه کارکردی یا تعامل کارکردهای درونی و بیرونی به‌عنوان رویدادی موجب تمایز شکل از بقیه وجوه تلقی می‌شود. لذا ارزش‌گذاری بین‌المللی آثار و معماری تاریخی می‌تواند معضلات کشورهای در حال توسعه را در حفاظت از گنجینه معماری خودشان کاهش دهد. در این رابطه می‌توان از روش‌های معتبر به‌صورت مدون و هماهنگ با سازمان‌های جهانی معتبر در زمینه‌های حفاظت و مرمت و حتی بازسازی آثار معماری تاریخی ارزشمند بهره برد.

از جنبه ارزیابی و آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های تاریخی با کمک روش‌های کیفی و کمّی به‌طور همزمان مشخص شده است که ضعف عمده در مقاومت برشی داخل صفحه‌ای و کمانش خارج از صفحه‌ای دیوارهای سازه تاریخی است. در ضمن دیوارهای سازه‌های تاریخی، شکل‌پذیری مطلوبی ندارند و در برابر نیروهای حاصل از زلزله شدید آسیب‌پذیر هستند. رفتار ناهمگون عناصر سازه تاریخی موجب بروز عملکرد مکانیکی نامشخص در سازه‌های تاریخی می‌شود و نمی‌توان به‌طور قطعی رابطه تنش- کرنش واقعی عناصر و سازه‌های بنایی را به دست آورد. لذا خطاهای فراوانی در نتایج تحلیلی کامپیوتری وارد می‌شود و لازم است در کنار تجزیه و تحلیل کمّی، محاسبات عددی، بازرسی عینی، تجزیه و تحلیل‌های کیفی هم قبل از مدل‌سازی سازه بنایی انجام شود تا نتایج تحلیل، محاسبات کمّی و ارزیابی‌های رقمی از دقت کافی برخوردار شوند. از طرفی در بهره‌گیری از روش ترکیبی کیفی و کمّی در ارزیابی و آسیب‌شناسی باید به رفتار غیرخطی و غیرارتجاعی عناصر سازه بناهای تاریخی نیز توجه شود. در این رابطه آموزش ضوابط، فناوری‌ها، تدوین چهارچوب‌های نظری و عملی و ارایه محتوای آموزشی به‌صورت جامع به مجریان ضروری است.

معماری سنتی و دیرینه به‌عنوان بهترین راوی ارزش‌های فرهنگی در آینده محسوب می‌شوند. لذا همه‌جانبه‌بودن و جامع‌نگری، هم‌سازگاری، همگانی و همه‌گیربودن، جهان‌اندیشی فرهنگی و هدفمندی در خدمت‌رسانی نیز توجه به انعطاف‌پذیری و همنوایی با متن، محیط پایداری را تضمین می‌سازد[8].

در حفظ یکپارچگی و پیوستگی محوطه تاریخی باید هویت، اصالت، قابلیت بهره‌برداری و احیای مجدد بنای تاریخی لحاظ شود. لذا شناخت کافی از ساختار سازه تاریخی، تعیین وضعیت بارگذاری ثقلی، شناسایی معایب سازه‌ای، تحلیل روند خرابی، ارزیابی وضعیت کفایت لرزه‌پذیری و تعیین ضعف‌های لایق مرمت و بهسازی در سازه تاریخی، کاربرد روش‌های غیرمخرب در تعیین وضع سازه موجود و آسیب‌پذیری در وجوه مقاومت مصالح، سختی سازه‌ای و پایداری سازه‌ای براساس آیین‌نامه‌های معتبر به‌منظور برنامه‌ریزی منطقی، دقیق و کاربردی، ضروری است[9].

با فرض تشابه میان مهندسان و پزشکان، اگر بناهای تاریخی را به‌عنوان بیمار نیازمند معالجه فرض نماییم، با بررسی جامع خصوصیات ابنیه تاریخی می‌بینیم که گویا ساختمان تاریخی، شرح بیماری خود را به ما گزارش می‌دهد. حال با روش ارزیابی کیفی و مشاهدات مستقیم تعیین‌کننده میزان ایمنی، قابلیت اعتماد سازه‌ای و نیز روش ارزیابی کمّی با تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی رفتار و ارزیابی میزان خسارات و پوسیدگی‌ها به‌همراه روش‌های تجربی و آزمایشگاهی در محل، به‌کمک آزمون‌های مخرب محدود و غیرمخرب جامع باید تشخیص آسیب سازه تاریخی را به قطعیت برسانیم. باید به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کنیم که عمل نگهداری به‌عنوان امری پیشگیرانه محسوب شود و کلیه مداخلات، تامین‌کننده یکپارچگی سازه تاریخی باشند[10].

در اکثر بناهای تاریخی، سقف‌های قوسی با مصالح بنایی آجری و سنگی ساخته شده‌اند. اهمیت یکپارچگی قوس در محل چشمه راس و هماهنگی و سازگاری رفتار قوس‌های تاریخی با دیوارهای محل اتصال پاتاق مشخص هستند که در شیوه‌های سنتی با تقویت پشت‌بندی دیواره‌ها و بهره‌گیری عمل تقویت به‌شکل اجرای تویزه در جدار قوس‌ها و افزایش سختی جانبی سقف‌ها بهسازی در قدیم انجام شده، ولی اصالت میراث معماری به‌صورت جزئی و موضعی دچار اشکال شده است. بدین صورت که مقاومت، سختی و عملکرد مناسبی از جنبه تحمل زلزله برای میراث معماری فراهم می‌شد، ولی امروزه به مصالح نوین ناسازگار روی آورده شده است[11].

