Environmental Hazards Management

University of Tehran Press

Home Page: https://jhsci.ut.ac.ir

Iranian Hazardology Association

Online ISSN: 2383-0530

Earthquake-Resistant Façades for Mid-Rise Buildings: A Scoping Review

Elham Ebrahim[1] | Mohsen Vafamehr[2] | Ahmad Ekhlassi[3*] | Siamak Epackachi[4]

1. Department of Architecture, Faculty of Architecture & Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: E_Ebrahimi@arch.ist.ac.ir
2. Department of Architecture, Faculty of Architecture & Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran and Department of Architecture, faculty of Art & Architecture, Islamic Azad University, Mashhad branch, Mashhad, Iran. Email: dr.vafamehr@iau.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Architecture, Faculty of Architecture & Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: ekhlassi@iust.ac.ir
4. Department of Structural and Earthquake Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. Email: epackachis@aut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 03 May 2023
Revised 14 August 2023
Accepted 06 September 2023
Published 11 September 2023

Keywords:
Earthquake,
Façade,
Mid-rise building,
Scoping review,
Structural stability.

ABSTRACT

This paper aims to provide a comprehensive literature review and identify the parameters that influence the seismic behavior of mid-rise building façades. The qualitative survey research was conducted between March 2022 and February 2023 using the design principles of Arksey and O'Malley's scoping review. Through library research in three bibliographic databases, Web of Science, Scopus, and ProQuest, and two search engines, Google and Google Scholar, with the following search string: Façade or Cladding or Enclosure or "Building skin" or Envelope and "Seismic design" or "Lateral load" or "Seismic load" or Earthquake, all English-language studies on seismic façade design published up until 2023 were obtained. The results revealed 526 sources, of which 35 studies met the inclusion criteria and were included in the analysis. Four reviewers extracted and quantitatively and qualitatively analyzed information about the year, department, country, façade type, methods, and various variables tested for their effect on the seismic stability of the façade using MS Excel software. Among the studies included, 57.1% were conducted after 2015 and in countries prone to earthquakes, where the United States, Australia, Italy, and New Zealand yielded the majority of the 35 studies included. In addition, 11.5% resulted from international university collaboration. 5.7% of the studies were conducted in Iran. Participation from architecture schools was 17.2%. The studies were mixed between experimental setups (51%), numerical modeling (26%), combined methods (20%), and qualitative methods (case study) (3%). Most research focused on investigating curtain façades (57%), façades with dry connections (60%), and glass and brick façades. Seven categories of variables were identified and organized into three levels based on the phases of facade design in which they must be considered. Parameters relevant to shape (dimensions, aspect ratios, and slenderness), material, connections, and movement joints were shared. The research revealed that, in recent years, there has been an increase in scientific efforts to create façades with seismic resistance. To this end, cooperation between Iranian and leading international universities can yield positive results. In earthquake-prone areas, it indicated the need to consider certain parameters, such as panel or subsystem dimensions, ratios, and material properties, during the preliminary façade design stage. Given this issue and the complexity and interdisciplinary nature of façade design, architects must collaborate. Multi-criteria decision-making techniques could be advantageous and facilitator in this process.

Cite this article: Ebrahim, E.; Vafamehr, M.; Ekhlassi, A. & Epackachi, S. (2023). Earthquake-Resistant Façades for Mid-Rise Buildings: A Scoping Review. *Environmental Hazards Management*, 10 (2), 107-119. DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.360314.783

© Elham Ebrahim, Mohsen Vafamehr, Ahmad Ekhlassi, Siamak Epackachi.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.360314.783

Introduction

Recent earthquakes in Iran have caused considerable damage to building façades. This has resulted in economic, social, and building function losses. Moreover, this occurrence poses a threat to human life [1]. Given the progress made in the field of improving the seismic performance of structural systems and the trend of new design approaches toward damage control levels rather than

life safety [1], the role of architectural components such as façades in maintaining building performance and reducing damages and casualties is more crucial than ever. The structural stability of facades must be considered as a top priority in their design in in earthquake-prone areas. However, their design is complex, and it is difficult to achieve earthquake resistance because too many variables affect their performance during seismic events [2]. This study aims to identify the design parameters that affect mid-rise building façade seismic stability. This study examined all English-language studies published in this field until 2023, utilizing a scoping review method to answer the following exploratory questions.

- What years had the most studies?
- Which countries conduct the most research?
- How many architecture schools have conducted studies?
- Most studied façade types?
- What research methods were used?
- What design parameters improve façade seismic performance?
- What factors are the most frequently cited in the literature?

Materials and methods

This study followed Arksey and O'Malley's scoping review model. From March 2022 to February 2023, three bibliographic databases—Web of Science, Scopus, and ProQuest—and two search engines—Google and Google Scholar—retrieved English-language sources published until 2023. 'Façade or Cladding or Enclosure or 'Building skin' or Envelope' and 'Seismic design' or 'Lateral load' or 'Earthquake' yielded 526 sources. Thirty-five studies were eligible for analysis.

Discussion and results

The majority of research—57.1 %—was published after 2015. Most studies were conducted in the United States (13), Australia, Italy, and New Zealand (each of them; 4 studies). Furthermore, 11.5% were completed in collaboration between universities in different countries. Studies in Iran accounted for 5.7% of the research. Participation from architecture schools was 17.2% of the total. There were 51% experimental setups, 26% numerical modeling, 20% combined methods, and 3% case studies. Most research has centered on curtain façades (57%), dry connection façades (60%) and glass and brick façades. The studies were divided into two groups based on the façade examined. Seven categories of variables were identified based on the data from each group. They are organized into three levels at the stage of façade design. The most frequent factors stated in the literature involved connections and their characteristics. The proportions of materials, connections, movement joints, and facade component dimensions, aspect ratio, and slenderness were shared in the seismic vulnerability of midrise building facades.

Conclusion

The findings indicate that the scientific community has paid more attention to this issue in recent years than in the past. Iran's high seismicity and the need to consider certain parameters during the preliminary design phase to achieve a seismically resistant façade for mid-rise buildings highlight the need for collaboration between architects and engineers and between Iranian and leading international universities. Due to the complexity and interdisciplinarity of the façade design, it may be advantageous to employ multi-criteria decision-making techniques.

References

[1]. Bianchi, S., & Pampanin, S. (2022). Fragility Functions for Architectural Nonstructural Components. *Journal of structural engineering*, 148(10), 3122005. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003352.

[2]. Miranda, E., Kazantzi, A. K., & Vamvatsikos, D. (2018, June). *New approach to the design of acceleration-sensitive non-structural elements in buildings*. Paper presented at the 16th European conference on earthquake engineering, Thessaloniki, Greece. https://www.researchgate.net/publication/325988163_New_approach_to_the_design_of_acceleration-sensitive_non-structural_elements_in_buildings.

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: https://jhsci.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۸-۲۴۲۳

نمای پایا در برابر زلزله برای ساختمان‌های میان‌مرتبه: مرور دامنه

الهام ابراهیمی[۱] | محسن وفامهر[۲] | احمد اخلاصی[۳*] | سیامک ایپکچی[۴]

۱. گروه معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. رایانامه: E_Ebrahimi@arch.ist.ac.ir

۲. گروه معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران و گروه معماری، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: dr.vafamehr@iau.ac.ir

۳. نویسندهٔ مسئول، گروه معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. رایانامه: ekhlassi@iust.ac.ir

۴. گروه سازه و زلزله، دانشکدهٔ مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. رایانامه: epackachis@aut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
یادداشت پژوهشی کاربردی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

کلیدواژه:
بنای میان‌مرتبه،
پایداری سازه‌ای،
زلزله،
مرور دامنه،
نما.

چکیده

نماها از آسیب‌پذیرین اجزاء ساختمان‌ها در برابر زلزله در ایران هستند. هدف پژوهش شناسایی پارامترهای طراحی مؤثر بر پایایی لرزه‌ای نماهای ساختمان‌های میان‌مرتبه است. پژوهش بر اساس اصول مرور دامنه آرکسی و اومالی در ۱۲ ماه انجام شده است. داده‌ها با نرم‌افزار اکسل و توسط چهار نویسنده تحلیل شده‌اند. ۵۷/۱ درصد مطالعات پس از سال ۲۰۱۵ منتشر شده‌اند. کشورهای آمریکا، استرالیا، ایتالیا و نیوزلند بیشترین تولیدات علمی را داشته‌اند. ایران در ۵/۷ درصد و دانشکده‌های معماری در ۱۷/۲ درصد سهیم هستند. ۱۱/۵ درصد پژوهش‌ها با همکاری دانشگاه‌های مختلف صورت گرفته‌اند. بیشترین پژوهش‌ها به بررسی نماهای پرده‌ای (۵۷ درصد)، نماهای با اتصالات خشک (۶۰ درصد) و نماهای شیشه‌ای و آجری پرداخته‌اند. روش‌های تجربی (۵۱ درصد)، مدل‌سازی عددی (۲۶ درصد)، روش‌های ترکیبی (۲۰ درصد) و کیفی (سه درصد) برای انجام مطالعات استفاده شده‌اند. هفت گروه متغیر شناسایی و در سه سطح مربوط به مراحل طراحی نما طبقه‌بندی شدند. ابعاد و تناسبات ابعادی عناصر نما و مشخصات مربوط به اتصالات، مصالح و درزهای حرکتی در پایداری لرزه‌ای انواع نما مؤثر شناخته شدند. یافته‌ها حاکی از افزایش تلاش جامعهٔ علمی در کشورهای لرزه‌خیز و مشارکت دانشگاه‌هایشان در سال‌های اخیر برای دستیابی به نمای پایا در برابر زلزله است. ماهیت برخی پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد لرزه‌ای نما، نشان‌دهنده لزوم توجّه معماران از مراحل اولیه طراحی نما در مناطق لرزه‌خیز به این موضوع است. بهره‌مندی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در این فرآیند که فراوانی و ماهیت پارامترها حاکی از بین‌رشته‌ای بودن و پیچیدگی آن است، می‌تواند راه‌گشا باشد

استناد: ابراهیمی، الهام؛ وفامهر، محسن؛ اخلاصی، احمد و سیامک ایپکچی (۱۴۰۲). نمای پایا در برابر زلزله برای ساختمان‌های میان‌مرتبه: مرور دامنه. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۰ (۲)، ۱۰۷-۱۱۹. DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.360314.783

© الهام ابراهیمی، محسن وفامهر، احمد اخلاصی، سیامک ایپکچی.
DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.360314.783

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

بخش عظیمی از خسارت‌های ناشی از زلزله در ایران مربوط به تخریب نماهای ساختمانی است. آسیب‌دیدگی یا سقوط نماها ممکن است سبب از دست رفتن عملکرد موقت یا دائم ساختمان‌ها، تلفات جانی، قطع فعالیت‌های امداد و نجات و صدمات مالی فراوان شود [۱۳]. اصلانی، امینی حسینی و فلاحی (۱۳۹۷) عملکرد نامناسب این اجزا را از دلایل کاهش تاب‌آوری کالبدی شهری عنوان کرده‌اند [۱].

با پیشرفت‌های صورت‌گرفته در زمینهٔ بهبود عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای، خواست جامعه برای بهبود ایمنی در برابر زلزله و گرایش رویکردهای نوین طراحی به سطوح کنترل آسیب به‌جای ایمنی جانی (ترجیحاً بدون افزایش هزینه)[۱۳]، لزوم توجه به ارتقای رفتار لرزه‌ای عناصر معماری مانند نماها بیش از پیش آشکار می‌شود. با توجه به پیچیدگی طراحی این اجزا به‌دلیل تأثیر عوامل فراوان بر نحوهٔ رفتار دینامیکی آنها [۲۳]، شناخت شاخص‌های مهم می‌تواند به ارائهٔ ایده‌ها یا راه‌حل‌های کارامد بینجامد [۱۳].

هدف این پژوهش شناسایی و دسته‌بندی آن دسته از شاخص‌های طراحی است که بر پایداری نما در برابر زلزله در بناهای میان‌مرتبه تأثیر دارند. ساختمان میان‌مرتبه براساس تعریف شورای عالی شهرسازی و معماری ساختمانی است که با احتساب طبقهٔ همکف کمتر از هشت طبقه (کمتر از ۲۷ متر ارتفاع) و بیشتر از چهار طبقه باشد [۲].

برای اجرای این تحقیق، پژوهش‌های انگلیسی‌زبان مرتبط با این حوزه که تا سال ۲۰۲۳ منتشر شده‌اند، با رویکرد مرور حیطه‌ای و در راستای پاسخ به پرسش‌های اکتشافی پژوهش جمع‌آوری و بررسی شدند.

پرسش‌های اصلی پژوهش عبارت‌اند از:

- بیشترین پژوهش‌ها در چه سال‌هایی انجام گرفته است؟
- بیشترین پژوهش‌ها در چه کشورهایی انجام گرفته است؟
- دانشکده‌های معماری در چه تعدادی از پژوهش‌ها مشارکت داشته‌اند؟
- بیشترین پژوهش‌ها دربارهٔ چه نوع نماهایی انجام گرفته است؟
- پژوهش‌ها با چه روش‌هایی انجام گرفته‌اند؟
- کدام شاخص‌های طراحی در عملکرد نما در برابر زلزله مؤثر شناخته شده‌اند؟
- مهم‌ترین شاخص‌ها کدام‌اند؟

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر براساس هدف کلان، پژوهشی کاربردی و براساس نوع متغیرها، پژوهشی آمیخته است و در دامنهٔ زمانی اسفند ۱۴۰۰ تا بهمن ۱۴۰۱ (دوازده ماه) براساس پروتکل پنج‌مرحله‌ای آرکسی و اومالی برای مرور دامنه انجام گرفته است. این مراحل عبارت‌اند از: شناسایی پرسش‌های پژوهش، شناسایی پژوهش‌های مرتبط، انتخاب پژوهش‌های مرتبط، نمایش داده‌ها (نمودار و جدول) و در نهایت خلاصه‌سازی و گزارش یافته‌ها. مرور دامنه در مواردی که شناسایی شواهد در مورد ماهیت، ویژگی‌ها و گستردگی موضوع خاصی مدنظر باشد، استفاده می‌شود [۴].

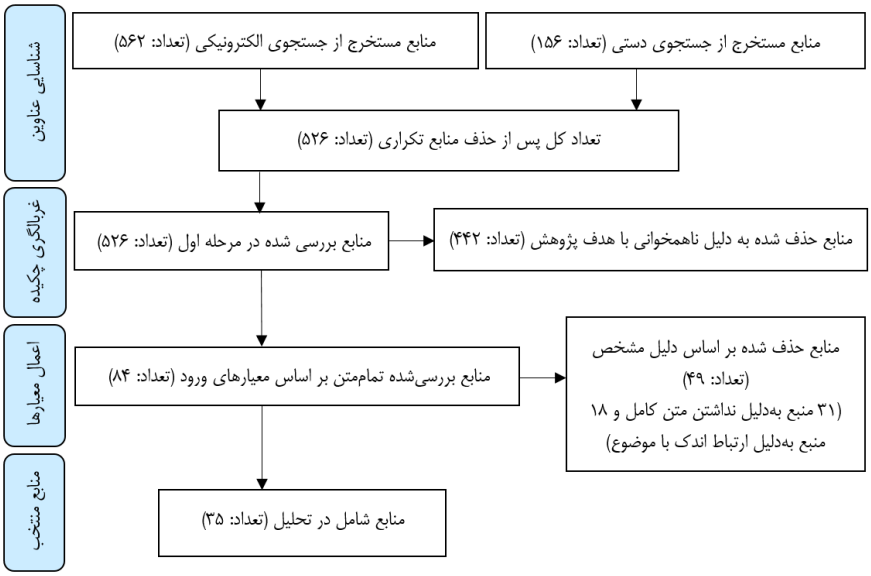
داده‌های پژوهش به روش پیمایشی (غیرآزمایشی یا توصیفی) با ابزار کتابخانه‌ای استخراج و با روش‌های کیفی (تحلیل محتوا) و کمی با بهره‌گیری از آمار به‌صورت توصیفی تحلیل شدند. در تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

راهبردهای جست‌وجو، معیارهای ورود و خروج و انتخاب پژوهش‌ها

اصول و ضوابط پژوهش حاضر براساس چک‌لیست پریسما تدوین شده است. در این پژوهش، بازیابی داده‌های پژوهش‌های قبلی بسیار مهم است؛ زیرا پژوهش‌های بسیاری به بررسی پایداری نما در برابر زلزله و شناخت متغیرهای تأثیرگذار بر نحوهٔ عملکرد آن پرداخته‌اند و پژوهش حاضر در تلاش است به شناخت جامعی از این شاخص‌ها دست یابد. از این‌رو، راهبردهای جست‌وجو با دقت انتخاب شدند. جست‌وجوی ادبیات شامل یافتن منابع انگلیسی‌زبان منتشرشده تا ابتدای سال ۲۰۲۳ با عبارت‌های Facade،

Cladding، Enclosure، Building skin، Envelope و Earthquake، Seismic design، Lateral load یا Seismic load بود. داده‌ها از طریق سه پایگاه داده اسکوپوس، وب آف ساینس و پروکوئست، موتور جست‌وجوگر گوگل اسکالر و گوگل (ده صفحهٔ اول برای یافتن پژوهش‌های خاکستری) و جست‌وجوی دستی گردآوری شدند. نوع منابع شامل مقالات چاپ‌شده در مجلات علمی، پایان‌نامه‌های مقطع دکتری و مقالات مربوط به همایش‌ها بوده است. برای اطمینان از نتایج، جست‌وجو در پایگاه‌های ذکرشده آزمایش شد.

در مرحلهٔ اول جست‌وجو، ۷۱۹ منبع حاصل آمد و برای سازماندهی آنها از نسخهٔ پنجم نرم‌افزار سیتاوی استفاده شد. در مرحلهٔ ورود منابع به نرم‌افزار، ۱۹۳ منبع تکراری تشخیص داده شده و ۵۲۶ سند به نرم‌افزار وارد شد. اسناد برای غربالگری چکیده به مرحلهٔ بعد رفتند. مقالاتی که به بررسی نمای بناهای بلندمرتبه پرداخته بودند یا در حوزه‌های مربوط به شاخص‌های غیرمربوط به حوزهٔ طراحی، شناسایی اثر بارهای ترکیبی مانند انفجار و زلزله یا باد و زلزله، ارزیابی آسیب‌پذیری، تخمین خسارات و روش‌های انجام آن، شناخت سازوکارهای تخریب و ریزش، ارزیابی مقررات و الزامات و بررسی راهکارها و روش‌های مقاوم‌سازی بودند، از پژوهش خارج شدند. در نهایت ۸۴ پژوهش که منطبق بر معیارهای ورود و خروج بودند، به‌صورت تمام‌متن بررسی شدند. ۴۹ منبع در این مرحله به دلایلی چون نبود ارتباط یا ارتباط اندک مفهومی با موضوع و هدف پژوهش یا نداشتن متن کامل کنار گذاشته شدند و ۳۵ منبع به مرحلهٔ تحلیل رفتند (شکل ۱). به‌دلیل انجام مرور دامنه، از ارزیابی کیفیت مقالات چشم‌پوشی شد. مراحل یادشده با هدف افزایش اعتبار پژوهش و صحت پژوهش‌های انتخاب‌شده توسط همهٔ نگارندگان انجام گرفت.



شکل ۱. غربالگری منابع مرور دامنه براساس الگوی پریسما (منبع: نگارندگان)

استخراج داده‌ها

پس از فرایند غربالگری، اطلاعات مربوط به منابع نهایی استخراج و در نرم‌افزار اکسل وارد شد. بررسی داده‌های استخراج‌شده توسط نویسنده چهارم کنترل شد. پژوهش‌ها براساس مشابهت نوع سیستم نمای بررسی‌شده در پژوهش و در راستای تدقیق شاخص‌های مؤثر بر رفتار لرزه‌ای این اجزا به دو گروه تفکیک شدند. تحلیل کمی و کیفی داده‌ها با ارزیابی توصیفی و تکنیک تحلیل محتوا (متن‌کاوی) توسط همهٔ نویسندگان و با کمک نرم‌افزار اکسل انجام گرفت. نتایج محاسبات توسط نویسندگان دوم، سوم و چهارم در راستای اعتبارسنجی یافته‌ها بررسی شد. با اجرای این مرحله، شاخص‌های علم‌سنجی مانند سیر رشد مقالات و کشورهای فعال در حوزهٔ مورد نظر به‌دست آمد. همچنین به مقایسهٔ تعداد مقالات در دو حوزهٔ تفکیک‌شده، بررسی بیشترین انتشار مربوط به دو گروه به تفکیک سال و کشور و میزان مشارکت دانشکده‌های معماری پرداخته شد و در نهایت شاخص‌های طراحی استخراج‌شدهٔ مؤثر بر رفتار نما در برابر زلزله طبقه‌بندی و مقایسه شد (جدول ۱).

جدول ۱. اطلاعات استخراج‌شده از منابع نهایی

منبع	سال	کشور	دانشکده	روش	نوع نما	مصالح	اجرا	متغیرها
[۲۶]	۲۰۱۰	آمریکا	مهندسی سازه، مهندسی عمران و محیط زیست	تجربی	دیوارنما	آجر	تر	نوع مهار، تناسبات ابعادی زیرسیستم‌های نما
[۲۷]	۲۰۰۸	آمریکا	مهندسی زلزله، مهندسی سازه	تجربی	دیوارنما	آجر	تر	نوع مهار، فاصلهٔ مهارها، مسلح کردن بندها، گشودگی‌ها
[۳۰]	۲۰۱۱	پرتغال	گروه مهندسی عمران	تجربی	میانقابی	آجر	تر	تقویت بندها، تقویت سطح نما
[۳۱]	۲۰۱۰	آمریکا	مهندسی عمران و محیط زیست	مدل‌سازی عددی	دیوارنما	آجر	تر	نوع مهار، ویژگی‌های دیوار پشتیبان
[۱۲]	۲۰۱۹	ایتالیا	مهندسی	مدل‌سازی عددی	میانقابی	بتن	خشک	اتصالات، سازهٔ اصلی
[۱۵]	۲۰۱۱	آمریکا	مهندسی عمران و محیط زیست	مدل‌سازی عددی	دیوارنما	آجر	تر	سازهٔ بنا، ویژگی‌های دیوار پشتیبان، نوع مهار
[۲۰]	۲۰۱۸	پرتغال	مهندسی عمران	ترکیبی	دیوارنما	آجر	تر	خصوصیات مکانیکی و فیزیکی مصالح، نوع مهار، فاصلهٔ حفرهٔ هوایی بین نما و دیوار پشتیبان، تقویت بندها
[۲۸]	۲۰۱۶	آمریکا	مهندسی سازه	ترکیبی	پرده‌ای	بتن	خشک	اتصال، وزن
[۲۹]	۲۰۰۲	آمریکا	مهندسی معماری	مدل‌سازی عددی	–	–	–	درزهای حرکتی، ویژگی‌های فیزیکی مصالح
[۳]	۲۰۱۸	ایتالیا	مهندسی	ترکیبی	پرده‌ای	شیشه	خشک	محل اتصالات
[۳۶]	۲۰۱۷	نیوزیلند	مهندسی، مهندسی عمران و منابع طبیعی	مدل‌سازی عددی	میانقابی	آجر	تر	ابعاد هندسی، تفکیک به زیرسیستم
[۷]	۲۰۱۶	آمریکا، انگلیس، یونان	مهندسی عمران، مهندسی عمران و محیط زیست	مدل‌سازی عددی	پرده‌ای	شیشه	خشک	فریم، اتصالات، ویژگی‌های مصالح
[۱۴]	۲۰۱۷	ایتالیا	مهندسی	تجربی	پرده‌ای	شیشه	خشک	نوع واشرهای بین شیشه و پنل
[۴۰]	۲۰۲۰	ژاپن، چین، فنلاند	مهندسی، علوم بلایای طبیعی، مهندسی صنایع و مدیریت	مدل‌سازی عددی	پرده‌ای	شیشه	خشک	سازهٔ بنا، تناسبات ابعادی پنل‌ها
[۳۹]	۲۰۲۰	کلمبیا	معماری	کیفی (نمونه موردی)	دیوارنما و نمای پرده‌ای	سرامیک	خشک و تر	ضریب لاغری، وزن
[۳۲]	۲۰۲۰	کلمبیا	مهندسی عمران و محیط زیست، مهندسی مکانیک	تجربی	پرده‌ای	شیشه	خشک	اتصالات، مصالح، ویژگی‌های پنل‌ها
[۱۹]	۲۰۲۱	آمریکا، کره	مهندسی عمران و محیط زیست	مدل‌سازی عددی	پرده‌ای	شیشه	خشک	درزهای حرکتی، مهارها
[۵]	۲۰۲۰	ایران	گروه مهندسی سازه	تجربی	دیوارنما	سنگ	خشک و تر	مهارها، ابعاد تایل‌ها
[۳۵]	۲۰۱۴	استرالیا	دانشکدهٔ مهندسی و علوم صنعتی	ترکیبی	پرده‌ای	شیشه	خشک	مهارها، تفکیک به زیرسیستم‌ها
[۱۸]	۲۰۲۱	استرالیا	مهندسی زیرساخت، مهندسی عمران و محیط زیست	ترکیبی	پرده‌ای	شیشه	خشک	فریم
[۱۷]	۲۰۱۹	آلمان	مهندسی	مدل‌سازی عددی	–	–	خشک و تر	اتصالات
[۳۸]	۲۰۱۷	اسپانیا	مهندسی سازه و نما	ترکیبی	پرده‌ای	شیشه	خشک	اتصالات
[۱۶]	۲۰۱۶	اسلوونی	عمران و ژئودتیک، مهندسی	تجربی	پرده‌ای	شیشه	خشک	درزهای حرکتی، اتصالات، مصالح
[۳۴]	۲۰۱۶	استرالیا	علوم، مهندسی و فناوری	ترکیبی	پرده‌ای	شیشه	خشک	ضخامت شیشه، تناسبات ابعادی پنل، مشخصات واشرها
[۲۱]	۲۰۰۴	آمریکا	معماری	تجربی	پرده‌ای	شیشه	خشک	تقویت سطح شیشه، اتصالات، فاصله بین شیشه و فریم، نوع فریم، تناسبات ابعادی پنل

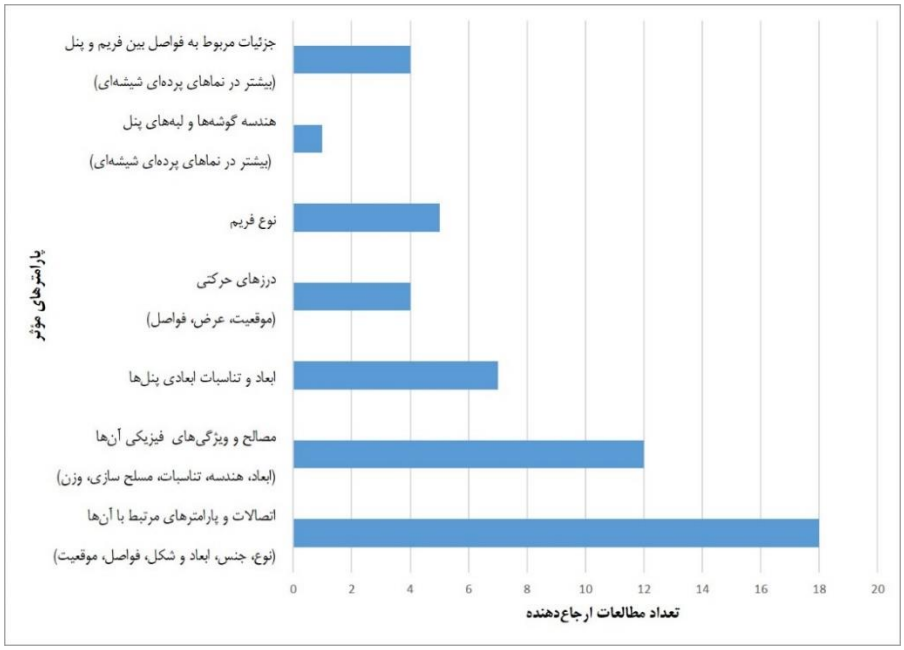
ادامهٔ جدول ۱

منبع	سال	کشور	دانشکده	روش	نوع نما	مصالح	اجرا	متغیرها
[۱۱]	۲۰۲۱	ایتالیا، نیوزیلند، استرالیا، پرتغال	مهندسی سازه و ژئوتکنیک، علوم، فناوری و جامعه، مهندسی عمران، مهندسی عمران و منابع طبیعی	تجربی	پرده‌ای	بتن و شیشه	خشک	اتصالات
[۲۲]	۲۰۰۶	آمریکا	معماری	تجربی	پرده‌ای	شیشه	خشک	نوع شیشه، فریم، شرایط لبه‌های شیشه
[۶]	۲۰۱۳	نیوزیلند	مهندسی عمران	تجربی	پرده‌ای	بتن	خشک	اتصالات
[۱۰]	۲۰۲۲	نیوزیلند	مهندسی عمران	تجربی	پرده‌ای	بتن	خشک	اتصالات
[۳۷]	۲۰۱۱	ایران	مهندسی عمران	تجربی	میانقابی	آجر	تر	مشخصات و موقعیت گشودگی‌ها
[۳۳]	۲۰۱۲	اسلوونی	مهندسی عمران	تجربی	میانقابی	آجر	تر	مشخصات، موقعیت و مهار گشودگی‌ها
[۲۴]	۲۰۱۶	ترکیه	مهندسی عمران	تجربی	میانقابی	پلاستر	تر	دیوار پشتیبان
[۲۵]	۲۰۱۲	آمریکا	معماری	تجربی	پرده‌ای	شیشه	خشک	نوع، ابعاد و تناسبات ابعادی گشودگی‌ها، نوع فریم، فاصلهٔ شیشه و فریم، دیوار پشتیبان
[۹]	۱۹۹۵	آمریکا	مهندسی عمران	تجربی	پرده‌ای	شیشه	خشک	نوع شیشه، تقویت سطح شیشه، فاصله شیشه و فریم
[۸]	۱۹۹۸	آمریکا	مهندسی عمران	تجربی	پرده‌ای	شیشه	خشک	تقویت سطح شیشه، نوع سیستم نما، نوع شیشه، فاصله و نحوهٔ ارتباط شیشه و فریم

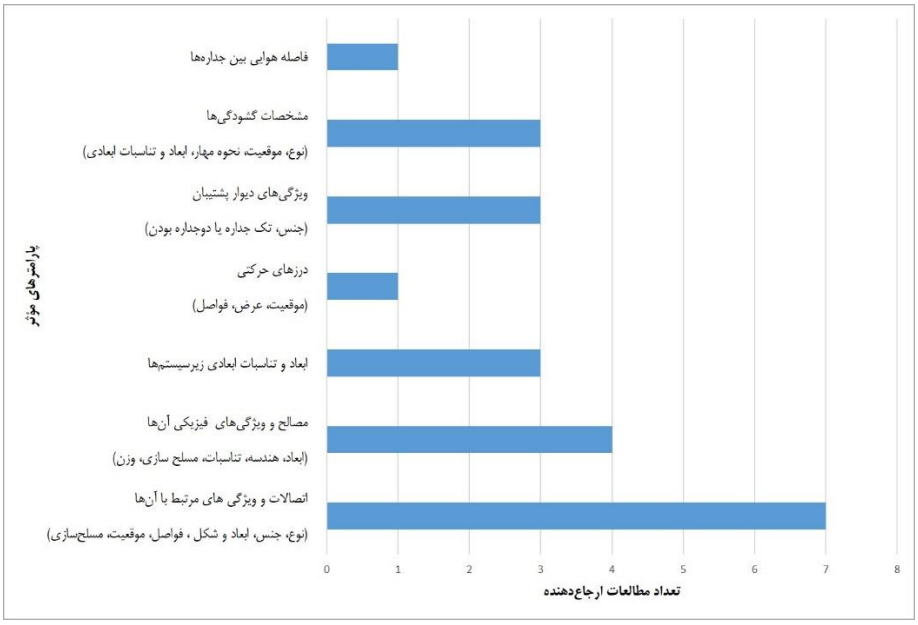
یافته‌های پژوهش

بیشترین پژوهش‌ها پس از سال ۲۰۱۵ (۵۷/۱ درصد) منتشر شده‌اند. کشورهای آمریکا (سیزده پژوهش)، استرالیا، ایتالیا و نیوزیلند (هر کدام چهار پژوهش) بیشترین تولیدات علمی را داشته‌اند. سهم ایران ۵/۷ درصد (دو پژوهش از کل) است. ۱۱/۵ درصد (چهار پژوهش از کل) به‌صورت همکاری بین دانشگاه‌های کشورهای مختلف و پس از سال ۲۰۱۵ صورت گرفته‌اند. دانشگاه‌های کشور آمریکا (دو پژوهش) بیشترین مشارکت را داشته‌اند. بقیهٔ دانشگاه‌های مشارکت‌کننده در این پژوهش‌ها، دانشگاه‌های کشورهای انگلیس، کره، فنلاند، چین، ژاپن، یونان، ایتالیا، نیوزیلند، استرالیا و پرتغال (هر کدام یک پژوهش مشترک) هستند. پژوهش‌ها با روش‌های آزمایش تجربی (۵۱ درصد)، شبیه‌سازی عددی (۲۶ درصد)، روش‌های ترکیبی تجربی و عددی (۲۰ درصد) و نمونهٔ موردی (۳ درصد) انجام گرفته‌اند. حدود ۱۷/۲ درصد (شش پژوهش) توسط پژوهشگران دانشکده‌های معماری صورت گرفته‌اند. ۵۷ درصد پژوهش‌ها، سیستم‌های دیوار پرده‌ای (نمای شیشه‌ای و پنل بتنی)، ۱۷ درصد دیوارهای نما و ۱۷ درصد نماهای مهارشده به میانقاب را بررسی کرده‌اند. ۶ درصد به مقایسهٔ رفتار انواع نما و ۳ درصد بدون مشخص کردن نوع نما به بررسی شاخص‌های تأثیرگذار بر رفتار لرزه‌ای این عناصر پرداخته‌اند. بیشترین پژوهش‌ها روی نماهایی با مصالح شیشه (۱۷ پژوهش) و آجر (۱۰ پژوهش) انجام گرفته‌اند. سنگ، سرامیک، پلاستر (هر کدام در یک پژوهش) و پانل بتن (در ۵ پژوهش) از بقیهٔ مصالح بودند.

بیشترین تعداد پژوهش‌های منتشرشده مربوط به بررسی نماهای با سیستم اجرای خشک (۶۰ درصد) است. ۲۹ درصد پژوهش‌ها نیز نماهای با سیستم اتصالات تر را بررسی کرده‌اند و ۸ درصد به مقایسهٔ رفتار این دو نوع نما پرداخته‌اند. ۳ درصد پژوهش‌ها بدون مشخص کردن نوع اتصالات به بررسی متغیرها پرداخته‌اند. بیشترین پژوهش‌ها روی سیستم‌های نمای خشک، در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ و در آمریکا و پس از آن در استرالیا و ایتالیا و بیشتر پژوهش‌های مربوط به سیستم‌های نمای تر، در سال ۲۰۱۱ در آمریکا و پس از آن در ایران و پرتغال انجام گرفته‌اند. برای هر دو نوع سیستم، هفت دسته متغیر طراحی شناسایی شد (شکل‌های ۲ و ۳).

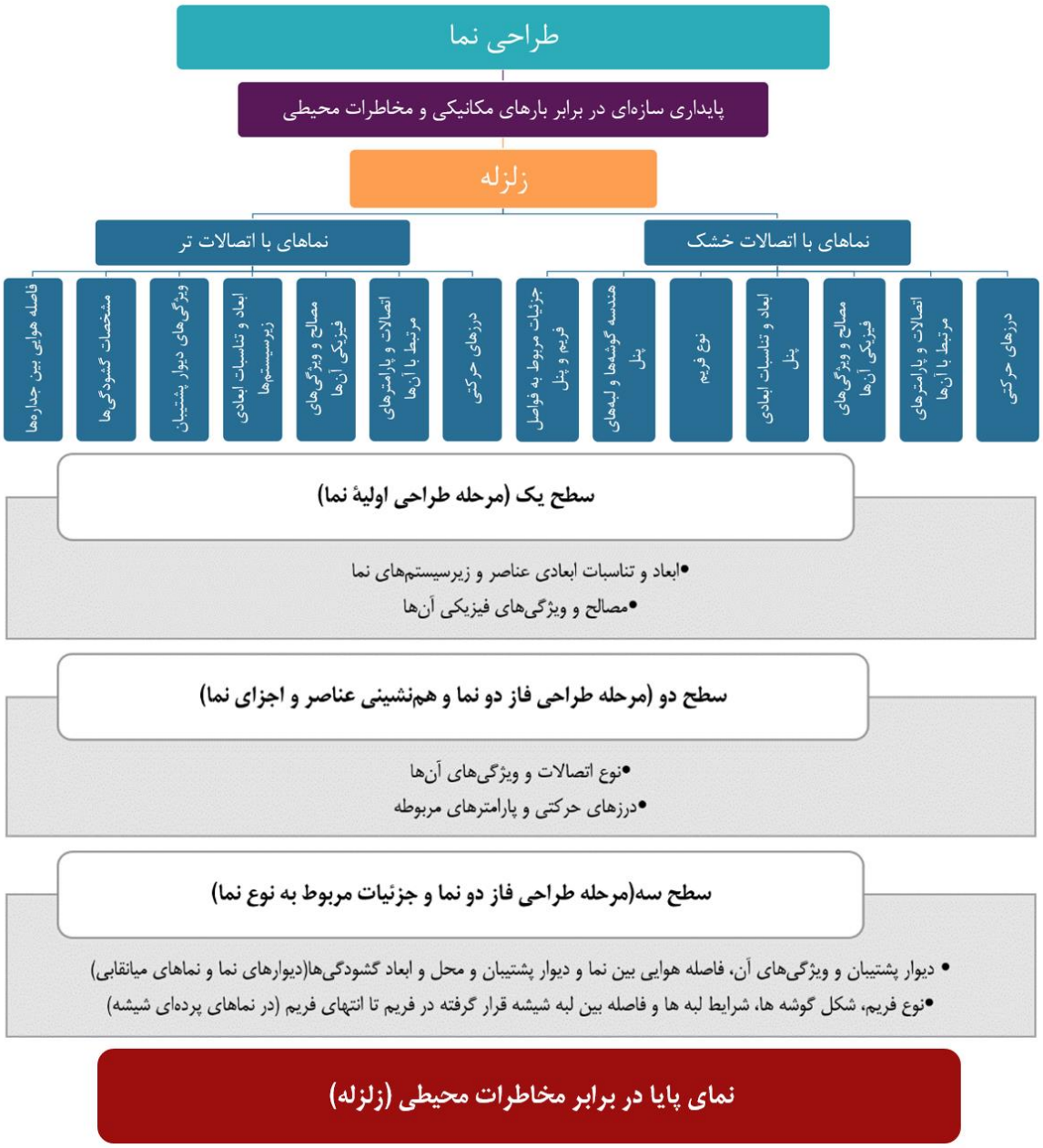


شکل ۲. توزیع فراوانی گروه‌های متغیری وابسته بر پایداری نماهای با اتصالات خشک در برابر زلزله (منبع: یافته‌های پژوهش)



شکل ۳. توزیع فراوانی گروه‌های متغیری وابسته بر پایداری نماهای با اتصالات تر در برابر زلزله (منبع: یافته‌های پژوهش)

فراوانی در بین شاخص‌های تأثیرگذار بر رفتار نما در برابر زلزله در هر دو نوع سیستم نما مربوط به اتصالات و ویژگی‌های مربوط به آنهاست. گروه‌های مربوط به اتصالات و شاخص‌های مربوط، مصالح و ویژگی‌های فیزیکی آنها، ابعاد و تناسبات ابعادی زیرسیستم‌ها یا پنل‌های نما (شکل) و مشخصات مربوط به درزهای حرکتی در پایداری هر دو دسته نما مشترک شناخته شدند. گروه‌های متغیری شکل‌گرفته توسط نویسندگان در سه سطح مربوط به روند طراحی نما طبقه‌بندی شدند (شکل ۴).



شکل ٤. دسته‌بندی و سطح‌بندی شاخص‌های تأثیرگذار بر پایایی نما در برابر زلزله (منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

عملکرد نامطلوب نماهای ساختمانی در مخاطرات لرزه‌ای در طی سالیان متمادی مشاهده شده است. این پژوهش به بررسی پژوهش‌های انگلیسی‌زبان انجام‌گرفته تا سال ۲۰۲۳ در حوزهٔ پایداری نماهای ساختمانی میان‌مرتبه در برابر زلزله و استخراج شاخص‌های مؤثر بر رفتار آنها پرداخته است.

ویژگی چارچوب ارائه‌شده در این پژوهش که آن را از بقیهٔ پژوهش‌ها متمایز می‌کند، تلاش برای پرداختن به موضوع پایایی نما در برابر زلزله از منظر طراحی معماری است. در روند معمول طراحی نما، اغلب، ملاحظات زیبایی‌شناسی، اقتصادی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و نگرش‌های شهرسازی نقش پررنگی دارند. تمرکز پژوهش‌های حوزهٔ نما نیز بیشتر بر چنین موضوعاتی است. از طرفی در پژوهش‌های سایر رشته‌ها در زمینهٔ پایداری نما در برابر زلزله به‌صورت جزئی‌نگرانه فقط به مسائل محاسباتی و تکنیکی پرداخته شده است. جامع بودن، پوشش گسترهٔ پژوهش‌های مربوط به موضوع در خارج از کشور به تفکیک

سال، کشور و نوع نما، تعیین فراوانی متغیرها، دسته‌بندی آنها و ارتباط با مراحل طراحی نما از دیگر موارد مربوط به نوآوری‌های پژوهش هستند.

یافته‌های پژوهش نشان‌دهندهٔ این است که در سال‌های اخیر توجه جامعهٔ علمی در کشورهای زلزله‌خیز بیش از پیش معطوف به این موضوع شده است. افزایش همکاری بین دانشگاه‌های این کشورها نیز مؤید آن است. به‌نظر می‌رسد در ایران نیز باید توجه بیشتری به این حوزه مبذول شود. همکاری‌هایی با کشورها و دانشگاه‌های فعال در این حوزه می‌تواند نتایج مثبتی برای کشور داشته باشد. متأسفانه اطلاعات پژوهش‌های انجام‌گرفته در دانشکده‌های معماری که براساس تخصص و دغدغهٔ نویسندگان به‌صورت یکی از پرسش‌های پژوهش مطرح شد، نشان‌دهندهٔ مشارکت اندک معماران در دستیابی به نمای پایا در برابر زلزله است. شاید بتوان برخی از مسائل و مشکلاتی را که در این حیطه مشاهده و گزارش شده‌اند به این موضوع نسبت داد. شاخص‌هایی مانند ابعاد و تناسبات ابعادی عناصر نما و مصالح و ویژگی‌های فیزیکی آنها که بر عملکرد نما در برابر زلزله تأثیر دارند، مواردی است که باید ملاک عمل طراحی نما در مناطق لرزه‌خیز قرار گیرند. در حال حاضر، به‌جز حداقل استانداردهای ایمنی که در مقررات و نشریات (از نظر مقاومت در برابر بارهای مکانیکی و محیطی) ذکر شده‌اند، معیارهای دیگر اغلب نادیده گرفته می‌شوند. از نظر این پژوهش همان‌گونه که عوامل فنی و تکنیکی در پایداری نما در برابر زلزله مؤثرند، راهکارهای طراحی نیز می‌توانند به پایداری آن کمک کنند. نپرداختن به این مسئله در مراحل نخست طراحی نما، تداوم خسارات و تلفات را در زلزله‌های آینده به‌همراه دارد.

با توجه به فراوانی و نوع شاخص‌های تأثیرگذار بر رفتار نما در برابر زلزله که حاکی از پیچیدگی و بین‌رشته‌ای بودن مسئله است، نیاز به همکاری همه‌جانبه بین پژوهشگران و فعالان حوزه‌های طراحی و مهندسی برای یافتن رویکردی نو در طراحی این اجزا در مناطق لرزه‌خیز آشکار می‌شود. به‌نظر می‌رسد استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در این مسیر راه‌حل مفیدی است.

در پژوهش‌های آتی می‌توان به بسط دادن شاخص‌های قابل اتخاذ در سطح یک (مرحلهٔ طراحی اولیهٔ نما) با کمک خبرگان و مراجعه به استانداردها و نشریات مرتبط در ایران، استخراج سایر ابعاد و ویژگی‌های نمای میان‌مرتبه ایمن و شاخص‌سازی برای آنها در راستای کمی‌سازی این فاکتور کیفی نما در کشورهای زلزله‌خیز پرداخت. پس از مشخص شدن موارد ذکرشده امکان تعیین چارچوبی برای طراحی نمای ایمن وجود دارد. همچنین می‌توان موفقیت یا شکست یک طرح را ارزیابی کرد یا گزینهٔ برتر را از بین گزینه‌های طراحی در قالب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مشخص کرد. انتخاب مدل تصمیم‌گیری مناسب نیز خود می‌تواند موضوع پژوهش دیگری باشد.

تشکر و تقدیر

از حمایت و همکاری معنوی گروه شهرسازی و معماری دانشگاه علم و صنعت و همچنین گروه سازه و زلزلهٔ دانشگاه امیرکبیر تشکر می‌شود.

منابع

[۱] اصلانی، فرشته؛ امینی حسینی، کامبد؛ و فلاحی، علیرضا (۱۳۹۷). چارچوب تاب‌آوری کالبدی و اجتماعی محله در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: محلهٔ کشاورز واقع در منطقهٔ ۶ تهران. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۵(۴). ۴۱۷-۴۳۳.

[۲] شورای عالی شهرسازی و معماری (۱۳۹۸). *مصوبهٔ شورای عالی شهرسازی و معماری پیرامون ضوابط عام بلندمرتبه‌سازی*. تهران: شورای عالی شهرسازی و معماری.

[3] Aiello, C., Caterino, N., Maddaloni, G., Bonati, A., Franco, A., & Occhiuzzi, A. (2018). Experimental and numerical investigation of cyclic response of a glass curtain wall for seismic performance assessment. *Construction and Building Materials*, 187, 596–609. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.237.

[4] Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19–32. https://doi.org/10.1080/1364557032000119616.

[5] Attaria, N.K.A., Zargaran, M., Khalili Jahromi, K., Bayat, M.R., & Jahanmohammadi, A. (2020). Seismic evaluation of cladded exterior walls considering the effects of façade installation details and out-of-plane behavior of walls. *Structures*, 24, 317–334. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.01.040.

[6] Baird, A., Palermo, A., & Pampanin, S. (2013, April). *Controlling seismic response using passive energy dissipating cladding connections*. Paper presented at the 2013 NZSEE Conference, wellington, New Zealand. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55959310?utm_source=wikipedia.

[7] Baniotopoulos, C. C., Nikolaidis, T. N., & Moutsanidis, G. (2016). Optimal structural design of glass curtain-wall systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, 169(6), 450–457. https://doi.org/10.1680/jstbu.13.00088.

[8] Behr, R. A. (1998). Seismic performance of architectural glass in mid-rise curtain wall. *Journal of Architectural Engineering*, 4(3), 94–98. , https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1076-0431(1998)4:3(94).

[9] Behr, R. A., Belarbi, A., & Culp, J. H. (1995). Dynamic racking tests of curtain wall glass elements with in-plane and out-of-plane motions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 24(1), 1–14. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eqe.4290240102.

[10] Bhatta, J., Dhakal, R. P., Sullivan, T. J., & Lanyon, M. (2022). Low-damage rocking precast concrete cladding panels: Design approach and experimental validation. *Journal of Earthquake Engineering*, 26(9), 4387–4420. https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1830201.

[11] Bianchi, S., Ciurlanti, J., & Pampanin, S. (2021). Comparison of traditional vs low-damage structural and non-structural building systems through a cost/performance-based evaluation. *Earthquake Spectra*, 37(1), 366–385. https://doi.org/10.1177/8755293020952445.

[12] Bianchi, S., Ciurlanti, J., & Pampanin, S. (2019, September). *Seismic vulnerability of non-structural components: from traditional solutions to innovative low-damage systems*. Paper presented at the SECED 2019 Conference, London, England. http://seced.org.uk/images/newsletters/4.5.pdf.

[13] Bianchi, S., & Pampanin, S. (2022). Fragility Functions for Architectural Nonstructural Components. *Journal of structural engineering*, 148(10), 3122005. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003352.

[14] Caterino, N., Del Zoppo, M., Maddaloni, G., Bonati, A., Cavanna, G., & Occhiuzzi, A. (2017). Seismic assessment and finite element modelling of glazed curtain walls. *Structural Engineering and Mechanics*, 61(1), 77–90. https://doi.org/10.12989/sem.2017.61.1.077.

[15] Desai, N. (2011). *A study of the behavior of veneer wall systems in medium rise buildings under seismic loads*. (Doctoral Dissertation, University of Louisville, Kentucky). Retrieved from https://ir.library.louisville.edu/etd/337/.

[16] Gorenc, B., & Beg, D. (2016). Curtain wall façade system under lateral actions with regard to limit states. *Steel Construction*, 9(1), 37–45. https://doi.org/10.1002/stco.201400001.

[17] Haese, A. (2019). Revolving entrance doors: Machines or structural elements?. *Glass Structures and Engineering*, 4(1), 17–27. https://doi.org/10.1007/s40940-018-0081-x.

[18] Huang, S., Samali, B., & Li, J. (2021). Numerical and experimental investigations of a thermal break composite façade mullion under four-point bending. *Journal of Building Engineering*, 34, 101590. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101590.

[19] Lee, H., Oh, M., Seo, J., & Kim, W. (2021). Seismic and energy performance evaluation of large-scale curtain walls subjected to displacement control fasteners. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15), 6725. https://doi.org/10.3390/app11156725.

[20] Martins, A. P. G. (2018). *Seismic behaviour of masonry veneer walls.* (Doctoral dissertation, Universidade do Minho, Portugal). Retrieved from https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/59015/1/PhDthesis_Andreia_Martins.pdf.

[21] Memari, A. M., Behr, R. A., & Kremer, P. A. (2004). Dynamic racking crescendo tests on architectural glass fitted with anchored pet film. *Journal of Architectural Engineering*, 10(1), 5–14. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(2004)10:1(5).

[22] Memari, A. M., Kremer, P. A., & Behr, R. A. (2006). Architectural glass panels with rounded corners to mitigate earthquake damage. *Earthquake Spectra*, 22(1), 129–150. https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1193/1.2164875?journalCode=eqsa.

[23] Miranda, E., Kazantzi, A. K., & Vamvatsikos, D. (2018, June). *New approach to the design of acceleration-sensitive non-structural elements in buildings*. Paper presented at the 16th European conference on earthquake engineering, Thessaloniki, Greece. https://www.researchgate.net/publication/325988163_New_approach_to_the_design_of_acceleration-sensitive_non-structural_elements_in_buildings.

[24] Misir, I. S., Ozcelik, O., Girgin, S. C., & Yucel, U. (2016). The behavior of infill walls in RC frames under combined bidirectional loading. *Journal of Earthquake Engineering*, 20(4), 559–586. https://doi.org/10.1080/13632469.2015.1104748.

[25] O'Brien Jr, W. C., Memari, A. M., Kremer, P. A., & Behr, R. A. (2012). Fragility curves for architectural glass in stick-built glazing systems. *Earthquake Spectra*, 28(2), 639–665. https://journals.sagepub.com/doi/10.1193/1.4000011.

[26] Okail, H. O., Shing, P. B., Klingner, R. E., McGinley, W. M., & McLean, D. I. (2010, July*). Shaking-table testing of single-story clay masonry veneer wood-frame building*. Paper presented at the 9th US national and 10th Canadian conference on earthquake engineering: reaching beyond borders, Toronto, Ontario. https://www.caee.ca/10CCEEpdf/2010EQConf-000084.pdf.

[27] Okail, H. O., Shing, P. B., Klingner, R. E., & McGinley, W. M. (2008, October). *Seismic performance of clay masonry veneer*. Paper presented at the 14th World conference on earthquake engineering, Beijing, China. https://www.researchgate.net/profile/Pui-Shum-Shing-2/publication/228676436_SEISMIC_PERFORMANCE_OF_CLAY_MASONRY_VENEER/links/54a17b250cf257a6360371b1/SEISMIC-PERFORMANCE-OF-CLAY-MASONRY-VENEER.pdf.

[28] Pantoli, E. (2016). *Seismic Behavior of Architectural Precast Concrete Cladding Panels and Connections* (Doctoral Dissertation, University of California, San Diego). Retrieved from https://escholarship.org/uc/item/8x06n6mc.

[29] Pao, K. (2002). *Performance-based seismic design of buildings considering architectural elements* (Doctoral Dissertation, Illinois Institute of Technology, Chicago) Retrieved from https://www.proquest.com/openview/1af7a2805d0ff3e6430671f10d38307b/1?pqorigsite=gscholar&cbl=18750&diss=y.

[30] Pereira, M. F. P., Pereira, M. F., Ferreira, J. E., & Lourenço, P. B. (2011, June). *Behavior of masonry infill panels in RC frames subjected to in plane and out of plane loads*. Paper presented at the 7th International Conference AMCM 2011, Kraków, Poland. https://hdl.handle.net/1822/14880.

[31] Reneckis, D., & LaFave, J. M. (2010, July). *Seismic fragility assessment of residential anchored brick veneer walls*. Paper presented at the 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering 2010, Including Papers from the 4th International Tsunami Symposium, Toronto, Ontario. https://www.caee.ca/10CCEEpdf/2010EQConf-001144.pdf.

[32] Reyes, J. C., Correal, J. F., Gonzalez-Mancera, A., Echeverry, J. S., Gómez, I. D., Sandoval, J. D., & Ángel, C. C. (2020). Experimental evaluation of permeable cable-supported façades subjected to wind and earthquake loads. *Engineering Structures*, 214, 110679. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110679.

[33] Sigmund, V., & Penava, D. (2012, September). *Experimental study of masonry infilled R/C frames with opening*. Paper presented at the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2322.pdf.

[34] Sivanerupan, S., Wilson, J. L., Gad, E. F., & Lam, N.T.K. (2016). Analytical study of point fixed glass facxade systems under monotonic in-plane loading. *Advances in Structural Engineering*, 19(4), 611–626. https://doi.org/10.1177/1369433216630192.

[35] Sivanerupan, S., Wilson, J., Gad, E., & Lam, N. (2014). Drift performance of point fixed glass façade systems. *Advances in Structural Engineering*, 17(10), 1481–1495. https://doi.org/10.1260/1369-4332.17.10.1481.

[36] Tasligedik, A. S., & Pampanin, S. (2017). Rocking cantilever clay brick infill wall panels: A novel low damage infill wall system. *Journal of Earthquake Engineering*, 21(7), 1023–1049. https://doi.org/10.1080/13632469.2016.1190797.

[37] Tasnimi, A. A., & Mohebkhah, A. (2011). Investigation on the behavior of brick-infilled steel frames with openings, experimental and analytical approaches. *Engineering Structures*, 33(3), 968–980. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.12.018.

[38] Torres, J., Guitart, N., & Teixidor, C. (2017). Glass fins with embedded titanium inserts for the façades of the new Medical School of Montpellier. *Glass Structures and Engineering*, 2(2), 201–219. https://doi.org/10.1007/s40940-017-0049-2.

[39] Villazón, R. E., Medina, J. M., Parra, N., Ramos, D., & Murillo, L. D. (2020). A Detailed Look at Ceramic Façade Systems in Bogotá Searching Innovation Opportunities. *Journal of Facade Design and Engineering*, 8(2), 81–100. https://doi.org/10.7480/jfde.2020.2.4210.

[40] Xiang, Y., Zhang, Y.-J., Guo, J., & Chen, J. (2020). Effect of the primary structure on the seismic response of the cable-net façade. *Engineering Structures*, 220, 110989. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110989.