



Civil and Project Journal
<http://www.cpjournals.com/>

Research Article

Ranking the selection of construction materials in high-rise buildings using the fuzzy TOPSIS technique and fuzzy hierarchical analysis

Parviz Fakhraei^{1*}

**1- Master of Civil Engineering-Construction Management*

Received: 23 March 2024; Revised: 10 April 2024; Accepted: 04 May 2024; Published: 22 July 2024

Abstract

The current research was conducted with the aim of ranking the selection of construction materials in high-rise buildings using the fuzzy TOPSIS technique from the point of view of contractors. The results of data analysis were presented using fuzzy Delphi, fuzzy hierarchical analysis and fuzzy TOPSIS methods to identify and rank options based on indicators. The results of the fuzzy Delphi method showed that safety and health indicators and logistics should be removed. The results of the fuzzy hierarchical analysis method showed that the stability index is the most important and the legal and regulatory acceptance index is the least important index among the final indices obtained. According to the weights of the final indicators for the selection of building materials in high-rise buildings in the fuzzy hierarchical analysis method, the indicators were weighted in a fuzzy way for the fuzzy TOPSIS method. According to the results of TOPSIS Fazi method, polymer concrete, microcement, glass concrete, dry wall, sandwich panel, self-healing concrete, armolate, spider glass, carbon concrete, gas block, curtain wall and thermowall rank 1 to 12 respectively. They gave. It is hoped that in the not-too-distant future these materials will enter the building materials market in high-rise buildings and help to reduce the consumption of natural resources, energy and water, as well as to create stronger and more environmentally friendly buildings.

Keywords: *ranking, fuzzy TOPSIS, high-rise buildings, building materials*

Cite this article as Fakhraei, P. (2024). Ranking the choice of building materials in high-rise buildings using the fuzzy TOPSIS technique from the point of view of contractors. (e195461). Civil and Project journal, 6(5), e195461 doi: <https://doi.org/10.22034/cpj.2024.453655.1275>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2024 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

رتبه‌بندی انتخاب مصالح ساختمانی در ساختمان‌های بلندمرتبه به کمک تکنیک تاپسیس فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

پرویز فخرائی^{*۱}

^{*۱}- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-گرایش مدیریت ساخت

تاریخ دریافت: ۰۴ فروردین ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری: ۲۲ فروردین ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۳؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ مرداد ۱۴۰۳

چکیده

پژوهش حاضر با هدف رتبه‌بندی انتخاب مصالح ساختمانی در ساختمان‌های بلندمرتبه به کمک تکنیک تاپسیس فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های دلفی فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس فازی جهت شناسایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس شاخص‌ها ارائه شدند. نتایج روش دلفی فازی نشان داد شاخص‌های ایمنی و بهداشت و تدارکات باید حذف شوند. نتایج روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی نشان داد که شاخص پایداری، مهم‌ترین و شاخص پذیرش قانونی و مقرراتی، کم‌اهمیت‌ترین شاخص‌ها در بین شاخص‌های نهایی حاصل شده می‌باشد. با توجه به وزن‌های شاخص‌های نهایی جهت انتخاب مصالح ساختمانی در ساختمان‌های بلندمرتبه در روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، شاخص‌ها به صورت فازی برای روش تاپسیس فازی وزن‌دهی شدند. طبق نتایج روش تاپسیس فازی به ترتیب بتن پلیمری، میکروسمنت، بتن شیشه‌ای، درای وال، ساندویچ پنل، بتن خود ترمیم‌کننده، آرمات، شیشه اسپایدر، بتن کرین، بلوک گازی، کرتین وال و ترمووال رتبه ۱ الی ۱۲ را به خود اختصاص دادند. امید است در آینده‌ای نه چندان دور این مصالح وارد بازار مصالح ساختمانی در ساختمان‌های بلندمرتبه شوند و به کاهش مصرف منابع طبیعی، انرژی و آب و همچنین ایجاد ساختمان‌هایی محکم‌تر و دوستدار محیط‌زیست کمک نماید.

کلمات کلیدی: رتبه‌بندی، تاپسیس فازی، ساختمان‌های بلندمرتبه، مصالح ساختمانی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: pfakhraei@yahoo.com

۱- مقدمه

در عصر امروز که ارتباطات و پیشرفت‌های سریع علمی دو شاخص اصلی آن است، هر روز شاهد فن‌آوری نوینی در عرصه مواد و تکنولوژی می‌باشیم. موادی که با ظهور خود روش‌های سنتی گذشته را منسوخ یا تکمیل کرده و افق تازه‌ای را در برابر خداوندان علم و صنعت می‌گستراند. مصالح نام‌آشنای بناهای امروز ما آجر، سنگ، گچ، آهن و فولاد و بتن و شیشه‌اند در حالی که در طول ده سال اخیر تأثیر عمده مصالح طبیعی به شدت مورد توجه قرار گرفته است.

