Cult Islam Archit Urban, 2024; 9 (1): 1-16

Tabriz Islamic Art University 1999

CULTURE OF ISLAMIC ARCHITECTURE AND URBANISM

DOI : https://dx.doi.org/10.61186/ciauj.9.1.1

The Culture of Islamic Architecture & Urbanism

Original Paper **Open Access**

Seismic Assessment and Effectiveness of Structural Retrofitting Techniques :A Case Study of Industrial Chimney at Khosravi Leather Factory in Tabriz

Safiyeh Nami[1]*, Emma Harutyunyan[2], Sepehr Amer[3], Vahid Navadad[4]

1. Instructor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
2. Professor, Faculty of Architecture, National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia
3. Master of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
4. PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Marand Branch, Islamic Azad University, Marand, Iran

Received: 2023/12/30 **Accepted: 2024/06/11**

Abstract

The Khosravi Leather Factory in Tabriz holds significant historical importance as a representative of Iran's early industrial era. This study focuses on the dynamic behavior of the industrial chimney within the factory complex, which is a tall and slender structure vulnerable to seismic forces. In this article, the previously implemented seismic retrofitting techniques, which involved the installation of metal rings around the chimneys, is thoroughly examined. Given the unique challenges posed by these structures, this research investigates the effectiveness of this retrofitting technique through experimental modal analysis and numerical modeling, followed by pushover analysis to evaluate the seismic behavior before and after retrofitting. Based on the test results and observed frequency changes and pushover analysis results, it is evident that this retrofitting technique did not achieve the desired improvement in structural performance.

Keywords:

Seismic assessment, Structural retrofitting techniques, Industrial chimneys, Khosravi Leather Factory, Dynamic testing

*- Corresponding Author: s.nami@tabriziau.ac.ir

©2024 by the Authours.This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

Introduction

The preservation of the historical structures is critical, especially in the context of seismic vulnerability. Industrial chimneys, as integral components of our industrial heritage, require careful assessment and potential retrofitting to withstand seismic events. This study focuses on the application of metal rings as a retrofitting technique aimed at enhancing the structural integrity of historical industrial chimney. Given the unique challenges posed by these structures, this research investigates the effectiveness of this retrofitting method through experimental modal analysis and numerical modeling, followed by pushover analysis to evaluate the seismic behavior before and after retrofitting.

Methodology

Experimental Modal Analysis:

The primary objective of experimental modal analysis was to evaluate the dynamic characteristics of the chimney. The first stage of the analysis involved measuring the natural frequencies and mode shapes of the structure without any retrofitting. Employing a network of accelerometers strategically placed around the structure, data were collected to establish a baseline for the chimney's performance.

In the second stage, the analysis was repeated after the installation of metal rings. This process aimed to identify any changes in the dynamic behavior of the chimney attributable to the retrofitting technique. The collected data were processed using state-of-the-art modal analysis techniques, allowing for a direct comparison of frequency responses and mode shapes in both conditions.

Numerical Modeling:

The study utilized a macro-level modeling approach to efficiently streamline the numerical model for ensuring computational effectiveness. A finite element model (FEM) was developed to represent the chimney, characterized by a conical section measuring 25.85 meters in height and an octagonal base section of 6.01 meters height. The supports and foundation were fixed, constraining all degrees of freedom, which is crucial for conducting the stability analysis of the structure.

Material properties were precisely defined to ensure that the model closely approximated the actual physical characteristics of the chimney (Table 1). The numerical analysis was conducted to simulate the performance of the chimney under various loading conditions, allowing for a thorough examination of its seismic robustness.

Table 1: Optimized values of the materials used in chimney model

Material	*Elastic Modulus GPa*	*Specific mass Kg/m3*	*Poisson's coefficient*	*KPa*	*KPa*
Masonry material	2.34	1900	0.25	1001	100.1

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

Pushover Analysis:

A nonlinear pushover analysis (NLPO) was employed to evaluate the seismic capacity of the chimney. This static method involves plotting the relationship between control displacement and base shear forces, resulting in a capacity curve that illustrates the structure's capacity to withstand seismic forces. Initially, pushover analysis was performed on the modeled structure without retrofitting (Noortman, 2019). The research findings indicated that the maximum shear force reached 687.5 kN, with a stiffness of 14.5 kN/mm (Fig. 1).

