



Investigation and Evaluation of Methods for Retrofitting Masonry Buildings Using Fuzzy DEMATEL Technique

Seyed Azim Hosseini^{1*}, Hossein Maleki Toulabi²

¹ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

² Ph.D. Student of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received:2021/01/21 Accepted:2021/02/23

Abstract:

For a long time, using building materials has been common in Iran and many cities, and nearly in most rural areas, the majority of the buildings in these areas are involved. Since this type of buildings is vulnerable to earthquakes and as Iran is located on the earthquake belt, masonry buildings have the most human and financial damage triggered by the earthquake. Consequently, the subject of retrofitting these buildings is undeniably crucial. Thus, this study aims to identify and prioritize methods of improving building materials. To analyze the data, primary, significant methods of improvement of this type of buildings were recognized via library studies and in the analysis process, the opinions of experts including 7 employers, 5 contractors, 3 consulting companies, and 15 university professors were used. In the current study, 10 methods that had the highest degree of reproducibility in the masonry buildings reinforcement were selected. Then, to use the fuzzy DEMATEL method, each of the methods was scored and lastly, the effectiveness of each factor was determined. The results reveal that the masonry structure wall strengthening method via shotcrete (B3) is the most effective factor and the method of using shape-memory alloy (B7) is the most effective factor in the masonry structures improvement.

Key words: Retrofit, Masonry Building, Evaluation, Fuzzy DEMATEL.

* Corresponding author mail: azim_hosseini@azad.ac.ir

بررسی و ارزیابی روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی با استفاده از روش DEMATEL فازی

سیدعظیم حسینی^{۱*}، حسین ملکی طولابی^۲

^۱ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
^۲ دانشجوی دکتری عمران، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۵

چکیده:

از دیرباز، استفاده از ساختمان‌های مصالح بنایی در ایران رواج داشته است و قسمت اعظم ساختمان‌ها در بسیاری از شهرها و تقریباً در اکثر مناطق روستایی را شامل می‌شوند. با توجه به آسیب‌پذیر بودن این نوع ساختمان‌ها در برابر زلزله و نیز با عنایت به این که کشور ایران بر روی کمربند زمین‌لرزه قرار دارد، ساختمان‌های بنایی بیشترین صدمات جانی و مالی ناشی از زلزله را به خود اختصاص داده‌اند. از این‌رو، بحث مقاوم‌سازی این ساختمان‌ها، کاملاً ضروری می‌باشد. بر همین اساس، هدف اصلی این تحقیق شناسایی و اولویت‌بندی روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی می‌باشد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا روش‌های مهم بهسازی این نوع ساختمان‌ها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی شده و در فرآیند تحلیل از نظرات خبرگان که شامل ۷ کارفرما، ۵ شرکت پیمانکاری، ۳ شرکت مشاور و ۱۵ استاد دانشگاه بود، بهره گرفته شده است. در این پژوهش، تعداد ۱۰ روش که بیشترین درجه تکرارپذیری را در مقاوم‌سازی ساختمان‌های مصالح بنایی داشته‌اند، انتخاب شده است. در ادامه جهت استفاده از روش DEMATEL فازی هر یک از روش‌ها امتیازدهی شده و درنهایت تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هریک از عوامل مشخص شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش تقویت دیوارهای سازه بنایی به‌وسیله شاتکریت (B۳) به‌عنوان تأثیرپذیرترین عامل و روش استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی (B۷) به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل در بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی، مطرح می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهسازی، ساختمان بنایی، ارزیابی، دیمتل فازی.

* نویسنده مسئول: azim_hosseini@azad.ac.ir





۱- مقدمه

عمر مفید فنی ساختمان ممکن است به دلیل فرسودگی یا خورده شدن تدریجی مصالح مصرف‌شده در آن یا بر اثر حوادث و سوانحی نظیر انفجار، آتش‌سوزی یا زلزله، منجر به کاهش حاشیه ایمنی شود و یا به پایان رسیده و تخریب و بازسازی آن ضرورت یابد. همچنین عمر مفید اقتصادی ساختمان ممکن است به دلیل دگرگون شدن نیازهای زیستی بهره‌برداران کنندگان از آن، یا به علت تغییر شرایط محیط، نظیر شرایط ناشی از گسترش شهر و مزاحمتی که ساختمان در مقابل این گسترش ایجاد می‌کند، یا بر اثر تغییر شرایط کار و روش و وسایل تولید، یا به دلیل تغییر ساختار و گردش کار یک سازمان اداری، آموزشی بهداشتی در نتیجه به کار گرفتن دستگاه‌های الکترونیکی و ... خاتمه یافته و تخریب و جایگزین کردن آن را مهیا نماید؛ اما باید به این نکات هم توجه داشت که تخریب ساختمان و آواربرداری، حمل و انبار کردن نخاله حاصل از آن، کاری است پرهزینه که باعث اتلاف مصالح و مصرف مقداری زمان و انرژی می‌شود؛ گردو خاک و سروصدای حاصل از تخریب، به‌صورت کوتاه‌مدت و انباشتن نخاله و آوار حاصل از تخریب به‌صورت درازمدت، اثر سوء بر محیط‌زیست می‌گذارد؛ ساختن ساختمان جایگزین مستلزم تهیه و کاربرد مصالح و این خود مستلزم صرف وقت، انرژی و هزینه است؛ تأمین مصالح لازم برای ساختمان جایگزین بر روی محیط‌زیست بازتاب دارد، مقدار مصالح، منابع انرژی و فضاهای کره خاکی محدود و معین بوده و قابل‌افزایش و بهره‌برداری بی‌حد و حصر نیستند و باید حتی‌المقدور محافظت‌شده و با احساس مسئولیت در مقابل نسل‌های آینده مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به نکات مطرح شده، سعی می‌شود تا آنجا که میسر است، از تخریب ساختمان‌ها خودداری گردد و معمولاً عمر مفید فنی ساختمان‌ها را از طریق بهسازی، یعنی، ترمیم، تعمیر و یا تقویت افزایش، داده و تخریب و جایگزین ساختمان را به تعویق اندازند. برای افزایش عمر مفید اقتصادی ساختمان‌ها نیز از دیرباز، با جابه‌جا کردن و حذف و تعویض دیوارهای جداکننده و دیوارهای غیر باربر تلاش‌های موفقی به‌عمل آمده و امروزه با جهت‌گیری به‌سوی ساختمان‌های پیش‌ساخته قابل‌پیاده کردن، گامی بسیار پراهمیت در جلوگیری از تخریب ساختمان‌ها به دلیل خاتمه یافتن عمر مفید اقتصادی آن‌ها، برداشته شده است. به‌طور کلی، با در نظر گرفتن تبعات تخریب و بازسازی ساختمان‌ها، می‌توان به‌عنوان یک اصل کلی پذیرفت که این راه‌حل باید آخرین راه‌حل تلقی شده و وقتی در پیش‌گرفته شود که راه‌حل‌های دیگر، کارساز و جوابگوی نیازها نباشد. به‌هر حال بهسازی ممکن است حاشیه ایمنی را بیشتر کند و یا سرعت بروز نارسائی‌ها را کمتر کند و یا هر دو اثر را توأماً داشته باشد. [۳]

