



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

¹Architecture 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 masonry 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] Seismic 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

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 سازه‌های 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 از بین بردن بسیاری از معایب شیوه‌های پیشین و نیز با در نظر گرفتن 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 به دلیل تنوع آب و هوایی در هر منطقه از کشور، به شیوه‌های مختلفی ساخته می‌شوند. به دلیل 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 قرار گرفته، بهبود کیفیت مسکن 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 ۶٪ تلفات دنیا است [4]، به طوری که در گزارش دفتر برنامه‌ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۳، ایران رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر 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 ۳ دهه 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 ارائه دهد که برخی از معایب شیوه‌های گذشته را تا حد امکان رفع نماید. این مقاله در پی ارائه 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 به دلیل اینکه مصالح خشتی در برابر فشار بسیار ضعیف‌تر از آجر عمل می‌کند، کاربرد ندارد.

به‌طور کلی سؤال 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

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 به دلیل شکننده‌بودن مصالح، وزن سنگین دیوارها و سقف‌ها 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 به دلیل غیرمسلح‌بودن و نبود کلاف‌های افقی و قائم باعث تخریب بنا می‌شود. تاکنون راه‌حل‌های 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 راه‌حل‌های مقاوم‌سازی و بهسازی اشاره شده است:

- مقاوم‌سازی با استفاده از تقویت‌کننده‌های عمودی و افقی (میله‌گردها)

- مقاوم‌سازی با تزریق اپوکسی برای پرکردن ترک‌ها

- مقاوم‌سازی با تدابیر ویژه سازه‌ای شامل ایجاد عناصر سازه‌ای دیگر در بنا همانند پشت‌بند

- مقاوم‌سازی توسط مصالح تقویت‌شده با الیاف پلیمری یا الیاف طبیعی

- مقاوم‌سازی 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 سازه‌های 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]

و لرزه‌ای آن دست یافت؟

رفتار لرزه‌ای ساختمان آجری غیرمسلح: در ساختمان‌های آجری غیرمسلح به علت 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 تأثیر می‌گذارند. این تأثیر 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

ساختمان در حین مقاوم سازی نیاز داشته باشد.
 - این روش طوری طراحی شده است که بعد از انجام آن، تمامی عناصر اضافی برای مقاوم سازی ساختمان، در کالبد موجود ساختمان خللی وارد نمی کنند، زیرا اکثر عناصر در این سیستم، در داخل جداره ساختمان پنهان می شوند.
 - پس از اجرای عملیات، به دلیل استفاده از عناصر کابلی سبک وزن برای مقاوم سازی، می توان گفت که چندان وزن اولیه ساختمان افزایش نمی یابد.
 - سهولت اجرای این سیستم، از دیگر مزیت های این شیوه است.

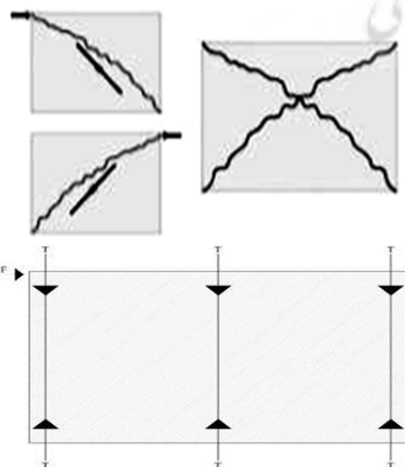


شکل ۲) مقاوم سازی با استفاده از الیاف [23]



شکل ۳) تشکیل ترک های قطری ایجاد شده در دیوار مصالح بنایی غیر مسلح [23]