در کشور ما توان ساخت و ساز مطابق با میزان نیاز جامعه وجود ندارد و ساخت و سازهای فعلی از ایمنی مناسبی برخوردار نیستند با توجه به نقشی که صنعت گسترده ساختمان در اقتصاد کشور ایفا می‌کند لزوم توجه بیشتر به تکنولوژی‌های نو انتخاب درست مصالح و استفاده آن در صنعت ساخت و ساز حس می‌گردد. محصولات و خدمات ارائه شده از طرف سازمان‌ها و شرکت‌ها، تا دهه‌های قبل، بیش از آن که منطبق با خواسته‌ها و الزامات مشتریان باشد، نتیجه فکر خلاق مهندسان طراح آن‌ها بود. به عبارت دیگر نقش مشتری در اکثر موارد فقط به یک مصرف‌کننده قانع، محدود می‌شد و این مهندسان سازمان و شرکت‌ها بودند که در فرایند تکوین محصول نقش وی را نیز ایفا می‌کردند. ولی این تفکر تنها تا دهه‌های آخر قرن گذشته ادامه داشت و رقابتی شدن بازارها، فروپاشی مرزهای تجاری، جهانی شدن اقتصاد و در نهایت افزایش سطح توقعات و الزامات مشتریان، باعث افزایش توجه و اهمیت به خواسته‌ها و الزامات مشتریان گردید. بهبود ویژگی‌های مکانیکی بتن به کمک الیاف یکی از روش‌های رایج فراوری بتن در نظر گرفته می‌شود. افزودن الیاف به بتن باعث افزایش میزان جذب انرژی بتن و شکل‌پذیری بتن می‌شود و از گسترش ترک‌ها جلوگیری می‌کند. الیاف فولادی، پلی‌پروپیلن و شیشه‌ای از پرکاربردترین الیاف مورد استفاده می‌باشند. علاوه بر آن‌ها، گونه‌های نوینی از الیاف ماکروسینتتیک نیز معرفی شده‌اند (خداپنده‌لو و همکاران، ۱۴۰۰).

امروزه عامل اصلی بقای سازمان‌ها را در تصاحب مصرف‌کنندگان راضی و خشنود می‌توان جستجو کرد، شناخت دقیق این عوامل و تعیین میزان اثرگذاری هر یک از آن‌ها، در کمک به مدیران جهت تصمیم‌گیری درست، از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرف دیگر پژوهشگران در تلاشند تا با بهره‌گیری از مواد افزودنی، خواص مکانیکی و دوام بتن را به‌طور همزمان افزایش دهند (کماسی و همکاران، ۱۴۰۰).

در سال‌های اخیر استفاده از میلگردهای کامپوزیتی در سازه‌های بتن آرمه به دلیل مقاومت بالا در برابر خوردگی، مقاومت کششی قابل توجه و خاصیت ضد مغناطیسی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به مدول الاستیسیته کمتر میلگردهای کامپوزیتی نسبت به میلگردهای فولادی، تیرهای بتنی مسلح به میلگردهای کامپوزیتی دارای مقاومت برشی نسبتاً کمتری در مقایسه با میلگردهای فولادی هستند. از سوی دیگر، شکست برشی در تیرهای بتنی مسلح به میلگردهای کامپوزیتی عموماً ترد بوده و نیاز به پیش‌بینی دقیقی از عملکرد این اعضا می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰).

۲- پیشینه تحقیق

انتخاب مصالح

مصالح هوشمند و نوین به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند که می‌توان بصورت زیر به آنها اشاره نمود:

مصالح بازیافتی

اساساً از مواد دست دوم و زباله‌های تمیز تهیه می‌شوند. برای تهیه مصالح بازیافتی، قسمت‌های ارزشمند مصالح دست دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی به هر حال فرآورده حاصله معمولاً کیفیت پائین‌تری نسبت به مصالح اصلی دارد. امروزه استفاده از مصالح بازیافتی با توجه به اصول معماری پایدار بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نمونه‌های مختلفی از این مصالح در پروژه‌های مسکونی در کشور ژاپن مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترکیبات تشکیل‌دهنده این مصالح به گونه ای است که پس از پایان عمر و مدفون شدن در زیر خاک به طور کلی توسط جانوران میکروسکوپی موجود در خاک تجزیه می‌شوند. بنابراین تهدیدی برای آلودگی محیط زیست محسوب نمی‌شوند (Dihman, 2020).

مصالح تغییرناپذیر

مصالحی هستند که تأثیرات فیزیکی و شیمیایی بر آنها اثر ندارد مثالی از این نوع مصالح آلیاژ فولاد می‌باشد. مصالح هوشمند مواد و فرآورده‌هایی هستند که خاصیت تغییرپذیری دارند و قادرند مشخصه‌های ظاهری و یا درونی خود را در پاسخ به تأثیرات فیزیکی و شیمیایی به صورت برگشت‌پذیر تغییر دهند (Govindan, 2019).