کشور ایران از نقاط لرزه‌خیز جهان به شمار می‌رود؛ به‌نحوی که این پدیده تاکنون جان هزاران نفر از هم‌وطنانمان را گرفته و سبب ویرانی بناهای مسکونی و تاریخی شده است. تجربیات حاصل از این وقایع، نشان داده است که بهترین روش کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، ایمن‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های آسیب‌پذیر می‌باشد. با دقت در خرابی‌های ایجادشده در زلزله‌های گذشته می‌توان به این نتیجه رسید که بیشتر سازه‌های بنایی خسارت قابل‌توجهی دیده‌اند. از جمله عوامل شکست سازه‌های آجری می‌توان به مقاومت و شکل‌پذیری کم، وزن بالا و کاهش زیاد مقاومت، تحت بارهای لرزه‌ای اشاره کرد [۱۱]. ساختمان‌های مصالح بنایی همواره به دلایلی از قبیل ارزان بودن، امکان تهیه مصالح از مناطق احداث بنا و پایین بودن هزینه نگهداری آن، یکی از پرکاربردترین سامانه‌های ساختمانی در صنعت ساخت‌وساز در مناطق مختلف ایران به‌ویژه مناطق روستایی بوده‌اند. لذا با توجه به اینکه تعداد زیادی از ساختمان‌های مناطق مسکونی در کشور با استفاده از مصالح بنایی ساخته شده‌اند، بررسی این نوع سازه تحت اثر زلزله دارای اهمیت ویژه‌ای است. همچنین اکثر سازه‌های دارای اهمیت تاریخی نیز با استفاده از این مصالح ساخته شده‌اند. این نوع سازه‌ها معمولاً در مقابل زلزله دارای ضعف‌های عمده‌ای هستند. شناخت این ضعف‌ها مقدمه‌ای بر انتخاب روشی مناسب برای مقاوم‌سازی این نوع سازه‌ها است. مصالح مصرفی در سازه‌های بنایی غیرمسلح، اغلب دارای مقاومت فشاری مناسب بوده و عنصر اصلی در این ساختمان‌ها دیوار است که بار سقف را به پی انتقال می‌دهد. ضعف اصلی در این نوع ساختمان‌ها، عدم اتصال مناسب بین اجزای تشکیل‌دهنده می‌باشد که در هنگام



حوادث طبیعی و غیرطبیعی، باعث آسیب پذیری زیاد آن می شود [۱۱]

۲- اهمیت و ضرورت تحقیق

با توجه به آمارهای موجود، ساختمان های بنایی غیرمسلح در شهرهای کوچک و بزرگ و روستاهای کشورمان، مسکن بسیاری از هموطنانمان می باشد و حداقل ۶۰ درصد جمعیت کل کشور در این ساختمان ها ساکن هستند. وقوع زلزله های وسیع در بیست سال گذشته منجر به خسارات مالی شدید و تلفات جانی بیش از ۱۰۰ هزار نفر گردیده است که دلیل آن، واقع شدن ایران در کمربند لرزه خیز آلپ- هیمالیا می باشد. تخریب ساختمان های مصالح بنایی و تبدیل آن ها به ساختمان هایی که اسکلت سازه ای دارند و در مقابل بارهای جانبی طرح شده اند، به دلیل مشکلات مالی و فرهنگی و کمبود زمان تقریباً غیرممکن می باشد [۷]

سازه های بنایی به دلیل هزینه های پایین و اجرای آسان و سریع یکی از پرکاربردترین سیستم سازه ای در بسیاری از کشورهای جهان می باشد. این ساختمان ها با توجه به زلزله های گذشته بیشترین آسیب پذیری را در برابر بارهای لرزه ای دارا می باشند، علی الخصوص ساخت و سازهایی که در دهه ۶۰ و قبل از آن در داخل کشور انجام شده است، غالباً بدون توجه به ضوابط و مقررات طرح لرزه ای ساختمان ها صورت گرفته است؛ تا اینکه در زلزله منجیل- رودبار در سال ۱۳۶۹ پژوهشگران به فکر راهکاری مؤثرتر در زمینه کاهش خطرات ناشی از زلزله افتادند. در حال حاضر بیش از ۳۵ درصد جمعیت جهان در ساختمان های ساخته شده با مصالح بنایی به خصوص ساختمان های آجری ساکن هستند. از مزیت های سازه های بنایی می توان به در دسترس بودن، ارزان تر بودن و سادگی اجرا اشاره کرد و همچنین از معایب آن می توان به مقاومت کششی پایین، ناهمگن بودن به علت کیفیت ضعیف تر ملات ها نسبت به بلوک ها و رفتار نامناسب سازه های بنایی غیرمسلح به عنوان سازه باربر اشاره کرد [۵]

به منظور اصلاح این ضعف ها و انجام بهسازی، استفاده از روش های مناسب ضروری است. از آنجایی که برای بهسازی معمولاً چندین راهکار وجود دارد و در بسیاری از موارد، منابع کافی، زمان لازم و... در اختیار نمی باشد که بتوان از همه راه حل ها استفاده نمود، بنابراین باید آن ها را اولویت بندی کرده و یکی از آن ها را انتخاب کنیم. وجود روش یا روش هایی به منظور ارزیابی سریع و انتخاب گزینه برتر بهسازی، در مورد ساختمان های آسیب پذیر می تواند به کاهش زمان و هزینه ها منجر شود. امروزه روش های مختلفی برای ارزیابی معیارهای موجود در بهسازی ساختمان ها مورد استفاده قرار می گیرد [۴]. در این میان، روش DEMATEL فازی، از جایگاه ویژه ای برخوردار است. با توجه به این که ارتقاء رفتار لرزه ای این سیستم های سازه ای، یکی از مهم ترین روش ها جهت کاهش خطرات ناشی از زمین لرزه در محل های با پتانسیل لرزه خیزی بالا است، در این تحقیق به بررسی بهسازی ساختمان های مصالح بنایی پرداخته شده است. در این پژوهش، به منظور جمع آوری اطلاعات لازم در خصوص شناسایی و اولویت بندی روش های بهسازی ساختمان های مصالح بنایی، علاوه بر مطالعات کتابخانه ای، پرسشنامه ای تهیه و نظرات خبرگان جمع آوری شده است. در این بین، از ۷ کارفرما، ۵ شرکت پیمانکاری، ۳ شرکت مشاور و تنی چند از اساتید دانشگاه (۱۵ نفر) استفاده شده است.

۳- مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

۳-۱- پیشینه تحقیق

زهراپی و همکاران در سال ۱۳۸۳ به بررسی آسیب پذیری لرزه ای ساختمان های شهر قزوین پرداختند. در این تحقیق به منظور ارزیابی آسیب پذیری ساختمان ها، روش ارزیابی آسیب پذیری آریا انتخاب گردید. جهت استفاده از این روش، مجموعه ای از اصلاحات تکمیلی در بندهای کلی جدول آریا برای ارزیابی تمامی سیستم های ساختمانی منطقه و رسیدن





به جواب‌های دقیق‌تر، صورت گرفت [۸].

در تحقیقی که جهانبازی جهان آباد در سال ۱۳۸۸ انجام داد، با توجه به وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد در نقاط مختلف کشور که موجب خسارات مالی و جانی می‌شود و از طرفی با توجه به این‌که در حال حاضر ساختمان‌های ساخته‌شده با مصالح بنایی درصد بالایی از ساختمان‌های موجود یا در حال احداث در کشور ما را تشکیل می‌دهند، لذا بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح در شهرستان بویراحمد را مدنظر قرارداد و به بررسی رفتار متداول مربوط به این ساختمان‌ها در هنگام زلزله پرداخت [۵].

طی پژوهشی که توسط باشانجاتی و همایی در سال ۱۳۸۹ صورت گرفت، مشخص گردید که در میان روش‌های متعددی که برای تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی ارائه‌شده است، روش تحلیل حدی جنبشی، ازجمله روش‌های مناسب برای تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی به‌ویژه ساختمان‌های تاریخی، می‌باشد. در این نوشتار، ضمن معرفی روش تحلیل حدی با استفاده از طیف ظرفیت، آسیب‌پذیری لرزه‌ای نمونه‌ای از ساختمان‌های بنایی و قدیمی کشور، تحلیل‌شده است [۸].

محزون آزموده و سروقد مقدم در سال ۱۳۹۰ طی پژوهش خود، به بررسی گزینه‌های بهینه در بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی غیرمسلح با استفاده از روش چندمعیاره پرداختند و اعلام نمودند که با توجه به میزان لرزه‌خیزی مناطق وسیعی از کشور و وجود تعداد قابل‌توجه سازه‌های مصالح بنایی غیرمسلح، کاربرد انتخاب گزینه برتر بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی غیرمسلح ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش، پارامترهای مؤثر در ارزیابی گزینه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های مصالح بنایی غیرمسلح طبقه‌بندی و اولویت‌گذاری شده و گزینه‌های مرتبط با تقویت این‌گونه ساختمان‌ها در مقایسه با یکدیگر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج بررسی بیانگر برتری تقویت سازه با استفاده از شاتکریت دیوارهای مصالح بنایی در مقایسه با سایر گزینه‌های پیشنهادشده می‌باشد [۱۵].

آلام و همکاران در سال ۲۰۱۲ میلادی، با معرفی یک روش ارزیابی سریع چشمی، گروهی از ساختمان‌های تاریخی آجری را مورد ارزیابی قراردادند و تعدادی از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای را مورد مقایسه قراردادند. در این راستا با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، یک روش ترکیبی جدید برای ارزیابی ساختمان‌ها پیشنهاد گردید [۱۸].

در پژوهش محب‌خواه و سروچراغی که در سال ۱۳۹۴ صورت پذیرفت، یک مدل اجزاء مجزای سه‌بعدی برای تحلیل غیرخطی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح تحت بار جانبی استاتیکی یکنواخت توسعه یافت. به‌منظور صحت‌سنجی مدل یادشده، از نتایج آزمایش یک ساختمان بنایی دوطبقه استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که مدل توسعه‌یافته، به‌خوبی قادر به شبیه‌سازی رفتار غیرخطی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح است و از آن می‌توان برای انجام مطالعات پارامتری و رفتار سنجی ساختمان‌های بنایی، استفاده نمود [۱۴].

موسوی خلخالی و همکاران در پژوهش خود که در سال ۱۳۹۸ صورت گرفت، اعلام نمودند که با توجه به مقاوم نبودن آن دسته از ساختمان‌های مسکونی در شهر لرزه‌خیز تبریز که به‌صورت ساختمان بنایی ساخته‌شده‌اند، لازم است در مدت‌زمان اندک نسبت به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای این ساختمان‌ها اقدام شود. از این‌رو باید برای رسیدن به نتایج مناسب، لازم است دقت ارزیابی و سازگاری روش‌های مختلف موجود با شرایط و ویژگی‌های ساختمان‌های منطقه موردنظر موردبررسی قرار گیرد و پس از مقایسه آن‌ها، مناسب‌ترین روش برای ارزیابی سریع ساختمان‌های منطقه انتخاب شود. لذا برای انجام این امر از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، استفاده گردید [۱۷].

شریفی و دهقانی در سال ۱۳۹۸ در پژوهش خود به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های مصالح بنایی موجود در شهرستان



پاسارگاد پرداختند و آن‌ها مطابقت آن‌ها را با ضوابط و مقررات موجود در کشور بررسی نمودند و مشخص گردید که ساختمان‌های بنایی پرکاربردترین و سنتی‌ترین نوع ساخت‌وساز در ایران است و این ساختمان‌ها بیشتر در مناطق شهری و روستایی استفاده می‌شود، دلیل آن‌هم این است که در ساخت آن می‌توان از مصالح بومی بسیار ارزان‌قیمت استفاده کرد و همچنین در ساخت این نوع ساختمان‌ها نیاز به تکنولوژی‌های پیشرفته نیست. همچنین مشخص گردید که این ساختمان‌ها به علت سنگینی و چگالی بالا در برابر زلزله مقاومت نسبتاً کمی دارند، به همین دلیل در ساخت این نوع ساختمان‌ها ضوابط و محدودیت تعداد طبقات و شرایط خاصی برای آن‌ها در نظر گرفته شده است که متأسفانه در بیشتر شهرها این ضوابط رعایت نمی‌شود [۱۰].

سید حسینی و ملکی طولابی در سال ۱۳۹۹ به بررسی شیوه‌های مختلف بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی با استفاده از روش SAW پرداختند و با توجه به این‌که استفاده از ساختمان‌های مصالح بنایی در ایران رواج دارد و از طرفی با توجه به آسیب‌پذیر بودن این نوع سازه‌ها در برابر زلزله، مهم‌ترین روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی را برحسب اولویت، مشخص نمودند [۹].

در پژوهش عصمت زاده که در سال ۱۳۹۹ صورت پذیرفت، به مقاوم‌سازی ساختمان‌های مصالح بنایی در شهرستان سلماس پرداخته شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که تقویت ساختمان موجود، یا ساختمانی که بر اثر زلزله آسیب‌دیده است معمولاً از نظر فنی بسیار پیچیده‌تر از طرح و اجرای ساختمانی جدید است. نامشخص بودن اجزای سازه‌ای و نوع مقاومت مصالح مصرف‌شده از یکسو و عدم تطابق ساختمان‌های موجود با مدل‌های کلاسیک سازه‌ای نظیر قاب‌های گیردار، قاب‌های بادبندی شده و غیره از سوی دیگر، تخمین لرزه‌ای ساختمان را بسیار دشوار می‌کند؛ لذا انتخاب روش مناسب جهت مقاوم‌سازی ساختمان مصالح بنایی، دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشد [۱۲].

در مورد فرآیند تصمیم‌گیری در یک مسئله خاص، هنگامی که تعداد معیارها و انتخاب‌ها زیاد باشد، فرآیند تصمیم‌گیری نیز پیچیده خواهد بود. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، شاخه‌ای از روش‌های تصمیم‌گیری هستند که با استفاده از روابط ریاضی و استدلال‌های عقلی، فرآیند تصمیم‌گیری را برای انسان تسهیل می‌سازند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌دفعات توسط محققین مختلف در حل مسائل واقعی مورد استفاده قرار گرفته است و تحقیقات فراوانی در سال‌های اخیر، روش DEMATEL فازی را تأیید می‌کنند [۲۰].

۳-۲- مبانی نظری تحقیق

۳-۲-۱- ساختمان‌های بنایی

سازه‌های بنایی، ساختمانی هستند که در ساخت اسکلت آن از آجر، بلوک سیمانی، سنگ و یا به‌طور کلی از مصالح طبیعی مانند خاک استفاده شده است، به‌طوری که بارهای قائم و بارهای جانبی توسط دیوارها با مصالح بنایی تحمل می‌شوند. در حال حاضر ساختمان‌های ساخته‌شده با مصالح بنایی (به‌خصوص ساختمان‌های آجری) درصد بالایی از ساختمان‌های موجود یا در حال احداث در کشور ما را تشکیل می‌دهد. مهم‌ترین عامل مقبولیت ساختمان‌های بنایی در ایران به‌ویژه در شهرستان‌ها، در دسترس بودن مصالح، ساده بودن تکنولوژی تولید آجر و بلوک‌های بنایی، آشنایی سازندگان با نحوه ساخت‌وساز با مصالح بنایی و در نهایت ارزان‌تر بودن قیمت تمام‌شده این قبیل ساختمان‌ها نسبت به ساختمان‌های با اسکلت فولادی و بتن مسلح است. در ساخت بیشتر ساختمان‌های بنایی ضوابط و معیارهای مهندسی مربوط به مقاومت سازه در برابر زلزله مورد توجه قرار نمی‌گیرد و معمولاً توسط سازندگان محلی و بدون توجه به اثر تخریبی زلزله، طراحی و اجرا می‌شوند [۱].

۳-۲-۲- تقویت لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی [۱۶].





تقویت یک ساختمان بنایی به دو صورت امکان‌پذیر است:

الف: افزایش مقاومت برشی به کمک افزایش مقدار دیوارهای برشی و افزایش مقاومت جانبی آن‌ها.

ب: افزایش نرمی (شکل‌پذیری) ساختمان به کمک تسلیح عناصر لرزه بر و سایر اقدامات مشابه.

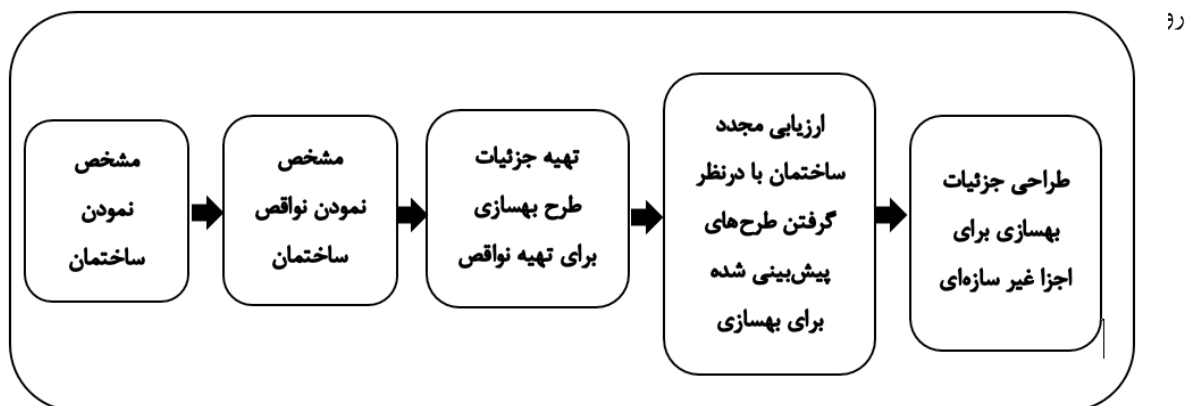
باید دانست که معمولاً استراتژی اول پرهزینه، غیرعملی و غیرضروری است و در عوض، استراتژی دوم به خاطر استفاده از ظرفیت نرمی سازه و کاهش نیروی انسانی، مناسب‌تر و عملی‌تر می‌باشد.

۳-۲-۳- انواع ساختمان‌های مصالح بنایی مشمول دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود [۱۶]

ساختمان‌های مصالح بنایی سنتی: ساختمان‌هایی هستند که بدون انجام محاسبات مهندسی ساخته شده‌اند و عناصر مقاوم لرزه‌ای خاصی نداشته و عموماً به واسطه شکل نامناسب سازه‌ای، ضعف مصالح و نحوه نامناسب اجرا، در برابر زلزله ضعیف عمل می‌کنند.

ساختمان‌های مصالح بنایی کلاف دار: این ساختمان‌ها نیز بدون انجام محاسبات مهندسی ساخته می‌شوند ولی در اجرای آن‌ها، برخی اصول طراحی مقاوم لرزه‌ای رعایت می‌شود. در نتیجه رفتار آن‌ها در برابر زلزله از ساختمان‌های مصالح بنایی سنتی، بهتر است. مبنای اجرای آن‌ها ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد.

۳-۲-۴- مراحل روش ساده بهسازی [۶]



شکل ۱- مراحل روش ساده بهسازی [۶]

۳-۲-۵- مراحل ارزیابی آسیب‌پذیری [۲]

از آنجاکه ارزیابی آسیب‌پذیری اولین گام در انجام مطالعات بهسازی است، در این مرحله نواقص ساختمان مشخص می‌گردد و سپس با استفاده از روش‌های بهسازی این نواقص برطرف می‌گردند. در شکل ۲ مراحل مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری آورده شده است.



شکل ۲- مراحل مختلف ارزیابی

۴- روش‌شناسی تحقیق

روش گردآوری اطلاعات در پژوهش حاضر، از نوع توصیفی-تحلیلی بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای می‌باشد. در این مقاله با توجه به شکل ۲، تنها به بررسی ساختمان‌های مصالح بنایی موجود در سطح کشور پرداخته می‌شود. اطلاعات لازم در این پژوهش، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین تکمیل چک‌لیست به‌صورت کیفی جمع‌آوری شده و پس از آن به انجام محاسبات از نظر خبرگان بر اساس شاخص‌های کیفیت، سهولت اجرا، هزینه، نیروی متخصص، کارایی، مصالح در دسترس و انطباق‌پذیری با آئین‌نامه‌های داخل کشور پرداخته شده است که بر مبنای آن، تعداد ۱۰ روش جهت بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی انتخاب گردیده است؛ و سپس بر اساس جدول ۱، به هریک از روش‌های اجرای بهسازی، برحسب عدد تأثیر در مقیاس ۰ تا ۴ اختصاص خواهد گرفت تا به جهت استفاده از روش DEMATEL فازی، اطلاعات کیفی به کمی تبدیل شوند.

۵- روش DEMATEL فازی:

روش DEMATEL فازی اولین بار توسط BMI^۱ در مرکز تحقیق جنوا^۲ در سال ۱۹۷۳ میلادی به کار گرفته شد. این روش، یک روش توسعه‌یافته برای ساخت و تحلیل یک مدل ساختاری برای تحلیل اثر روابط میان معیارهای پیچیده می‌باشد. گرچه تصمیم‌گیری در محیط فازی برای تقسیم‌بندی فاکتورهای پیچیده بسیار سخت است [۱۹]. برای استفاده از

1 Battelle Memorial Institue

2 Genoa





این روش، به نظر کارشناسان نیاز است و این نظرات دربردارنده عبارت کلامی مبهم و دوپهلو است. به‌منظور یکپارچه‌سازی و رفع ابهام آن‌ها، بهتر است که این عبارات به اعداد فازی تبدیل شوند. کدبندی تبدیل به اعداد مثلثی فازی که توسط لی در سال ۱۹۹۹ میلادی پیشنهاد شده و مورد تأیید قرار گرفته است، در جدول ۱ ارائه شده است.

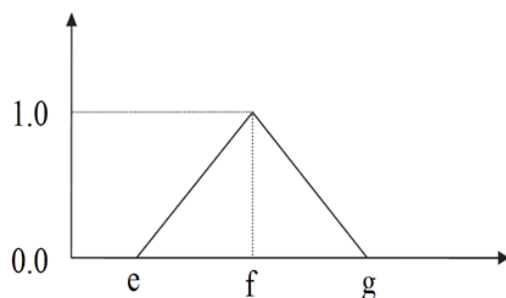
جدول ۱- تناظر عبارات کلامی و عدد تأثیر معادل با آن با مقادیر اعداد فازی مثلثی [۱۹]

اعداد فازی	عبارات کلامی	عدد تأثیر
$(0, 0, 0, 25)$	بدون تأثیر	۰
$(0, 0, 25, 0, 5)$	تأثیر خیلی کم	۱
$(0, 25, 0, 5, 0, 75)$	تأثیر کم	۲
$(0, 5, 0, 75, 1)$	تأثیر زیاد	۳
$(0, 75, 1, 1)$	تأثیر خیلی زیاد	۴

مراحل روش DEMATEL فازی به شرح ذیل می‌باشد:

گام اول: جهت ساخت یک ماتریس مقایسه دویه‌دو در این مرحله، با استفاده از پرسشنامه، از افراد خبره و کارشناس خواسته می‌شود که میزان تأثیر هر شاخص را طبق جدول ۱، در مقیاس ۰ تا ۴ ارزیابی کنند [۲۳].

گام دوم: در این مرحله، بایستی ماتریس روابط مستقیم (A) محاسبه گردد که از اعداد فازی مثلثی (TFN) بهره گرفته می‌شود. هر عدد فازی مثلثی با e, f, g و برای توضیح یک واقعه فازی بیان می‌شود؛ که پارامترهای e, f, g به ترتیب کمترین، امیدوارکننده‌ترین و بیشترین مقدار ممکن را تعیین می‌کنند. شکل ۳ پارامترهای e, f, g و a در بازه $[0, 1]$ نشان می‌دهد [۲۱]



شکل ۳: اعداد فازی مثلثی



با فرض $x_{ij}^k = e_{ij}^k \cdot f_{ij}^k \cdot g_{ij}^k$ که در آن $1 \leq k \leq K$ مقدار ارزیابی فازی بوده و k^{th} نرخ شرکت کننده در پژوهش است که در مورد میزان تأثیرگذاری i بر روی j می باشد. اگر K تعداد شرکت کنندگانی باشد که علیت را بین n موانع شناسایی شده تخمین می زنند، ورودی های داده شده توسط شرکت کنندگان منجر به ایجاد یک ماتریس $n \times n$ می شود یعنی خواهیم داشت $X^k = x_{ij}^k$ که در آن $k = 1, 2, 3, \dots, n$ (تعداد شرکت کنندگان در پژوهش) می باشد و از رابطه ۱ به دست می آید [۲۳]

$$a_{ij} = \frac{1}{k \sum_{k=1}^K x_{ij}^k} \quad (1)$$

پس از آن، بایستی فرآیند رفع تصحیح اعداد فازی را به اعداد واضح تبدیل کرد تا انجام عملیات ماتریس امکان پذیر شود. رابطه ۲ برای تبدیل ماتریس رابطه مستقیم فازی استفاده شد [۲۳].

$$I_T = \frac{1}{6}(e + 4f + g) \quad (2)$$

گام سوم: ساخت ماتریس رابطه مستقیم اولیه نرمال (D) [۲۳]

$$m = \min\left[\frac{1}{\max \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max \sum_{i=1}^n |a_{ij}|}\right] \quad (3)$$

$$D = m \times A \quad (4)$$

گام چهارم: به دست آوردن ماتریس رابطه کل

$$T = (I - D)^{-1} \quad (5)$$

که در آن I ماتریس هویت و T ماتریس رابطه کل $(T = [t_{ij}]_{n \times n})$ می باشد [۲۳]

گام پنجم: محاسبه مجموع سطرها (R) و جمع ستون ها (C)

$$R = [\sum_{j=1}^n t_{ij}]_{n \times 1} \quad (6)$$

$$C = [\sum_{i=1}^n t_{ij}]_{1 \times n} \quad (7)$$

که در آن R نشان دهنده تأثیر کلی است که i بر روی j دارد؛ و C مخفف کل تأثیر تجربه شده توسط i از j است [۲۳].

گام ششم: رسم نمودار علت و معلولی (علی)

نمودار علت و معلولی (علی) با استفاده از مجموعه داده های $(R+C)$ و $(R-C)$ رسم خواهد شد. محور افقی $(R+C)$ است که نشان دهنده اهمیت شاخص است. محور عمودی $(R-C)$ است که می تواند شاخص ها را به دو گروه علت و معلول تقسیم کند. اگر این مقدار مثبت باشد، این شاخص به گروه علت (تأثیر گذار) و در صورت منفی بودن، متعلق به گروه معلول (تأثیر پذیر) می باشد [۲۲].

۶- مهم ترین روش های بهسازی ساختمان های مصالح بنایی

مهم ترین روش های بهسازی ساختمان های مصالح بنایی بر مبنای پدافند غیرعامل، که در این پژوهش با استفاده از روش مطالعه کتابخانه ای و همچنین استفاده از نظرات خبرگان و کارشناسان مربوطه استخراج گردیده است. در جدول ۲ نشان داده شده است.





جدول ۲- مهم‌ترین روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی از منظر پدافند غیرعامل (منبع: نگارنده).

شخص	نماد نام‌گذاری
تعبیه دیوار برشی	B1
به‌کارگیری میراگرهای انرژی	B2
تقویت دیوارهای سازه بنایی به‌وسیله شاتکریت	B3
ساخت کلاف‌های قائم بتنی	B4
تعبیه کلاف بندی‌های فلزی	B5
استقرار دیوارهای جدید	B6
استفاده از آلباژهای حافظه‌دار شکلی (SMA)	B7
استفاده از مصالح کامپوزیت FRP	B8
پس‌تنیدگی آرماتورهای در دیوار آجری	B9
تقویت خارج از ساختمان توسط سازه فولادی	B10

۷- یافته‌های تحقیق

در روش DEMATEL فازی، با استفاده از جداول امتیازدهی که برای هر معیار و مقداری که توسط خبرگان برای آن‌ها تعیین شده است، مقادیر R_i ، C_i ، $R+C$ و $R-C$ آن‌ها تعیین گردید. جدول امتیازدهی مهم‌ترین روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: جدول امتیازدهی مهم‌ترین روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
B1	0	3	3	3	3	3	4	3	4	3
B2	3	0	2	3	3	2	3	2	2	2
B3	4	4	0	4	3	4	4	4	4	4
B4	3	3	4	0	3	3	4	3	3	3
B5	4	3	3	3	0	4	3	3	3	4
B6	3	2	3	1	3	0	2	3	2	2
B7	2	1	2	2	2	2	0	2	2	2
B8	3	3	4	3	3	4	3	0	3	2
B9	2	1	3	2	3	2	2	3	0	2
B10	3	3	2	4	3	2	3	3	3	0

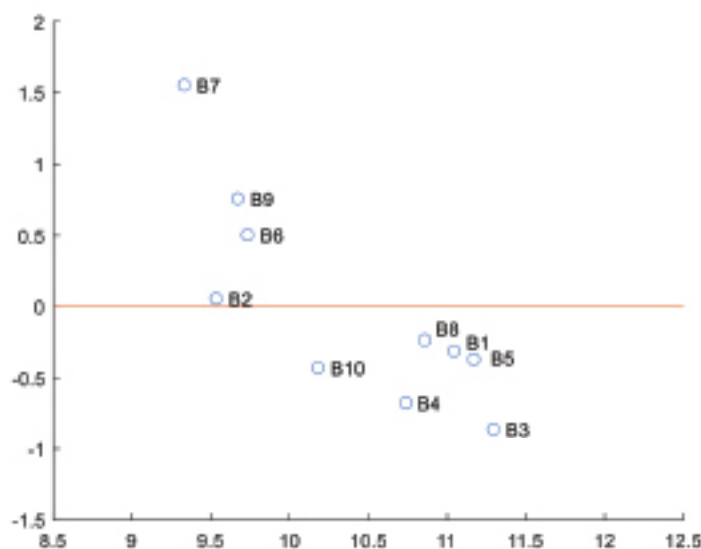


نتایج مربوط به روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی با استفاده از روش DEMATEL فازی در جدول ۴ نشان داده شده است. نمودار علت و معلولی (علی) نیز در شکل ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴: جدول نتایج نهایی مهم‌ترین روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی

	R_i	C_i	$R-C$	$R+C$
B1	5.366	5.676	-0.310	11.043
B2	4.794	4.739	0.054	9.534
B3	5.218	6.075	-0.857	11.293
B4	5.032	5.705	-0.673	10.738
B5	5.400	5.769	-0.369	11.169
B6	5.120	4.613	0.506	9.733
B7	5.441	3.889	1.551	9.331
B8	5.311	5.545	-0.234	10.857
B9	5.215	4.456	0.759	9.671
B10	4.876	5.304	-0.428	10.180

با توجه به جدول ۴، روش B3 دارای بیشترین مقدار $R+C$ بوده و روش B7 دارای بیشترین مقدار $R-C$ می‌باشد.



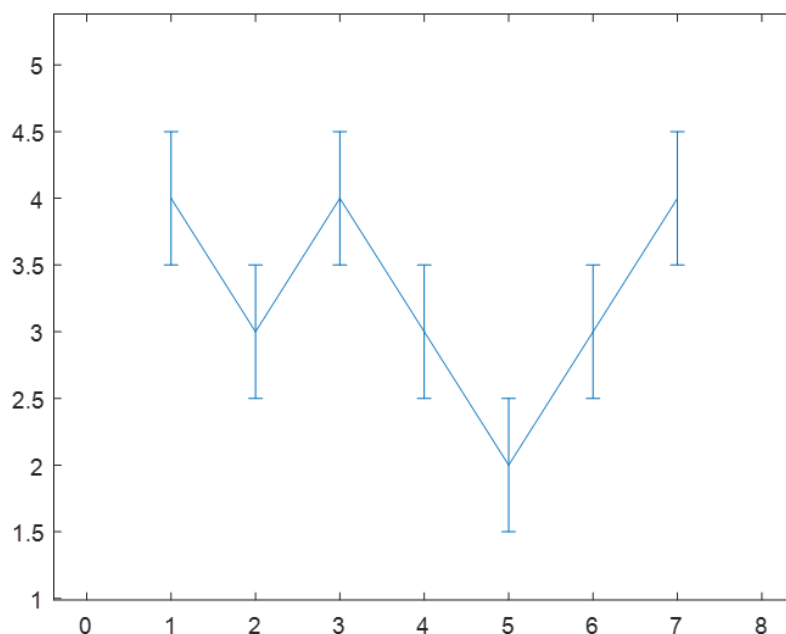
شکل ۴: نمودار علت و معلولی (علی) مهم‌ترین روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی





۸- محاسبه و مقایسه خطاها

در این بخش، با توجه به تحقیقات صورت گرفته در پیشینه تحقیق، به مقایسه خطاهای این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران پرداخته شده است و در شکل ۵ ارائه گردیده است که نشان‌دهنده آن است که نتایج این پژوهش، مورد تأیید و قابل اعتماد خواهد بود.



شکل ۵: نمودار میله‌ای خطای پژوهش

۹- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

بهسازی سازه‌های بنایی در کشور ایران که بر روی کمر بند زلزله واقع است، امری مهم و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. استفاده از روش‌های جدید در مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی به‌عنوان رویکرد نوین، بایستی مدنظر قرار گیرد. از طرفی به دلایل مختلف، از جمله مباحث اجرایی و اقتصادی و نیز تنوع روش‌ها، انتخاب روش مناسب جهت بهسازی سازه‌های بنایی، امری پیچیده و دشوار است. از این رو، در پژوهش حاضر، روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی با استفاده از روش DEMATEL فازی، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نهایی به‌دست آمده در این تحقیق، نشان می‌دهد که روش B_3 (تقویت دیوارهای سازه بنایی به‌وسیله شاتکریت) به دلیل دارا بودن بیشترین مقدار $R+C$ ، به‌عنوان تأثیرپذیرترین عامل و روش B_7 (استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی) به دلیل دارا بودن بیشترین مقدار $R-C$ ، به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل در بحث بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی مطرح می‌باشند. نتایج مربوط به روش DEMATEL فازی در این پژوهش، در مقایسه با تحقیقات صورت گرفته در پیشینه تحقیق و با توجه به مقایسه خطاهای هریک از آن‌ها که در شکل ۵ ارائه گردیده، نشان از دقت و قابل اعتماد بودن نتایج این تحقیق دارد.

پیشنهاد می‌گردد با توجه به اهمیت بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی، پژوهشگران بعدی با استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش AHP، VIKOR و... به بررسی این موضوع بپردازند و نتایج روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره را با یکدیگر مقایسه نمایند. همچنین توصیه می‌شود مطالعات بیشتری بر روی مسئله بهسازی



ساختمان‌های مصالح بنایی و تأثیر آن بر کاهش خسارات جانی و مالی در هنگام زمین‌لرزه، انجام پذیرد. باید به این نکته نیز توجه داشت که ارزیابی این موضوع، نیاز به مهارت بالایی دارد؛ بنابراین، توصیه می‌شود از نظر کارشناسانی با علم لازم و شناخت کافی از سیستم مورد مطالعه، استفاده شود.

۱۰- منابع و مآخذ

۱-۱۰- فارسی

- [۱] آقابراتی، ح.، رسولان، ا.، صفائیان، م. راهکار جدیدی در مقاوم‌سازی ساختمان‌های با مصالح بنایی توسط کامپوزیت‌های مسلح شده به الیاف FRP، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، رشت، ۱۳۹۰.
- [۲] الیاسیان، ایمان. مقاوم‌سازی و بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی. تهران. ۱۳۹۰.
- [۳] باشانجاتی، سید روح اله.، همایی، پیمان. تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی با استفاده از طیف ظرفیت در روش تحلیل حدی جنبشی، نشریه مهندسی عمران شریف، شماره ۲۷ (۴)، ۱۳۸۹.
- [۴] پوراعما، ا.، دهقانی راینی، ح. بهینه‌یابی گزینه‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی مسلح به روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و تکنیک TOPSIS، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، ۱۳۹۵.
- [۵] جهانبازی جهان‌آباد، کامران. مدیریت بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح در شهرستان بویراحمد، نشریه مسکن و محیط روستا، شماره ۱۲۵، ۱۳۸۸.
- [۶] دستورالعمل بهسازی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح نشریه ۳۷۶. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی. تهران. ۱۳۸۶.
- [۷] دستورالعمل تحلیل آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیرمسلح. ۱۳۸۵.
- [۸] زهرایی، س. م.، وطنی اسکویی، ا.، ارشاد، ل. بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. تهران. ۱۳۸۳.
- [۹] سید حسینی، سید محمد.، ملکی طولابی، حسین. شناسایی و اولویت‌بندی روش‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی با استفاده از شیوه SAW، اولین کنفرانس ملی معماری، عمران، شهرسازی و افق‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب، تبریز، ۱۳۹۹.
- [۱۰] شریفی، م.، دهقانی، ا. ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های مصالح بنایی موجود و مطالعه موردی شهرستان پاسارگاد، ششمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، ۱۳۹۸.
- [۱۱] عربی، م.، راد، ر.، کمالی، و. مقاوم‌سازی ساختمان‌های مصالح بنایی، ششمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، ۱۳۹۸.
- [۱۲] عصمت زاده، ا. مقاوم‌سازی ساختمان‌های مصالح بنایی در برابر زلزله توسط کلافه‌ای افقی و عمودی (مورد مطالعه‌ای در شهرستان سلماس)، چهارمین کنفرانس بین‌المللی عمران و معماری در مدیریت شهری قرن ۲۱، تهران، ۱۳۹۹.
- [۱۳] فضلی، ر.، مظلوم، م.، محمودی صاحبی، م. استحکام‌بخشی و تقویت دیوارهای بنایی دارای بازشو با شاتکریت در ساخت‌وسازها، اولین کنفرانس ملی بنای ماندگار، مشهد، ۱۳۹۲.
- [۱۴] محب خواه، امین.، سروچراغی، احمد. تحلیل غیرخطی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح به روش اجزاء مجزا، نشریه عمران مدرس، شماره ۱۵ (۳)، ۱۳۹۴.





- [۱۵] محزون آزموده، بهنام، سروقد مقدم، عبدالرضا. مطالعه عملکردی روش تحلیل سلسله مراتبی AHP در بهینه یابی گزینه‌های بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی غیرمسلح، نشریه مهندسی عمران، شماره ۲۳(۱)، ۱۳۹۰.
- [۱۶] مقدم، حسن. عملکرد ساختمان‌های متعارف در برابر زلزله و بررسی روش تقویت آن‌ها. تهران. ۱۳۸۵.
- [۱۷] موسوی خلخالی، سید علی، پورشاء، مهدی، افشین، حسن، چناقلو، محمدرضا. مقایسه روش‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای ساختمان‌های مسکونی در تبریز با به‌کارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، شماره ۴۹(۱)، ۱۳۹۸.

۱۰-۲- انگلیسی

- [18] Alam, N., M, Shahria Alam., S, Tesfamariam. (2012). Buildings' seismic vulnerability assessment methods: a comparative study, *Natural Hazards*, Springer, 62, 405-424.
- [19] Chang, B., Chang, C.W., Wu, C.H. (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria, *Expert system with applications*, 38, 1850-1858.
- [20] Chen C.T, Lin C.T., Huang S.F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management, *International Journal of Production Economics*, 102, 1-7.
- [21] Deng, H. (1999). Multi criteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21(3), 215-231.
- [22] Lin, R. J. (2013). Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices. *Journal of Cleaner Production*, 40(Supplement C), 32-39.
- [23] Zhi, L., Muhammad, F., Vipul, J., Abraham, Z. (2020). Fuzzy DEMATEL analysis of barriers to Block chain based life cycle assessment in China, *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, 147, 1-10.