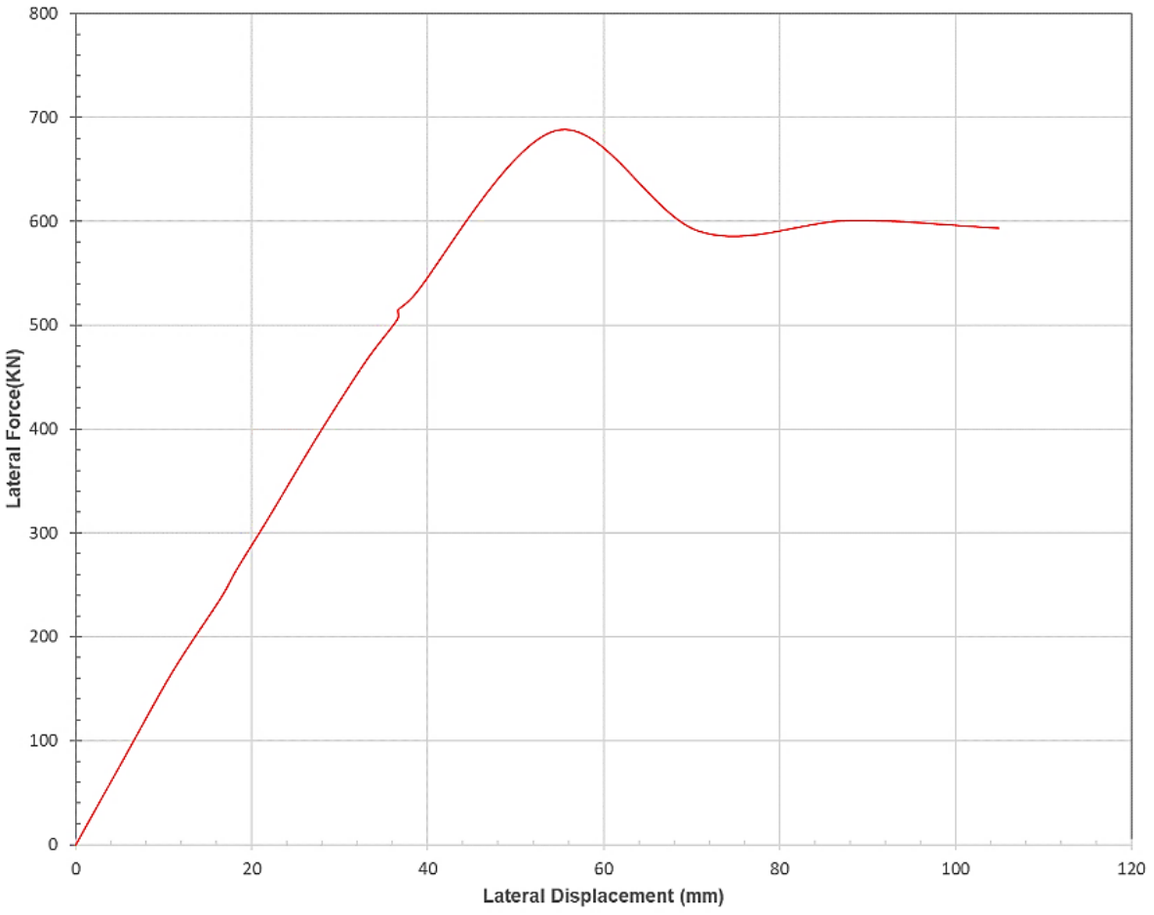


Fig. 1: Pushover analysis

Retrofitting with Metal Rings

The core focus of the research was to investigate the impact of metal rings as a retrofitting technique. Various configurations of metal rings were tested, starting with three rings placed at the bottom of the conical section an area identified as experiencing higher stress concentrations due to the geometrical transition from an octagonal to a circular cross-section.

However, the comparative pushover curves indicated no significant enhancement in the structural strength or stiffness when comparing the structure with and without rings. Subsequent stages involved the placement

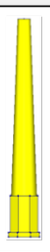
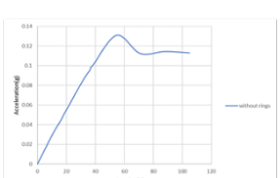
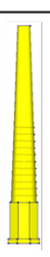
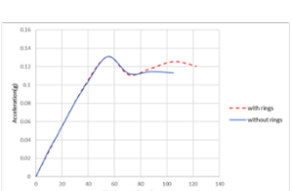
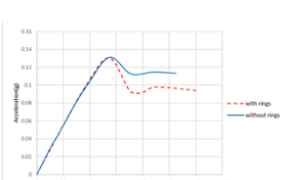
[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

of seven rings, distributed sporadically up to half of the chimney's height, which again did not yield substantial improvements.

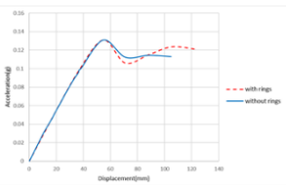
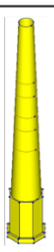
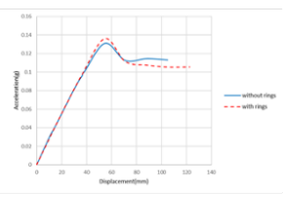
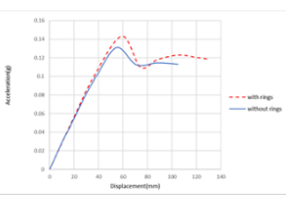
The analysis continued with the introduction of five rings located at the mid-height of the chimney. This configuration resulted in a minor increase of approximately 3% in resistance compared to the state without rings. The results led the researchers to hypothesize that placing rings at one-third of the chimney's height might provide greater benefits, given the observed modes of vibration.

By testing several configurations, the optimal arrangement was identified to be at one-third of the chimney's height. The pushover curves for this configuration demonstrated an increase in structural strength of approximately 9.16% compared to the pre-retrofitting state. The maximum strength increased from 0.131g to 0.145g. However, this enhancement and percentage increase were considered insufficient for effective structural retrofitting.

Tab. 3: Comparison of pushover analysis in different rings location

Alternatives	Pushover curves	Percentage of changes
 Without rings		———
 With rings (current conditions)		0.00%
 With rings (Three rings in the lower part of the cone)		0.00%

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

Alternatives	Pushover curves	Percentage of changes
 With rings (Seven rings in the lower part of the cone)		0.00%
 With rings (Five rings in the middle of the cone)		+3.05%
 With rings (Five rings at one-third of the chimney's height from the top)		+9.16%

Results and Discussion

The analysis results highlight the limitations of the metal ring retrofitting technique as observed through the experimental and numerical evaluations. In the absence of significant changes in natural frequencies, modal shapes, and overall stiffness, it became evident that while the method holds some merit in providing modest enhancements, it is inadequate for fulfilling seismic safety standards.

Through comparative evaluations of various placements of metal rings, the study reinforces the understanding that traditional retrofitting methods may not be sufficient on its own to enhance the resilience of historical industrial structures. A more integrated approach combining multiple retrofitting techniques, or advanced materials, may be necessary to achieve the desired performance under seismic loading.

Conclusion

In conclusion, this research provides valuable insights into the retrofitting of historical industrial chimneys using metal rings. Despite the increased structural resistance in optimal configurations, the percentage gains do not reach the thresholds for satisfactory retrofitting, thereby guiding future efforts away from singular methods towards more comprehensive solutions. It emphasizes the need for ongoing research into innovative materials and techniques that can provide significant improvements in protecting historical structures against seismic risks.

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

Future work should explore alternative retrofitting strategies, including composite materials or hybrid systems that can address the identified weaknesses in traditional metal ring applications. This ongoing research is crucial for developing standards and guidelines to ensure the longevity and safety of heritage structures in seismic-prone regions.

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی، ۱۴۰۳؛ ۹ (۱) :۱۶-۱

فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی

DOI : https://dx.doi.org/10.61186/ciauj.9.1.1

مقاله پژوهشی

دسترسی آزاد

ارزیابی لرزه‌ای و اثربخشی تکنیک‌های استحکام‌بخشی سازه، مطالعه موردی: دودکش صنعتی کارخانه چرم خسروی تبریز

صفیه نامی[1*]، اما هاروتونیان[2]، سپهر آمر[3]، وحید نوداد[4]

۱. مربی، دانشکده معماری و شهرسازی، هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
۲. استاد، گروه معماری، دانشکده معماری، دانشگاه ملی معماری و ساخت‌وساز ارمنستان، ایروان، جمهوری ارمنستان
۳. کارشناسی‌ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
۴. دانشجو دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران

دریافت : ۱۴۰۲/۱۰/۹ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۲

چکیده

کارخانه چرم خسروی تبریز به عنوان نماد ورود صنعت و مدرنیته به ایران دارای اهمیت تاریخی بسیاری است. این کارخانه پس از احیاء به بخش جدایی‌ناپذیر از محوطه دانشگاه هنر اسلامی تبریز تبدیل شد. محور اصلی این تحقیق دودکشی واقع در این مجموعه هست که در دوره پهلوی اول ساخته شده است. این پژوهش بر رفتار دینامیکی این دودکش صنعتی که سازه‌ای بلند و باریک بوده و در برابر نیروهای لرزه‌ای آسیب‌پذیر است، تمرکز دارد. همچنین با توجه به قرار گرفتن شهر تبریز در منطقه پر خطر لرزه‌ای، اهمیت مطالعه این بنا بیش از پیش احساس می‌شود.