نانومتريال یا مصالح (نانو)

مصالحی هستند که از موادی با مقیاس نانو (یک میلیاردم) ساخته می‌شوند و نقاط اشتراک زیادی با مصالح هوشمند دارند. مواد با ساختار نانو به عنوان پوشش‌هایی در ساخت فرآورده‌ها به کار می‌روند. به عنوان مثال در پوشش‌های هوشمند ضد خوردگی، تصفیه‌کننده هوا، تمیزکننده سطوح و پوشش‌های زیست فعال کاربرد دارند. مصالح هوشمند تقریباً توانی پایان‌ناپذیر دارند، آنها می‌توانند در واکنش به محیط پیرامون خود چنان تغییر کنند که مصالح طبیعی (غیر هوشمند) قادر به آن نیستند. آنها قادرند تحولی مثبت در معماری ساخت و ساز و روش زندگی ایجاد کنند؛ مثل رنگ دیواری که خود را تمیز نگاه داشته و در صورت آسیب دیدن به تعمیر خود می‌پردازد و یا دیواری که به هنگام نشت گاز یا اتصال الکتریکی در خانه هشدار می‌دهد. مصالح هوشمند می‌توانند طبق دستور رنگ عوض کنند یا در طول روز به تولید الکتریسیته پرداخته و در شب آن را در اختیار ما قرار دهند. اما مهم‌ترین تأثیر آنها در مقوله انرژی است که از مهم‌ترین مباحث قرن پیش روست با استفاده از مصالح هوشمند در ساختمان می‌توان در بهینه نمودن مصرف انرژی بهره جست، زیرا همانطور که مشاهده گردید اکثر مصالح و فرآورده‌های مورد بحث در این نوشتار به طور مستقیم و یا غیرمستقیم انرژی مورد نیاز خود را از محیط پیرامونی می‌گیرند. درواقع مصالح هوشمند قادر به تعدیل افزایش روزافزون تقاضای جهانی برای منابع انرژی گران‌قیمت و مصالح خام می‌باشند (Das, 2020).

ستون‌های فولادی پر شده با بتن (CFT) گروهی از مقاطع مرکب هستند که به دلیل ظرفیت باربری بیشتر، شکل‌پذیری خوب و مقاومت مناسب، مورد توجه بوده است. این مقاطع به طور گسترده‌ای در ساختمان‌های بلندمرتبه، سازه‌های دریایی، ایستگاه‌های مترو و پایه‌های پل‌ها کاربرد دارند. بنابراین این سازه‌ها ممکن است در معرض بارهای دینامیکی مانند بار ضربه محوری قرار بگیرند. یکی از تکنیک‌های مهم در کاربرد ستون‌های CFT استفاده از ستون‌های فولادی جزئی پر شده با بتن می‌باشد که به دلیل مقرون به صرفه بودن و به دلیل کاهش وزن سازه به خصوص در پایه‌های پل‌ها و اسکله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به افزایش کاربرد ستون‌های فولادی جزئی پر شده با بتن در سازه‌های مختلف شناخت رفتار آنها در برابر بارگذاری ضربه‌ای محوری ضروری است (قندی و همکاران، ۱۴۰۰).

کنترل پیش‌بین یک الگوریتم کنترل بهینه‌ای می‌باشد که نیروی کنترلی به دست آمده از این روش با حل یک مسئله بهینه‌یابی در حضور محدودیت‌های سخت و نرم حاصل می‌شود. به دلیل وجود عدم قطعیت در معادله فرآیند و همچنین ساختار حس‌گرهای حالت و از طرفی وجود محدودیت‌هایی در ظرفیت عملگرهای کنترلی نیاز به ایجاد یک

فرآیند کنترلی می‌باشد که همه این شرایط و محدودیت‌ها را به نحو مطلوبی در خود بگنجاند (بهرامی راد و همکاران، ۱۴۰۰). امروزه استفاده از ستون‌های مرکب بتن و فولاد به سرعت در حال گسترش می‌باشد. نتایج نشان داد که مدول الاستیسیته ستون‌های فولادی محاط شده در بتن از شکل فولاد داخل آن تأثیر می‌پذیرد. بدین صورت که مدول الاستیسیته ستون‌ها با مقطع H شکل بیشتر از ستون‌ها با مقطع C شکل بود که علت آن محصورشدگی بیشتر در این نوع مقاطع می‌باشد. همچنین، افزایش درصد الیاف فولادی در بتن این نوع ستون‌ها می‌تواند علاوه بر افزایش شکل‌پذیری، مدول الاستیسیته ستون را به طور متوسط تا ۶ درصد افزایش دهد (معمارزاده و همکاران، ۱۴۰۰).

به طور کلی سازه‌های بنایی از نظر اتصال بین اجزا به دو دسته تقسیم می‌شوند: سازه بنایی بدون ملات که به آن اتصال خشک اطلاق می‌شود و سازه‌هایی که از ملات جهت اتصال اجزای متشکله با یکدیگر استفاده می‌شود. در نهایت چنین نتیجه‌گیری شد که رویکرد اجزای گسسته پیش‌بینی دقیق‌تری از دیوارهای بنایی غیرمسلح نسبت به اجزای محدود ارائه می‌دهد (عالی و همکاران، ۱۴۰۰).

پدیده خشک شدن ملات و به دنبال آن به وجود آمدن جمع‌شدگی از دلایل اصلی در کاهش مقاومت چسبندگی بین ملات‌های تعمیری و بستر بتنی می‌باشد. یکی از راه‌کارهای کاهش جمع‌شدگی، استفاده از الیاف داخل ملات می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده تأثیر مثبت الیاف بر جمع‌شدگی، مقاومت چسبندگی برشی و کششی و مقاومت فشاری ملات‌ها می‌باشد. همچنین شدت همبستگی به دست آمده از روش‌های "انتقال اصطکاک" و "کشیدن از سطح" بیانگر رابطه قوی خطی بین این دو روش می‌باشد که در نتیجه می‌توان به جای استفاده از دستگاه گران قیمت Pull-off از دستگاه ساده و ارزان "انتقال اصطکاک" استفاده نمود (صابری و همکاران، ۱۴۰۰).

۳- روش تحقیق

تحقیق حاضر از منظر ماهیت کاربردی و از منظر روش توصیفی می‌باشد و از نظر ماهیت داده‌ها از نوع کمی می‌باشد. روش‌های وزن‌دهی مختلفی در ارزیابی اهمیت معیارها برای تصمیم‌گیران وجود دارد که تفاوت این روش‌ها در اصول تئوری، دقت، سهولت کاربرد و قابل فهم بودن آن‌ها برای تصمیم‌گیران است. از مهم‌ترین روش‌های وزن‌دهی می‌توان به روش‌های رتبه‌ای، نسبی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اشاره کرد.

برای محاسبه‌ی وزن، ابتدا ماتریس مقایسه تشکیل و پارامترها به صورت دوتایی با هم مقایسه و اهمیت نسبی آن‌ها سنجیده می‌شود. به منظور محاسبه‌ی وزن نسبی دو معیار نسبت به همدیگر، اهمیت نسبی آن‌ها به صورت عباراتی نظیر کاملاً مهم‌تر، اهمیت خیلی قوی و ... بیان می‌شود و براساس نظرات کارشناسان هر یک از این عبارات به امتیازی بین ۱ تا ۹ تبدیل می‌گردد که به آن‌ها وزن نسبی گفته می‌شود. سپس، اعداد مقایسه‌ی زوجی حاصل در قالب ماتریسی با عنوان ماتریس مقایسه آورده می‌شود. در این ماتریس درایه‌ی a_{ij} نتیجه‌ی مقایسه‌ی معیار j ام با معیار i ام می‌باشد. بعد از آماده شدن ماتریس مقایسه و قابل قبول بودن سطح سازگاری آن، وزن پارامترها از روش بردار ویژه محاسبه می‌شود. معیار اصلی برای پذیرفتن مقایسه‌های زوجی این است که مقایسه‌ها با هم سازگار باشند، بدین منظور باید نشان دهیم که:

(۱)

$$W \cdot W = \begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \cdot W$$

در این رابطه λ یک مقدار ویژه، W ماتریس مقایسه‌ی زوجی و w یک بردار ویژه‌ی متناظر با مقدار ویژه‌ی λ می‌باشد که یک ماتریس $n \times 1$ است. "ساعتی" شاخص ناسازگاری (II)، را به صورت زیر تعریف نمود:

$$II = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

در این رابطه، $\lambda_{\max}$ بزرگترین مقدار ویژه‌ی ماتریس مقایسه و n تعداد معیارها می‌باشد. مقادیر شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی انتخاب شده باشند شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR) نام‌گذاری کرده‌اند. برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (II) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR) هم بعد آن، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد، که آن را نرخ ناسازگاری (IR) می‌نامیم. نزدیک‌تر بودن بیشتر II و به تبع آن IR به صفر، نشان‌دهنده‌ی سطح بالاتری از سازگاری در ماتریس مقایسه است. چنانچه نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر نمود.

یک ماتریس مقایسه‌ی زوجی را مانند A که مقادیر آن از $\frac{1}{9}$ تا ۹ متغیر است، در نظر بگیرید. با استفاده از اعداد فازی مثلثی $f = (l, m, u)$ ، ماتریس اولیه دارای مقادیر صریح A ، تبدیل به مقادیر فازی می‌شود. با استفاده از تحلیل توسعه‌ی فازی بر روی ماتریس بالا، ماتریس تصمیم فازی بدست می‌آید. برای بدست آوردن ماتریس تصمیم فازی (x) و وزن فازی (w) با استفاده از تحلیل توسعه‌ی فازی، فرمول زیر به کار می‌رود:

$$x_i \text{ or } w_j = \frac{\sum_{j=1}^k \bar{a}_j}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \bar{a}_{ij}} \quad (3)$$

با ضرب ماتریس تصمیم‌گیری و ماتریس وزن، ماتریس تصمیم‌گیری وزن دار (p) مطابق زیر حاصل می‌شود.

$$P = X_i * W = \begin{bmatrix} (w_1 x_{11} \ w_m x_{11m} \ w_n x_{11n}) \\ (w_m x_{21} \ w_m x_{21m} \ w_m x_{21n}) \\ \dots \\ (w_m x_{i1} \ w_m x_{ijn} \ w_m x_{ijn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1l} \ P_{1m} \ P_{1u} \\ P_{2l} \ P_{2m} \ P_{2u} \\ \dots \\ P_{il} \ P_{im} \ P_{iu} \end{bmatrix} \quad (4)$$

در این مرحله با محدوده‌های غیرقطعی مقادیر مواجه هستیم و بنابراین از تصمیم‌گیرندگان در مورد میزان اطمینان آن‌ها در مورد قضاوتشان پرسیده می‌شود. برش α (بین ۰ تا ۱) میزان اطمینان کارشناس را در مورد قضاوت خود نشان می‌دهد. اگر مقدار برش α نزدیک یک باشد، نشان می‌دهد که کارشناس اطمینان خیلی زیادی در مورد قضاوت خود داشته‌اند. برش α برابر با صفر نشان‌دهنده عدم اطمینان زیاد می‌باشد. پس از اعمال میزان اطمینان تصمیم‌گیرندگان نسبت به تصمیم خود و استفاده از عملیات برش α ماتریس P_α بدست می‌آید:

(۵)

$$P_a = \begin{bmatrix} [P_{1l\alpha}, P_{1r\alpha}] \\ [P_{2l\alpha}, P_{2r\alpha}] \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ [P_{il\alpha}, P_{ir\alpha}] \end{bmatrix}$$

در ماتریس فوق، پارامترهای r, l به ترتیب بیان کننده ی مقادیر چپ و راست مجموعه ی بازه می باشند. در مرحله ی بعد با بکارگیری شاخص بهینه ی (λ)، ماتریس مقادیر صریح بدست می آید. شاخص بهینه ی λ در مجموعه بازه ی مقادیر، مطابق با زیر اعمال شده و منجر به تولید ماتریس C_λ با مقادیر صریح می شود.

(۶)

$$C_\lambda = \lambda * p_{r\alpha} + (1-\lambda) * p_{l\alpha}$$

مقادیر شاخص بهینه (λ) در بازه ی صفر تا یک متغیر است، که در بدبینانه ترین حالت مقدار λ برابر صفر و در خوش بینانه ترین دیدگاه، مقدار λ برابر یک در نظر گرفته می شود. در انتها با توجه به اینکه مقادیر ماتریس مقایسه دارای مقیاس های یکسانی نیستند، بنابراین مقادیر صریح بدست آمده با استفاده از رابطه ی زیر نرمال می شوند. لازم به ذکر است که برای مقایسه ی معیارها نیاز است که همگی دارای مقیاس یکسانی باشند.

$$C_{i\lambda} = \frac{c_{i\lambda}}{\sum c_{i\lambda}}$$

(۷)

۴- تجزیه و تحلیل

ارائه اطلاعات جمعیت شناختی

جدول ۱- توزیع فراوانی بر حسب جنسیت

جنس	فراوانی	درصد فراوانی
مرد	۲۴	۸۰
زن	۶	۲۰
کل	۳۰	۱۰۰

جدول ۲- توزیع فراوانی بر حسب سن

سن	فراوانی	درصد فراوانی
کمتر از ۴۰ سال	۱	۳
۴۰-۴۵ سال	۳	۱۰
۴۶-۵۰ سال	۸	۲۷
۵۱-۵۵ سال	۷	۲۳
بالاتر از ۵۵ سال	۱۱	۳۷
کل	۳۰	۱۰۰

جدول ۳- توزیع فراوانی بر حسب تحصیلات

تحصیلات	فراوانی	درصد فراوانی
کارشناسی ارشد	۱۹	۶۳
دکتری	۱۱	۳۷
کل	۳۰	۱۰۰

جدول ۴- توزیع فراوانی بر حسب سابقه خدمت

سابقه خدمت	فراوانی	درصد فراوانی
کمتر از ۲۰ سال	۰	۰
۲۱-۲۵ سال	۸	۲۷
۲۶-۳۰ سال	۹	۳۰
بیش از ۳۰ سال	۱۳	۴۳
کل	۳۰	۱۰۰

در روش دلفی فازی ابتدا به ارائه شاخص‌های پژوهش شناسایی شده با استفاده از مرور جامع مبانی نظری پژوهش پرداخته می‌شود. شاخص‌های تحقیق حاضر به صورت زیر می‌باشد:

- هزینه
- زمان
- فرآیند
- ایمنی و بهداشت
- پایداری
- تدارکات
- پذیرش قانونی و مقرراتی
- کیفیت

گروه تصمیم‌گیری متشکل از خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش تشکیل شده و پرسشنامه‌ها به منظور تعیین مرتب بودن شاخص‌های شناسایی شده با موضوع اصلی پژوهش و غربالگری برای آن‌ها ارسال می‌شود. تایید و غربالگری شاخص‌ها از طریق مقایسه مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه صورت می‌پذیرد. آمار نظرات خبرگان در دوره اول دلفی در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۵- آمار نظرات خبرگان در دوره اول دلفی فازی

ردیف	شاخص‌ها	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
۱	هزینه	۲	۵	۶	۸	۹
۲	زمان	۳	۵	۵	۱۱	۶
۳	فرآیند	۳	۳	۶	۹	۹
۴	ایمنی و بهداشت	۴	۵	۱۱	۵	۵
۵	پایداری	۳	۳	۶	۱۰	۸
۶	تدارکات	۵	۵	۳	۹	۸
۷	پذیرش قانونی و مقرراتی	۳	۳	۱۱	۸	۵
۸	کیفیت	۳	۳	۱۱	۶	۷

در مرحله بعد تبدیل پاسخ زبانی خبرگان به صورت اعداد فازی برای دوره اول دلفی فازی، میانگین پاسخ‌ها برای هر زیرشاخص محاسبه شد که نتایج در جدول زیر نشان داده شده است.

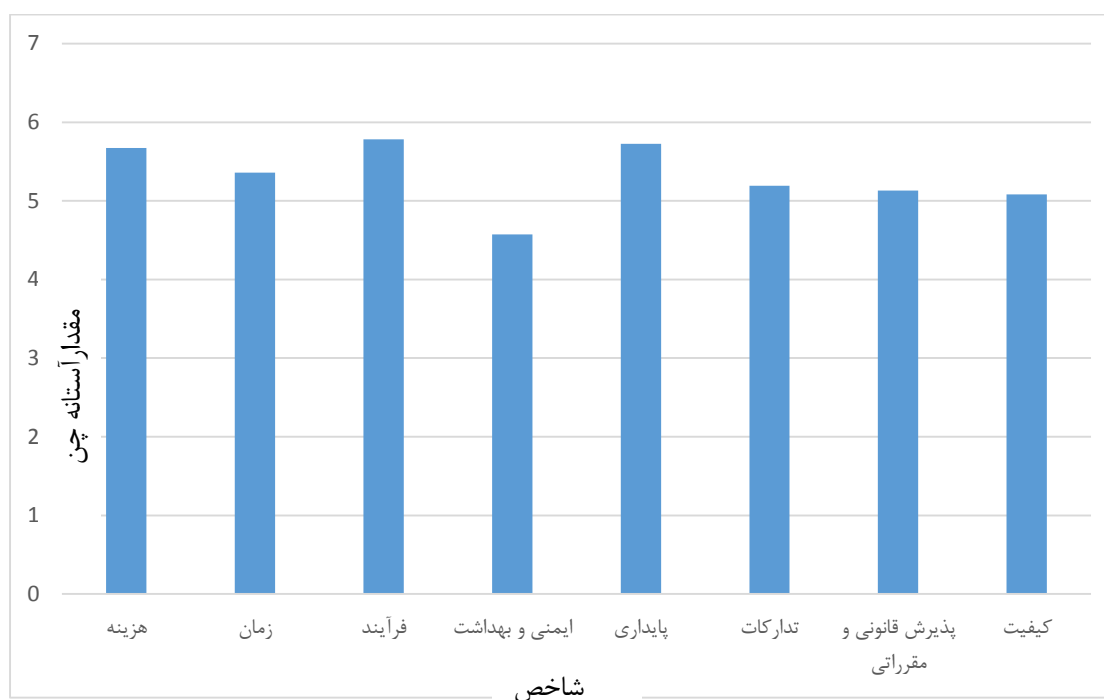
جدول ۶- میانگین پاسخ خبرگان در دوره اول دلفی فازی

ردیف	شاخص ها	میانگین		
۱	هزینه	۲۳۳.۴	۱.۵	۳.۶
۲	زمان	۹۳۳.۳	۷۶۷.۴	۹۳۳.۵
۳	فرآیند	۳۶۷.۴	۲.۵	۴.۶
۴	ایمنی و بهداشت	۰۶۷.۳	۸۶۷.۳	۲۳۳.۵
۵	پایداری	۳.۴	۱۳۳.۵	۳۳۳.۶
۶	تدارکات	۸۶۷.۳	۶۳۳.۴	۷۳۳.۵
۷	پذیرش قانونی و مقرراتی	۶.۳	۴۳۳.۴	۸.۵
۸	کیفیت	۶.۳	۴۳۳.۴	۷۳۳.۵

در پژوهش حاضر با توجه به پژوهش چن مقدار ۳ به عنوان مقدار آستانه در نظر گرفته شده است و عواملی را که دارای میانگین حسابی پایین تر ۳ هستند حذف می شود. نتایج حاصل از میانگین گیری نهایی نظرات خبرگان در دوره اول دلفی فازی در جدول زیر نمایش داده شده است که نتایج نشان می دهد تمام شاخص ها مورد تایید می باشد و شاخصی قابل حذف نیست.

جدول ۷- میانگین نهایی نظرات خبرگان در دوره اول دلفی فازی

ردیف	شاخص ها	میانگین
۱	هزینه	۶۷۵.۵
۲	زمان	۳۵۸.۵
۳	فرآیند	۷۸۳.۵
۴	ایمنی و بهداشت	۵۷۵.۴
۵	پایداری	۷۲۵.۵
۶	تدارکات	۱۹۲.۵
۷	پذیرش قانونی و مقرراتی	۱۳۳.۵
۸	کیفیت	۰۸۳.۵



نمودار ۱- میانگین نهایی نظرات خبرگان در دوره اول دلفی فازی

با توجه به میانگین مناسب در دوره اول روش دلفی فازی، آمار نظرات خبرگان در دوره دوم دلفی با در نظرگیری پاسخ دهی سخت گیرانه تر نسبت به دوره اول دلفی فازی انجام شد که نتایج در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۸- آمار نظرات خبرگان در دوره دوم دلفی فازی

ردیف	شاخص ها	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
۱	هزینه	۸	۷	۶	۵	۴
۲	زمان	۸	۶	۵	۳	۸
۳	فرآیند	۹	۷	۵	۴	۵
۴	ایمنی و بهداشت	۱۱	۱۲	۲	۳	۲
۵	پایداری	۹	۸	۲	۹	۲
۶	تدارکات	۱۳	۱۰	۲	۳	۲
۷	پذیرش قانونی و مقرراتی	۱۱	۷	۵	۵	۲
۸	کیفیت	۸	۵	۶	۴	۷

در مرحله بعد تبدیل پاسخ زبانی خبرگان به صورت اعداد فازی برای دوره دوم دلفی فازی، میانگین پاسخ‌ها برای هر زیرشاخص محاسبه شد که نتایج در جدول زیر نشان داده شده است.

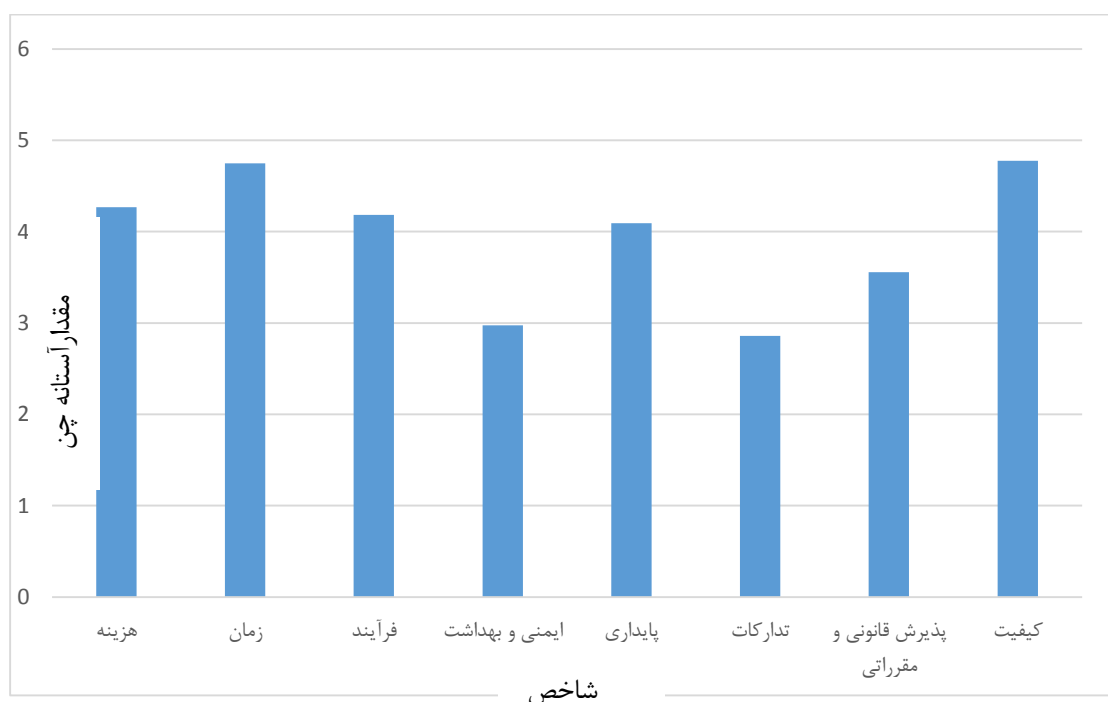
جدول ۹- میانگین پاسخ خبرگان در دوره دوم دلفی فازی

ردیف	شاخص‌ها	میانگین			
۱	هزینه	۷.۵	۸۳۳.۴	۶۳۳.۳	۹.۲
۲	زمان	۰.۶۷.۶	۳۳۳.۵	۱۶۷.۴	۴۳۳.۳
۳	فرآیند	۵۶۷.۵	۷۳۳.۴	۵۶۷.۳	۸۶۷.۲
۴	ایمنی و بهداشت	۳۶۷.۴	۴۳۳.۳	۳۶۷.۲	۷۳۳.۱
۵	پایداری	۵.۵	۵۶۷.۴	۵.۳	۸.۲
۶	تدارکات	۲۳۳.۴	۳.۳	۲۳۳.۲	۶۶۷.۱
۷	پذیرش قانونی و مقرراتی	۵	۰.۶۷.۴	۹.۲	۲۶۷.۲
۸	کیفیت	۱۳۳.۶	۳۶۷.۵	۱۶۷.۴	۴۳۳.۳

در دوره دوم دلفی فازی مانند دوره اول، با توجه به پژوهش چن مقدار ۳ به عنوان مقدار آستانه در نظر گرفته شده است و عواملی را که دارای میانگین حسابی پایین‌تر ۳ هستند حذف می‌شود. نتایج حاصل از میانگین‌گیری در جدول زیر نمایش داده شده است. در این مطالعه بعد از ۲ مرحله تکمیل پرسشنامه، شاخص‌های ایمنی و بهداشت و تدارکات نمره لازم را اکتساب نکرد و از شاخص‌ها حذف گردید.

