Journal of Architecture in hot and dry climate

10th Year – No. 16- Fall and Winter 2022. pp:199-214

Original Research Article

An assessment of the modern and traditional methods of strengthening unreinforced brick structures from the viewpoints of experts in the field of restoration

Helia Vali[1], Fatemeh Mahdizadeh Saradj[2*], Sajad Moazen[3]

1- Master's student, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2- Professor, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
3- Assistant professor, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

:10.22034/AHDC.2023.19129.1691

Received:
October 28, 2022
Accepted:
March 19, 2023

Keywords:
Traditional methods, Modern methods, Consolidation, Un-reinforcement brick structures, SPSS software

Abstract

Architecture is one of the branches of art and civilization, which has long been the focus of people in different eras. Since historical buildings have been damaged for many years, they need to be consolidated with appropriate methods. So, various methods have been used for the stabilization of these buildings since long. Nowadays, it is crucial to minimize the amount of damage to the building during the restoration of historical buildings. Therefore, this research aims to analyze the methods of strengthening brick buildings based on international charters and conventional methods of reinforcement in the world. Indeed, the research was done to answer questions such as "Which of these methods is more suitable for the restoration of unreinforced brick buildings?" and "Which technique is more compatible with the materials of masonry structures?". This article is based on the survey-descriptive method along with statistical analysis by the SPSS software. Also, the study uses library sources to gather data to investigate new and old consolidation methods. In this regard, first, a questionnaire regarding traditional and common reinforcing methods was prepared. It included the use of wooden piles and micro-piles, the implementation of gunite and shotcrete methods with today's modern techniques as well as using all kinds of geosynthetics, composites and polymer meshes with different mortars. Then, with the aim of determining the degree of compliance of each method with criteria such as the level of need for expert staff, the degree of coordination in colour and texture, reversibility and the minimum intervention, the questionnaire was presented to experts in the field of restoration. The findings of the research showed that the traditional methods, such as the implementation of buttresses and wooden shores, are more compatible with masonry structures due to the harmony of the materials and often due to their high reversibility. Moreover, traditional methods are not able to guarantee the stability of the building over time, so modern methods such as geogrids and the use of modern mesh mortars are suitable replacements for these methods.

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

* **Corresponding author:** Fatemeh Mahdizadeh Saradj Email: mehdizadeh@iust.ac.ir

Address: Tehran. School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology.

Extended Abstract

1. Introduction

One of the important and fundamental issues in the preservation of historical buildings in a country located in a region with high seismic risks is the seismic strengthening of these buildings while maintaining their original appearance. Since the retrofitting of a historical building must take into account the preservation of its historical appearance, retrofitting faces many problems. To cope with this problem, in the category of strengthening historical buildings, hidden strengthening systems should be used as much as possible to prevent damage to the historical effect and the main value of the building. A non-reinforced brick building is briefly introduced, and then these methods are compared through a questionnaire by the expert-determined criteria. In fact, this research has been done to compare common and modern strengthening methods and determine the quality of each according to the criteria extracted from international charters. What has been discussed in the previous research is the introduction of each of the strengthening methods separately. In some cases, the impact of a strengthening method on the historical building is discussed. Due to the lack of a comprehensive comparison of traditional methods and the use of modern materials as well as the lacking evaluation of each technique's adherence to international charters, it prompted this study to fill the gaps of previous studies while categorizing all the reinforcement methods of brick buildings from the past until now with special attention to historical brick buildings, comparing and examining each technique according to criteria such as the degree of harmony in colour and texture, reversibility, the least damage to original materials and minimum intervention. It should be noted that this comparison was made by taking into account the views of experts in the field of building restoration.

2. Research Methodology

In this research, the reinforcement methods and techniques of historical brick buildings have been investigated from the past to the present. In fact, the study is about the strengthening methods of brick buildings and has been conducted by choosing 17 different strengthening methods in two sections including the walls of masonry structures and the roof covering of vaults and domes. Therefore, this research is a survey and descriptive one for which a researcher-made questionnaire containing 68 questions in 4 sections is used. The questionnaire consists of a survey about 17 different methods of strengthening arches, vaults and domes, which have been used by restorers in different parts of the building for the purpose of strengthening brick buildings. Since each of these techniques is implemented in different ways and each one has advantages and disadvantages, the items of the questionnaire are based on a five-point Likert scale, and the strengthening techniques are compared according to the four criteria of repeatability, minimum intervention, degree of harmony in colour and texture with original building materials and the need for master builders. For this purpose and with the aim of measuring the degree of conformity of each method with the established criteria, the experts involved in the field of building restoration were asked to give a score from 1 to 5 (very low to very high) for each method.

3. Results and discussion

The results of the survey indicate that traditional methods such as the use of various types of emergency shoring (metal and wooden) and the construction of the buttresses have no considerable effect on the beauty of the landscape and that they have minimal intervention with the building destruction rate. In most cases, however, they are temporary measures and are not used as a permanent method to ensure the stability of buildings in a long period of time. For this reason, over time and with the emergence of newer materials such as concrete and metal materials, restorers have used newer techniques such as micro-piles, reinforced concrete, shotcrete, gunite, and metal elements. In some cases, they have used pre-tensioned cables. Compared to the previous traditional methods, the modern ones have ensured the stability of the building over time and against various factors to some extent, but they contradict the provisions later proposed in the international charters. Currently, with the advancement of technology, it is common to use new materials such as geosynthetic elements and mesh-mortars with high reversibility and minimal intervention in the restoration of historical monuments in other countries.

4. Conclusion

Although modern reinforcement methods require more expert staff in this field than other methods, the stability of the building can be guaranteed for a longer period of time if they comply with the provisions of restoration charters, including less damage to the building and maximum preservation of the existing materials. Therefore, it is hoped that the use of these methods in the restoration of brick buildings will become common with the training of master builders in Iran.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* **Corresponding author:** Fatemeh Mahdizadeh Saradj Email: mehdizadeh@iust.ac.ir

Address: Tehran. School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology.

دوره ۱۰، شماره ۱۶، پاییز و زمستان ۱۴۰۱. صفحات ۱۹۹ تا ۲۱۴

مقاله پژوهشی

ارزیابی روش‌های نوین و سنتی استحکام‌بخشی سازه‌های آجری غیرمسلح از دیدگاه متخصصین حوزه مرمت

هلیا ولی[۱]، فاطمه مهدیزاده سراج[۲]*، سجاد موذن[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مرمت، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۲-استاد گروه مرمت، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۳-استادیار گروه مرمت، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت:
۶ آبان ۱۴۰۱
تاریخ پذیرش:
۲۸ اسفند ۱۴۰۱

چکیده

معماری یکی از شاخه‌های هنر و تمدن است که از دیرباز با مصالح و فنون متفاوت ساخت، مورد توجه انسان‌ها بوده است. از آن‌جا که بناهای تاریخی طی سالیان متمادی دچار آسیب گشته‌اند، نیازمند استحکام‌بخشی با روش‌هایی مناسب‌اند. در همین خصوص از دیرباز تا کنون از شیوه‌های مختلفی جهت پایداری این بناها استفاده شده است. اما آنچه امروزه اهمیت دارد عدم ایجاد محدودیت برای مداخلات آینده و کمترین میزان صدمه به بنا در هنگام مرمت است. لذا هدف این پژوهش تحلیل روش‌های مقاوم‌سازی بناهای آجری مبتنی بر منشورهای بین‌المللی و روش‌های مرسوم مقاوم‌سازی در دنیا است. این‌که کدامیک از این روش‌ها جهت مرمت بناهای آجری غیرمسلح مناسب‌تر بوده و کدام تکنیک با مصالح سازه‌های بنایی سازگارترند از جمله پرسش‌های این پژوهش است. این مقاله مبتنی بر روش پیمایشی – توصیفی درکنار تحلیل آماری توسط نرم‌افزار SPSS و پژوهش در متن و شیوه گردآوری اطلاعات کتابخانه‌ای است. در همین راستا ابتدا پرسش‌نامه‌ای متشکل از روش‌های سنتی و رایج استحکام‌بخشی شامل بهره‌گیری از شمع‌های چوبی، احداث پشت‌بند، استفاده از میکروپایل‌ها، اجرای روش گونیت و شاتکریت با تکنیک‌های نوین امروزی همچون بهره‌گیری از انواع ژئوسنتتیک‌ها، کامپوزیت‌ها و مش‌های پلیمری با ملات‌های گوناگون تهیه گردید؛ سپس با هدف تعیین میزان تطابق هر روش با معیارهایی از جمله میزان نیاز به نیروی متخصص، درجه هماهنگی در رنگ و بافت، برگشت‌پذیری و حداقل میزان مداخله در اختیار متخصصین حوزه مرمت قرار گرفت. در نهایت یافته‌های پژوهش نشان داد که شیوه‌های سنتی همچون اجرای پشت‌بند و شمع‌های چوبی به سبب هماهنگی در جنس مصالح از سنخیت بیشتری با سازه‌های بنایی برخوردار بوده و اغلب به دلیل بازگشت‌پذیری بالا و کمترین میزان آسیب به بنا اولویت بالاتری نسبت به روش‌هایی همچون گونیت، شاتکریت و استفاده از میکروپایل‌ها را دارا هستند. از طرفی، شیوه‌های سنتی توانایی تضمین پایداری بنا در گذر زمان را نداشته و از این جهت شیوه‌های مدرن همچون ژئوگریدها و استفاده از انواع مش و ملات‌ها می‌توانند جایگزینی مناسب برای این روش‌ها باشند.