در رابطه با مسئولیت مهندسی حفاظت و رعایت اصول حفاظت میراث معماری تا حصول نتایج مطلوب می‌توان گفت که یک معمار متصدی امر حفاظت و مرمت بنای تاریخی، باید متعهد حفظ اصالت و یکپارچگی بنای تاریخی باشد تا به‌نحو مطلوبی بتواند آسیب‌شناسی تشخیصی را انجام دهد و راه‌حل‌های مناسبی با شرایط محیطی و اهداف حفاظتی ارایه نماید. لذا چندرشته‌ای‌بودن حوزه حفاظت و مرمت آثار تاریخی مشخص بوده و بنابراین دلسوزی و تعهد هنرمند متخصص در روال تصمیم‌گیری برای انجام مداخلات بهسازی ضروری است. به دیگر سخن، براساس منشور حفاظت میراث معماری هندوستان در مرحله اصول باید بدانیم از چه چیزی، چرا و براساس چه اصول اخلاقی حفاظت نماییم و در مرحله رهنمودها باید رعایت بی‌طرفی در امر حفاظت، مستندسازی تصمیم‌ها و مداخلات صورت پذیرد. سپس ضوابط آیین‌نامه‌های اجرایی در اقدامات عملی حفاظت، نگهداری، مدیریت، آموزش، مطالعات و تهیه دانش فنی لازم رعایت شود[12].

برای کاهش خطر لرزه‌ای و فروپاشی زلزله باید از فنون انتشار امواج مکانیکی استفاده نماییم. رسانیدن بناهای تاریخی به سطح ایمنی و بهره‌برداری مطمئن، نیازمند بهسازی و مرمت لرزه‌ای است که با توجه به مشکل وجود مصالح و مواد مرکب و مختلط از مواد طبیعی همانند شن، قلوه، سنگ، گل و الیاف در پشت جداره‌های آجرچینی، شناخت و پیش‌بینی عملکرد مکانیکی این گونه اجزای تاریخی را به‌صورت یک رفتار ازپیش‌شناخته‌شده و خطی به‌سختی امکان‌پذیر خواهد کرد و از طرف دیگر ترک‌خوردگی‌های حاصل از نشست دیوارها و عدم یکپارچگی اتصالات قوس‌های سقف به دیوارها نیز مساله دیگری محسوب می‌شود. لذا در طرح مداخلات این گونه مصالح اقدام به مداخله برای بهسازی از روش تقویت جزئی و موضعی در معضلات ترک‌خوردگی و پوسیدگی باید با رعایت حفظ اصالت بنا انجام شود تا جذب در انرژی لرزه‌ای آنها بهبود یابد[13]. در رابطه با تحلیل لرزه‌پذیری طاق‌های قوسی سازه‌های تاریخی با توجه به آن که خطر خرابی در پایه‌های قوس رخ می‌نماید، بنابراین می‌توان گفت هر چه شعاع قوس بیشتر و خیز گودی آن بالاتر باشد، مقاومت آن بیشتر است. لذا هر چه ضخامت قوس تاریخی نسبت به شعاع آن افزون‌تر باشد، به‌سبب آن که تنش برشی کمتری به‌علت فشاری‌بودن عضو در آن به وجود می‌آید، مقاومت طاق قوسی در برابر بار افقی زلزله و لرزه‌پذیری مربوطه بیشتر خواهد بود[14]. از جنبه عوامل مقاومت ایستایی طاق‌های قوسی بنایی با فرض عدم ارتجاعی و عدم خطی‌بودن رفتار آنها، عدم همگنی و تجانس مصالح مصرفی خصوصیات مهندسی مصالح مصرفی و ضخامت طاق قوسی را می‌توان برشمرد[15].

در تشخیص کیفیت و ارزش‌های فرهنگی بناهای تاریخی باید از اقداماتی همچون پژوهش تاریخی، بازرسی بصری، فتوگرامتری، مقاومت الکتریکی‌سنجی، رادیوگرافی، ترموگرافی، مغناطیس‌سنجی، موج‌سنجی رادار نفوذی، سرعت امواج مکانیکی و مافوق صوتی، آزمون جک تحت، بارگذاری سقف، آشکارسازی و روش‌های الکترونیکی بهره‌گیری شود. در مرحله استحکام‌بخشی، تقویت و مرمت باید از روش‌های تزریقی و سازه‌های جانبی و تقویت اجزای سازه‌ای به‌صورت محدود بهره گرفته شود. لذا فناوری‌های نوین ارزیابی باید با عنایت به مدل رفتار اصول سازه تاریخی بهره‌گیری شوند، زیرا روش آسیب‌شناسی غیرمخرب به‌کمک امواج ارتعاش مکانیکی به‌خوبی خصوصیات دینامیکی سازه تاریخی را مشخص می‌سازد[16]. روش مفید دیگری که میزان فرسایش‌یافتگی و احتمالات فروپاشی مصالح سازه تاریخی را به‌خوبی می‌تواند تعیین کند، آزمون نفوذ جیوه و میکروسکوپ الکترونیکی است که آسیب‌شناسی و کشف معایب را با سرعت و دقتی فوق‌العاده انجام می‌دهد[17]. در واقع مطالعه حاضر به‌دنبال این بود که در صورت کشف مدل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران، شناخت عوامل موثر و روابط ساختاری و تعیین میزان تاثیر بین آن عوامل طبق معادلات ساختاری مربوطه بتوان وضعیت پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران را ارزیابی کرد و لزوم مداخلات سازه‌ای لازم در اجزا و ساختار سازه‌ای این گونه بناها را تعیین نمود. بنابراین هدف پژوهش حاضر، رمزگشایی از مدل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران بود.