در این مقاله، تکنیک استحکام‌بخشی اجرا شده که شامل نصب حلقه‌های فلزی در اطراف دودکش است، به‌طور کامل بررسی می‌گردد. در ابتدا با استفاده از آزمایش دینامیکی مودال، رفتار و اثربخشی این تکنیک استحکام‌بخشی تحلیل شد. این آزمایش در دو مرحله یک بار با وجود حلقه‌ها و در مرحله بعدی بدون وجود حلقه‌ها انجام گرفت. همچنین اثربخشی حلقه‌ها با مدل المان محدود و آنالیز پوش‌اُور (Pushover) نیز بررسی و نتایج حاصل از جای‌گذاری‌های مختلف حلقه‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. بر اساس نتایج آزمایش و تغییرات فرکانس مشاهده شده و نیز نتایج آنالیز پوش‌اور، مشهود است که این تکنیک استحکام‌بخشی به بهبود مطلوب در عملکرد سازه دست نیافته است.

واژگان کلیدی

ارزیابی لرزه‌ای، تکنیک‌های استحکام‌بخشی سازه، دودکش‌های صنعتی، کارخانه چرم خسروی، آزمایش دینامیکی.

* – نویسنده مسئول مکاتبات: s.nami@tabriziau.ac.ir

©2024 by the Authours.This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

۱. مقدمه

حفظ و ارتقای عملکرد لرزه‌ای در سازه‌های تاریخی و صنعتی توجه زیادی را در زمینه‌های مهندسی و مرمت معماری به خود جلب کرده است. اطمینان از یکپارچگی سازه‌ای این ساختمان‌ها درحالی‌که آن‌ها را با استانداردهای ایمنی مدرن هماهنگ می‌کند، چالش‌های منحصر به فردی را ایجاد می‌کند که اغلب به تکنیک‌های نوآورانه استحکام‌بخشی نیاز دارد. در این زمینه، مطالعه حاضر بررسی جامعی را با تمرکز بر پاسخ دینامیکی و تحلیل عددی یک دودکش تاریخی صنعتی تحت یک روش استحکام‌بخشی خاص ارائه می‌کند.

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی اثربخشی تکنیک استحکام‌بخشی به‌کار گرفته شده است که شامل قرار دادن حلقه‌های فلزی جهت افزایش مقاومت دودکش در برابر نیروهای لرزه‌ای است.

سازه‌های تاریخی مانند دودکش مورد بررسی، اغلب فاقد مدارک طراحی اولیه هستند. در نتیجه این پژوهش روشی را اتخاذ می‌کند که آزمایش‌های دینامیکی، مدل‌سازی عددی پیشرفته و تحلیل لرزه‌ای را برای ارائه بینش‌های ارزشمند، در مورد رفتار سازه و تأثیر رویکرد استحکام‌بخشی ترکیب می‌کند.

با توجه به عدم وجود اطلاعات سازه‌ای لازم، تمام پارامترهای مورد استفاده در مطالعه از آزمایش‌های میدانی مشتق شده‌اند که از ارزیابی مناسب و دقیق اطمینان می‌دهند. فاز آزمایشی شامل آزمایش مودال عملیاتی است که در دو مرحله انجام می‌شود و درک دقیقی از پاسخ دودکش به تحریک لرزه‌ای ارائه می‌دهد. علاوه بر این، یافته‌های آزمایش جهت صحت‌سنجی مدل عددی به‌کار می‌رود و شبیه‌سازی رفتار سازه را تحت شرایط مختلف، هم قبل و هم بعد از اجرای استحکام‌بخشی ممکن می‌سازد.

این مطالعه نشان داد که روش استحکام‌بخشی انتخاب شده با حلقه‌های فلزی تأثیر محدودی بر ارتقای رفتار سازه دارد و در نتیجه زمانی که حلقه‌ها در موقعیت بهینه قرار می‌گیرند تنها ۹/۱۶ درصد مقاومت سازه افزایش می‌یابد.

بخش‌های بعدی این مقاله به بررسی تکنیک استحکام‌بخشی به‌کار گرفته شده می‌پردازد؛ همچنین مطالعه دینامیکی سازه‌ای، روش‌های تجربی و تحلیل عددی را به تفصیل ارائه می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده به‌طور انتقادی تجزیه‌وتحلیل و مورد بحث قرار می‌گیرند تا میزان تأثیر تکنیک استحکام‌بخشی بر پاسخ سازه را آشکار کنند.

۲. مروری بر پژوهش‌های گذشته

با توجه به گسترش شهرها و ورود دودکش‌های صنعتی به نواحی شهری، همراه با حساسیت این سازه‌های بلند و انعطاف‌پذیر در برابر خطرات لرزه‌ای، مطالعات متعددی جهت بررسی دقیق چنین بناهایی انجام شده است. نمونه‌ای از تحقیقات این حوزه در پژوهشی با عنوان «پس تنیدگی حلقوی با FRP در داخل بندهای ملات و پس تنیدگی عمودی به‌وسیله فولاد ضدزنگ برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای و باد دودکش‌های بنایی تاریخی» یافت می‌شود (Viskovic et al. 2019).

در مقاله دیگری، با عنوان «پاسخ‌های دینامیکی دودکش‌های بتن مسلح صنعتی تقویت شده با FRP» به‌طور گسترده نشان می‌دهد که هدف از این مطالعه تعیین تأثیر تقویت FRP بر پاسخ‌های دینامیکی دودکش‌های RC صنعتی است (Karaca et al. 2015).

همچنین، مثال دیگری که با عنوان «ارزیابی لرزه‌ای دودکش بنایی تقویت شده با CFRP» قابل‌ذکر است. این مقاله به‌طور خلاصه نتایج یک مطالعه آزمایشگاهی مورد استفاده جهت کالیبراسیون مدل عددی دودکش بنایی صنعتی را ارائه می‌کند (Pallare´s et al 2009).