کلیدواژه ها:
شیوه‌های سنتی، شیوه‌های نوین، استحکام‌بخشی، بناهای آجری غیرمسلح، نرم‌افزار SPSS

doi:10.22034/AHDC.2023.19129.1691

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نویسنده مسئول: فاطمه مهدیزاده سراج ، آدرس: تهران، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.
Email: mehdizadeh@iust.ac.ir

۱ مقدمه

یکی ازمسایل مهم و اساسی در حفظ بناهای تاریخی در یک کشور که در منطقه‌ای باخطر لرزه‌خیزی بالا قرار دارد، مقاوم‌سازی لرزه‌ای این بناها با حفظ ظاهر اصیل آن است. با توجه به اینکه مقاوم‌سازی یک بنای تاریخی باید با در نظر گرفتن حفظ ظاهر تاریخی آن صورت پذیرد، مقاوم‌سازی را با مشکلات زیادی مواجه می‌کند (Stratton, 1997). بدین منظور در مقوله مقاوم‌سازی بناهای تاریخی باید حتی‌الامکان از سیستم‌های مقاوم‌سازی پنهان بهره برد تا مانع از لطمه به اثر تاریخی و ارزش اصلی بنا گردد (Feilden, 2003). از طرفی ابنیه تاریخی برای ادامه بقای خود نیازمند بهسازی هستند. در همین راستا محافظت و بهسازی لرزه‌ای بناهای تاریخی با رویکرد تقویت، به مداخله کمتر نسبت به رویکرد ترمیم منتهی می‌شود (ابویی و همکاران، ۱۳۹۶). در راستای این امر، توصیه‌هایی که با عنوان اصول اخلاقی حفاظت مطرح می‌شود باید در نظر هر حفاظت‌گری به عنوان دستورالعمل‌های قاطع و صریح قلمداد شود (مهدیزاده سراج، ۱۳۹۳). عدم رعایت هر یک از این اصول به معنی خدشه دار شدن اصالت بنا و از بین رفتن بخشی از هویت و ماهیت یک اثر تاریخی می‌شود (بزرگمهر، ۱۳۹۴). لذا، باید حتی‌الامکان تمامی شواهد و مدارک موجود در بنا حفظ شده و مداخلات انجام شده در بنا موجب ایجاد محدودیت برای اقدامات آینده نگردد. از طرفی کمترین میزان آسیب به بنا در راستای حفاظت حداکثری از مصالح اصیل در کنار توجه به میزان هماهنگی مداخلات در رنگ و بافت با مصالح اصیل بنا از دیدگاه میزان تاثیر بر زیبایی منظر از جمله نکاتی است که باید بدان توجه نمود (Feilden, 2003). به‌طورکلی مداخلات حفاظتی در بنا باید پیکره کالبدی را به گونه‌ای بر پا نگه دارد که هیچ نیروی متعارفی نتواند ساختار بنا را از وضعیت تعادل خارج کند (فلامکی، ۱۳۹۵) و البته رعایت احترام به ارزش‌های اثر و حفظ مدارک موجود تا حدامکان برای مداخلات آینده نباید فراموش شود (Icomos, 2003). در ارتباط با بهره‌گیری از شیوه‌های جدید نیز باید بیان کرد که استفاده از مواد غیر سنتی، مانند کامپوزیت‌های پلیمری (FRP)[۲]، برای مقاوم‌سازی سازه‌های میراثی توسط منشورهای بین المللی مورد توجه قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که منشور ونیز (Icomos, 1964) بیان می‌کند که «در مواردی که تکنیک‌های سنتی ناکافی هستند، تثبیت یک بنای تاریخی را می‌توان با استفاده از هر تکنیک مدرن برای حفاظت و ساخت و ساز، که کارایی آن توسط داده‌های علمی اثبات شده است، به دست آورد. از طرفی توصیه‌های ایکوموس (ماده ۳.۷) نیز به این نکته توجه دارد که انتخاب بین تکنیک‌های سنتی و نوآورانه باید مورد به مورد سنجیده شده و اولویت به آن‌هایی داده شود که کمترین تهاجم و سازگاری بیشتری با ارزش‌های میراث دارند (Icomos, 2003). بنابراین با توجه به مطالب بیان شده جهت ارزیابی و مقایسه مداخلات و معرفی شیوه‌های مناسب مرمتی به معیارهایی به منظور ارزیابی کیفی این اقدامات نیاز داریم. بدین ترتیب چهار معیار میزان بازگشت‌پذیری (Iccrom 1998; Icomos, 2003، منشور بورا: ماده ۱۵)، حداقل مداخله (منشور ونیز، ۱۹۶۴ و منشور بورا: ماده ۸)، میزان هماهنگی مداخلات در رنگ و بافت با مصالح اصیل بنا با توجه به دیدگاه برنارد فیلدن و نیز میزان نیاز هر تکنیک به نیروی متخصص از جمله معیارهای تعیین شده جهت سنجش مداخلات در بناهای آجری در این پژوهش هستند. نظر به اینکه در حوزه مسائل فنی و حرفه‌ای در حفاظت، حق ارزیابی و قضاوت با متخصص حفاظت است (مونوز ویناس، ۱۳۹۷)، لذا در این پژوهش ابتدا روش‌های سنتی و جدید استحکام‌بخشی در ابنیه آجری غیرمسلح به طور خلاصه معرفی شده و سپس این روش‌ها توسط پرسشنامه با تعیین معیارهای ذکر شده توسط افراد متخصص با یکدیگر مقایسه شده‌اند. درواقع این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های رایج و نوین استحکام‌بخشی و تعیین میزان سنخیت هر تکنیک با توجه به معیارهای مستخرج از منشورهای بین‌المللی انجام شده است. در واقع آن‌چه که در پژوهش‌های پیشین بدان پرداخته شده معرفی هر یک از روش‌های استحکام‌بخشی به صورت مجزا و در برخی از موارد بررسی تاثیر یک روش استحکام‌بخشی بر ابنیه تاریخی است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای تحت عنوان تجزیه‌وتحلیل تجربی مقایسه‌ای بر روی عملکرد برشی داخل صفحه دیوارهای بنایی آجری تقویت شده با مواد مختلف تقویت شده با الیاف، تنها به قیاس کامپوزیت‌های پلیمری و تاثیر آن بر مقاومت برشی بناهای آجری پرداخته شده است. در پژوهشی دیگر با موضوع مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی غیرمسلح و ملاحظات برای سازه‌های میراثی نیز روش‌های رایج مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی در برابر زلزله از نظر اقتصادی و پایداری با یکدیگر مقایسه شده‌اند. لذا فقدان یک مقایسه جامع متشکل از شیوه‌های سنتی و بهره‌گیری از مصالح نوین و نیز ارزیابی میزان پایبندی هر تکنیک به منشورهای بین‌المللی، محققین را بر آن داشت تا جهت تکمیل مطالعات پیشین، ضمن دسته‌بندی تمامی روش‌های استحکام‌بخشی ابنیه آجری از

گذشـــته تاکنون و با توجه ویژه به ابنیه آجری تاریخی، به قیاس و بررســـی هر تکنیک با توجه به معیارهایی همچون درجه هماهنگی در رنگ و بافت، برگشـت‌پذیری، کمترین میزان آسـیب به مصـالح اصـیل و حداقل میزان مداخله در بنا بپردازند؛ این مقایسه با در نظر گرفتن دیدگاه متخصصان حوزه مرمت ابنیه انجام شده است.