محاسبات دیوار آجری مسلح با کابل: اگر دیوار بنایی غیرمسلح را توسط کابل هایی مسلح کنیم، این امر از ایجاد ترک قطری در اثر نیروی زلزله تا حد زیادی ممانعت به عمل می آورد. به عبارت دیگر هر یک از کابل های فوق، از شکافته شدن دیوار به سبب ترک قطری جلوگیری خواهند کرد و سبب افزایش مقاومت دیوار مسلح با کابل در برابر نیروی جانبی زلزله می شود. در نهایت مهاربندی دیوار توسط کابل های سبک می تواند به صورت عمودی باشد تا در مقابل ترک خوردگی و تخریب دیوار در برابر نیروی جانبی زلزله در شرایط رفت و برگشتی مقاومت کند. این کابل های مهاربندی، دیوار بنایی را توسط نیروی کششی تنیده می کنند. این امر باعث می شود تا دیوار به صورت فشرده و متراکم تبدیل شده و در برابر نیروی جانبی به صورت فشاری مقابله کند. از سوی دیگر، کابل ها به صورت کششی در برابر این نیرو مقاومت می کنند و از ایجاد ترک کششی (ناشی از ضعف مصالح در برابر کشش) در سطح دیوار جلوگیری به عمل می آورند (شکل ۴). به عبارت دیگر، دیوار دچار نیروی کششی زیادی نمی شود و کابل ها نیروهای کششی را تحمل می کنند.



شکل ۴) بالا: دیوار بنایی غیرمسلح و ترک قطری در اثر کشش برشی ناشی از نیروی جانبی زلزله؛ پایین: مهاربندی دیوار خشتی مسلح توسط کابل های عمودی برای جلوگیری از ایجاد ترک قطری (ترسیم: نگارندگان)

به طور کلی، آنچه که در شیوه های مقاوم سازی حایز اهمیت است، کم هزینه بودن اجرا و نیز کمترین حجم تخریب در حین مقاوم سازی است. همچنین طیف مداخله در مقاوم سازی بنا، از کمترین میزان مداخله تا ساخت مجدد بخشی یا کل بنا را در بر می گیرد [20]. حداقل مداخله بیش از آنکه یک اصل باشد، رویکرد و آرمانی در عرصه حفاظت تلقی می شود [21-23].

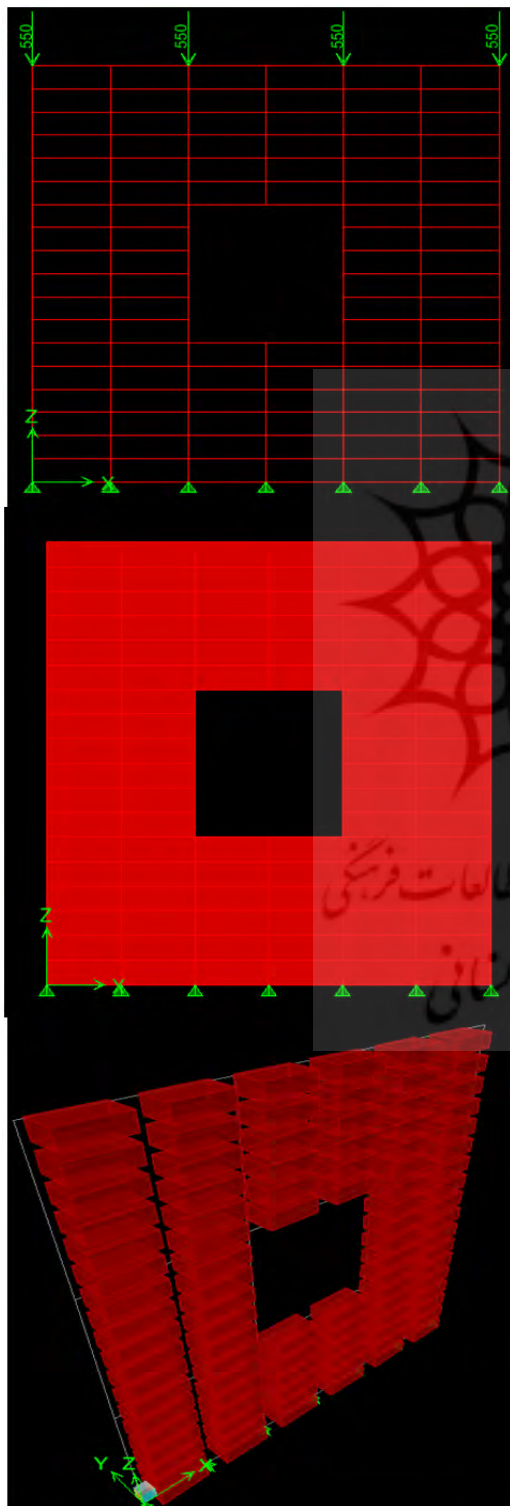
کلیات طرح و ایده مقاوم سازی: ایده کلی طرح استفاده از نبشی فولادی و کابل های تنیده، برای تبدیل دیوار بنایی غیرمسلح به دیوار مسلح و کاربرد آن به مثابه دیوار سازه ای است. با توجه به این پیشنهاد، گزینه مقاوم سازی مورد نیاز برای جلوگیری از گسست دیوارهای متعامد، شامل ارکان زیر است:

۱- مقاوم سازی در برابر جداشدگی دیوارهای متعامد از یکدیگر (توسط اتصال نبشی های فولادی)
 ۲- مقاوم سازی در برابر بازشدگی ترک های درون صفحه ای دیوارها به سبب کشش قطری ناشی از برش (با افزایش مقاومت برشی دیوار توسط کابل های عمودی)
 دیوارهای بنایی غیرمسلح در برابر نیروی جانبی، به ویژه زلزله، به سبب ضعف عمده این مصالح در کشش، ناکارآمد هستند. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، هنگامی که دیوارهای بنایی در معرض نیروی جانبی زلزله قرار می گیرند، به دلیل عدم مسلح شدن آنها توسط عناصر کششی، دچار ترک هایی از جمله ترک های قطری به دلیل نیروی کششی ناشی از برش در سطح دیوار می شوند [24].
 به دلیل ضعف عمده مصالح بنایی در برابر نیروی کششی و نیز با حرکت رفت و برگشتی نیروی جانبی زلزله و با شدت یافتن نیروی برون صفحه ای ناشی از زلزله، این امر تسریع می شود، تا آنجا که در نهایت سبب ریزش تمام یا بخشی از دیوار خواهد شد [25].

روش مهاربندی با کابل می تواند به عنوان ایده ای برای مقاوم سازی دیوار با مصالح بنایی به خصوص ساختمان های قدیمی و روستایی باشد. اگر این دیوارها به شکل مناسبی به پایه (زمین) متصل شوند، می توان گفت که این نوع مهاربندی سبب خواهد شد که دیوار در برابر نیروی جانبی زلزله تا حد مطلوبی به مثابه دیوار برشی طره ای عمل کند. از آنجا که لازم نیست دیوارهای برشی در تمام بخش های ساختمان قرار گیرد [23]، در نتیجه با مسلح کردن تعدادی از دیوارهای فوق در راستای طولی و عرضی و جانمایی مناسب آنها در پلان طرح، می توان مقاومت کل ساختمان را در برابر زمین لرزه تا حدود قابل قبولی افزایش داد. در مقاوم سازی و بهسازی ساختمان بنایی غیرمسلح مورد نظر، علاوه بر افزایش مقاومت ساختمان در برابر زلزله، اهداف زیر نیز به عنوان مزیت های این روش در نظر گرفته شده است:

- استفاده از روشی که به کمترین عملیات تخریب عناصر موجود

ارایه الگویی جهت مقاومسازی دیوارهای آجری غیرمسلح با استفاده از فناوری کابل‌های فولادی ۱۹۱ مقدار مقاومت برشی به دست آمده توسط نرم افزار که به صورت عددی این مقدار را به دست می‌دهد برابر ۱۸۶ کیلونیوتن است که نشان از درستی مدل انجام شده 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 ۵۵۰ کیلونیوتن در هر متر طول (که در دیوار پیشنهادی با سیستم شرح داده شده 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 مدل شده در نرم افزار SAP

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

الف) مشخصات مصالح مصرفی

مشخصات آجر مدل شده:

چگالی ۱۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب
مدول الاستیسیته ۲۰۰۰ مگاپاسکال
ضریب پواسن ۰.۱۵
مقاومت فشاری ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب

مشخصات ملات مدل شده:

چگالی ۲۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب
مدول الاستیسیته ۷۰۰ مگاپاسکال
ضریب پواسن ۰.۲
مقاومت فشاری ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب

مشخصات دیوار آجری پیشنهادی (با ۳۰٪ ملات):