در مطالعه تحقیقاتی دیگری با عنوان «آزمایش‌های بارگذاری جانبی بر روی یک ساختمان RC واقعی شامل پانل‌های پرکننده بنایی با و بدون استحکام FRP»، دو آزمایش پلاستیک یا بارگذاری جانبی را بر روی یک ساختمان RC بتن مسلح واقعی با مصالح بنایی توصیف می‌کنند (Corte et al. 2008).

۳. مطالعه موردی: توصیف دودکش تاریخی

محور این تحقیق دودکشی واقع در شهر تبریز است که در دوره پهلوی اول ساخته شده است. با این حال، هیچ طرح معماری یا جزئیات ساخت‌وساز در دسترس نیست. در نتیجه تمام اطلاعات مورد نیاز برای این مطالعه در محل و از طریق

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

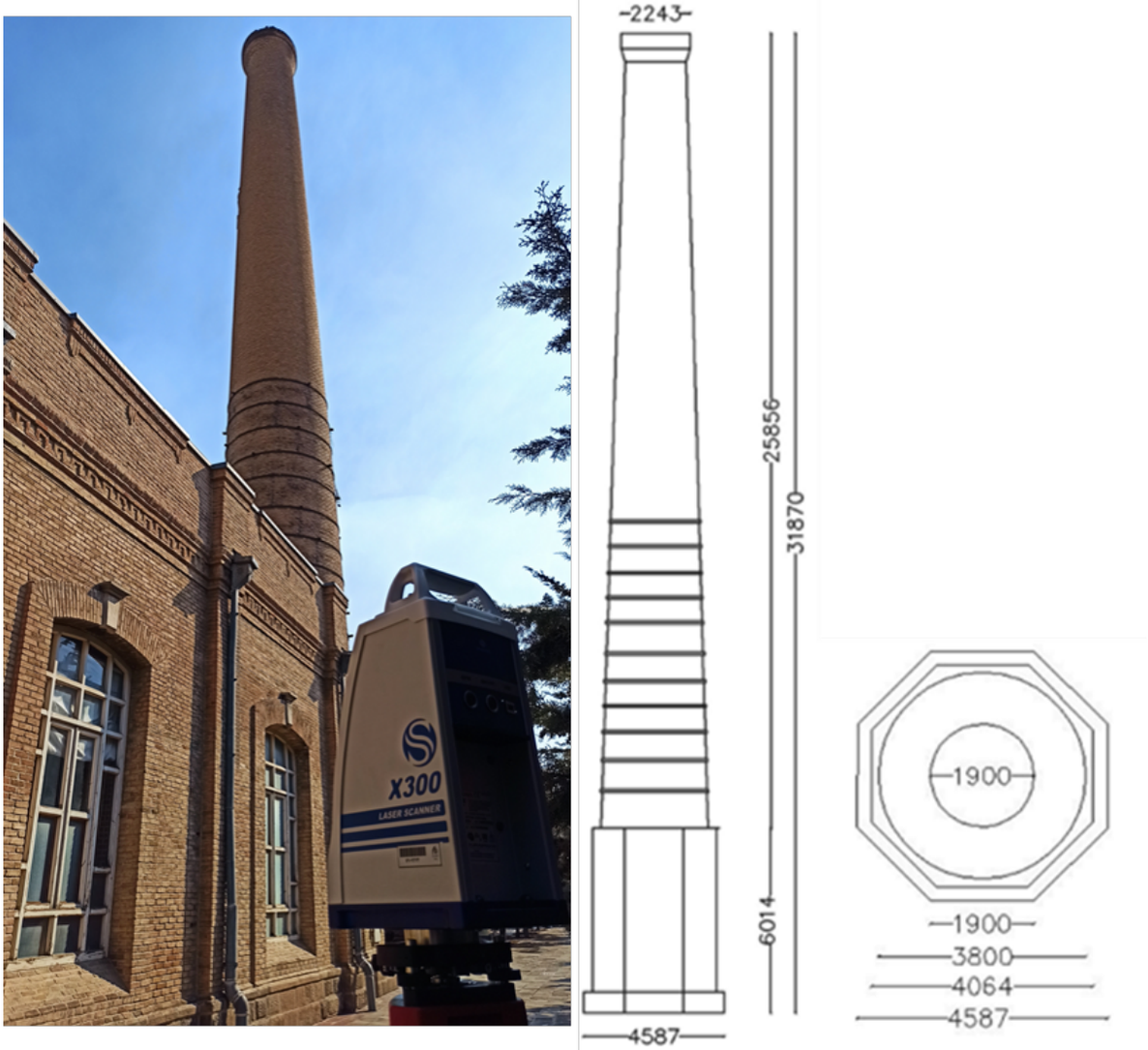
آزمایش‌های متنوع به دست آمد (Nami & Akhoundi, 2022, 3).

به دلیل نبود نقشه‌های معماری، هندسه بنا با استفاده از اسکن لیزری مشخص شد (Nami & Akhoundi, 2022, 3). در سال‌های اخیر، این سازه تحت یک روش استحکام‌بخشی قرار گرفته است که شامل نصب ۱۱ حلقه فلزی در فواصل تقریباً یک متری دور دودکش می‌شود. (شکل ۱– الف) یک تصویر از دودکش را نشان می‌دهد، درحالی‌که (شکل ۱– ب) مدارک بنا را پس از برداشت نشان می‌دهد.

٤. تست مودال عملیاتی

شناسایی خصوصیات دینامیکی سازه در بسیاری از زمینه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو تجزیه‌وتحلیل مودال تجربی (EMA) روشی مناسب جهت شناسایی پارامترهای دینامیکی سازه‌ها و ارائه یک مدل عددی است (Ghalishooyan & Shooshtari, 2015).

در سازه‌های با مقیاس بزرگ که تحریک مؤثر سازه و اندازه‌گیری نیروهای وارده به سازه غیرممکن است، روش‌هایی که نیاز به تحریک مستقیم و اندازه‌گیری نیرو در شناسایی پارامتر مودال ندارند، بیشتر مورد توجه قرار گرفته



شکل ۱: الف) تصویر دودکش؛ ب) مشخصات هندسی دودکش بنایی

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

است. این روش‌ها به‌عنوان آنالیز مودال عملیاتی (OMA) یا تحلیل مودال محیطی شناخته می‌شوند (Salehi et al, 2018, 55).