پرسش‌های پژوهش

به منظور دستیابی به اهداف بیان شده، محققین به دنبال یافتن پاسخ برای پرسش‌های زیر هستند:

۱-کدامیک از روش‌های اســتحکام‌بخشـــی با حداقل میزان مداخله، حداقل آســـیب به مصـــالح اصـــیل در ابنیه آجری و بازگشت‌پذیری بالاتر نسبت به سایر روش‌ها است؟

۲-از دیدگاه متخصصین حوزه مرمت، کدامیک از روش‌های سنتی و نوین استحکام‌بخشی با توجه به معیارهای جهانی، با ارزش‌های بناهای تاریخی آجری سازگارترند؟

۲ پیشینه تحقیق

درگذشته بیشتر ساختمان‌ها با مصالح بنایی و به صورت غیرمسلح ساخته می‌شدند؛ لذا غیرمسلح بودن این بناها در اثر گذشت زمان، زمینه را جهت آسیب بخش‌های مختلف سازه‌ای به واسطه قرارگرفتن این ساختمان‌ها در برابر شرایط محیطی گوناگون و نیز واقع شدن در منطقه‌ای لرزه‌خیز فراهم می‌کرده است. از طرفی به دلیل فقدان مصالح و شیوه‌های مدرن در زمان گذشته، این بناهای آجری با استفاده از دانش تجربی استادکاران و مصالح موجود، بنا شده‌اند و با گذشت زمان نیاز به استحکام‌بخشی و مقاوم‌سازی دارند. در اصل "مصالح تاریخی، از جمله آجر، معمولاً در یک ساختمان یا عناصر ساختمانی بسیار ناهمگن هستند. علاوه بر این، سازه‌های تاریخی نیاز به الحاقات و تعمیرات بسیاری دارد که با مصالح مختلف انجام می‌شود، به همین دلیل خصوصیات مواد تقویتی با توجه به بنای تاریخی و مواد اصلی محدود می‌گردد (Roca et al., 2010)". البته هندسه ساخت بناهای تاریخی در ایران به صورتی بوده است که معمولا معماران، از زمان ساخت اثر، به پایداری و مقاومت آن اندیشیده‌اند. به طور مثال یکی از نمونه‌های مقاوم‌سازی بنا، با استفاده از کلاف‌کشی در آنها بوده که به منظور مهارکردن نیروهای سازه انجام می‌شده است. بدین ترتیب در گذشته به منظور مهار نیروهای رانشی اقدامات گوناگونی صورت می‌گرفت که از نمونه‌های آن می‌توان به ضخیم کردن جرزهای کناری سازه‌های قوسی، پله‌ای ساختن جرزهای مجاور، استفاده از عناصر ثانویه مانند مناره‌ها در کنار جرز و استفاده از چوب‌های کش اشاره کرد. در مورد گنبدها نیز به منظور جلوگیری از رانش آن در قسمت‌های پایینی از کلاف آجری در پای گنبد استفاده می‌شده که بعدها جای خود را به کلاف‌های فلزی و بتنی داده است (زرگر و همکاران، ۱۳۹۷). درواقع پیش از پیشرفت تکنولوژی، روش‌های سنتی مانند شمع‌گذاری، دوغاب‌ریزی، پشت‌بند زدن، مهاربندی و تعویض مصالح به همراه تعمیر اتصالات جهت مقاوم‌سازی و استحکام‌بخشی بناهای تاریخی جهت حفظ آن‌ها مرسوم بوده است. اما پس از گذشت چند دهه این روش‌ها به دلیل صرف زمان زیاد در هنگام اجرا جای خود را به مصالح جدیدتری مانند بتن و مصالح سخت که در مدت زمان کوتاه‌تری قابل اجراست دادند. البته عدم بازگشت‌پذیری بتن و مغایرت آن با منشورهای جهانی زمینه را برای بهره‌گیری از روش‌هایی همچون استفاده از کلاف‌های فلزی و کابل‌های پیش‌تنیده نیز فراهم کرد. در کنار این روش‌ها در دهه پنجاه میلادی روش استفاده از میکروپایل نیز ابداع شد. در ابتدا این روش به منظور بهسازی بستر سازه‌ها کاربرد داشت. اما به مرور زمان این تکنیک جهت مرمت و ساخت و ساز ابنیه نیز رواج یافت. درواقع کاربرد آن برای استحکام‌بخشی بنا در نقش تقویت‌کننده سازه و اصلاح بستر بوده است (Armour et al., 2000). البته در نشریه ۳۶۰ و دیگر آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله نیز روش‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های مصالح بنایی ارائه گردیده است. لذا از جمله روش‌های تقویتی می‌توان به استفاده از الیاف پلیمری بر روی سطح دیوار مصالح بنایی، استفاده از نوار فولادی ضدزنگ، استفاده از ژئوگرید در اتصال بین آجرها، جلوگیری از ترک‌های برشی دیوارهای مصالح بنایی با استفاده از مهاربندهای فولادی، تزریق دوغاب ملات سیمان، کامپوزیت‌های سیمانی و چسب اپوکسی، شاتکریت بتنی و دیگر روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی اشاره کرد (استاد و شفائی، ۱۳۹۹). در راستای روش‌های بیان شده

استفاده از مواد مرکب پیشرفته، یعنی پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف (FRP) نیز اخیراً در زمینه بازسازی بناهای تاریخی مقبولیت گسترده‌ای پیدا کرده و مزایای متعددی نسبت به تکنیک‌های سنتی در بسیاری از موارد بیان شده است (Hamdy, 2021). درواقع کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف، به دلیل مزایای بسیار از نظر ساختاری و ساختمانی، کارایی خود را برای تقویت سازه اثبات کرده‌اند (Triantafillou, 2005). این ورق‌ها یا نوارهای پلیمری از بیرون به هم چسبیده و کاملاً به سطوح صاف یا منحنی متصل می‌شوند. بدین ترتیب استحکام‌بخشی بنا از طریق سختی بالای این مصالح حاصل شده و تنش‌های ایجادکننده تغییر شکل جانبی در بنا به تنش‌های کششی مماسی در ورق یا نوارهای پلیمری تبدیل می‌شود (Valluzzi et al., 2001). جدول ۱ با مروری بر سوابق استفاده از شیوه‌های نوین در مقاوم‌سازی ابنیه تاریخی و با تکیه بر مطالعات پیشین، به معرفی و ارزیابی این روش‌ها از گذشته تا به امروز پرداخته است.

جدول ۱: مروری بر ارزیابی روش‌های نوین در استحکام بخشی سازه‌های بنایی غیرمسلح

نویسندگان	عنوان	معرفی مقاله
Determinazione dell'umidità, *1987*	ارزیابی روش‌های استخکام‌بخشی سازه-های غیرمسلح	برای تقویت استحکام برشی سازه‌های بنایی غیرمسلح استفاده از میله‌های فلزی با تزریق ملات‌های آهکی یا سیمانی معمول بوده است. در سال‌های اخیر استفاده از ورقه‌ها، نوارها و تسمه‌های کامپوزیت‌های پایه پلیمری برای تقویت سازه‌های بتنی بسیار معمول شده است.
Biron, 2004	طرح مهندسی ساختنمان و پلیمر	پلیمرهای تقویت شده با الیاف FRP یکی از مواد مهندسی هستند که به سبب خواصی برجسته دارای کاربردهای فراوانی گشته‌اند، هرچند ورود این کامپوزیت‌های پیشرفته به مهندسی عمران و صنعت ساختمان از دیگر صنایع همچون هوا فضا و اتومبیل‌سازی وساخت لوازم ورزشی دیرتر بود اما امکاناتی که این مواد با توجه به ویژگی‌هایشان پیش روی مهندسین عمران می‌گذارند، موجب گشته این صنعت اکنون در صدر استفاده‌کنندگان از کامپوزیت‌های پلیمری قرار گیرد .
Sheikh, 2004	طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله با استفاده از مواد پلیمری	به‌طورکلی از پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف می‌توان به تنهایی و به عنوان یک عضو ساختاری بهره برد اما بیشتر استفاده کامپوزیت‌ها در مهندسی در تلفیق با سایر مصالح ساختمانی در سازه‌های موجود یا جدید و جهت بالابردن توانایی تعمیر و بازسازی سازه‌های موجود یا مقاوم‌سازی آن‌هاست.
Apostol et al., 2018	راهکارهایی برای بهبود آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی تاریخی	استحکام‌بخشی بناهای تاریخی، از الیاف پلیمری نوع ARV100 به صورت افقی با فواصل متعدد به همراه کامپوزیت‌های فولادی گالوانیزه مدل G600 تهیه شده توسط کمپانی کراکول به صورت عمودی و افقی در سازه استفاده شد. درنهایت با توجه به مدل‌سازی‌های انجام شده و نتایج به دست آمده مشخص گردید بهره‌گیری از انواع مواد کامپوزیتی جهت بهبود عملکرد سازه-های تاریخی با مصالح بنایی، افزایش مقاومت آن‌ها در برابر نیروهای برشی افزایش ظرفیت باربری و حفاظت از ارزش‌های تاریخی و معمارانه اثر موثر است.
Mosoarca et al., 2017.	راه حل‌های تثبیت مدرن برای ساختمان‌های با ارزش تاریخی (بخش دوم: سازه‌های بنایی).	با استفاده از مواد کامپوزیت پلیمری تقویت شده (GFRP, CFRP, AFRP) به بررسی میزان ظرفیت باربری و مقاومت سازه و میزان ترک‌ها پرداخته‌اند. در ادامه این پژوهش با استفاده از ملات ژئوکیل که ملاتی با ساختار درشت دانه از آهک طبیعی به همراه مش‌های تقویت سازه است، درزها و شکاف‌ها در دیوارها ترمیم شد. همچنین با استفاده از مش‌های کراکول که مش‌های تقویت شده با استفاده از الیاف شیشه‌ای مقاوم‌اند ، طاق‌ها نیز ترمیم شده است.