چگالی ۱۹۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب
مدول الاستیسیته ۱۶۱۰ مگاپاسکال
ضریب پواسن ۰.۱۶۵
مقاومت فشاری ۲۳.۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب

مشخصات دیوار مدل شده:

عرض ۳ متر
ارتفاع ۳ متر
ضخامت ۳۰ سانتی‌متر
ابعاد باز شو: ۱*۱ متر
درصد باز شو: 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)

$$V_c = 0.2 \Phi_c \sqrt{f_c} b \cdot d$$

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

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

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

$$V_c = 0.2 \Phi_c \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \cdot \left(1 + \frac{N}{12A}\right)$$

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

$$V_c = 0.2 \Phi_c \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \cdot \left(1 + \frac{N}{12A}\right) = 0.2 * 0.65 * \sqrt{23.8} * 1000 * 0 * 250 * \left(1 + \frac{550 * 1000}{12 * 1000 * 300}\right) = 183 \text{ Kn}$$

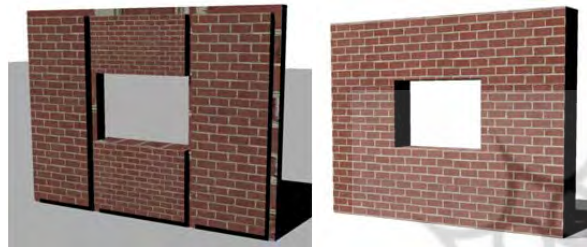
که نشانگر افزایش بیش از ۱۵ درصدی مقاومت برشی دیوار پیشنهادی نسبت به دیوار عادی است.

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

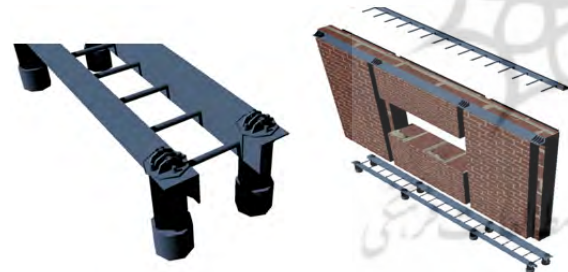
مقاومت برشی	نوع دیوار
۱۵۸ کیلونیوتون	دیوار آجری قبل از مقاومت سازی
۱۸۳ کیلونیوتون	دیوار آجری بعد از مقاومت سازی با کابل

تقویت کننده که در درون دیوار بنایی قرار می گیرند را نشان می دهد. برای اتصال دیوارهایی که در کنج به یکدیگر می رسند، نبشی های فوقانی و تحتانی هر یک از آنها را می توان با تسمه های اتصال به یکدیگر متصل نمود. این امر سبب می شود تا عنصر یکپارچه سازه ای مستحکم تری ایجاد شود. همچنین به دلیل عملکرد جعبه ای آن ها، دیوارها را در برابر نیرو های خارج از صفحه مقاوم تر می کند و از واژگونی آنها تا حد زیادی در حین زلزله جلوگیری به عمل می آورد (شکل ۱). عناصر مقاوم سازی می توانند پس از اتمام کار به صورت مناسبی در داخل دیوار مخفی شوند. حفره کوچکی در پایین دیوار برای پیش کشیدگی مجدد کابل ها در مواقع مورد نیاز تعبیه می شود (شکل ۱۲).

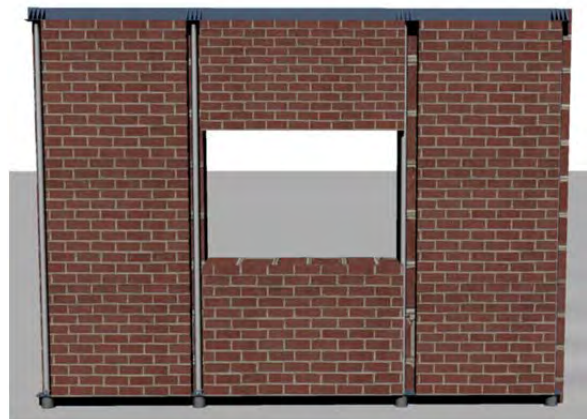
شیوه مقاوم سازی فوق را می توان در یک بنای دو طبقه هم اعمال نمود. همان طور که در شکل ۱۳ مشخص است، با اتصال نبشی های فوقانی دیوار طبقه پایین به نبشی های تحتانی دیوار طبقه بالا، توسط ورقه ها یا تسمه های فولادی، دیوارهای طبقات به طور مناسبی به یکدیگر پیوسته و یکپارچه می شوند.