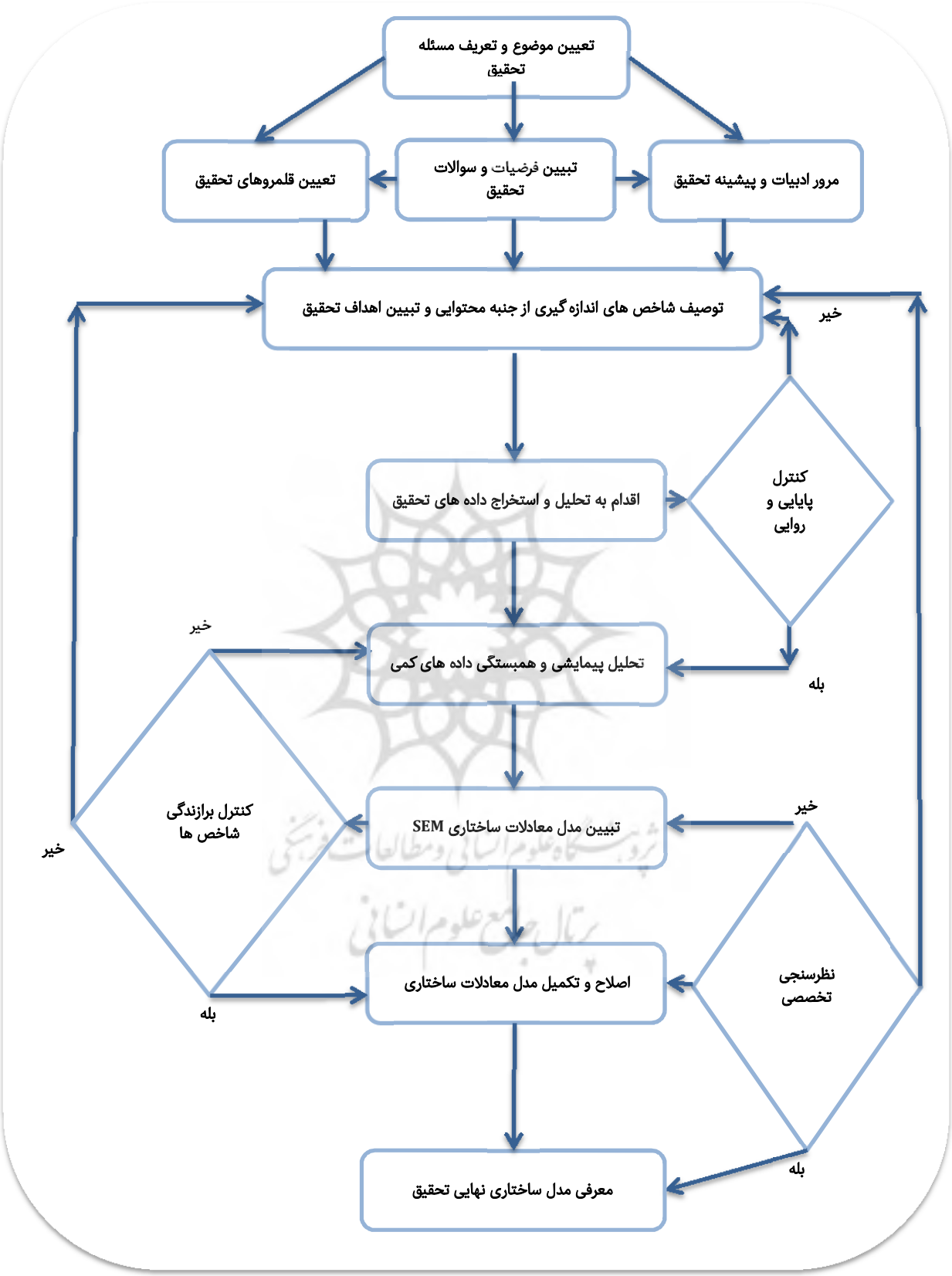
ابزار و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع پیمایشی و توصیفی روی جامعه آماری بناهای تاریخی پایدار ارزشمند ایرانی اجرا شد که معیارهایی از قبیل مستندات فنی معتبر، ساخته‌شدن در دوره‌های تاریخی قاجاریه، صفویه و نهایتاً ایلخانی، داشتن ساختار سازه‌ای بنایی آجری، تعداد طبقات حداکثر دو طبقه روی زمین با یک زیرزمین و بودن در مناطق زلزله‌خیز فلات ایران با خطر نسبی زیاد تا متوسط را داشتند. همچنین توانسته بودند پایداری لرزه‌ای خود را در برابر زلزله حفظ نمایند و از جنبه کالبدی نیز دارای نقشه‌های فنی کامل رقومی (دیجیتالی) مورد قبول و تعرفه سازمان میراث فرهنگی کل کشور با وضعیت توزیع یکنواخت محل استقرار بنای تاریخی در پهنه کل فلات زلزله‌خیز ایران بودند. طبق روش‌های تحقیق[18-23] و با درنظرگرفتن خصوصیات کمّی این گونه بناها از جنبه‌های هندسی، کالبدی و براساس قضاوت فنی و مهندسی در پایداری لرزه‌ای این بناها، تعداد ۳۶ بنا با روش نمونه‌گیری غیرتصادفی قضاوتی انتخاب شد. بنابراین نمونه‌ها از بناهای تاریخی ارزشمند ایرانی، نمونه‌های پایدار لرزه‌پذیر برپای‌مانده در فلات زلزله‌خیز ایران در نظر گرفته شدند، زیرا این انتخاب توسط طبیعت و محیط زیست قبلاً طبق انتخاب طبیعی انجام شده است و این بناها از خطر خرابی زلزله‌های مهیب مصون مانده‌اند (جدول ۱).

از پرسش‌نامه محقق‌ساخته برای تعیین خصوصیات فنی و مهندسی کالبد بناهای تاریخی ایران استفاده شد. مجموعه موارد اقدامات تحقیق به‌صورت سامانه‌مند اجرا شد (شکل ۱). ابتدا با توجه به مطالعات نظری و تحلیل‌های منطقی، یک مدل اولیه طراحی و سپس با استفاده از داده‌های تجربی و با کمک تحلیل مسیر اصلاح شد تا برازش مناسبی داشته باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 19 از طریق آزمون تحلیل عامل اکتشافی برای کشف سه عامل اصلی، نمودار دانه‌بندی عوامل یا نمودار اسکری و روش واریماکس در استانداردسازی کایزر طی چهار مرحله چرخش برای تعیین تعیین میزان همبستگی عوامل و

نرم‌افزار AMOS 15 برای تحلیل وضعیت ارتباط اجزای مدل معادلات ساختاری (SEM) در مدل اولیه و انجام برازش‌های مطلق، برازش تطبیقی، برازش مقتصد و رگرسیون برای بررسی اعتبار برازندگی مدل تجربی نهایی صورت گرفت.



شکل ۱) نمودار الگوی کلی، روال و ساختار تحقیق حاضر

جدول ۱) مشخصات و خصوصیات عمومی نمونه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر (۳۶ بنای تاریخی)

نام اثر تاریخی	محل استقرار	کاربری	خطر نسبی زلزله	تعداد سقف	قدمت تقریبی
مسجد کبود	تبریز	مذهبی	زیاد	یک سقف	۸۷۰ ق
بقعه شیخ‌صفی	اردبیل	آرامگاهی	زیاد	یک سقف	۷۳۵ ق
خانه اعرابی	اصفهان	مسکونی	متوسط	سه سقف	۱۲۹۶ ق
خانه زهتاب	اصفهان	مسکونی	متوسط	دو سقف	۶۲۵ ق
خانه طوسی‌زاده	اصفهان	مسکونی	متوسط	سه سقف	۵۸۰ ش
مدرسه جلالیه	اصفهان	آموزشی	متوسط	یک سقف	۱۱۱۵ ق
مدرسه و مجد خواجو	اصفهان	آموزشی	متوسط	یک سقف	۱۱۲۲ ق
مسجد صفا	اصفهان	مذهبی	متوسط	یک سقف	۱۰۲۰ ق
مسجد جامع خوزان	خمینی شهر	مذهبی	متوسط	یک سقف	۴۶۴ ق
عمارت کلاه‌فرنگی	فین کاشان	تفریحی	زیاد	دو سقف	۱۰۵۴ ق
حمام باغ فین	فین کاشان	بهداشتی	زیاد	یک سقف	۱۰۵۴ ق
بقعه خواجه تاج‌الدین	کاشان	آرامگاهی	زیاد	یک سقف	۱۱۳۰ ق
حمام گذر نو	کاشان	بهداشتی	زیاد	یک سقف	۹۶۶ ق
خانه بروجردی‌ها	کاشان	مسکونی	زیاد	سه سقف	۱۲۹۲ ق
مسجد جامع کبیر	کاشان	مذهبی	زیاد	دو سقف	۹۶۶ ق
مدرسه و مسجد آقابزرگ	کاشان	آموزشی	زیاد	سه سقف	۱۲۵۶ ق
خانه امام جمعه	تهران	مسکونی	زیاد	دو سقف	۱۲۴۰ ش
خانه وثوق‌الدوله	تهران	مسکونی	زیاد	سه سقف	۱۲۱۱ ش
عمارت نگارستان	تهران	تفریحی	زیاد	دو سقف	۱۲۳۱ ق
مسجد معیرالممالک	تهران	مذهبی	زیاد	یک سقف	۱۲۳۰ ق
مزار شیخ احمدجام	تربت جام	آرامگاهی	زیاد	یک سقف	۶۳۳ ق
مزار قطب‌الدین حیدر	تربت حیدریه	آرامگاهی	زیاد	یک سقف	۹۰۶ ق
مصلی	سبزوار	مذهبی	زیاد	دو سقف	۱۲۱۴ ق
قصر خورشیدکلات نادری	خراسان	حکومتی	زیاد	دو سقف	۱۱۶۰ ق
مدرسه بالاسر	مشهد	آموزشی	زیاد	دو سقف	۱۲۲۷ ق
مدرسه پریزاد	مشهد	آموزشی	زیاد	دو سقف	۸۲۳ ق
مسجد شاه، ۷۲ تن	مشهد	مذهبی	زیاد	یک سقف	۸۱۷ ق
کلیسای برج ناقوس	قزوین	مذهبی	زیاد	یک سقف	۱۸۷۶ م
مدرسه امیرکبیر	قزوین	آموزشی	زیاد	دو سقف	۱۲۹۵ ق
مدرسه جهانگیرخان	قم	آموزشی	زیاد	یک سقف	۱۲۷۸ ق
مجموعه گنجعلی‌خان	کرمان	فرهنگی	زیاد	دو سقف	۱۰۲۹ ق
مسجد بیرون	یزد	مذهبی	متوسط	یک سقف	۸۲۰ ق
مسجد جامع ابرکوه	یزد	مذهبی	متوسط	یک سقف	۹۸۴ ق
خانه شیرازی‌ها	یزد	مسکونی	متوسط	دو سقف	۱۲۲۹ ق
خانه گلشن	یزد	مسکونی	متوسط	سه سقف	۱۲۹۹ ق
مسجد جامع یزد	یزد	مذهبی	متوسط	یک سقف	۷۷۷ ق

ق: هجری قمری؛ ش: هجری شمسی؛ م: میلادی

یافته‌ها

خصوصیات کالبدی بناهای تاریخی ایران برحسب متر تعیین شدند (جدول ۲). سه عامل اصلی با ارزش ویژه بالا به‌ترتیب ۳۷/۱۹%، ۳۶/۹۵% و ۲۲/۰۷% و در مجموع با ارزش ویژه کل ۹۶/۲۱% کشف شدند (جدول ۳؛ نمودار ۱).

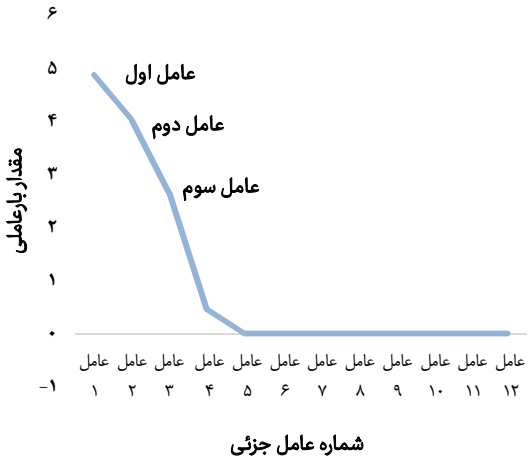
عامل اساسی اول (F1) به‌نام عامل خرابی لرزه‌انگیزی و حاصل تاثیر ابعاد هندسی، نسبت‌های ابعادی، شتاب زلزله و درصد دیوارهای نسبی عرضی همکف و طولی طبقه اول بناهای تاریخی بود. عامل اساسی دوم (F2) به‌نام عامل استطاعت لرزه‌پذیری مستقیم و حاصل تاثیر درصد دیوارهای نسبی عرضی و طولی طبقه زیرزمین، طولی همکف و عرضی طبقه اول بناهای تاریخی بود و عامل اساسی سوم (F3) به‌نام عامل لرزه‌پذیری غیرمستقیم و حاصل تاثیر بُعد عرضی و نسبت ابعادی ارتفاع به عرض بناهای تاریخی آجری مورد بررسی بود (جدول ۴).

جدول ۲) میانگین آماری خصوصیات کالبدی بناهای تاریخی ایران بر حسب متر (۳۶ بنای تاریخی)

ردیف	متغیر	متغیر معادل	تعداد	کمینه و بیشینه	میانگین
۱	طول بنای تاریخی (متر)	F15	۳۶	۱۰/۵-۱۷۰/۰	۵۲/۵۷۲±۳۵/۳۵۸۶
۲	عرض بنای تاریخی (متر)	F32	۳۶	۱۰/۵-۱۴۷/۰	۳۸/۱۶۹±۲۸/۰۶۴۷
۳	ارتفاع بنای تاریخی (متر)	F14	۳۶	۳/۵-۱۳/۵	۷/۶۴۴±۲/۴۲۴۲
۴	نسبت طول به عرض بنا (متر)	F16	۳۶	۱/۰۰-۲/۶۹	۱/۴۳۸۶±۰/۴۵۲۰۵
۵	نسبت ارتفاع به عرض بنا (متر)	F31	۳۶	۰/۰۵-۰/۷۶	۰/۲۷۸۹±۰/۱۶۹۱۳
۶	شتاب زلزله طیف طرح (A)	F12	۳۶	۰/۲۵-۰/۳۵	۰/۳۱۶۷±۰/۰۴۷۸۱
۷	درصد دیوار طولی زیرزمین	F24	۸	۱۸/۱-۳۸/۲	۲۸/۸۳۸±۶/۹۶۶۶
۸	درصد دیوار عرضی زیرزمین	F23	۸	۹/۱-۴۰/۵	۲۶/۱۸۸±۹/۹۱۷۷
۹	درصد دیوار طولی همکف	F22	۳۶	۷/۶-۴۲/۸	۱۸/۴۱۴±۸/۳۸۴۲
۱۰	درصد دیوار عرضی همکف	F13	۳۶	۶/۴-۴۰/۱	۱۷/۲۵۳±۸/۳۳۳۳
۱۱	درصد دیوار طولی اول	F11	۱۵	۶/۴-۵۰/۰	۱۹/۴۶۷±۱۰/۰۲۴۹
۱۲	درصد دیوار عرضی اول	F21	۱۵	۱۳/۳-۵۰/۰	۱۹/۴۶۰±۹/۸۱۰۲

جدول ۳) جدول تعیین واریانس یا سطح تمایز تبیین‌شده از عوامل اصلی تحقیق (۱۲ عامل)

عوامل مورد بررسی	بار عاملی اولیه داده‌های تحقیق (درصد)		استخراج مجموع بارهای عاملی به کمک مجذور واریانس(درصد)			استخراج مجموع بارهای عاملی به کمک مجذور پس از چرخش (درصد)		
	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی
عامل اول	۴/۸۷۴	۴۰/۶۲۰	۴۰/۶۲۰	۴/۸۷۴	۴۰/۶۲۰	۴۰/۶۲۰	۴/۴۶۳	۳۷/۱۹۱	۳۷/۱۹۱
عامل دوم	۴/۰۲۸	۳۳/۵۶۸	۷۴/۱۸۸	۴/۰۲۸	۳۳/۵۶۸	۷۴/۱۸۸	۴/۴۳۴	۳۶/۹۵۳	۷۴/۱۴۴
عامل سوم	۲/۶۴۳	۲۲/۰۲۴	۹۶/۲۱۲	۲/۶۴۳	۲۲/۰۲۴	۹۶/۲۱۲	۲/۶۴۸	۲۲/۰۶۷	۹۶/۲۱۲
عامل چهارم	۰/۴۵۵	۳/۷۸۸	۱۰۰/۰۰۰						
عامل پنجم	۳/۷۶E-۰۱۶	۳/۱۳E-۰۱۵	۱۰۰/۰۰۰						
عامل ششم	۲/۲۹E-۰۱۶	۱/۹۰E-۰۱۵	۱۰۰/۰۰۰						
عامل هفتم	۱/۵۰E-۰۱۶	۱/۲۵E-۰۱۵	۱۰۰/۰۰۰						
عامل هشتم	۳/۸۶E-۰۱۷	۳/۲۲E-۰۱۶	۱۰۰/۰۰۰						
عامل نهم	-۲/۰۹E-۰۱۷	-۱/۷۴E-۰۱۶	۱۰۰/۰۰۰						
عامل دهم	-۸/۶۲E-۰۱۷	-۷/۱۸E-۰۱۶	۱۰۰/۰۰۰						
عامل یازدهم	-۱/۴۹E-۰۱۶	-۱/۲۴E-۰۱۵	۱۰۰/۰۰۰						
عامل دوازدهم	-۴/۶۴E-۰۱۶	-۳/۸۷E-۰۱۵	۱۰۰/۰۰۰						



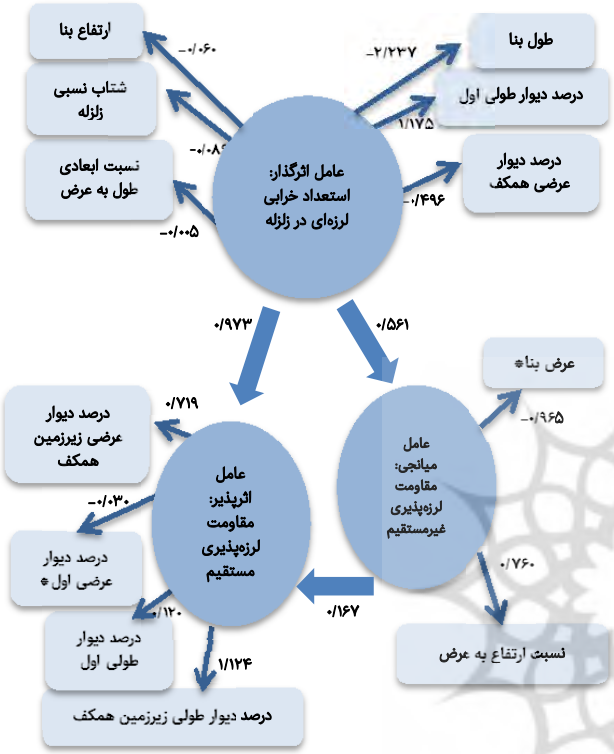
نمودار ۱) نمودار اسکری تبیین دانه‌بندی عوامل موثر اصلی (۳ عامل)

جدول ۴) ماتریس عوامل اصلی پس از اعمال چرخش و تعیین میزان همبستگی عوامل (۳۶ بنای تاریخی)

عوامل	متغیرهای اولیه مورد تحلیل عاملی	عوامل اصلی مکنون پس از چرخش		
		F1	F2	F3
عامل اصلی اول				
F11	درصد دیوار نسبی طولی در طبقه اول بناهای تاریخی ایران	-۰/۹۹۲	-	-
F12	ضریب شتاب زلزله طیف پاسخ (A)	-۰/۸۹۳	-	-
F13	درصد دیوار نسبی عرضی در طبقه همکف بناهای تاریخی ایران	-۰/۸۷۵	-	-
F14	بعد ارتفاعی بنای تاریخی ایران	۰/۸۳۰	-	-
F15	بعد طولی بنای تاریخی ایران	۰/۷۷۸	-	-
F16	نسبت طول به عرض بناهای تاریخی ایران	۰/۷۲۰	-	-
عامل اصلی دوم				
F21	درصد دیوار نسبی عرضی در طبقه اول بناهای تاریخی ایران	-	-۰/۹۹۶	-
F22	درصد دیوار نسبی طولی در طبقه همکف بناهای تاریخی ایران	-	۰/۹۶۰	-
F23	درصد دیوار نسبی عرضی در طبقه زیرزمین بناهای تاریخی ایران	-	۰/۹۴۲	-
F24	درصد دیوار نسبی طولی در طبقه زیرزمین بناهای تاریخی ایران	-	۰/۸۴۲	-
عامل سوم				
F31	نسبت ارتفاع به عرض بناهای تاریخی ایران	-	-	۰/۹۷۰
F32	بعد عرضی بنای تاریخی ایران	-	-	-۰/۹۴۷

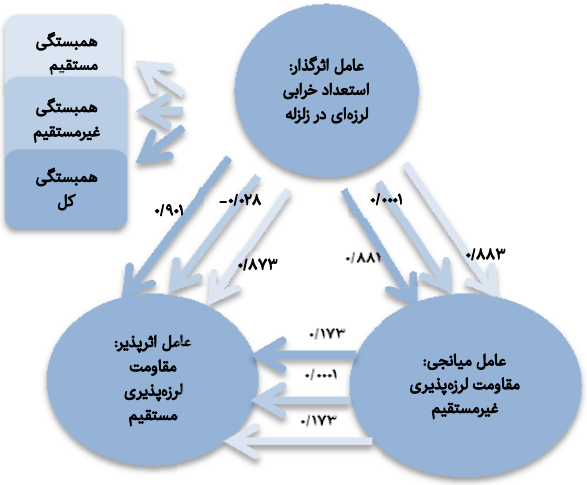
مدل نظری اولیه به‌شکل مدل تجربی اولیه محاسبه و توصیف شد (شکل ۲). با توجه به معنی‌داربودن ضرایب همبستگی، مسیرهای نامناسب حذف شد تا برازش اعتبار مدل نهایی مورد تایید واقع شود. نسبت ابعادی طول به عرض بناهای تاریخی همبستگی چندانی با عوامل نداشت. در مقابل، هر چه میزان ارتفاع بناهای موجود زیاد بود، اثرات مخرب زلزله در بناها بیشتر می‌شد، لذا به‌جای آن باید نسبت ابعادی ارتفاع به عرض بنا در استطاعت لرزه‌پذیری بناهای تاریخی مورد توجه قرار گیرد. به‌سبب آن که تناسبات افقی بنا تنها در جهت‌گیری اثرات مخرب زلزله موثر بود، بنابراین متغیر نسبت طول به عرض بنا از میان متغیرهای عامل استعداد لرزه‌انگیز و اثرگذار حذف شد. مدل نهایی به‌سبب همبستگی محاسبه‌شده قوی میان اجزا، توان تطبیقی بالایی در بیان عملکرد استطاعت لرزه‌ای بناهای تاریخی از خود نشان داد (شکل ۳).

ارتباط معنی‌داری میان استعداد خرابی و لرزه‌انگیزی با استطاعت و مقاومت لرزه‌پذیری بناهای تاریخی (عامل وابسته) وجود داشت. همچنین عامل خرابی و استعداد لرزه‌انگیزی بر عامل مقاومت غیرمستقیم لرزه‌پذیری (عامل میانجی) که به‌کمک ابعادعرضی و تناسبات ابعادی ارتفاع به عرض بناهای تاریخی تامین می‌شود، تاثیر معنی‌داری داشت (شکل ۴).



شکل ۲) میزان همبستگی مستقیم اجزای مدل تجربی اولیه ارزیابی‌شده (موارد ستاره‌دار (*) با عملکرد معکوس در عامل موثرند)

شکل ۳) میزان همبستگی مستقیم اجزای مدل تجربی نهایی ارزیابی‌شده (موارد ستاره‌دار (*) با عملکرد معکوس در عامل موثرند)



شکل ۴) میزان همبستگی عوامل اصلی در مدل نهایی ساختار ارتباطی

بحث

هدف پژوهش حاضر، رمزگشایی از مدل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران بود. طبق یافته‌ها تناسبات ابعادی ارتفاع بر عرض بناهای تاریخی به‌طور مستقیم در استطاعت لرزه‌پذیری بناهای تاریخی موثر نبود، ولی به‌طور غیرمستقیم به‌کمک استعداد خرابی و لرزه‌انگیزی روی استطاعت لرزه‌پذیری و مقاومت مستقیم بناهای تاریخی ایران تاثیرگذار بود. همچنین این نتایج از نظر تطابق با واقعیات عینی قابل تایید بود، زیرا اثرات مخرب زلزله‌های مختص فلات ایران هم بر وضعیت مقاومت لرزه‌پذیری بناهای تاریخی و درصد دیوارهای برشی و هم به‌طور غیرمستقیم بر نسبت ابعادی ارتفاع بر عرض بناها و افزایش استطاعت مقابله با زلزله‌های مخرب موثر بود. همچنین می‌توان علت این پدیده را در تمرکز جرم و وزن سقف طبقات بناهای تاریخی در مواضع ارتفاعی جست‌وجو نمود. زیرا اثرات مخرب زلزله‌ها در جرم سقف طبقات ظهور می‌نماید. به این ترتیب تاثیر زیاد ارتفاع بناهای تاریخی روی لرزه‌انگیزی یا مقابله با زلزله کاملاً مشهود و قابل اثبات است. هر چه نسبت ارتفاع به عرض بناهای تاریخی کمتر باشد، مرکز جرم لرزه‌انگیز در زلزله به سمت نقطه پایین‌تری سوق می‌یابد و عامل واژگونی یعنی گشتاور واژگون‌کننده زلزله کم‌اثرتر می‌شود.

لزوم مقایسه نتایج با تحقیقات مشابه (چون تحقیق حاضر در نوع خود برای اولین‌بار انجام شده است) برای قابلیت تایید صحت اقدامات را از نظر آیین‌نامه بناهای تاریخی کالیفرنیا (CHBC) و آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ در ایران[24, 25] می‌توان اعلام نمود. زیرا در این تحقیق موارد آیین‌نامه‌ای مورد کنکاش قرار گرفتند. نتایج حاصل بیانگر مهندسی‌بودن وضعیت ساختار سازه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران، قابلیت خوب و توانمندی کافی میراث معماری آجری ایران در مقابله با زلزله‌های مختص پهنه فلات زلزله‌خیز ایران مطابق با اثبات پایداری لرزه‌ای دیرینه قابل مشاهده تاکنون بود. لذا فنون و دانش فنی پیشینیان در زمینه طراحی و ساخت بناهای لرزه‌پذیر آجری می‌تواند ملاک تدوین آیین‌نامه‌های طراحی هم‌پایه با فنون ارزیابی نوین امروزی در تامین پایداری بناهای تاریخی آجری ایران به‌عنوان روش‌های ساده، ارزان و دردسترس برای ساخت و اجرای بناهای امن مقابله‌کننده با اثرات مخرب زلزله‌های مختص فلات ایران محسوب شود.

پژوهش حاضر محدودیتی نداشت. در این پژوهش، ضریب ثابت در توصیف میزان خطای اندازه‌گیری عامل مقاومت غیرمستقیم لرزه‌پذیری، ۰/۱۱۴ بود و بنابراین در تبیین ارتباط میان عامل استعداد خرابی لرزه‌ای (مستقل) و میانجی خطای زیادی رخ نداد. در حالی که این ضریب ثابت در مورد مقاومت لرزه‌پذیری بناهای تاریخی ۰/۵۱۵ بود. این مساله نشان‌دهنده آن است که در ارزیابی و تحلیل عامل مقاومت لرزه‌پذیری مستقیم (وابسته) عوامل و متغیرهای دیگری نیز موثر هستند که در تحقیق حاضر لحاظ نشده بودند و بهتر است در تحقیقات آتی مد نظر و توجه کافی قرار داده شوند. میزان خطای مربوطه به عامل مقاومت غیرمستقیم لرزه‌پذیری برابر ۰/۰۰۴ و میزان خطای مربوطه به عامل مقاومت لرزه‌پذیری مستقیم برابر ۱۱/۴۶۰ بود. لذا ادامه روال تحقیق حاضر و توسعه یا تعمیم قلمروهای تحقیق حاضر با یک طرح تحقیق جامع الشرایط ضروری است.

با توجه به امکانات، محدودیت‌ها و اقدامات انجام‌شده، نتایج و دست‌آوردهای کسب‌شده در تحقیق حاضر می‌توان موارد زیر را برای بهبود و تداوم مسیر تحقیق به‌عنوان زمینه‌ای اصولی برای رفع نیازهای علمی و پژوهشی کشور در امر نگهداری، حفاظت، استحکام‌بخشی، مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای بناهای تاریخی ایران در نظر گرفت. به عبارت دیگر به‌سبب کمبود اطلاعات دقیق تخصصی نسبت به خصوصیات فنی و مهندسی مصالح و اعضا و عدم وقوف کافی نسبت به رفتار لرزه‌پذیری بناهای تاریخی و با توجه به اهمیت موضوع، توسعه روند تحقیق حاضر لازم به نظر می‌رسد. در این خصوص پیشنهاد می‌شود تا یک طرح جامع تحقیقاتی برنامه‌ریزی‌شده با رعایت کلیه جوانب لازم همچون تامین منابع مالی، فرصت‌های زمانی، امکانات تجهیزاتی و مواد و مصالح مورد نیاز با همراهی گروه متخصصان چندرشته‌ای دارای مهارت علمی و عملی مقتضی در راستای موارد زیر تدوین شود:

۱- طرح شناسایی و تبیین مبانی نظری و دانش فنی پیشینیان سازنده بناهای تاریخی ایران برای شناخت فرهنگ فنی مهندسی گذشتگان در زمینه پایداری لرزه‌ای کلیه بناهای تاریخی ایرانی در حوزه تخصصی علوم رمزگذاری‌شده در میراث معماری ایران از جنبه‌های تحلیل سازه، مقاومت مصالح، طراحی، فناوری ساخت بناهای تاریخی به‌منظور شناخت و طبقه‌بندی گنجینه علوم و فنون کاربردی مناسب استفاده‌شده در ساخت تمامی بناهای تاریخی پایدار در مقابل زلزله‌های مخرب فلات ایران

۲- طرح شناخت جامع خصوصیات فنی و مهندسی ابنیه تاریخی ایران از جنبه‌های هندسی، فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و زمینه‌های بیولوژیک مرتبط با شرایط زیست‌محیطی به طرق آزمایشگاهی دقیق غیرمخرب و غیرتماسی و تبیین سامانه ساختاری اعضای موثر سازه‌ای بناهای تاریخی پایدار در برابر اثرات زلزله‌های مخرب ایران به‌منظور الگوگیری در تدوین اصول و آیین‌نامه‌های طراحی، ساخت، ارزیابی، آسیب‌شناسی، مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای بناهای تاریخی مختص فلات زلزله‌خیز ایران

۳- طرح تحقیق در زمینه تدوین موازین فنی اجرایی و دستورالعمل‌های مرتبط با فنون ساخت و ارزیابی پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی ایران با استناد به سابقه و پیشینه فنی بناهای تاریخی پایدار آجری ایران هم‌تراز با فنون نوین جهانی از جمله علوم کاربردی در مورد انرژی‌های فیزیکی نوین، مانند انرژی هسته‌ای، کاربرد نانوفناوری در شیوه‌های نوین و فناوری ساخت و تولید مصالح، شیوه‌ها و تجهیزات نوین ارزیابی، آسیب‌شناسی، استحکام‌بخشی، مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای بناهای تاریخی ایران

۴- تعمیم طرح تحقیق حاضر با تغییر اهداف، موضوعات، نوع

فرضیات، نوع ابزارها، مستندات، روش تحقیق، روش نمونه‌گیری، حجم نمونه‌گیری، قلمروی موضوع تحقیق در شرایط جدید به‌منظور بهبود و تعمیم نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر، افزایش کیفیت و دقت در معیارهای کمّی کسب‌شده و تهیه مدل‌های مکمل تحقیق انجام‌شده حاضر به‌منظور افزایش قابلیت انطباق معادلات ساختاری در مدل‌های جدید پایداری لرزه‌ای با درنظرگرفتن مصادیق و مفاهیم عینی این گونه مدل‌ها و معادلات ساختاری مربوطه برای قابل سنجش مدل مزبور در تمامی بناهای تاریخی ایران.

نتیجه‌گیری

مدل پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی آجری ایران تایید می‌شود، بدین صورت که با ازدیاد مقدار استعداد خرابی یا لرزه‌انگیز، خرابی لرزه‌ای بناها شدت می‌یابد و با توسعه مقدار مقاومت مستقیم در برابر زلزله، پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی افزایش می‌یابد. افزایش مقاومت غیرمستقیم و در واقع عامل تناسبات ابعادی نیز پایداری لرزه‌ای بناهای تاریخی را به‌صورت میانجی افزایش می‌دهد.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.
تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.
تعارض منافع: موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.
منابع مالی: موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.

منابع

1- Cañas I, Martín S. Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. Build Environ. 2004;39(12):1477-95.
2- Department of the Environment, Heritage and Local Government. Architectural heritage protection: Guidelines for planning authorities : Guidance on part iv of the planning and development act 2000. Dublin: Department of the Environment, Heritage and Local Government; 2004. pp. 20-39.
3- Binda L, Antonella Saisi A. Research on historic structures in seismic areas in Italy. Prog Struct Eng Mater. 2005;7(2):71-85.
4- Klingner RE. Behavior of masonry in the Northridge (US) and Tecomán–Colima (Mexico) earthquakes: Lessons learned, and changes in US design provisions. Constr Build Mater. 2006;20(4):209-19.
5- Güçhan NS. Observations on earthquake resistance of traditional timber-framed houses in Turkey. Build Environ. 2007;42(2):840-51.
6- Malpas J. New media, cultural heritage and the sense of place: Mapping the conceptual ground. Int J Heritage Stud. 2008;14(3):197-209.
7- McClean R. Toward improved national and local action on earthquake-prone heritage buildings [Dissertation]. Wellington: New Zealand Historic Places Trust Pouhere Taonga; 2009.
8- Cusidó O. RehabiMed: Method for the rehabilitation of traditional Mediterranean architecture. Barcelona: Col.legi d'Aparelladorsi Arquitectes Tècnics de Barcelona; 2005. p. 18.
9- Holland MM, Barker RM. Quality control recommendations for structural interventions on historic properties. [Dissertion]. Blacksburg: virginia polytechnic institute and state university; 2011. pp. 27-39.
10- Kelley SJ, Look DW. A philosophy for preservation engineers. APT Bull J Preserv Technol. 2005;36(1):8-11.
11- Giuriani E, Gubana A, Arenghi A. Structural rehabilitation of masonry Vaults. In: Garzuel A, Gallet S, editors. More than two thousand years in the history of architecture: Safeguarding the structures of our architectural heritage: Proceedings of the international Congress UNESCO-ICOMOS. Paris: The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; 2001.
12- Van Balen K. From conservation principles to materialization (Or the other way around: How is materialization guided by principles?). Conference of Consolidation of Masonry. Freiburg: Aedification Publishers; 2003. pp. 135-44.
13- Bostenaru Dan M, Pøikryl R, Török A, editors. Materials, technologies and practice in historic heritage structures. New York: Springer Netherlands; 2010. pp. 327-51.
14- De Lorenzis L, DeJong M, Ochsendorf J. Failure of masonry arches under impulse base motion. Earthq Eng Struct Dyn. 2007;36(14):2119-36.
15- Viola E, Panzacchi L, Tornabene F. General analysis and application to redundant arches under static loading. Constr Build Mater. 2007;21(5)1129-43.
16- Schueremans L, Van Rickstal F, Ignoul S, Brosens K, Van Balen K, Van Gemert D. Continuous assessment of historic structures - a state of the art of applied research and practice in Belgium [Internet]. Pennsylvania: CiteSeer^{x}; 2003 [cited 2016 May 25]. Available from: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/citations?doi=10.1.1.137.9998
17- Moropoulou A, Polikreti K. Principal component analysis in monument conservation: Three application examples. J Cult Herit. 2009;10(1):73-81.
18- Gall M, Borg WR, Gall J. Educational research: An introduction. 6th Edition. Nasr A, Arizi HR, Pak Seresht MJ, Kiamanesh AR, Bagheri Kh, Kheyr M, et al. Translators. Tehran: The Organization for Researching and Composing University textbooks in the Humanities (SAMT); 2003. [Persian]
19- Khaki GR. Research method with a thesis approach. Tehran: Ministry of Culture and Higher Education, Scientific Research Center of the country, Cultural-Publishing center (Derayat); 1999. [Persian]
20- Delavar A. Research educational and psychological. 25th Edition. Tehran: Virayesh; 2008. [Persian]
21- Christensen LB. Experimental methodology. 4th Edition. Delavar A, translator. Tehran: Roshd Press; 2008.
22- Delavar A. Research educational and psychological. Tehran: Payame Noor University; 2007. [Persian]
23- Hafeznia MR. An introduction to the research method in humanities. 16th Edition. Tehran: The Organization for Researching and Composing University textbooks in the Humanities (SAMT); 2009.
24- State of California. California Historical Building Code [Internet]. San Francisco: California Historical Building Code; 2016 [cited 2017 Jan 15]. Available from: https://archive.org/details/gov.ca.bsc.title24.2016.08
25- permanent committee for revising the Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings (standard no 2800). 3rd Edition. Tehran: Building and Housing Research Center; 2007.