۳ مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، به بررسی روش‌ها و تکنیک‌های استحکام‌بخشی بناهای آجری تاریخی، از گذشته تاکنون پرداخته شده است. تاکید این پژوهش بر روی بناهای تاریخی آجری و شیوه‌های مقاوم‌سازی آن‌ها با توجه به معیارهایی از قبیل میزان بازگشت‌پذیری، حداقل مداخله، درجه هماهنگی در رنگ و بافت با مصالح اصیل بنا و میزان نیاز به نیروی متخصص است. درواقع این مطالعه بر روی روش‌های استحکام‌بخشی ابنیه آجری و با انتخاب ۱۷ روش متفاوت تقویتی در دو بخش جرز (دیوار سازه‌های بنایی) و پوشش سقف (طاق و گنبد) انجام شده است. لذا این پژوهش از نوع پژوهش پیمایشی و توصیفی است که برای انجام آن از پرسش‌نامه طراحی شده توسط محققین حاوی ۶۸ سوال در ۴ بخش استفاده شده است که متشکل از نظرسنجی در مورد ۱۷ روش متفاوت استحکام‌بخشی در جرزها، طاق‌ها و گنبدها است که از گذشته تاکنون به منظور استحکام‌بخشی ابنیه آجری توسط مرمت‌گران در بخش‌های متفاوت بنا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از آن‌جا که هر یک از این تکنیک‌ها به شیوه‌ای گوناگون اجرا شده و هر یک مزایا و معایبی دارند؛ محققین با طراحی پرسش‌نامه‌ای بر اساس یک مقیاس پنج درجه‌ای لیکرت به قیاس تکنیک‌های استحکام‌بخشی با توجه به ۴ معیار میزان بازگشت‌پذیری، حداقل مداخله، درجه هماهنگی در رنگ و بافت با مصالح اصیل بنا و میزان نیاز به نیروی متخصص پرداختند. بدین منظور و با هدف سنجش میزان تطابق هر روش با معیارهای تعیین شده، از متخصصین دخیل در حوزه مرمت بنا خواسته شد تا با در نظر گرفتن این معیارها نمره‌ای از ۱ تا ۵ (خیلی کم تا خیلی زیاد) برای هر روش در نظر گیرند. به منظور اطمینان از پایایی و روایی پرسش‌نامه، محتوای آن توسط متخصصین حفاظت میراث معماری بررسی و پایایی آن نیز توسط آلفای کرونباخ محاسبه شده و مقدار آن ۰.۷۸ گردید. در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 23تحلیل و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۱-۳- معرفی روش‌های استحکام‌بخشی بناهای آجری

۱-۱-۳-روش‌های استحکام‌بخشی در جرزها

شمع‌های چوبی: یکی از ساده‌ترین و رایج‌ترین روش‌ها جهت مهار نیروهای رانشی و به منظور جلوگیری از فروپاشی بنا در گذشته تکنیک شمع‌گذاری و به خصوص استفاده از شمع‌های چوبی بوده است (زرگر و همکاران، ۱۳۹۷).

شمع‌های فلزی: هنگامی که جرز به اصطلاح سرسفت می‌شود، به ترک خوردن و در نهایت، تخریب طاق‌ها می‌انجامد. در این روش، دیوار سرسفت شده با استفاده از جک هیدرولیکی، به صورت بطئی و آرام، به جای خود بازگردانده می‌شود (نیکبخت، ۱۳۸۸).

احداث پشت‌بند: دیواره‌های پشت‌بند معمولاً در محل تقاطع دیوار و به شکل + ساخته می‌شوند که بنا را از هر طرف مقاوم ساخته و سبب افزایش مقاومت در مقابل نیروی رانشی و زلزله خواهد شد (نصرآبادی و مهرآبادی، ۱۳۸۷).

استفاده از کابل‌های پیش‌تنیده: این روش اغلب در ساختمان‌هایی کاربرد دارد که مصالح اصلی بنا نیروی ایستایی خود را از دست داده‌اند و لازم باشد که در وضعیت خود به صورت کششی تثبیت گردند (محب‌علی و همکاران، ۱۳۷۴). پیش‌تنیدگی درواقع قرار دادن مصالح تسلیح کننده (آرماتورها، الیاف مصنوعی و ...) است که این کشیدگی عناصر تسلیح موجب حذف تنش‌های کششی در مصالح شده و امکان استفاده بهتر از ظرفیت‌های فشاری مصالح بنایی را فراهم می‌سازد (امیدیان و وکیلی، ۱۳۹۶).

میکروپایل: به‌طورکلی برای اجرای میکروپایل درون جرزها، میلگردها در بخش‌هایی قرار می‌گیرند که نیروهای کششی پدید می‌آید. بدین منظور، نقاط مورد نظر در جرزها، در راستای افقی، مایل و یا عمودی، با استفاده از مته‌های چرخشی سوراخ شده و درون آن‌ها میلگردهایی با مقاومت بالا قرار می‌گیرد. درنهایت دوغاب گروت داخل سوراخ‌ها تزریق می‌شود (زرگر و همکاران، ۱۳۹۷).

روش گونیت: گونیت مخلوط خشکی از سیمان و شن است که با نسبت ۱ به ۴ به دست می‌آید. این مخلوط پس از ترکیب با آب، با استفاده از دستگاه شاتکریت، با فشار به جرز پاشیده می‌شود. در این روش ابتدا جرز در مقاطع متفاوتی سوراخ می‌شود و

میلگردهایی داخل سوراخ‌ها قرار می‌گیرند. سپس حفره‌ها با ملات گروت پر شده و در دو سوی دیوار، شبکه‌ای از میلگردهای فولادی (ترجیحا ضد زنگ و یا کامپوزیت‌های پلیمری) ساخته می‌شود و به میلگردهای افقی داخل دیوار اتصال می‌یابد. درنهایت نیز مخلوط آماده شده گونیت، با دستگاه روی آن پاشیده می‌شود (زرگر و همکاران، ۱۳۹۷).

روش C.A.M[۳]: این روش به معنای دوخت و دوز دیوار است. در این روش جرز در بخش‌های متفاوت و به صورت افقی، سوراخ شده و داخل این سوراخ‌ها، غلافی قرار می‌گیرد که ممکن است لوله‌ای پلاستیکی یا چیزی شبیه به آن باشد. درواقع سوراخ‌های ایجادشده از یک سمت دیوار شروع می‌شوند و در طرف دیگر خاتمه می‌یابند. درنهایت تسمه‌های فلزی داخل سوراخ‌ها قرار می‌گیرند و دورتادور دیوار بسته می‌شوند (Dolce, 2000).

روش شاتکریت: در این روش پس از جمع‌آوری تاسیسات و نازک‌کاری دیوارها، میلگردهایی با فواصل مشخص و معین در فونداسیون قرار داده شده و مش‌بندی روی دیوار انجام می‌شود. پس از آن عملیات بتن پاشی با ضخامت حداقل ۳ سانتیمتر انجام شده و مجدداً نازک‌کاری و تاسیسات روی دیوارها اجرا می‌شود (شیخی و همکاران، ۱۳۸۷).

استفاده از الیاف پلیمری[۴]: به طورکلی از پلیمرهای تقویت شده با الیاف در مهندسی عمران در تلفیق با سایر مصالح ساختمانی در سازه‌های موجود یا جدید و جهت مقاوم‌سازی استفاده می‌شود (Sheikh, 2004) که یکی از روش‌های نوین مقاوم‌سازی به‌کارگیری میلگردهای نصب شده در نزدیکی سطح است. در این روش که برای تقویت برشی و خمشی مناسب است، شیارهایی در جهت موردنظر در سطح ایجاد می‌گردد و تا نصف با ملات مخصوص پر می‌گردد. سپس میلگردهای کامپوزیتی درون شیارها قرار می‌گیرند و کمی فشار داده می‌شوند به نحوی که ملات دور میلگردها و فاصله آن‌ها با سطح داخلی شیارها را پر کند و اثری از میلگردها باقی نماند (Nanni, 2001). در پایان، شیارها کاملا پر شده و هم‌سطح می‌گردند. در سازه‌های بنایی بیشتر از الیاف پلیمری از جنس شیشه استفاده می‌شود (Manferedi & Prota, 2001).