شکل ۶) راست: دیوار بنایی غیرمسلح و بازشوی آن؛ چپ: خالی کردن بخش های فوقانی، تحتانی و طرفین دیوار و بازشو برای جانمایی عناصر مقاوم سازی (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۷) راست: نحوه قرارگیری نبشی های فولادی و اتصال طرفین دیوار توسط میله گردهای افقی؛ چپ: اتصال نبشی زیرین به پی نقطه ای توسط صفحه و بولت (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۸) قراردادن غلاف های عمودی برای عبور کابل ها (ترسیم: نگارندگان)

جزئیات مقاوم سازی دیوار توسط کابل: برای تبیین و توضیح ایده، دیوار بنایی غیرمسلح که بازشویی در آن تعبیه شده است را در نظر می گیریم (شکل ۶، راست). برای تبدیل دیوار بنایی غیرمسلح به دیوار بنایی مسلح و رفتار سازه ای مناسب در برابر نیروی زلزله، در ابتدا چهار طرف دیوار (قسمت فوقانی، تحتانی و طرفین) و نیز طرفین بازشو را همانند شکل ۶، چپ برای قراردادن نبشی فولادی و کابل های عمودی را تا حد مورد نظر خالی می کنیم. بخش خالی شده افقی دیوار برای قراردادن نبشی های فولادی و بخش های خالی شده عمودی جهت عبور غلاف ها و کابل های فولادی است. سپس نبشی های فوقانی دو سمت دیوار را توسط میله گردهای افقی در فواصل منظم به یکدیگر یکپارچه می کنیم. همین روند را برای قسمت تحتانی دیوار نیز انجام می دهیم (شکل ۷، راست). نبشی های تحتانی را توسط صفحه و بولت هایی به پی های بتنی که توسط میله گردهایی مسلح شده است، متصل می کنیم. این امر سبب می شود تا دیوار فوق در برابر نیروهای جانبی به صورت طره ای عمل کند (شکل ۷، چپ).

سپس نبشی های فوقانی و تحتانی دیوار را توسط کابل ها در گوشه های دیوار و اطراف بازشوها به یکدیگر متصل می کنیم. برای انجام این کار، ابتدا غلاف هایی را در قسمتی از دیوار که از قبل خالی شده است، برای عبور کابل ها قرار می دهیم. غلاف ها اندکی از قطر کابل ها بیشتر هستند تا اینکه اجازه حرکت آزادانه کابل ها را بدهند و نیز از تماس کابل ها با رطوبت و املاح شیمیایی به طور مستقیم، جلوگیری کنند (شکل ۸). با اتصال مناسب کابل ها به نبشی ها و کشیدن کابل ها به صورت همزمان، این دیوار به صورت پیش تنیده در می آید. بدین صورت، دیوار بنایی غیرمسلح به یک دیوار برشی مسلح شده با کابل تبدیل می شود. دیوار فوق، به سبب اتصال مناسب به زمین توسط پی به صورت طره ای عمل می کند و نیز می تواند به سبب مهاربندی و پیش تنیدگی توسط کابل ها از ایجاد ترک های عمیق و خرابی کل سازه در برابر نیروی جانبی زلزله تا حد قابل قبولی ممانعت به عمل آورد.

در محل اتصال کابل های عمودی به نبشی های فولادی فوقانی و تحتانی از لچکی هایی (مثلثی های فولادی) برای مقابله با تمرکز تنش ناشی از کشش کابل ها مقابله می شود. به عبارت دیگر، لچکی ها سبب تقویت نبشی های فولادی در محل اتصال کابل ها می شوند (شکل ۹، راست). یکی از نکاتی که باید توجه شود این است که کابل ها ممکن است پس از مدتی به دلایل مختلف از جمله انبساط ناشی از تنش های حرارتی و نیز بارهای وارده کمی شل شوند. چرخاندن "استوانه تنظیم طول" در انتهای هر کابل این امکان را فراهم می کند تا میزان کشیدگی کابل ها در هر زمانی تنظیم شود. به عبارت دیگر، امکان پیش تنیدگی مجدد کابل ها نیز وجود دارد. پی های نقطه ای در راستای کابل های عمودی قرار می گیرند تا تنش ناشی از کشیدگی کابل ها را به طور مستقیم دریافت کنند و به زمین منتقل نمایند (شکل ۹، چپ).