ارزیابی ایمنی سازه و حفظ بناهای بلند بنایی تاریخی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این بناها سازه‌های نسبتاً باریکی هستند و بارهای مرده قابل‌توجهی را تحمل می‌کنند. در نتیجه اغلب حساسیت بالایی نسبت به اقدامات دینامیکی، مانند ارتعاشات ناشی از ترافیک، باد و زلزله از خود نشان می‌دهند. در این زمینه، تجزیه‌وتحلیل مودال تجربی و تحلیل مودال عملیاتی ابزار ایدئالی برای ارزیابی رفتار دینامیکی سازه یا انجام صحت‌سنجی دقیق مدل‌های المان محدود قبل از استفاده در تحلیل عددی جهت ارزیابی ایمنی لرزه‌ای است. (Gentile, Saisi, & Cabboi, 2012, 1)

تحلیل مودال همیشه بر اساس سه مرحله زیر است:

– اجرای آزمایش؛

– استخراج پارامترهای مودال؛

– صحت‌سنجی مدل (Rainieri & Fabbrocino, 2011).

٤-١. روش آزمایش:

آزمون مودال عملیاتی در دو مرحله با حلقه‌ها و بدون حلقه‌ها اجرا شد (شکل ۲). در هر دو مرحله، آزمایش مودال عملیاتی با استفاده از دوازده شتاب‌سنج کابلی که در فواصل ۲٫۵ متری قرار گرفته بودند، انجام شد (Nami & Akhoundi, 2022, 5). در جدول ۱، مشهود است که فرکانس‌های به دست آمده برای هر دو مورد با و بدون حلقه، یکسان هستند. عدم تغییر در فرکانس‌ها، نشان‌دهنده عدم تغییر در سختی سازه نیز هست (جدول ۱). همچنین در شکل ۳ و ۴ اشکال مودی برای سه مود اول سازه در هر دو حالت بدون حلقه (شکل ۳) و با حلقه (شکل ۴) نشان داده شده است.

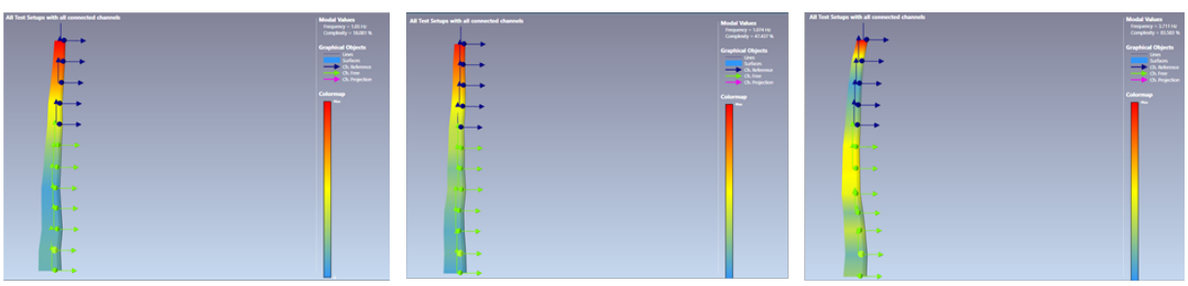


شکل ۲: مراحل تست مودال عملیاتی

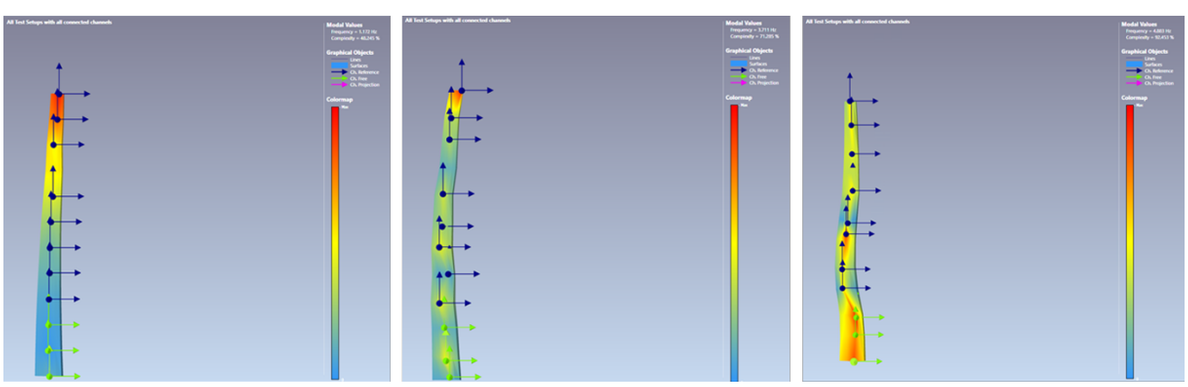
[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

جدول ۱: فرکانس مودهای سازه به دست آمده از آزمایش مودال عملیاتی (با حلقه و بدون حلقه)

	با حلقه‌ها					بدون حلقه‌ها				
شماره مود	مود۱	مود۲	مود۳	مود۴	مود۵	مود۱	مود۲	مود۳	مود۴	مود۵
فرکانس(HZ)	۱/۰۵	۱/۰۷۳	۳/۶۱	۳/۶۶	۷/۰۶	۱/۰۵	۱/۰۷۴	۳/۷۱	۳/۷۳	۸/۲۲



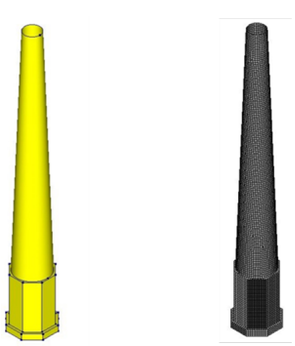
شکل ۳: سه مود اول سازه در جهت X (بدون حلقه)



شکل ۴: سه مود اول سازه در جهت X (با حلقه)

۵. مدل‌سازی عددی:

این مطالعه از رویکرد بزرگ مقیاس برای ساده‌سازی مدل عددی و افزایش کارایی محاسباتی استفاده کرد. با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده یک مدل عددی دقیق جهت انجام تحلیل‌ها ساخته شد (شکل ۵).

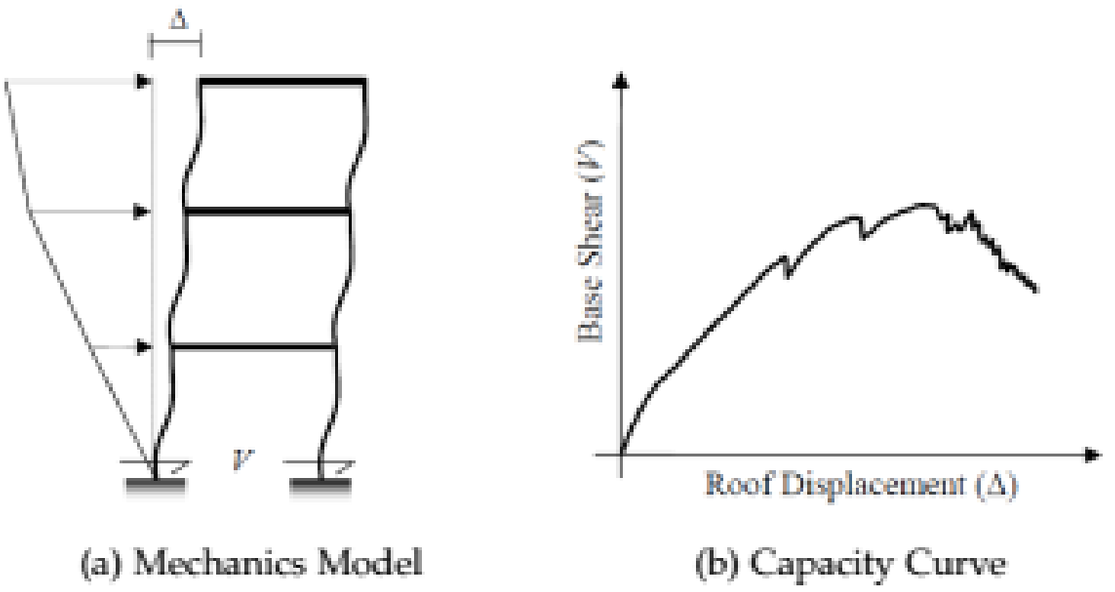


شکل ۵: الف) مدل دودکش ب) مش‌بندی مدل

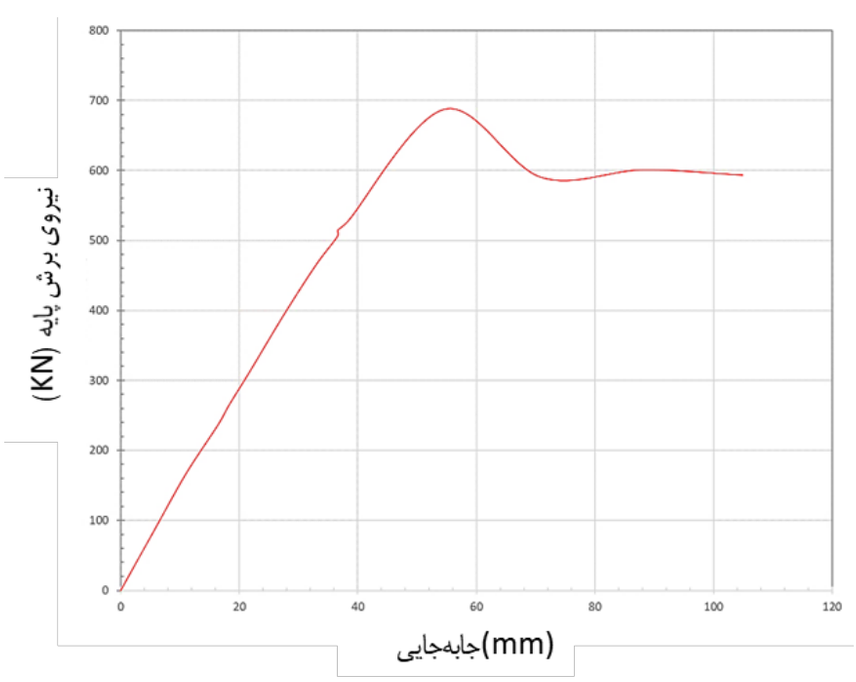
[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

جدول ۲: مقادیر مشخصات مصالح مورد استفاده در مدل دودکش

خواص مصالح	مدول الاستیک GPa	جرم مخصوص Kg/m3	ضریب پواسون	KPa	KPa
مصالح بنایی	۲/۳۴	۱۹۰۰	۰/۲۵	۱۰۰۱	۱۰۰/۱



شکل ۶: نمایش شماتیک روش تحلیل پوش‌اور (Noortman, 2019, p. 34)



شکل ۷: منحنی پوش‌اور

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

ویژگی‌های مصالح به‌کار رفته در این مطالعه به شرح زیر است: (جدول ۲)

مقاومت فشاری و مدول الاستیک از آزمایش‌های جک دوتایی به دست آمده و مقدار مقاومت کششی ۰٫۱ مقاومت فشاری در نظر گرفته شد.

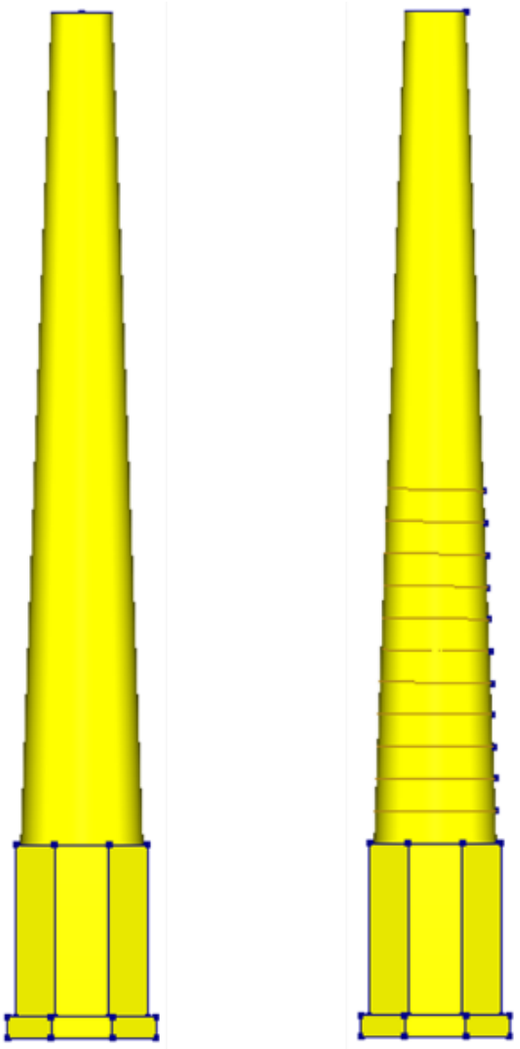
٦. تجزیه‌وتحلیل پوش‌اور:

تحلیل پوش‌اور یک روش استاتیکی غیرخطی است که برای تحلیل لرزه‌ای استفاده می‌شود. تحلیل پوش‌اور روشی است که در آن مقدار بار جانبی برانگیخته شده در سازه تا زمان شکست به صورت یکنواخت افزایش می‌یابد. رابطه بین تغییر مکان و برش پایه متعاقباً در یک منحنی ظرفیت رسم می‌شود (شکل ۶). (Noortman, 2019, p. 32).

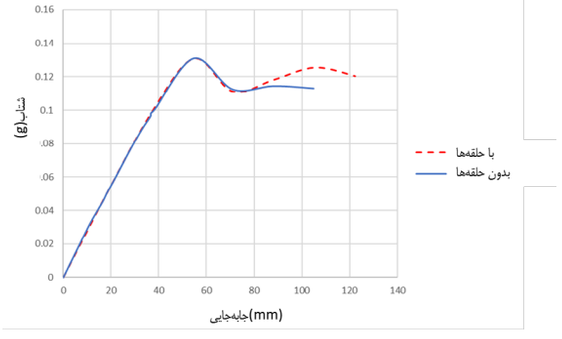
نتایج تحلیل پوش‌اور سازه در حالت بدون حلقه‌ها و با حلقه‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند. (شکل ۷) منحنی ظرفیت به دست آمده از تحلیل پوش‌اور سازه را قبل از استحکام‌بخشی نشان می‌دهد. بر این اساس، حداکثر نیروی برشی ۶۸۷/۵ KN و سختی ۱۴/۵ KN/mm است.

۷. سازه پس از استحکام‌بخشی:

در سال‌های اخیر از حلقه‌های فلزی به عنوان تکنیک استحکام‌بخشی بنا استفاده شده است. این پژوهش بر ارزیابی تأثیر این روش متمرکز است. بر این اساس، تحلیل پوش‌اور متناسب با جرم جهت بررسی روش‌های مختلف استفاده از این تکنیک اجرا شد و با استفاده از منحنی ظرفیت تغییرات سختی و مقاومت در هر حالت بررسی گردید (شکل ۸). ابتدا برای بررسی اثربخشی تکنیک استحکام‌بخشی (با استفاده از حلقه)، آنالیز پوش‌اور در دو حالت بدون حلقه و با حلقه انجام شد. وجود حلقه‌ها به صورت فعلی تأثیر قابل‌توجهی در افزایش استحکام و سختی سازه آن نداشت. در هر دو حالت حداکثر مقاومت سازه ۰/۱۳ g است (شکل ۹).



شکل ۸: مدل دودکش الف) بدون حلقه؛ ب) پس از استحکام بخشی با حلقه



شکل ۹: مقایسه تحلیل پوش‌اور قبل و بعد از استحکام‌بخشی با حلقه

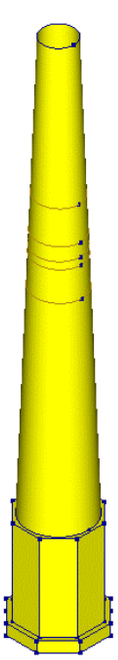
[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

مطابق (جدول ۳)، انواع جای‌گذاری حلقه‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیر این روش بررسی شود. بر این اساس در مرحله اول سه حلقه در پایین مخروط قرار گرفت و هیچ تغییری در مقاومت و سختی سازه در مقایسه با حالت بدون حلقه مشاهده نشد.

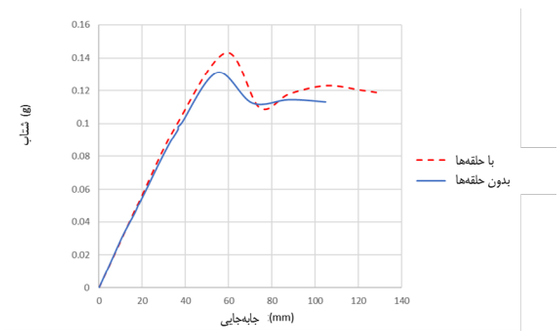
در مرحله بعد در مجموع ۷ حلقه به صورت پراکنده تا میانه ارتفاع دودکش قرار داده شد. بازهم هیچ تأثیری بر سختی و مقاومت سازه نداشت.

در مرحله بعد تعداد ۵ حلقه در وسط دودکش بررسی شد. در این حالت با تحلیل نمودارها افزایش ۳ درصدی مقاومت نسبت به حالت بدون حلقه مشاهده شد. نهایتاً با قرار دادن حلقه‌ها در یک سوم ارتفاع دودکش، جایی که محل تشکیل مفصل در مود دوم سازه است بیشترین تأثیر این روش مشاهده گردید(شکل ۱۰).

بر اساس منحنی‌های پوش‌اور، تحت بهترین حالت (شکل ۱۱)، استحکام سازه نسبت به حالت قبل از استحکام‌بخشی تقریباً ۹/۱۶ درصد افزایش یافت. بر اساس نتایج مقاومت از ۰/۱۳۱ g به ۰/۱۴۵ g افزایش یافته است. با این حال، این درصد افزایش برای استحکام‌بخشی بنا رضایت‌بخش نیست.



شکل ۱۰: مدل دودکش پس از استحکام‌بخشی با حلقه در یک سوم ارتفاع بالایی دودکش



شکل ۱۱: مقایسه تحلیل پوش‌اور قبل و بعد از استحکام بخشی با حلقه‌هایی در یک سوم ارتفاع بالایی دودکش

۸. نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد تا به عنوان یک تکنیک مقاوم‌سازی در دودکش‌های صنعتی تاریخی استفاده از حلقه‌های فلزی مورد بررسی قرار گیرد از این رو دودکش کارخانه چرم خسروی مورد مطالعه قرار گرفت.

برای بررسی اثر حلقه‌ها، آنالیز مودال تجربی بر روی سازه در دو مرحله بدون حلقه‌ها و با حلقه‌ها انجام شد. نتایج به دست آمده، تغییرات قابل‌توجهی را در فرکانس‌های سازه در دو حالت مختلف نشان نمی‌دهد بنابراین هیچ تغییر محسوسی در سختی بنا ایجاد نشده است.

در بخش دوم، مدل‌سازی عددی و تحلیل منحنی‌های پوش‌اور به‌دست‌آمده در هر دو حالت (با حلقه و بدون حلقه) نشان می‌دهد که تغییری در مقاومت و سختی سازه مورد مطالعه مشاهده نشده و حداکثر مقاومت آن ۰/۱۳ g است.

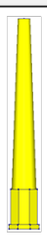
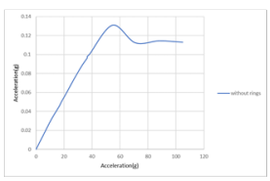
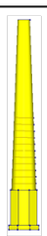
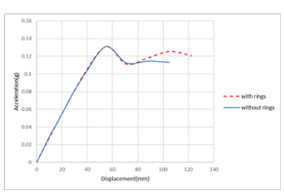
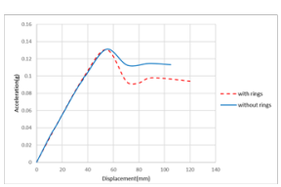
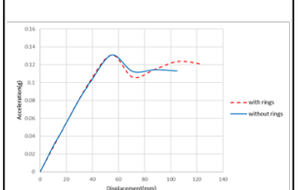
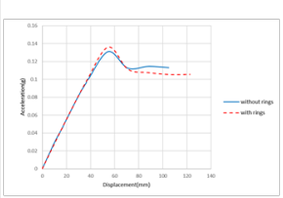
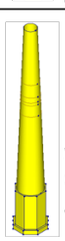
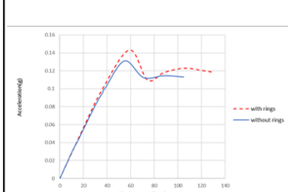
جایگذاری‌های مختلف حلقه‌ها بر روی سازه نیز مورد بررسی قرار گرفت و در بهترین حالت تأثیر این تکنیک در انتهای یک سوم دودکش مشاهده شد که در این حالت مقاومت ۹/۱۶ درصد افزایش یافت؛ اما این افزایش رضایت‌بخش نیست و این راهکار نتایج رضایت‌بخشی را جهت استحکام‌بخشی بنا در برنداشته است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر فرهاد آخوندی بابت راهنمایی و حمایت ارزشمند ایشان در طول فرآیند تحقیق صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم. همچنین این پژوهش با منابع و

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

جدول ۳: مقایسه تحلیل پوش‌اور در جایگذاری‌های مختلف حلقه‌ها

گزینه‌های مورد بررسی	منحنی‌های پوش‌اور	درصد تغییرات
 بدون حلقه‌ها		———
 با حلقه‌ها (شرایط موجود)		0.00%
 با حلقه‌ها سه حلقه در قسمت پایین) (مخروط دودکش		0.00%
 با حلقه‌ها هفت حلقه در قسمت پایین) (مخروط دودکش		0.00%
 با حلقه‌ها پنج حلقه در قسمت میانه) (مخروط دودکش		+3.05%
 با حلقه‌ها پنج حلقه در قسمت ۱/۳ بالایی) (ارتفاع دودکش		+9.16%

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]

امکانات دانشگاه هنر اسلامی تبریز میسر گردید.

مشارکت نویسندگان

– صفیه نامی و سپهر آمر: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، نوشتن پیش‌نویس اصلی، جمع‌آوری داده‌ها، مدل‌سازی، تحلیل.
– اما هاروتیونیان و وحید نوداد: بررسی و ویرایش، جلب اعتبار مالی، مدیریت پروژه.

تضاد منافع،حمایت مالی

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است.

دسترسی به داده‌ها و مواد

داده‌ها و مواد استفاده شده در این تحقیق شامل نتایج آزمایش‌های میدانی، مدلسازی عددی و آنالیز دینامیکی است که به‌طور کامل در نتیجه‌گیری‌ها و بحث‌های ارائه شده در متن مقاله گنجانده شده است. برای دسترسی به داده‌های خام و اطلاعات میدانی، پژوهشگران و علاقه‌مندان می‌توانند از طریق تماس با نویسندگان مقاله اقدام کنند.

منابع

References

Nami, S., & Akhoundi, F. (2022). Understanding the Dynamic Characteristics of Industrial Masonry Chimney for Investigative Preservation: A Case Study of Khosravi Leather Factory Chimney, Iranian and Islamic Architectural and Restoration Research Journal; 5 (14):1-9. [In Persian]

Corte G. D, Fiorino, L. Mazzolani, F. M. (2008). Lateral-Loading Tests on a Real RC Building Including Masonry Infill Panels with and without FRP Strengthening, Materials in Civil Engineering, 20(6): 419-431

Gentile, C. Saisi, A. Cabboi, A. (2012). Dynamic monitoring of a masonry tower. Proc. of the Int. Conf. SAHC 2012.

Ghalishooyan, M., & Shooshtari, A. (2015). Operational modal analysis techniques and their theoretical and practical aspects: A comprehensive review and introduction, 6th International Operational Modal Analysis Conference.

Karaca, Z. Türkeli, E. Günaydın, M. Adanur, S. (2015). Dynamic responses of industrial reinforced concrete chimneys strengthened with fiber-reinforced polymers, The structural design of tall and special buildings, 24: 228-241

Noortman, F.J. (2019). Applicability of the pushover method for the seismic assessment of URM structures in Groningen, Master thesis, TU Delft university.

Pallare´s ,F.J. Ivorra, S. Pallare´s ,L. Adam Jose M. (2009). Seismic assessment of a CFRP-strengthened masonry chimney, Structures and Buildings, 162: 291-299.

Rainieri, C. Fabbrocino, G. (2011). Operational modal analysis for the characterization of heritage structures, GEOFIZIKA, 28: 109-125.

Salehi, M. Orak, M. Qurbani, M. Ahmadi Bolotaki, M. (2018). Experimental study of the performance of different environmental modal analysis methods with simultaneous random and harmonic excitation, Iranian Mechanical Engineering Research Journal, 20 (2):54-71.

Viskovic, A. Antonelli, L. Morgante, F.(2019). Annular Post-Compression by FRP inside Mortar Joints and Vertical Post-Compression by Stainless Steel, for Seismic and Wind Retrofitting of Historical Masonry Chimney, Key Engineering Materials, 817:642-649.

نامی صفیه و آخوندی فرهاد. (۱۴۰۱). شناخت ویژگی های دینامیکی دودکش بنایی صنعتی جهت بررسی های حفاظتی نمونه موردی دودکش کارخانه چرم خسروی، مجله پژوهش های مرمت و معماری ایرانی و اسلامی، ۵(۱۴):۱-۹.

[DOI: 10.61186/ciauj.9.1.1]