ژئوسنتتیک‌ها: ژئوسنتتیک‌ها موادی هستند که با استفاده از انواع مختلف پلیمرها ساخته می‌شوند (ASTM, 1994). ژئوگریدها از کشیدن صفحات پلاستیکی پلیمری در یک یا دو جهت و تشکیل شبکه‌های مقاوم ایجاد می‌شوند. درواقع کاربرد این مصالح در دو زمینهٔ تسلیح (کاربرداصلی) و جداسازی (کاربردثانویه) است (بلوچی و قناد، ۱۳۸۹).

روش موسوم به Kerakoll: اخیرا روشی موسوم به کراکول با بهره‌گیری از مواد و مصالح متنوع برای مقاوم‌سازی در کشور رومانی استفاده شده است. در واقع این روش را می‌توان ترکیبی از مش (انواع ژئواستیل‌ها) و ملات‌های گوناگون دانست. تاکید این کمپانی به برگشت‌پذیری مواد در استحکام‌بخشی ابنیه، از جمله مزایای بهره‌گیری از این روش است (Apostol et al., 2017). به طور مثال در کشور رومانی جهت مقاوم‌سازی دیوار از میل‌مهارهای فولادی جهت دوخت‌ودوز شکاف‌ها استفاده شده است. سپس با استفاده از مش‌های مدل Rinforzo ARV100 و ملات Geocale به مقاوم‌سازی پرداخته‌اند (Mosoarca et al., 2017). به‌طور خلاصه می‌توان بیان کرد که در این تکنیک از مش به همراه ملات‌های گوناگون استفاده می‌شود که در استحکام‌بخشی و تثبیت دیوار موثر بوده و از مزیت بازگشت‌پذیری نیز برخوردارند.

۲-۱-۳- روش‌های استحکام‌بخشی در پوشش بام

استفاده از عناصر فولادی: یکی از گزینه‌ها برای کلاف‌کشی با مقاومت بالا، استفاده از عناصر فولادی است. در این روش با سوراخ کردن پاکار طاق، فضا برای ردشدن میله‌های فولادی مهیا شده و میله‌ها در پشت طاق، با پیچ یا عناصر دیگر اتصال، به تکیه‌گاه متصل می‌شوند (زرگر و همکاران، ۱۳۹۷).

استفاده از کابل‌های پیش‌تنیده: یکی از شیوه‌های مناسب، کم‌هزینه و با درصد پایین دخالت در بنا، استفاده از کابل‌های پیش تنیده، مانند سیم بکسل، برای مقاوم‌سازی تویزه‌ها، طاق‌ها و گنبدهاست. در این روش، دو یا چند کابل در بالا و پایین تویزه قرار می‌گیرند و پس از وصل شدن به پایه‌هایی که برای آن‌ها ساخته می‌شود، با استفاده از مهارکش‌هایی، به آن‌ها کشش وارد می‌آید. درنهایت

کابل‌هایی که در بخش پایین تویزه اجرا شده‌اند، در زمان اعمال نیروی جانبی مانند زلزله، در مقابل ریزش ناگهانی مقاومت خواهند کرد. در مقابل، کابل‌های بالایی سبب انعطاف‌پذیری تویزه در مقابل نیروهای فشاری و کششی می‌شود (زرگر و همکاران، ۱۳۹۷).

استفاده از بتن مسلح: یکی از اقداماتی که جهت افزایش مقاومت پوشش بام انجام می‌شود، کاهش فشار جانبی پوشش بام است. بخش بزرگی از این بارها وزن مواد پرکننده‌ای است که برای هموار نمودن کف ریخته می‌شد. با برداشتن توده پرکننده و گذاشتن دیوارک‌های جدا از هم نگهدارنده کف، بار تاق تقریباً به یک دوم کاهش می‌یابد. بدین منظور می‌توان از بتن مسلح استفاده نمود. پس از کونال‌بندی روی طاق‌ها، دال بتنی مسلح روی تیغه‌های کونال‌بندی اجرا و با استفاده از ریزشمع‌ها (میکروپایل‌ها)، طاق به دال بتنی بالای سر خود متصل می‌شود (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۴).

روش موسوم به Kerakoll: استفاده از این روش در پوشش بام همانند جرزها شامل بهره‌گیری از مش‌هایی از جنس فولاد، بازالت و رزین‌های مخصوص بر پایه آب جهت مقاوم‌سازی لایه زیرین و طاق است (Mosoarca et al., 2017).

٤ نتایج و یافته ها

به منظور ارزیابی تکنیک‌های استحکام‌بخشی، ابتدا پرسش‌نامه‌ای متشکل از انواع روش‌ها در دو بخش جرز و پوشش سقف طراحی شده و سپس کارایی هر روش با توجه به معیارهای متفاوت از جمله میزان برگشت‌پذیری، نیاز به نیروی متخصص، میزان مداخله و درجه هماهنگی در رنگ و بافت در بخش اصیل با یکدیگر مقایسه شده است. در ادامه تحلیل‌های آماری به دست آمده از نتایج نظرسنجی ۵۰ نفر از متخصصان دخیل در امر مرمت (۷ نفر از اساتید مرمت و معماری دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۰ نفر از اساتید عمران و معماری دانشگاه آزاد واحد کرمان، ۳ نفر از مهندسان شرکت توسعه مسکن کویر با داشتن سابقه مرمتی در استان کرمان، ۱۰ نفر از فارغ‌التحصیلان و کارشناسان رشته مرمت بناهای تاریخی، ۵ نفر از کارمندان حوزه فنی میراث فرهنگی استان کرمان، ۱۰ نفر از اعضای نظام مهندسی ساختمان و ۵ نفر از افراد متخصص و دخیل در حوزه مرمت) در ارتباط با ارجحیت روش‌های استحکام‌بخشی در بناهای آجری بیان شده است. تحلیل داده‌های این پرسش‌نامه با استفاده از نرم‌افزار Spss 23 صورت گرفته است. درواقع این پرسشنامه برای ارزیابی روش‌های مختلف مرمت، بر اساس یک مقیاس پنج درجه‌ای لیکرت از ۱ تا ۵ نمره‌گذاری شده است.

٤-١- مطالعه تطبیقی و ارزیابی فنون مداخله در ابنیه آجری

نظرسنجی در این پرسشنامه از ۵۰ نفر افراد فعال در حوزه مرمت در سه رشته با سطح تحصیلات متفاوت انجام شد. با توجه به جدول ۲، ۱۲ نفر از شرکت‌کنندگان در رشته معماری، ۱۸ نفر در رشته مرمت و ۲۰ نفر در رشته عمران تحصیل کرده بودند. جدول ۳ نیز نشان‌دهنده سطح تحصیلات افراد از کاردانی تا کارشناسی‌ارشد است.

جدول ۲: آمار توصیفی رشته شرکت‌کنندگان در نظرسنجی

رشته	فروانی	درصد فراوانی	درصد فراوانی تجمعی
معماری	۱۲	۲۴/۰	۲۴/۰
مرمت	۱۸	۳۶/۰	۶۰/۰
عمران	۲۰	۴۰/۰	۱۰۰/۰
کل	۵۰	۱۰۰/۰	

جدول ۳: آمار توصیفی میزان تحصیلات شرکت‌کنندگان در نظرسنجی

سطح تحصیلات	فراوانی	درصد فراوانی	درصد فراوانی تجمعی
کاردانی	۶	۱۲/۰	۱۲/۰
کارشناسی	۱۷	۳۴/۰	۴۶/۰

۱۰۰/۰	۵۴/۰	۲۷	بالاتر و ارشد کارشناسی
	۱۰۰/۰	۵۰	کل

هدف این بخش پاسخ به پرسش ذیل با توجه به دو فرضیه است که با در نظر گرفتن چهار معیار مطرح شده در دو بخش جرزها و پوشش بام، این فرضیه‌ها در چهار حالت بررسی می‌شوند.

پرسش: تاثیر روش‌های نوین در مقایسه با روش‌های سنتی در استحکام‌بخشی بناهای آجری به چه میزان است؟

فرضیه‌ها:

H0: روش‌های نوین در مقایسه با روش‌های سنتی در استحکام‌بخشی بناهای آجری با توجه به معیار میزان نیاز به نیروی متخصص، درجه هماهنگی در رنگ و بافت، میزان بازگشت‌پذیری و میزان مداخله (در جرزها و پوشش بام) با یکدیگر تفاوتی ندارند.

H1: روش‌های نوین در مقایسه با روش‌های سنتی در استحکام‌بخشی بناهای آجری با توجه به معیار میزان نیاز به نیروی متخصص، درجه هماهنگی در رنگ و بافت، میزان بازگشت‌پذیری و میزان مداخله (در جرزها و پوشش بام) با یکدیگر تفاوت دارند.

- **معیار اول: ارزیابی میزان نیاز به نیروی متخصص در روش‌های مداخله**

برای بررسی فرضیه‌ها از معادل ناپارامتری آزمون آنوا، آزمون کروسکال والیس استفاده شده است. جدول ۴ و ۵ نتیجه آزمون را با توجه به معیار میزان نیاز به نیروی متخصص در جرزها و پوشش بام نشان می‌دهند.

جدول ۴. آزمون کروسکال والیس برای بررسی روش‌های مختلف استحکام‌بخشی با توجه به معیار نیاز به نیروی متخصص در جرزها

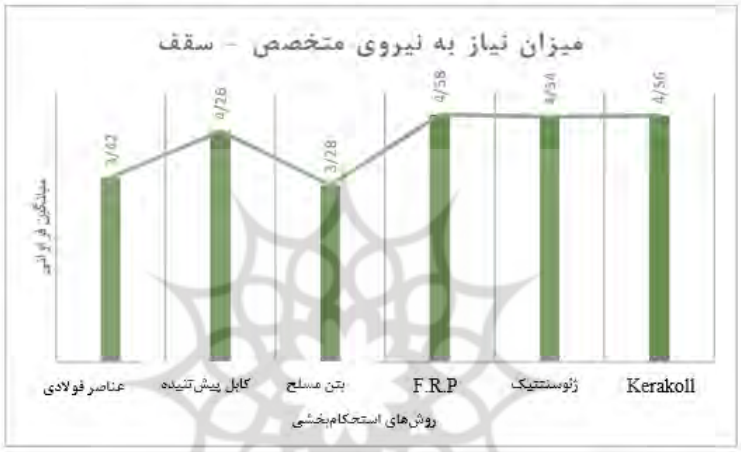
آماره آزمون	۳۱۳/٤۱۱
مقدار P	۰/۰۰
درجه آزادی	۱۰

جدول ۵.آزمون کروسکال والیس برای بررسی روش‌های مختلف استحکام‌بخشی با توجه به معیار نیاز به نیروی متخصص در سقف

آماره آزمون	۱٤٦/۷۸۵
مقدار P	۰/۰۰
درجه آزادی	۵

با توجه به اینکه مقدار P، ۰/۰ است و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است، می‌توان نتیجه گرفت که میزان نیاز به نیروی متخصص در روش‌های سنتی و مدرن با یکدیگر تفاوت دارد. همان‌طور که در تصویر ۱ نیز نشان داده شده است، روش‌های سنتی همچون اجرای انواع شمع‌ها و احداث پشت‌بند به دلیل سهولت عملیات اجرایی، نیاز کمتری به نیروی متخصص دارند. از طرفی روش‌هایی همچون بهره‌گیری از کابل‌های پیش‌تنیده، میکروپایل‌ها، گونیت، C.A.M و شاتکریت با توجه به میزان تخریب در ابنیه نیازمند تخصص بیشتری هستند. همچنین روش‌های مدرن‌تر امروزی مانند ژئوسنتتیک‌ها، استفاده از الیاف پلیمیری و استفاده از مش – ملات‌هایی به سبک روش کراکول به سبب ناشناخته بودن و حساسیت در اجرا نیاز به تخصص و سابقه اجرایی بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارند. تصویر ۲ نیز بیانگر این است که روش‌هایی همچون بهره‌گیری از عناصر فولادی و بتن مسلح در استحکام‌بخشی پوشش بام به دلیل سابقه طولانی در اجرا و آشنایی بیشتر استادکاران با این روش‌ها، نیازمند تخصص کمتری در مقایسه با دیگر روش‌های جدید مطرح شده هستند.

تصویر ۱: ارزیابی میزان نیاز به نیروی متخصص در جرزها



تصویر ۲: ارزیابی میزان نیاز به نیروی متخصص در پوشش بام

- **معیار دوم: ارزیابی درجه هماهنگی در رنگ و بافت روش‌های مداخله**

جدول ۶ و ۷ نتیجه آزمون را با توجه به درجه هماهنگی در رنگ و بافت در جرزها و پوشش بام نشان می‌دهند.

جدول ۶ آزمون کروسکال والیس برای بررسی روش‌های مختلف استحکام‌بخشی با توجه به معیار میزان هماهنگی در رنگ و بافت با بخش اصیل در جرزها

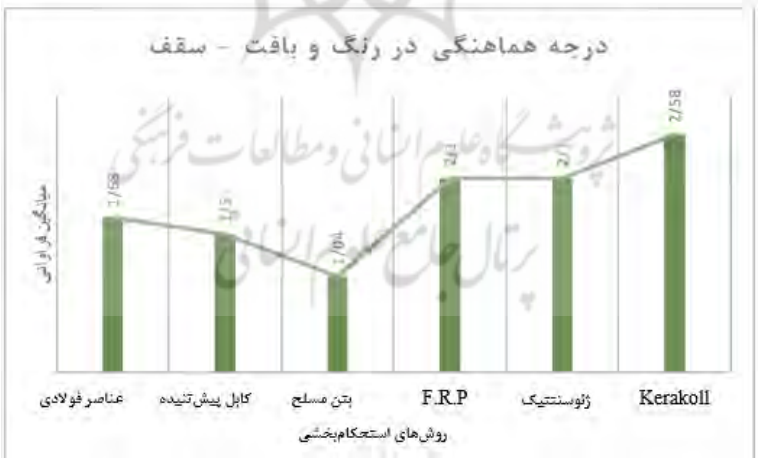
آماره آزمون	**۳۷۸/۶۶۸**
مقدار P	۰/۰۰
درجه آزادی	۱۰

جدول ۷: آزمون کروسکال والیس برای بررسی روش‌های مختلف استحکام‌بخشی با توجه به معیار میزان هماهنگی در رنگ و بافت با بخش اصیل در پوشش بام

آماره آزمون	**۱۵۰/۷۴۲**
مقدار P	۰/۰۰
درجه آزادی	۵

با توجه به اینکه مقدار P، ۰/۰ است و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است، می‌توان بیان کرد که روش‌های مختلف استحکام‌بخشی در درجه هماهنگی در رنگ و بافت با بخش اصیل در جرزها و پوشش بام با یکدیگر تفاوت دارند. با توجه به تصویر ۳ می‌توان به این نتیجه رسید که احداث پشت‌بند و شمع‌های چوبی به دلیل استفاده از مصالحی همچون خشت، آجر و چوب هماهنگی بیشتری در رنگ و بافت در مقایسه با بخش اصیل در جرزها دارند. درواقع سایر روش‌های استحکام‌بخشی مانند شمع‌های فلزی، استفاده از کابل‌ها و میکروپایل‌ها به سبب استفاده از عناصر فلزی و تفاوت در انبساط و انقباض مصالح قدیم با جدید هماهنگی چندانی با مصالح ابنیه تاریخی ندارند. در این میان سه روش استفاده از الیاف پلیمری، ژئوسنتتیک‌ها و سیستم kerakoll به علت کمتر بودن ضریب انقباض و انبساط مصالح نسبت به استفاده از عناصر فلزی هماهنگی بیشتری با مصالح اصیل بنا دارند. این مطلب در ارتباط با مصالح تقویتی در پوشش بام نیز صدق می‌کند. البته با توجه به تصویر ۴ بهره‌گیری از بتن مسلح در تقویت پوشش بام به علت ماهیت، سختی بیش از حد بتن و نیز دانه‌بندی و رنگ مصالح مصرفی هماهنگی کمتری با مصالح بنا نسبت به سایر روش‌ها دارد.

تصویر ۳ : میانگین درجه هماهنگی در رنگ و بافت در جرزها



تصویر ۴: میانگین درجه هماهنگی در رنگ و بافت در پوشش بام

- **معیار سوم: میزان برگشت‌پذیری روش‌های مداخله**

جدول ۸ و ۹ نتیجه آزمون را با توجه به معیار برگشت‌پذیری در جرزها و پوشش بام نشان می‌دهند.

جدول ۸. آزمون کروسکال والیس برای بررسی روش‌های مختلف استحکام‌بخشی با توجه به معیار برگشت‌پذیری در جرزها

آماره آزمون	**۳۵۹/۳۹**
مقدار P	۰/۰۰
درجه آزادی	۱۰

جدول ۹: آزمون کروسکال والیس برای بررسی روش‌های مختلف استحکام‌بخشی با توجه به معیار برگشت‌پذیری در پوشش بام

آماره آزمون	**۱۷۷/۷۳۸**
مقدار P	۰/۰۰
درجه آزادی	۵

با توجه به اینکه مقدار P، ۰/۰ است و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است، لذا روش‌های مختلف استحکام‌بخشی بر روی برگشت‌پذیری جرزها و پوشش بام تاثیر متفاوت دارد. با توجه به تصویر ۵ می‌توان به این نتیجه رسید که روش‌های FRP (به شرط استفاده به شکل میلگردهای کامپوزیتی)، ژئوسنتتیک‌ها و سیستم kerakoll در مقایسه با سایر روش‌ها از برگشت‌پذیری بیشتری برخوردارند. در این میان با توجه به حساسیت حذف شمع‌ها و پشت‌بندها به سبب برهم خوردن تعادل نیروها و پایداری بنا و لزوم دقت بیشتر، این روش‌ها میانگین کمتری نسبت به سه روش بیان شده را به خود اختصاص داده‌اند. سایر روش‌ها نیز به دلیل استفاده از مصالحی همچون بتن و یا سوراخ‌هایی در دیوار به جهت اجرای میلگردها درصد بازگشت‌پذیری کمتری را شامل می‌شوند. در همین راستا تصویر ۶ نیز ضمن تایید مطالب بیان شده، میانگین بازگشت‌پذیری بتن مسلح در پوشش بام را نشان می‌دهد. درواقع می‌توان گفت که به سبب سختی بیش از حد بتن پس از گیرش، حذف این مصالح پس از اجرا در ابنیه تاریخی امری بسیار دشوار بوده و میزان تخریب بالایی را به همراه دارد.

تصویر ۵ : میانگین میزان برگشت‌پذیری در جرزها

تصویر ۶ : میانگین میزان برگشت‌پذیری در پوشش بام

- **معیارچهارم: ارزیابی حداقل میزان مداخله روش‌های استحکام‌بخشی**

جدول ۱۰ و ۱۱ نتیجه آزمون را با توجه به معیار حداقل میزان مداخله در جرزها و پوشش بام نشان می‌دهند.

جدول ۱۰. آزمون کروسکال والیس برای بررسی روش‌های مختلف استحکام‌بخشی با توجه به معیار میزان مداخله در جرزها

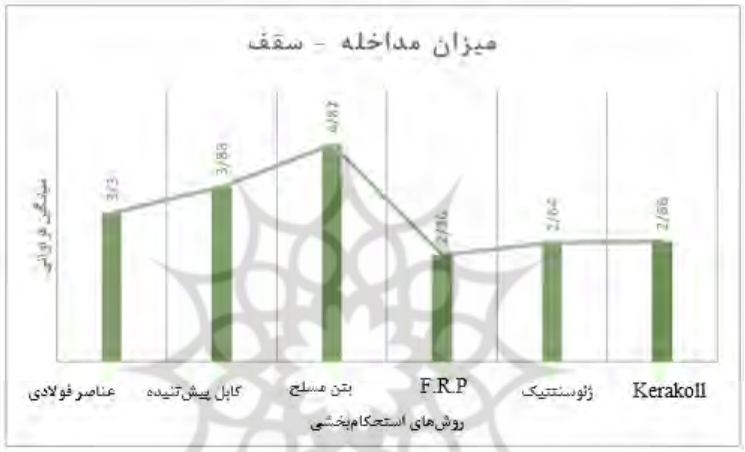
آماره آزمون	**٤٧٧/٧٧١**
مقدار P	۰/۰۰
درجه آزادی	۱۰

جدول ۱۱. آزمون کروسکال والیس برای بررسی روش‌های مختلف استحکام‌بخشی با توجه به معیار میزان مداخله در سقف‌ها

آماره آزمون	**۲۰٤/۰۷۰**
مقدار P	۰/۰۰
درجه آزادی	۵

با توجه به اینکه مقدار P، ۰/۰ است و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است، روش‌های مختلف استحکام‌بخشی در میزان مداخله با یکدیگر تفاوت دارند. تصویر ۷ نشان می‌دهد که روش‌های استفاده از کابل‌های پیش‌تنیده، میکروپایل، گونیت، شاتکریت و C.A. M در مقایسه با سایر روش‌ها به دلیل ایجاد خلل و فرج در جرزها و تعبیه عناصر فلزی و استفاده از مصالح سخت مانند بتن میزان مداخله و تخریب بیشتری در جرزها دارند. در مقابل روش‌های سنتی همچون اجرای پشت‌بند، شمع فلزی و شمع چوبی نیاز به مداخله کمتر در ابنیه تاریخی دارند. از طرفی روش‌های استفاده از الیاف پلیمری، ژئوسنتتیک‌ها و سیستم kerakoll نیز با توجه به اینکه با تخریب بخش کمتری از مصالح اصیل اجرا می‌شوند، میانگین میزان مداخله آن‌ها نسبت به روش‌های بیان شده اولیه کمتر است. تصویر ۸ بیانگر این موضوع است که روش بتن مسلح در مقایسه با سایر روش‌ها میزان مداخله بیشتری را می‌طلبد. درواقع می‌توان اذعان کرد که روش‌های نوین‌تر تخریب کمتری را به همراه داشته و میانگین میزان مداخله آن‌ها در پوشش بام نیز از سایر روش‌ها کمتر است.

تصویر ۷ : میانگین میزان مداخله در جرزها



تصویر ۸ : میانگین میزان مداخله در جرزها

۵ بحث در نتایج و یافته‌ها

در این بخش نتایج و یافته‌های حاصل از تحلیل‌های انجام شده در قالب جدول شماره ۱۲، میزان تاثیر روش‌های مختلف بر استحکام‌بخشی ابنیه آجری با توجه به معیارهای متفاوت را نشان داده است.

جدول ۱۲: ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از روش‌های نوین و سنتی استحکام‌بخشی بناهای آجری

معیار	مقطع	روش‌ها
حداقل میزان نیاز به نیروی متخصص	دیوار	پشت بند–شمع چوبی–شمع فلزی
	سقف	بتن مسلح–عناصر فولادی
حداکثر میزان درجه هماهنگی در رنگ و بافت	دیوار	پشت بند–شمع چوبی–مش‌های پلیمری(روش کراکول)
	سقف	مش‌های پلیمری(روش کراکول) – ژئوسنتتیک– کامپوزیت‌های پلیمری(FRP)
حداکثر میزان برگشت پذیری	دیوار	مش‌های پلیمری(روش کراکول) – ژئوسنتتیک– کامپوزیت‌های پلیمری(FRP)
	سقف	مش‌های پلیمری(روش کراکول) – ژئوسنتتیک– کامپوزیت‌های پلیمری(FRP)
حداقل میزان مداخله	دیوار	پشت بند–شمع چوبی–شمع فلزی
	سقف	مش‌های پلیمری(روش کراکول) – ژئوسنتتیک– کامپوزیت‌های پلیمری(FRP)

نتایج حاصل از نظرسنجی حاکی از آن است که اگرچه روش‌های سنتی مانند بهره‌گیری از انواع شمع‌ها (شمع‌های فلزی و چوبی) و احداث پشت‌بند تاثیر کمتری بر زیبایی منظر داشته و با مداخله حداقلی در بنا میزان تخریب کمتر و بازگشت‌پذیری بیشتری را شامل می‌شوند؛ اما در اکثر موارد روش‌هایی موقتی بوده و به عنوان روشی دائمی به منظور تضمین پایداری بنا در مدت زمانی طولانی استفاده نمی‌شوند. به همین دلیل پس از گذشت زمان و پیدایش مصالح جدیدتر مانند بتن و مصالحی از جنس فلز، مرمت‌گران به بهره‌گیری از شیوه‌هایی جدیدتر همچون میکروپایل، اجرای بتن مسلح، شاتکریت، گونیت، استفاده از عناصر فلزی در بخش‌های مختلف و بعدها به اجرای کابل‌های پیش‌تنیده پرداخته‌اند. این روش‌ها در مقایسه با روش‌های سنتی پیشین پایداری بنا را طی گذر زمان و در برابر عوامل مختلف تا حدودی تامین می‌کردند اما با مفادی که بعدها در منشورهای جهانی مطرح شد مغایرت داشتند. درحال حاضر و با پیشرفت تکنولوژی استفاده از روش‌هایی نوین همچون بهره‌گیری از انواع ژئوسنتتیک‌ها و استفاده از انواع مش – ملات‌هایی با قابلیت برگشت‌پذیری بالا و حداقل میزان مداخله در مرمت بناهای تاریخی سایر کشورها در حال اجراست. اگرچه این روش‌ها نیازمند نیروی متخصص بیشتری در این زمینه نسبت به سایر روش‌ها هستند، اما با تضمین پایداری بنا در مدت زمانی طولانی‌تر، مطابقت بیشتری با مفاد منشورهای مرمتی از جمله میزان صدمه کمتر به بنا و حفظ حداکثری مصالح موجود را دارند.

۶ نتیجه‌گیری

بناهای تاریخی سازه‌هایی با مصالح بنایی هستند که به سبب غیرمسلح بودن، همواره در معرض آسیب‌های گوناگون از جمله شرایط محیطی نامناسب، زلزله، نیروها و تنش‌های جانبی قرار گرفته‌اند. این امر بیانگر اهمیت استحکام‌بخشی و انتخاب شیوه مداخله در این ابنیه است. در گذشته به سبب فقدان مصالح مدرن، تقویت بنا با استفاده از مصالح موجود همچون چوب، آجر، الیاف خرما و مصالحی از جنس بنا بوده است. با گذشت زمان و پیدایش مواد و مصالح جدید، استفاده از مصالحی همچون بتن و عناصر فلزی در ابنیه تاریخی متداول شده است. امروزه با پیشرفت تکنولوژی، روش‌هایی نوین پدید آمده‌اند که به دلیل عدم شناخت کافی درصد بالایی از متخصصین حوزه مرمت در ایران، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این موضوع محققین را بر آن داشت تا ضمن معرفی انواع روش‌های استحکام‌بخشی در ابنیه آجری به واسطه تعدد این بناها در ایران، به ارزیابی این روش‌ها با یکدیگر بپردازند. لذا پرسشنامه‌ای با توجه به معیارهای مطرح شده در توصیه‌ها و منشورهای بین‌المللی متشکل از ۱۷ روش استحکام‌بخشی در بناهای آجری تهیه گردید. این پرسشنامه توسط افراد دخیل در حوزه مرمت ابنیه تاریخی با توجه به معیارهای میزان نیاز به نیروی متخصص، درجه هماهنگی مصالح مصرفی در رنگ و بافت در مقایسه با بخش اصیل بنا، میزان برگشت‌پذیری و میزان مداخله یا تخریب مصالح بنا پاسخ داده شد. در نهایت یافته‌های پژوهش نشان داد که شیوه‌های سنتی همچون اجرای پشت‌بند و شمع‌های چوبی به سبب هماهنگی در جنس مصالح از سنخیت بیشتری با سازه‌های بنایی برخوردار بوده و اغلب به دلیل بازگشت‌پذیری بالا و کمترین میزان آسیب به بنا اولویت بالاتری نسبت به روش‌هایی همچون گونیت، شاتکریت و استفاده از میکروپایل‌ها را دارا هستند. از طرفی، شیوه‌های سنتی، توانایی تضمین پایداری بنا در گذر زمان را نداشته و از این جهت شیوه‌های مدرن همچون ژئوگریدها و استفاده از انواع مش و ملات‌ها می‌توانند جایگزینی مناسب برای این روش‌ها باشند. از این رو امید است که با تعلیم نیروهای متخصص در ایران نیز استفاده از این روش‌ها در مرمت ابنیه آجری متداول گردد.

پی‌نوشت‌ها

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول مقاله با عنوان بررسی روش‌های نوین در استحکام‌بخشی و مقاوم‌سازی سازه‌های آجری تحت راهنمایی دکتر فاطمه مهدی‌زاده سراج و مشاوره دکتر سجاد مؤذن در گروه مرمت دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران در سال ۱۴۰۱ است.

2. Fiber - Reinforced – Polymer

3. Cuciture Attive Munatura

4. FRP

References:

- Aboei, R., Rahimi, H., Parsaie, A. (2017). Existing deficiencies in the seismic process of historical buildings. Journal of Baghe – Nazar. 14(48). (In Persian).

- Ahrafi, A., Nosrat, S. (2015). Iranian vaults, approach to traditional architectural engineering. International research conference in science and technology. (In Persian).

- Apostol, I., Mosoarca, M., & Stoian, V. (2017). Modern consolidation solutions for buildings with historical value. Part I: reinforced concrete structures. Mod. Technol. 3rd Millennia, 406-413.

- Apostol, I., Mosoarca, M., Chieffo, N., Keller, A., Bocan, D., Bocan, C., & Bradeanu, R. (2018). Solutions for improving seismic vulnerability of historic masonry buildings. Mod. Technol. 3rd Millenn, 131-136.

- Armour, T., Groneck, P., Keeley, J., & Sharma, S. (2000). *Micropile design and construction guidelines: Implementation manual* (No. FHWA-SA-97-070). United States. Federal Highway Administration.

- ASTM (1994) "Annual book of ASTM standards", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.

- Baloochi, M., Ghanad, Z. (2009). Features of geosynthetic materials, new technology of construction industry. knowledge management. Cason Co. (In Persian).
Biron, M., 2004. Building & Civil Engineering Likes Polymers I-Economic and Technical Outline.

- Bozorgmehr, M. (2015). Performance without an approach to the challenges of the lack of theoretical foundations of intervention in native architecture with a special look at rustic architecture. National Conference of Native Architecture and Urban Planning of Iran. Yazd. (In Persian).

- Cheng, S., Yin, S., & Jing, L. (2020). Comparative experimental analysis on the in-plane shear performance of brick masonry walls strengthened with different fibre-reinforced materials. Construction and Building Materials, 259, 120387.

- Dolce, Mauro et al., 2000, II Rafforzamemto delle strutture murarie: II Sistema di cuciture attive per la muratura, Tecniche Idraulico Stradali SpA, Roma.

- Falamaki, M. (2016). Charter of architectural restoration. Tehran: Faza publication. (In Persian).
- Feilden, m Bernard. (2003). Conservation of Historic Buildings. Third. Oxford: Architectural Press.
- Haji Ebrahim – Zargar, A., Mir Hashemi, E. (2018). An introduction to the knowledge of restoration techniques of historical buildings. Publications of Shahid Beheshti University. (In Persian).
- Hamdy, G. A. (2021). Stabilization of the Ancient Serapeum at Saqqara—Strengthening Proposals Using Advanced Composite Materials. In *Cities' Identity Through Architecture and Arts* (pp. 15-24). Springer, Cham.

- https://strutturale.kerakoll.com/en/

- ICCROM. (2018). Sharing conservation decisions: current issues and future strategies. A. Heritage & J. Copthorne (ED.). Italy.

- ICOMOS. (1964). The Venice Charter. Italy.
- ICOMOS. (2003). Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage. Zimbabwe.
- ICOMOS. (2013). The Bura Charter – 1999. *The Australia ICOMOS charter for places of cultural significance*. Australia.
- Khajepoor, M., Raufi, Z. (2018). The contemporary theory of conservation. Press Organization Jahade Daneshgahi. Kerman Branch. (In Persian).
- Manfredi, G., & Prota, A. (2001). Seismic strengthening with FRP: opportunities and limitations. In Composites in Construction: A Reality (pp. 231-240).
- Mehdizadeh Saradj, f. (2014). Pathology and technical evaluation of historical monuments. Publications of Iran University of Science and Technology. (In Persian).
- Mohebali, M., Mohamad Moradi, A., Amir Kabiriyan, A. (1995). Twelve lessons of restoration. Tehran: Ministry of Building and Urban Development. National Land and Building Organization. (In Persian).
- Mosoarca, M., Apostol, I., & Stoian, V. (2017). Modern consolidation solutions for buildings with historical value, part II: masonry structures. Modern technologies for the 3rd millennium, Oradea, Romania.
- Nanni, A. (2001). Guides and specifications for the use of composites in concrete and masonry construction in North America. Composites in Construction: A Reality, 20-22.
- Nikbakht, M. (2009). Chalabioglu monastery and tomb: an experience in restoration and restoration. Tehran: Ganj Honar publication. (In Persian).
- Omidian, P., Vakili, A. (2017). Concepts of seismic strengthening of historical buildings. Science and knowledge publications. First Edition. (In Persian).
- Ostad, D., Shafaei, J. (2021). Analytical study of seismic performance of unreinforced masonry walls reinforced with steel belts. Journal of Amirkabir Civil Engineering. 52(12). (In Persian).
- Roca, P., Cervera, M., Gariup, G., & Pela, L. (2010). Structural analysis of masonry historical constructions. Classical and advanced approaches. *Archives of computational methods in engineering*, *17*(3), 299-325.

- Sheikh, A., 2004. Earthquake Resistant Design of Structures Using Polymeric Materials. International Conference on Earthquake (a Memorial of Bam Disaster).

- Sheikhi, S., Bakhshi, G., Yazdi, H., Nejad, M. (2007). A method for seismic improvement of masonry buildings. Iran's National Conference on Resilience. Yazd University. (In Persian).
- Stratton, M. (Ed.). (1997). *Structure and style: conserving twentieth-century buildings*. Taylor &
- Francis. Feilden.B, (2003), "Conservation of historic buildings", Springer.

- Taefi Nasrabadi, A., Rashidi Mehrabadi, M. (2007). Strengthening building structures against earthquakes. Iran's National Conference on Resilience. Yazd University. (In Persian).
- Triantafillou, T. C. (2005). Strengthening of structures with advanced FRPs. Progress in Structural Engineering and Materials, 1(2), 126–134.
- UNI 9091/2, Legno: Determinazione dell'umidità. Metodo per prova, April 1987.
- Valluzzi, M. R., Valdemarca, M., & Modena, C. (2001). Behaviour of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates. Journal of Composites for Construction (ASCE), 5(5), 163–169.
- Yavartanoo, F., & Kang, T. H. K. (2022). Retrofitting of unreinforced masonry structures and considerations for heritage-sensitive constructions. *Journal of Building Engineering*, *49*, 103993.