در پایان مراحل مقاوم سازی دیوار، تمامی محل های کنده کاری و خالی شده را می توان با مصالح مورد نظر پر کرد. تمامی عناصر تقویتی در درون دیوار قرار گرفته و از چشم ناظر مخفی می شوند. شکل ۱۰ تصویر سه بعدی از نحوه قرارگیری و اتصال عناصر سازه ای

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، راه‌حل‌های 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 ۱۵ درصدی مقاومت برشی در دیوار مقاوم‌سازی شده 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 به راحتی آن را کنترل کرد.

- پس از تکمیل مقاوم‌سازی، به دلیل 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.

تأییدیه 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

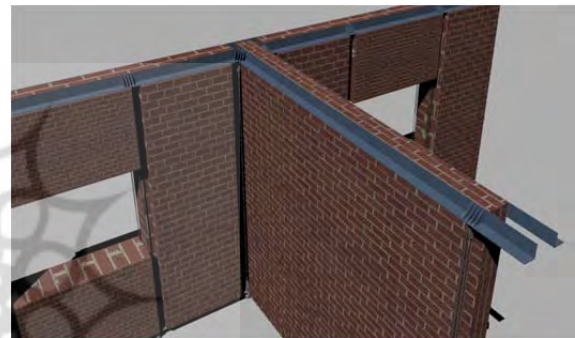
- 1- Merrill SR. Microfinance for housing; assisting the bottom billion and the missing middle. Urban Inst Cent Int Dev Gov. 2009.
- 2- Eftekhari AR, Fatahi A, Hajipoor M. Spatial distribution assessment quality of life (QOL) in rural areas (case study: central part of city Delfan). J Rural Res. 2011;2(6):69-94. [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



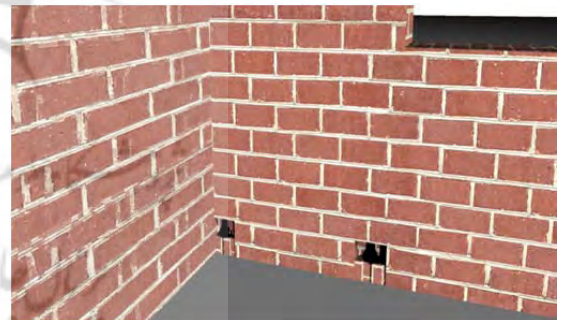
شکل ۹) راست: لچکی‌ها برای تقویت نبشی‌ها در محل اتصال کابل‌ها؛ چپ: استوانه تنظیم‌کننده طول کابل‌ها. (ترسیم: نگارندگان)



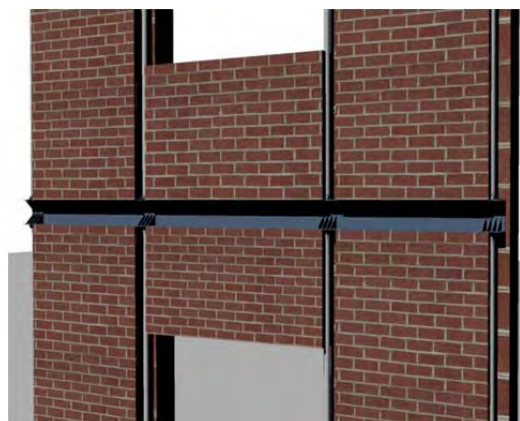
شکل ۱۰) جزئیات قرارگیری عناصر مقاوم‌سازی (ترسیم: نگارندگان)



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



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



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

- Bagh-E-Nazar. 2012;9(21):21-34. [Persian]
- 14- Hannachi P, Darab D. Mahdavejad 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. Seismic 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.
- 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, Mojarri 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 masonry 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*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی