Archive of SID

ISSN: 2538-2594; Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2018;8(3):187-194

A Pattern for Retrofitting Unreinforced Brick Walls Using Steel Cable Technology

ARTICLE INFO

Article Type
Descriptive Study

Authors
Asefi M.*[1] *PhD,*
Ahmadnejad Karimi M.[1] *MSc*

How to cite this article
Asefi M, Ahmadnejad Karimi M. A Pattern for Retrofitting Unreinforced Brick Walls Using Steel Cable Technology.Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2018;8(3): 187-194.

ABSTRACT

Iran is one of the most earthquake-stricken countries that has suffered numerous earthquakes and casualties. One of the reasons for the mortality of masonry buildings is the inappropriate structure. One of the solutions is to retrofit and improve the structures of these buildings against the earthquake's lateral force, which is less costly. Masonry buildings include a lot of buildings in the world. These structures are of high weight, low strength, and low shapeability, and vulnerable to earthquake; so, they should be strengthened. The main purpose of retrofitting is to reduce the vulnerability of the building to earthquake damage. In many modern retrofitting methods, inappropriate interference with the structure and architecture, especially visually, remains in conflict with the existing architecture and a factor for reducing its value. The aim of this study is to develop a new method for seismic retrofitting for unreinforced brick walls. In this research, we tried to retrofit these buildings using the technology of steel cables with the priority of expressing architectural quality considerations and eliminating many of the disadvantages of the previous methods, as well as taking into account the requirements for strengthening and retrofitting with principles and rules of balance for the protection of architectural buildings. At the end of this method, the numerical calculations on the proposed brick wall have been analyzed. The results show that the shear strength and, as a result, its seismic resistance increased to the typical one.

Keywords Earthquake; Retrofitting; Bick Structures; Steel Cable; Historic Identity

[1]Architecture Department, Architecture & Urbanism Faculty, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

Correspondence
Address: Architecture & Urbanism Faculty, Tabriz Islamic Art University, Mosalla Street, Maghsoodieh Street, Saat Square, Tabriz, Iran. Postal Code: 5137753579
Phone: +98 (41) 35539207
Fax: -
masefi@tabriziau.ac.ir

Article History
Received: August 09, 2018
Accepted: November 15, 2018
ePublished: December 20, 2018

CITATION LINKS

[1] Microfinance for housing; assisting the bottom billion and the missing middle [2] Spatial distribution assessment quality of life (QOL) in rural areas (case study: central part of city Delfan) [3] Seismic safety process of historical contexts [4] Rusty texture in urban and rural settlements and earthquake hazards [5] Reducing disaster risk, A challenge for Development [6] Risk Analysis [7] Analyzing the effects of improvement and rural housing rehabilitation plan on the quality of life of residents of Urmia rural areas [8] Sustainable conservation and façade retention developments in historic cities [9] Improvement of physical heritage in the field of technical and architectural restoration with the approach of understanding the two views [10] Heritage masonry buildings and reduction of seismic risk: the case of Slovenia [11] Investigation of masonary wall modeling methods using finite element analysis [12] Adobe and modernism in Ílhavo, Portugal [13] Evaluation of the challenges of the application of new technologies in architecture: the interaction with Iran's Islamic architectural values [14] Protection and development in Iran [15] Maintenance in conservation [16] The past is the future [17] Seismic retrofitting techniques for existing masonry buildings [18] Seismetic retrofit of historic building structures [19] Iranian architecture technology [20] Conservation of historic buildings [21] Caring For the Past: Issues in conservation for archeology and museums [22] Post minimal intervention [23] Seismic design for architects: Outwitting the quake [24] Seismic retrofitting solution of an adobe masonry wall [25] Handbook of seismic retrofit 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.

www.SID.ir

Archive of SID

ارایه الگویی جهت مقاوم‌سازی دیوارهای آجری غیرمسلح با استفاده از فناوری کابل‌های فولادی

مازیار آصفی* PhD
گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
مجید احمدنژاد کریمی MSc
گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

چکیده
ایران یکی از کشورهای زلزله‌خیز است که به دفعات متحمل زلزله‌های تاریخی و تلفات بی‌شمار شده است. یکی از دلایل تلفات ساخت بناهای با مصالح بنایی، ساختار نامناسب سازه‌ای آنها است. یکی از راه حل‌ها، مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌های این ساختمان‌ها در برابر نیروی جانبی زلزله است که به نسبت هزینه کمتری را دربرمی‌گیرد. سازه‌های مصالح بنایی سهم بسیار زیادی از ساختمان‌های جهان را به خوداختصاص داده‌اند. این سازه‌ها دارای وزن زیاد، مقاومت و شکل‌پذیری پایینی هستند و در مقابل زلزله آسیب‌پذیر هستند، لذا باید تقویت شوند. هدف اصلی مقاوم‌سازی، کاهش آسیب‌پذیری ساختمان از گزند آسیب‌های زلزله است. در بسیاری از روش‌های مقاوم‌سازی نوین، دخالت‌های نامناسبی بر پیکره بنا و معماری به‌ویژه از لحاظ بصری بر جای می‌ماند که در تضاد و تقابل آشکار با معماری موجود و عاملی برای کم‌ارج و بهاکردن آن است. هدف این پژوهش، توسعه یک روش جدید برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای برای دیوارهای آجری غیرمسلح است. در این مقاله سعی شده است به روش مقاوم‌سازی این بناها با بهره‌گیری از فناوری کابل‌های فولادی با اولویت بیان ملاحظات کیفی معماری و ازبین‌بردن بسیاری از معایب شیوه‌های پیشین و نیز با درنظرگرفتن الزامات تقویت و مقاوم‌سازی فنی با اصول و قواعد توازن و تعادل به‌منظور حفاظت معماری ساختمان‌های بنایی، پرداخته شود. در پایان این روش، توسط محاسبات عددی و همچنین نرم‌افزار SAP روی دیوار آجری پیشنهادی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که مقاومت برشی و در نتیجه مقاومت لرزه‌ای این نوع دیوارها نسبت به دیوارهای معمولی افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: زلزله، مقاوم‌سازی، سازه‌های بنایی، پیوستگی سازه‌ای، هویت تاریخی

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۲۴
*نویسنده مسئول: masefi@tabriziau.ac.ir

مقدمه

ساختمان‌های با سازه‌های بنایی به‌دلیل تنوع آب و هوایی در هر منطقه از کشور، به شیوه‌های مختلفی ساخته می‌شوند. به‌دلیل هزینه ارزان مصالح و ساخت و ساز آسان، مسکن‌های با مصالح بنایی همواره به‌طور گسترده در میان طبقات کم‌درآمد در کشورهای در حال توسعه متداول بوده است[1].

یکی از برنامه‌هایی که به‌صورت نظام‌مند در سال‌های اخیر مورد توجه قرارگرفته، بهبود کیفیت مساکن روستایی بوده است، چرا که مسکن یکی از ابعاد مهم کیفیت زندگی را نمایان می‌سازد[2]. مسکن‌های بنایی غیرمسلح در برابر زمین‌لرزه بسیار آسیب‌پذیرند و در نتیجه همواره مایه تلفات بی‌شمار بوده‌اند[3]. با اینکه جمعیت ایران ۱% جمعیت دنیا را تشکیل می‌دهد، ولی تلفات ناشی از زلزله در حدود ٦% تلفات دنیا است[4]، به‌طوری که در گزارش دفتر برنامه‌ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۳ ، ایران رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ریشتر در سال و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری ناشی از وقوع زلزله به خود اختصاص داده است[5].

آسیب‌پذیری عبارت است از درجه زیان یک عنصر یا دسته‌ای از عناصر در معرض خطر، در نتیجه وقوع یک پدیده طبیعی با بزرگای معین بر مقیاسی از صفر (دون آسیب‌پذیری) تا ۱ (آسیب‌پذیری کامل) بیان می‌شود[6]. واقعیت این است که بخش اعظمی از مسکن‌های روستایی ایران از سازه‌های بنایی غیرمسلح ساخته شده است. ابعاد طرح بهسازی و مقاوم‌سازی مسکن روستایی در ارتقای سطح کیفیت زندگی ساکنان نواحی روستایی منطقه مورد مطالعه موثر است[7]. برای حفظ این ساختمان‌ها به‌عنوان میراث گسترده، چاره‌ای جز اتخاذ تدابیر مناسب برای مقاوم‌سازی سازه‌های آن نیست. امری که از پیچیدگی‌های فنی فراوانی برخوردار است و راهکارهای جدید با فناوری نوین را طلب می‌کند. یکی از عوامل در بیان تعامل سازه سنتی و معاصر، به‌کارگیری فناوری‌های نو در مقاوم‌سازی و احیای بناهای سنتی و تاریخی است[8]. تحقیقات انجام‌شده نشان داد که برخلاف فرض عمومی، متخصصان سازه با مولفه‌های هویتی آثار تاریخی حداقل به‌صورت ابتدایی آشنا هستند و آنچه باعث ایجاد مشکل شده، ناتوانی این افراد در کیفیت روش اجرا و ملحوظداشتن سایر ملاحظات است[9].

در واقع هدف اصلی مقاوم‌سازی، کاهش آسیب‌پذیری ساکنان و بنا از گزند آسیب‌های زلزله است. سابقه تحقیق درباره زلزله و مقاوم‌سازی بناهای آسیب‌پذیر، در کشورهای پیشرفته مبتلا به آن مانند ژاپن و ایالات متحده به سالیان طولانی پیش از این برمی‌گردد؛ در حالی که توجه جدی به این پدیده در کشورمان ایران به حدود ۳دهه قبل محدود می‌شود. در این مدت سعی شده است که با بهره‌گیری از تجارب جهانی و کنکاش در جوانب مختلف این پدیده راهکارهای علمی پیشگیری و مقابله با آن بررسی و مورد شناسایی قرار گیرند.

مجموعه سخنرانی‌ها و کنفرانس‌های متنوع در زمینه‌های مختلف از جمله مجموعه مقالات مقاوم‌سازی و بهسازی ایران که توسط مرکز ملی مقاوم‌سازی ایران در دانشگاه تبریز طی سال‌های پی‌درپی برگزار شد، از جمله فعالیت‌های علمی در این زمینه‌اند. همچنین تحقیقاتی که توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و بسیاری از صاحب‌نظران در این حوزه انجام پذیرفته است را می‌توان از مهم‌ترین پژوهش‌ها در این زمینه نام برد. پس از وقوع زلزله قائنات و زلزله بم در مورد انواع مختلف شیوه‌های مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌های بنایی غیرمسلح مطالعاتی میدانی و نیز تا حدودی عملی انجام گرفت.

با توجه به شدت زلزله و خسارت‌های فراوان وارده بر ساختمان‌های مورد اشاره، این تحقیق سعی بر آن داشته که نوعی از شیوه مقاوم‌سازی را ارایه دهد که برخی از معایب شیوه‌های گذشته را تا حد امکان رفع نماید. این مقاله در پی ارایه راه حلی برای مقاوم‌سازی دیوارهای بنایی غیرمسلح آجری است. از آنجا که اساس این روش فشرده‌سازی و پیش‌تنیدگی دیوار و در نهایت افزایش مقاومت برشی توسط کابل است، روش پیشنهادی موردنظر برای ساختمان‌های آجری غیرمسلح مورد بحث قرار می‌گیرد و در ساختمان‌های خشتی به‌دلیل اینکه مصالح خشتی در برابر فشار بسیار ضعیف‌تر از آجر عمل می کند، کاربرد ندارد.

به‌طور کلی سئوال اساسی در این تحقیق می‌تواند به شکل زیر مطرح شود:

چگونه با بهره‌گیری از فناوری کابل‌های فولادی، می‌توان به مقاوم‌سازی بناهای آجری روستایی با رویکرد حفظ کیفیت معماری و کمترین تصرف در بناها همراه با افزایش مقاومت برشی

www.SID.ir

Archive of SID

و لرزه‌ای آن دست یافت؟

رفتار لرزه‌ای ساختمان آجری غیرمسلح: در ساختمان‌های آجری غیرمسلح به‌علت نبود عناصر پیونددهنده مسلح و یا بنایی محصورشده با کلاف، دیوار یکپارچگی خود را در برابر حرکت‌های ناشی از زلزله حفظ نمی‌کند، لذا در برابر نیروی زلزله مقاومت چندانی ندارند و غالباً این آثار، در اثر فرسودگی، یا در وضعیت نامناسبی قرار دارند[10]. بنابراین احداث آن توصیه نمی‌شود. ساخت ساختمان‌های بنایی غیرمسلح در مناطق با خطر نسبی زیاد، خیلی زیاد و متوسط ممنوع است. تکان‌های لرزه‌ای بزرگ غالباً بر ساختمان تاثیر می‌گذارند. این تاثیر نه‌تنها به خاطر شدت نیروهای به‌کاررفته، بلکه بیشتر بدین علت است که سازه‌ها برای تحمل نیروهای افقی طراحی نمی‌شوند. سازه‌های مصالح بنایی عمدتاً مقاومت کششی بسیار کمی دارند[11] و این امر سبب ایجاد ترک در دیوار می‌شود. توجه به این ویژگی، مهم‌ترین مساله در مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی است. زلزله‌های شدید به‌طور ناگهانی بر پیکر بنا ارتعاشاتی پدید می‌آورند و در اثر امواجی که به وجود می‌آید دیوارها را حرکت می‌دهند. در حالت کلی، اتصال ضعیف دیوار به دیوار و سقف به دیوار در کنج‌ها، مقاومت کم دیوارها در مقابل نیروهای خارج از صفحه، سقف‌های طاق ضربی با طول ناکافی تکیه‌گاه، کیفیت پایین ملات، شناژهای نامناسب، استفاده نادرست از مصالح صنعتی از دلایل ایجاد آسیب‌های وارده به ساختمان‌های بنایی غیرمسلح است.

کاستی دیوارهای بنایی آن است که به هنگام وقوع زلزله و بر اثر بارهای جانبی زلزله و خروج از مرکزیت بارهای قائم دیوارها، به‌همراه نیروی محوری، لنگر خمشی قابل توجهی در دیوارها ایجاد شده و به‌دلیل ضعف این اعضا در ناحیه کشش و حرکت رفت و برگشتی بارهای زلزله، دیوارها به‌سرعت دچار انهدام کلی خواهند شد. یکی از علل اصلی خرابی در سازه‌های بنایی را می‌توان بازشدن دیوارهای متعامد از یکدیگر و ازدست‌رفتن عملکرد جعبه گونه سازه دانست. بدین ترتیب عملاً از ظرفیت برشی دیوارهای ساختمان استفاده‌ای نشده است[12]. بنابراین جهت‌گیری اصلی سیستم مقاوم‌سازی باید تامین یکپارچگی دیوارها باشد. لازم است المانی به سازه اضافه شود که دیوارهای متعامد را در کنار هم نگاه داشته و از جدایی دیوارها در نواحی فصل مشترک آنها جلوگیری نماید.

مقاوم‌سازی بناهای تاریخی، همیشه نیازمند طیف وسیعی از رویکردهای مرمت و نگهداری است. پرداختن صرف به بعد فنی این امر و نادیده‌گرفتن مسایل هویتی و ارزش‌های فرهنگی هر بنای تاریخی، در نهایت به تخریب ارزشی آن می‌انجامد که دست کمی از تخریب کالبدی بنا بر اثر زلزله ندارد[13]. هر نوع تمهید مقاوم‌سازی، باید سازگار و کاملاً یکپارچه با نگرش انتخاب‌شده باشد. برای مثال، اگر بنا باشد فرم و مصالح یک ساختمان موجود را حفظ کنیم، شاید باید روش‌ها و فنون مقاوم‌سازی را از نظر پنهان کرد. این امر، نیازمند بهره‌گیری از روش‌های مقاوم‌سازی نوین و پیشرفته‌تری نسبت به گونه‌های معمول است. لازم است الزامات تقویت و مقاوم‌سازی فنی با اصول و قواعد حفاظت معماری ساختمان، در توازن و تعادل باشد. حفاظت از لحاظ مفهومی، طیف وسیعی از مداخله‌ها و برنامه‌ها را در بر می‌گیرد که با هدف حفظ میراث فرهنگی صورت می‌گیرد[14]. عملیات مقاوم‌سازی لرزه‌ای، باید تا حد امکان "برگشت‌پذیر" باشد[15]، تا این اجازه را به آیندگان بدهد که بتوانند آن را برداشته و از سیستم‌های پیشرفته‌تر و به‌روزتر و همچنین مرمت سنتی مصالح تاریخی باقی‌مانده، استفاده کنند. به عبارت دیگر، مقاوم‌سازی یک بنا را باید با این هدف انجام دهیم که حداقل دخالت‌های معماری و سازه‌ای را بر پیکره‌ی بنا برجای بگذاریم[16].

اولین گام برای مقاوم‌سازی بناهای غیرمسلح بنایی، شناخت ضعف‌های این بناها در برابر زلزله و شیوه مقاوم‌سازی پیشنهادی است که باید مورد بررسی قرار گیرد[17]. در این بناها، دیوارها، هر دو نوع بارهای ثقلی (وزن) و بارهای جانبی (زلزله و باد) را بدون وجود سازه قابی یا دیوارهای برشی تحمل می‌کنند. عملکرد نامناسب این بناها به‌دلیل شکننده‌بودن مصالح، وزن سنگین دیوارها و سقف ها و عدم انعطاف‌پذیری این مصالح سبب رفتار نامناسب آن در برابر نیروهای جانبی می‌شوند. ماهیت رفت و برگشتی زلزله، سبب جابه‌جایی مرکز ثقل و رانش دیوارها می‌شود که به‌دلیل غیرمسلح‌بودن و نبود کلاف های افقی و قائم باعث تخریب بنا می‌شود. تاکنون راه حل‌های متعددی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح ارایه شده است که بسیاری از آنها به مرحله اجرایی رسیده است. در زیر، به چند نمونه از این راه حل‌های مقاوم‌سازی و بهسازی اشاره شده است:

- مقام‌سازی با استفاده از تقویت‌کننده‌های عمودی و افقی (میله‌گردها)
- مقام‌سازی با تزریق اپوکسی برای پرکردن ترک‌ها
- مقام‌سازی با تدابیر ویژه سازه‌ای شامل ایجاد عناصر سازه‌ای دیگر در بنا همانند پشت‌بند
- مقام‌سازی توسط مصالح تقویت‌شده با الیاف پلیمری یا الیاف طبیعی
- مقام‌سازی با روش مش فولادی و بتن شاتکریت

با توجه به نحوه اجرا و فناوری به‌کاررفته برای مقاوم‌سازی، هر یک از این شیوه‌ها دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود هستند. در موارد متعددی، راهکارهای مخربی برای دست‌یابی به اجزای سازهای بنا، و تقویت آنها اتخاذ می‌شود[18]. برای مثال، از معایب شیوه بتن شاتکریت تخریب کامل نازک‌کاری‌های دیوار و نیز نیاز به تجهیزات خاص در اجرای آن است؛ یا در شیوه مقاوم‌سازی توسط پشت‌بندها، به اشغال فضای بیشتری نیاز است و همچنین نمای ساختمان دچار تغییر می‌شود. در شیوه استفاده از الیاف پلیمری، هر چند نسبت مقاومت به وزن آن بالا و بدون تخریب بنای تاریخی به بهسازی آن می‌پردازند، ولی مقاومت پایین این عناصر در برابر دمای بالا ، آتش و بهای نسبتاً بالای آن، از نقاط ضعف آن به شمار می‌رود[19] (شکل‌های ۱ و ۲).

شکل ۱) مقاوم‌سازی با فناوری شاتکریت[23]

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲) مقاوم‌سازی با استفاده از الیاف[23]

به‌طورکلی، آنچه که در شیوه‌های مقاوم‌سازی حایز اهمیت است، کم‌هزینه‌بودن اجرا و نیز کمترین حجم تخریب در حین مقاوم‌سازی است. همچنین طیف مداخله در مقاوم‌سازی بنا، از کمترین میزان مداخله تا ساخت مجدد بخشی یا کل بنا را در بر می‌گیرد[20]. حداقل مداخله بیش از آنکه یک اصل باشد، رویکرد و آرمانی در عرصه حفاظت تلقی می‌شود[21-23].

کلیات طرح و ایده مقاوم‌سازی: ایده کلی طرح استفاده از نبشی فولادی و کابل‌های تنیده، برای تبدیل دیوار بنایی غیرمسلح به دیوار مسلح و کاربرد آن به مثابه دیوار سازه‌ای است. با توجه به این پیشنهاد، گزینه مقاوم‌سازی مورد نیاز برای جلوگیری از گسست دیوارهای متعامد، شامل ارکان زیر است:

۱- مقاوم‌سازی در برابر جداشدگی دیوارهای متعامد از یکدیگر (توسط اتصال نبشی‌های فولادی)

۲- مقاوم‌سازی در برابر بازشدگی ترک‌های درون‌صفحه‌ای دیوارها به‌سبب کشش قطری ناشی از برش (با افزایش مقاومت برشی دیوار توسط کابل‌های عمودی)

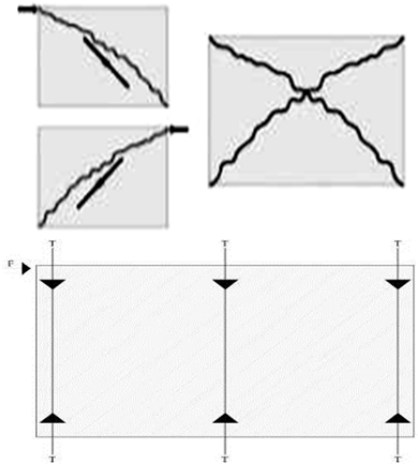
دیوارهای بنایی غیرمسلح در برابر نیروی جانبی، به‌ویژه زلزله، به‌سبب ضعف عمده این مصالح در کشش، ناکارآمد هستند. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، هنگامی که دیوارهای بنایی در معرض نیروی جانبی زلزله قرار می‌گیرند، به‌دلیل عدم مسلح‌شدگی آنها توسط عناصر کششی، دچار ترک‌هایی از جمله ترک‌های قطری به‌دلیل نیروی کششی ناشی از برش در سطح دیوار می‌شوند[24]. به‌دلیل ضعف عمده مصالح بنایی در برابر نیروی کششی و نیز با حرکت رفت و برگشتی نیروی جانبی زلزله و با شدت‌یافتن نیروی برون‌صفحه‌ای ناشی از زلزله، این امر تسریع می‌شود، تا آنجا که در نهایت سبب ریزش تمام یا بخشی از دیوار خواهد شد[25].

روش مهاربندی با کابل می‌تواند به‌عنوان ایده‌ای برای مقاوم‌سازی دیوار با مصالح بنایی به‌خصوص ساختمان‌های قدیمی و روستایی باشد. اگر این دیوارها به شکل مناسبی به پایه (زمین) متصل شوند، می‌توان گفت که این نوع مهاربندی سبب خواهد شد که دیوار در برابر نیروی جانبی زلزله تا حد مطلوبی به مثابه دیوار برشی طره‌ای عمل کند. از آنجا که لازم نیست دیوارهای برشی در تمام بخش‌های ساختمان قرار گیرد[23]، در نتیجه با مسلح‌کردن تعدادی از دیوارهای فوق در راستای طولی و عرضی و جانمایی مناسب آنها در پلان طرح، می‌توان مقاومت کل ساختمان را در برابر زمین‌لرزه تا حدود قابل قبولی افزایش داد. در مقاوم‌سازی و بهسازی ساختمان بنایی غیرمسلح مورد نظر، علاوه بر افزایش مقاومت ساختمان در برابر زلزله، اهداف زیر نیز به‌عنوان مزیت‌های این روش درنظر گرفته شده است:

- استفاده از روشی که به کمترین عملیات تخریب عناصر موجود ساختمان در حین مقاوم‌سازی نیاز داشته باشد.
- این روش طوری طراحی شده است که بعد از انجام آن، تمامی عناصر اضافی برای مقاوم‌سازی ساختمان، در کالبد موجود ساختمان خللی وارد نمی‌کنند، زیرا اکثر عناصر در این سیستم، در داخل جداره ساختمان پنهان می‌شوند.
- پس از اجرای عملیات، به‌دلیل استفاده از عناصر کابلی سبک‌وزن برای مقاوم‌سازی، می‌توان گفت که چندان وزن اولیه ساختمان افزایش نمی‌یابد.
- سهولت اجرای این سیستم، از دیگر مزیت‌های این شیوه است.

شکل ۳) تشکیل ترک‌های قطری ایجادشده در دیوار مصالح بنایی غیرمسلح[23]

محاسبات دیوار آجری مسلح با کابل: اگر دیوار بنایی غیرمسلح را توسط کابل‌هایی مسلح کنیم، این امر از ایجاد ترک قطری در اثر نیروی زلزله تا حد زیادی ممانعت به عمل می‌آورد. به عبارت دیگر هریک از کابل‌های فوق، از شکافته‌شدن دیوار به‌سبب ترک قطری جلوگیری خواهند کرد و سبب افزایش مقاومت دیوار مسلح با کابل در برابر نیروی جانبی زلزله می‌شود. در نهایت مهاربندی دیوار توسط کابل‌های سبک می‌تواند به‌صورت عمودی باشد تا در مقابل ترک‌خوردگی و تخریب دیوار در برابر نیروی جانبی زلزله در شرایط رفت و برگشتی مقاومت کند. این کابل‌های مهاربندی، دیوار بنایی را توسط نیروی کششی تنیده می‌کنند. این امر باعث می‌شود تا دیوار به‌صورت فشرده و متراکم تبدیل شده و در برابر نیروی جانبی به‌صورت فشاری مقابله کند. از سوی دیگر، کابل‌ها به‌صورت کششی در برابر این نیرو مقاومت می‌کنند و از ایجاد ترک کششی (ناشی از ضعف مصالح در برابر کشش) در سطح دیوار جلوگیری به عمل می‌آورند (شکل ٤). به عبارت دیگر، دیوار دچار نیروی کششی زیادی نمی‌شود و کابل‌ها نیروهای کششی را تحمل می‌کنند.



شکل ٤) بالا: دیوار بنایی غیرمسلح و ترک قطری در اثر کشش برشی ناشی از نیروی جانبی زلزله؛ پایین: مهاربندی دیوار خشتی مسلح توسط کابل‌های عمودی برای جلوگیری از ایجاد ترک قطری (ترسیم: نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

برای انجام محاسبات عددی به‌منظور تخمین و مقایسه میزان مقاومت برشی دیوار عادی و دیوار مقاوم‌سازی‌شده با اعمال نیروی فشاری که معادل با نیروی کششی کابل‌های فوادی (مشابه شکل ۴ پایین) است، شرایط ذیل را در نظر می‌گیریم:

الف) مشخصات مصالح مصرفی

مشخصات آجر مدل شده:

چگالی ۱۸۵۰کیلوگرم برمتر مکعب

مدول الاستیسیته ۲۰۰۰مگاپاسکال

ضریب پواسن ۰.۱۵

مقاومت فشاری ۲۵۰کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب

مشخصات ملات مدل شده:

چگالی ۲۱۰۰کیلوگرم برمتر مکعب

مدول الاستیسیته ۷۰۰مگاپاسکال

ضریب پواسن ۰.۲

مقاومت فشاری ۲۱۰کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب

مشخصات دیوار آجری پیشنهادی (با ۳۰% ملات):

چگالی ۱۹۲۵کیلوگرم برمتر مکعب

مدول الاستیسیته ۱۶۱۰مگاپاسکال

ضریب پواسن ۰.۱۶۵

مقاومت فشاری ۲۳.۸کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب

مشخصات دیوار مدل شده:

عرض :۳متر

ارتفاع: ۳متر

ضخامت : ۳۰سانتی‌متر

ابعاد بازشو : ۱*۱متر

درصد بازشو :۱۱%

ب) محاسبه مقاومت برشی دیوار عادی و پیشنهادی: مطابق مراجع فنی مقاومت برشی دیوارها در صورت نبود تسلیح‌کننده‌ها یا نبود نیروی فشاری برابر فرمول زیر است: (برای دیواری به عرض واحد)

$$Vc=0.2\Phi_c.\sqrt{fc}\,b.d$$

که در آن Φ_c یک ضریب اطمینان جزیی برای حضور ملات در دیوار آجری بوده و مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برابر ۰.۶۵ است. همچنین b عرض واحد یک دیوار، fc مقاومت فشاری دیوار و d ارتفاع موثر یک دیوار آجری در برابر برش که به‌طور معمول ۵۰میلی‌متر از ضخامت آن کمتر است. لذا داریم:

$$Vc=0.2\Phi_c.b.d=0.2*0.65*\sqrt{23.8}1000*(300-50)=158000\ N=158\ Kn$$

اما در دیوار پیشنهادی با سیستم ارایه‌شده در هر یک متر، در حدود ۵۵۰کیلونیوتن در ارتفاع دیوار نیروی فشاری به‌وسیله کابل‌ها وارد می‌شود. در این صورت داریم:

$$Vc=0.2\Phi_c\sqrt{fc}.b.d.(1+\frac{N}{12A})$$

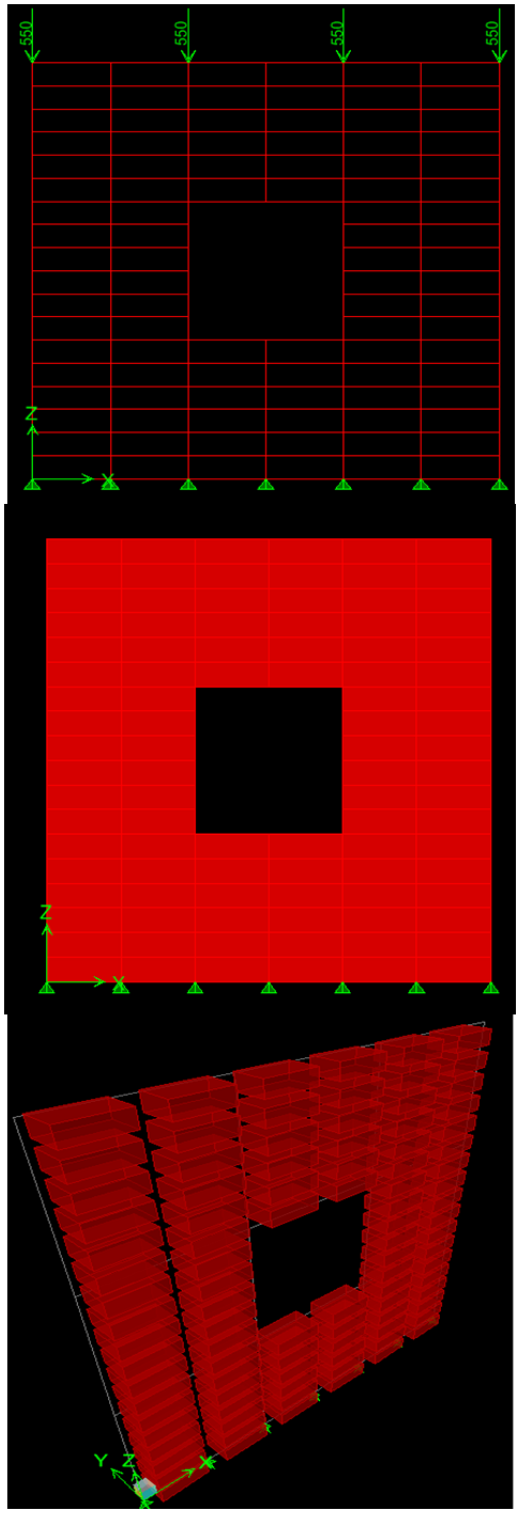
که در آن علاوه بر پارامترهای تعریف‌شده در فرمول قبل، N نیروی وارده بر هر متر دیوار به‌صورت فشاری و A مساحت مقطع ۱متر دیوار است. در این صورت داریم:

$$Vc=0.2\Phi_c\sqrt{fc}.b.d.(1+\frac{N}{12A})=0.2*0.65*\sqrt{23.8}*1000*250*(1+\frac{550*1000}{12*1000*300})=183\ kN$$

که نشانگر افزایش بیش از ۱۵درصدی مقاومت برشی دیوار پیشنهادی نسبت به دیوار عادی است.

ج) مقایسه با نتایج عددی نرم‌افزار: دیوار فوق با مشخصات ذکرشده در بند الف مدل شد و نیروهای فشاری سیستم پیشنهادی در آن اعمال شد. تصویری از مدل در شکل ۵ ملاحظه می‌شود.

مقدار مقاومت برشی به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار که به‌صورت عددی این مقدار را به دست می‌دهد برابر ۱۸۶کیلونیوتن است که نشان از درستی مدل انجام‌شده دارد. همچنین میزان خطای ۱% نمودار است. در مجموع چه در روش عددی و چه با استفاده از فرمول‌های پیشنهادی مقررات ملی ساختمان با اعمال نیروی فشاری به میزان ۵۵۰کیلونیوتن در هر متر طول (که در دیوار پیشنهادی با سیستم شرح‌داده‌شده اعمال می‌شود) می‌توان مقاومت برشی دیوار را بیش از ۱۵% افزایش داد و عملکرد لرزه‌ای دیوار را به میزان قابل قبولی بهبود بخشید (جدول ۱).



شکل ۵) دیوار پیشنهادی مدل‌شده در نرم‌افزار SAP

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱) مقایسه مقاومت برشی دیوارها

نوع دیوار	مقاومت برشی
دیوار آجری قبل از مقاوم‌سازی	۱۵۸کیلونیوتون
دیوار آجری بعد از مقاوم‌سازی با کابل	۱۸۳کیلونیوتون

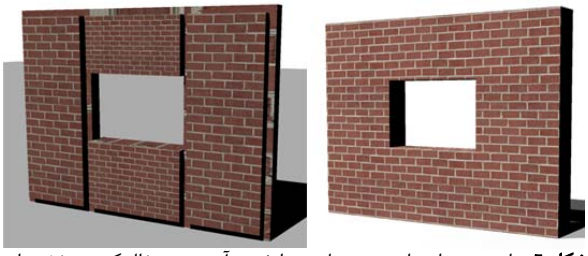
جزییات مقاوم‌سازی دیوار توسط کابل: برای تبیین و توضیح ایده، دیوار بنایی غیرمسلح که بازشویی در آن تعبیه شده است را در نظر می‌گیریم (شکل ٦، راست). برای تبدیل دیوار بنایی غیرمسلح به دیوار بنایی مسلح و رفتار سازه‌ای مناسب در برابر نیروی زلزله، در ابتدا چهار طرف دیوار (قسمت فوقانی، تحتانی و طرفین) و نیز طرفین بازشو را همانند شکل ٦، چپ برای قراردادن نبشی فولادی و کابل‌های عمودی را تا حد مورد نظر خالی می‌کنیم. بخش خالی‌شده افقی دیوار برای قراردادن نبشی‌های فولادی و بخش‌های خالی‌شده عمودی جهت عبور غلاف‌ها و کابل‌های فولادی است. سپس نبشی‌های فوقانی دو سمت دیوار را توسط میله‌گردهای افقی در فواصل منظم به یکدیگر یکپارچه می‌کنیم. همین روند را برای قسمت تحتانی دیوار نیز انجام می‌دهیم (شکل ۷، راست). نبشی‌های تحتانی را توسط صفحه و بولت‌هایی به پی‌های بتنی که توسط میله‌گردهایی مسلح شده است، متصل می‌کنیم. این امر سبب می‌شود تا دیوار فوق در برابر نیروهای جانبی به‌صورت طره‌ای عمل کند (شکل ۷، چپ).

سپس نبشی‌های فوقانی و تحتانی دیوار را توسط کابل‌ها در گوشه‌های دیوار و اطراف بازشوها به یکدیگر متصل می‌کنیم. برای انجام این کار، ابتدا غلاف‌هایی را در قسمتی از دیوار که از قبل خالی شده است، برای عبور کابل‌ها قرار می‌دهیم. غلاف‌ها اندکی از قطر کابل‌ها بیشتر هستند تا اینکه اجازه حرکت آزادانه کابل‌ها را بدهند و نیز از تماس کابل‌ها با رطوبت و املاح شیمیایی به‌طور مستقیم، جلوگیری کنند (شکل ۸). با اتصال مناسب کابل‌ها به نبشی‌ها و کشیدن کابل‌ها به‌صورت همزمان، این دیوار به‌صورت پیش‌تنیده در می‌آید. بدین صورت، دیوار بنایی غیرمسلح به یک دیوار برشی مسلح‌شده با کابل تبدیل می‌شود. دیوار فوق، به‌سبب اتصال مناسب به زمین توسط پی به‌صورت طره‌ای عمل می‌کند و نیز می‌تواند به‌سبب مهاربندی و پیش‌تنیدگی توسط کابل‌ها از ایجاد ترک‌های عمیق و خرابی کل سازه در برابر نیروی جانبی زلزله تا حد قابل قبولی ممانعت به عمل آورد.

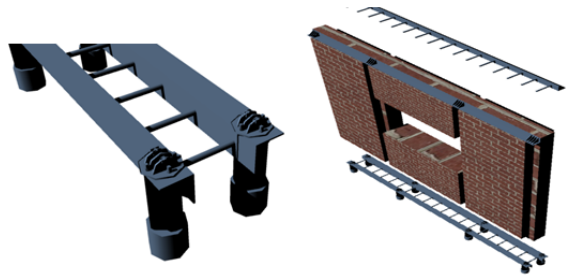
در محل اتصال کابل‌های عمودی به نبشی‌های فولادی فوقانی و تحتانی از لچکی‌هایی (مثلثی‌های فولادی) برای مقابله با تمرکز تنش ناشی از کشش کابل‌ها مقابله می‌شود. به عبارت دیگر، لچکی‌ها سبب تقویت نبشی‌های فولادی در محل اتصال کابل‌ها می‌شوند (شکل ۹، راست). یکی از نکاتی که باید توجه شود این است که کابل‌ها ممکن است پس از مدتی به دلایل مختلف از جمله انبساط ناشی از تنش‌های حرارتی و نیز بارهای وارده کمی شل شوند. چرخاندن "استوانه تنظیم طول" در انتهای هر کابل این امکان را فراهم می‌کند تا میزان کشیدگی کابل‌ها در هر زمانی تنظیم شود. به عبارت دیگر، امکان پیش‌تنیدگی مجدد کابل‌ها نیز وجود دارد. پی‌های نقطه‌ای در راستای کابل‌های عمودی قرار می‌گیرند تا تنش ناشی از کشیدگی کابل‌ها را به‌طور مستقیم دریافت کنند و به زمین منتقل نمایند (شکل ۹، چپ).

در پایان مراحل مقاوم‌سازی دیوار، تمامی محل‌های کنده‌کاری و خالی‌شده را می‌توان با مصالح مورد نظر پر کرد. تمامی عناصر تقویتی در درون دیوار قرار گرفته و از چشم ناظر مخفی می‌شوند. شکل ۱۰ تصویر سه‌بعدی از نحوه قرارگیری و اتصال عناصر سازه‌ای تقویت‌کننده که در درون دیوار بنایی قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد. برای اتصال دیوارهایی که در کنج به یکدیگر می‌رسند، نبشی‌های فوقانی و تحتانی هر یک از آنها را می‌توان با تسمه‌های اتصال به یکدیگر متصل نمود. این امر سبب می‌شود تا عنصر یکپارچه سازه‌ای مستحکم‌تری ایجاد شود. همچنین به‌دلیل عملکرد جعبه‌ای آن‌ها، دیوارها را در برابر نیرو های خارج از صفحه مقاوم‌تر می‌کند و از واژگونی آنها تا حد زیادی در حین زلزله جلوگیری به عمل می‌آورد (شکل ۱۱). عناصر مقاوم‌سازی می‌توانند پس از اتمام کار به‌صورت مناسبی در داخل دیوار مخفی شوند. حفره کوچکی در پایین دیوار برای پیش‌کشیدگی مجدد کابل‌ها در مواقع مورد نیاز تعبیه می‌شود (شکل ۱۲).

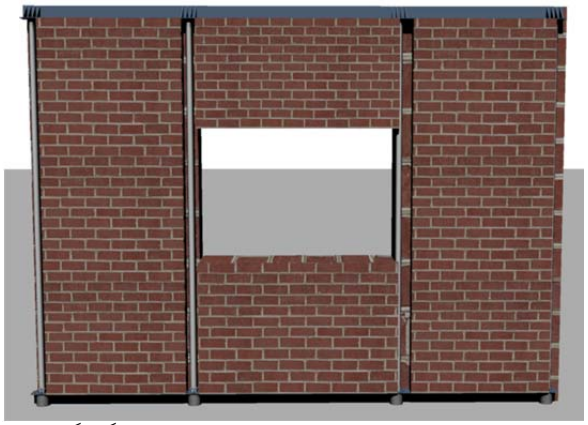
شیوه مقاوم‌سازی فوق را می‌توان در یک بنای دو طبقه هم اعمال نمود. همان طور که در شکل ۱۳ مشخص است، با اتصال نبشی‌های فوقانی دیوار طبقه پایین به نبشی‌های تحتانی دیوار طبقه بالا، توسط ورقه‌ها یا تسمه‌های فولادی، دیوارهای طبقات به‌طور مناسبی به یکدیگر پیوسته و یکپارچه می‌شوند.



شکل ٦) راست: دیوار بنایی غیرمسلح و بازشوی آن؛ چپ: خالی‌کردن بخش‌های فوقانی، تحتانی و طرفین دیوار و بازشو برای جانمایی عناصر مقاوم‌سازی (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۷) راست: نحوه قرارگیری نبشی‌های فولادی و اتصال طرفین دیوار توسط میله‌گردهای افقی؛ چپ: اتصال نبشی زیرین به پی نقطه‌ای توسط صفحه و بولت (ترسیم: نگارندگان)



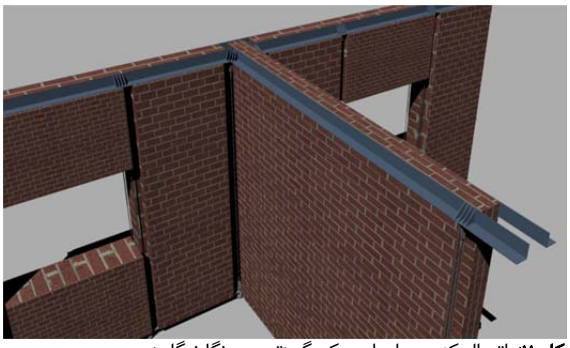
شکل ۸) قراردادن غلاف‌های عمودی برای عبور کابل‌ها (ترسیم: نگارندگان)

www.SID.ir

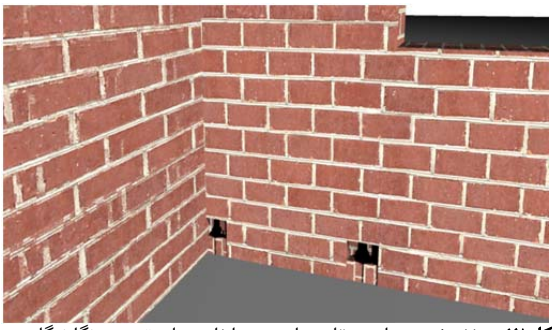
Archive of SID

شکل ۹) راست: لچکی‌ها برای تقویت نبشی‌ها در محل اتصال کابل‌ها؛ چپ: استوانه تنظیم‌کننده طول کابل‌ها. (ترسیم: نگارندگان)

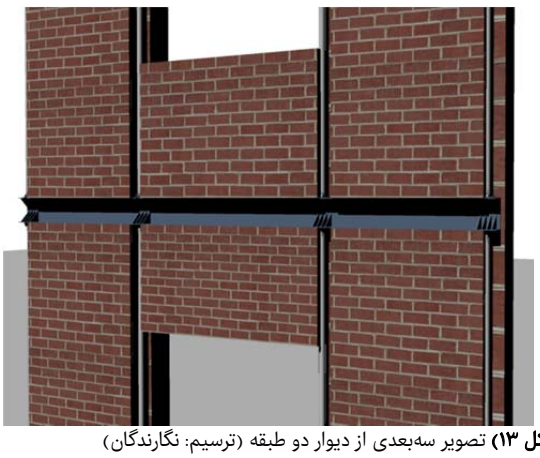
شکل ۱۰) جزییات قرارگیری عناصر مقاوم‌سازی (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۱۱) اتصال کنج دیوارها به یکدیگر (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۱۲) مخفی‌شدن عناصر مقاوم‌سازی در داخل دیوار (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۱۳) تصویر سه‌بعدی از دیوار دو طبقه (ترسیم: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

سازه‌های آجری سهم بسیار زیادی از ساختمان‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. این سازه‌ها دارای وزن زیاد، مقاومت و شکل‌پذیری پایینی هستند. لذا در مقابل زلزله بسیار آسیب‌پذیر بوده و باید تقویت شوند. امروزه با پیشرفت فناوری مصالح و ساخت، راه حل‌های زیادی برای مقاوم‌سازی دیوارهای آجری غیرمسلح ارایه می‌شود. هر یک از این روش‌ها، دارای محاسن و معایب خاص خود در مسایل اقتصادی، مدت زمان و شیوه اجرا است. یکی از نکات اساسی در مقاوم‌سازی یک بنا، ایجاد کمترین تصرف در ساختمان است که این مهم در ساختمان‌های تاریخی بسیار حایز اهمیت است. در این مقاله سعی شده است، شیوه‌ای برای مقاوم‌سازی دیوارهای آجری غیرمسلح با بهره‌گیری از فناوری کابل‌های فولادی ارایه داده شود. تحلیل محاسباتی و نیز نرم‌افزاری نشانگر افزایش ۱۵درصدی مقاومت برشی در دیوار مقاوم‌سازی‌شده با کابل در مقایسه با دیوار معمولی است.

به‌طور کلی، در این روش سعی شده است تا علاوه بر کاهش معایب شیوه‌های پیشین، اهداف زیر نیز در نظر گرفته شود:

- در این روش، با بکارگیری فناوری نوین، کمترین نیاز به عملیات تخریب در ساختمان جهت مقاوم‌سازی است.
- پس از تکمیل مراحل مقاوم‌سازی، تمام عناصر مقاوم‌سازی می‌توانند در سازه دیوار مخفی شوند.
- در این روش، امکان پیش‌کشیدگی مجدد کابل‌ها پس از مقاوم‌سازی هم وجود دارد و می‌توان در بازه‌های زمانی معین به‌راحتی آن را کنترل کرد.
- پس از تکمیل مقاوم‌سازی، به‌دلیل استفاده از کابل به‌عنوان عنصر اصلی، وزن و حجم دیوار تغییر چندانی نمی‌کند.
- در مقاوم‌سازی با استفاده از فناوری کابل‌های فولادی، دیوارهای ساختمان به‌طور عمده به‌صورت فشاری عمل می‌کنند و کابل‌ها، کشش حاصل از نیروی جانبی زلزله را تحمل می‌کنند.
- استفاده از سیستم کابل پیشنهادی در هر دو طرف دیوار، سبب ایجاد مقاومت بیشتر در برابر نیروهای خارج از صفحه به‌سبب افزایش مقاومت برشی دیوار می‌شود.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان ذکر نشده است.

تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان ذکر نشده است.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان ذکر نشده است.

سهم نویسندگان: مازیار آصفی (نویسنده اول)، روش‌شناس/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۲۰%)؛ مجید احمدنژاد کریمی (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۸۰%).

منابع مالی: : موردی از سوی نویسندگان ذکر نشده است.

منابع

1- Merrill SR. Microfinance for housing; assisting the bottom billion and the missing middle. Urban Inst Cent Int Dev Gov. 2009.

2- Eftekhari AR, Fatahi A, Hajipoor M. Spatial distribution assessment quality of life (QOL) in rural areas (case study: central part of city Delfan). J Rural Res. 2011;2(6):69-94. [Persian]

3- Hadian MH, Sartipipur M. Seismic safety process of historical contexts. J Fine Art Archit Urban. 2013;18(3):53-68. [Persian]

4- Ablaghi AR, Sahraee AR. Rusty texture in urban and rural settlements and earthquake hazards. J Urban Dev

www.SID.ir

Archive of SID

Organ Haftshahr. 2005; 17(1):30-43. [Persian]
5-United Nations Development Programme. Reducing disaster risk, A challenge for Development [Internet]. Buffalo Grove IL: John S Swift Co; 2004 [cited 2014 Jul 10]. Available from: http://www.planat.ch/fileadmin/PLANAT/planat_pdf/alle_2012/2001-2005/Pelling_Maskrey_et_al_2004_Reducing_Disaster_risk.pdf
6- Houser G, Engennig PC. Risk Analysis. Oakland: Earthquake Research Institute; 1993.
7- Ahmadi A, Mojarrdi Gh, Badsar M. Analyzing the effects of improvement and rural housing rehabilitation plan on the quality of life of residents of Urmia rural areas. J Environ Sci Stud. 2017;2(2):433-45. [Persian]
8- Dimitrokali E, Rusdy H, Joe H. Sustainable conservation and façade retention developments in historic cities. Proceedings the 16th annual international sustainable development research conference; 2010 May; Hong Kong: The Kadoorie Institute.
9- Asefi M, Radmehr M. Improvement of physical heritage in the field of technical and architectural restoration with the approach of understanding the two views. J Stud Iran Islam City. 2013;16:29-41. [Persian]
10- Tomaževic M. Heritage masonry buildings and reduction of seismic risk: the case of Slovenia. Dordrecht: Springer; 2010.
11- Husseini KH, Abbasnia R. Investigation of masonary wall modeling methods using finite element analysis. Int J Road Build. 2009;12-21. [Persian]
12- Tavares A, Costa A, Varum H. Adobe and modernism in Ílhavo, Portugal. Int J Archit Heritage. 2012;6(5);525–41.
13- Asefi M, Imani E. Evaluation of the challenges of the application of new technologies in architecture: the interaction with Iran's Islamic architectural values. J Bagh-E-Nazar. 2012;9(21):21-34. [Persian]
14- Hannachi P, Darab D. Mahdavinejad MJ. Protection and development in Iran. J Fine Art Urban. 2007;32(32):51-60. [Persian]
15- Dann N, Cantell T. Maintenance in conservation. In: Forsyth, editor. Understanding historic building. Oxford: Blackwell; 2007.
16- Forsyth M. The past is the future. In: Forsyth, editor. Understanding historic building. Oxford: Blackwell; 2007.
17- Gesualdo A, Monaco M. Seismic retrofitting techniques for existing masonry buildings. J Civ Eng Archit. 2011;5(11):1011-8.
18- Guh T. J and Altoontash A. Seismetic retrofit of historic building structures. The 8th U.S. National Conference on earthquake engineering. California: Curran Associates Inc; 2006.
19- Golabchi M, Javani Dizaji A. Iranian architecture technology. Jahani Noogh M, editor. Tehran: University of Tehran; 2013. [Persian]
20- Feilden MB. Conservation of historic buildings. London: Routledge; 2003.
21- Pye E. Caring For the Past: Issues in conservation for archeology and museums. London: James & James; 2001.
22- Villers C. Post minimal intervention. Conserv. 2004;28(1):3-10.
23- Charleson A. Seismic design for architects: Outwitting the quake. Amsterdam: Architectural Press; 2008.
24- Figueiredo A, Varum H, Costa A, Silveira D, Oliveira C. Seismic retrofitting solution of an adobe masonry wall. Mater Struct. 2013;46(1-2):203-19.
25- Chakrabarti A, Menon D, Sengupta AK. Handbook of seismic retrofit of buildings. Oxford: ALpha Science International LimiteD; 2007.

www.SID.ir