جدول ۱۰- میانگین نهایی نظرات خبرگان در دوره دوم دلفی فازی

ردیف	شاخص‌ها	میانگین
۱	هزینه	۲۶۷.۴
۲	زمان	۷۵.۴
۳	فرآیند	۱۸۳.۴
۴	ایمنی و بهداشت	۹۷۵.۲
۵	پایداری	۰.۹۲.۴
۶	تدارکات	۸۵۸.۲
۷	پذیرش قانونی و مقرراتی	۵۵۸.۳
۸	کیفیت	۷۷۵.۴



نمودار ۲- میانگین نهایی نظرات خبرگان در دوره دوم دلفی فازی

ابتدا فهرست شاخص‌های نهایی حاصل شده از روش دلفی فازی بیان و مرور می‌شوند. فهرست شاخص‌ها جهت انتخاب مصالح ساختمانی در ساختمان‌های بلند مرتبه به صورت زیر می‌باشند:

- هزینه
- زمان
- فرآیند
- پایداری
- پذیرش قانونی و مقرراتی
- کیفیت

برای انجام مقایسات زوجی بین شاخص‌ها، از هر کدام از افراد متخصص خواسته می‌شود تا بر طبق مقیاس‌های طرح شده در پرسشنامه، اهمیت و اولویت هر شاخص را بر شاخص دیگر تعیین نمایند. لذا در هر یک از پرسشنامه‌ها، به تعداد ۶ ماتریس برای آن‌ها موجود است که به منظور مقایسه زوجی بین شاخص‌ها می‌باشند. در روش AHP فازی، از اعداد فازی مثلثی برای فازی کردن مقادیر صریح ماتریس مقایسه‌ی زوجی استفاده می‌شود. پس از محاسبه میانگین حسابی تمام سلول‌های ماتریس مقایسه زوجی، عادی کردن نتایج بدست آمده صورت گرفته و با تلفیق نمودن وزن‌های عناصر سطوح پایین با وزن عناصر سطوح بالای مربوطه در سلسله مراتب، وزن شاخص‌ها بدست می‌آید.

برای محاسبه اوزان نسبی و اوزان نهایی جداول میانگین، از نرم‌افزار MATLAB استفاده می‌شود. یکی از نکات دارای اهمیت در مورد تمام ماتریس‌های مقایسه زوجی، میزان ناسازگاری آن‌ها می‌باشد که طبق نظر پروفیسور ال ساعتی، برای اینکه قضاوت‌ها پایدار باشند لازم است میزان ناسازگاری تمام ماتریس‌ها کمتر یا برابر ۰,۱ باشد. به همین دلیل لازم است کارشناس مربوطه قضاوت خود را تکرار نماید تا ماتریس‌ها پایدار شوند سپس میانگین حسابی سلول‌های ماتریس مقایسه، محاسبه شود.

جداول زیر ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها حاصل از ۳۰ پرسش‌نامه به صورت میانگین حسابی محاسبه شده است و نتایج شاخص‌ها با محاسبه میزان ناسازگاری شاخص‌ها با مقدار ۰,۰۹۰ در جدول زیر نمایش داده است.

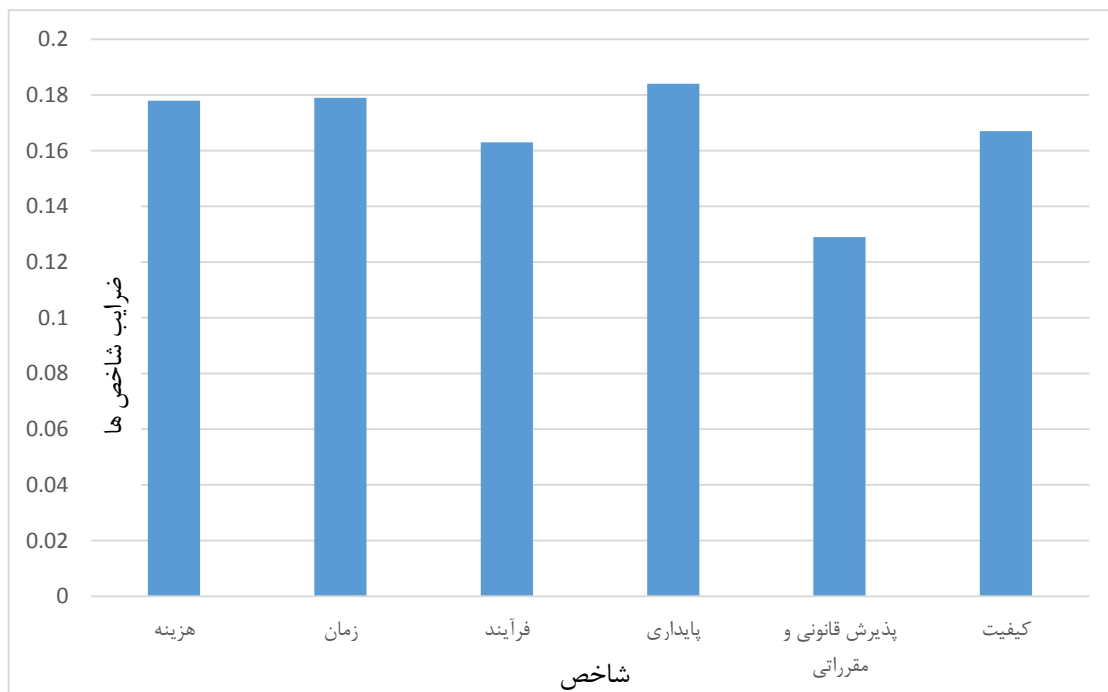
جدول ۱۱- ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها جهت انتخاب مصالح ساختمانی در ساختمان‌های بلندمرتبه

کیفیت	پذیرش قانونی و مقرراتی			پایداری			فرآیند			زمان			هزینه		
	۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۱	۰.۲	۰.۳
هزینه	۰.۵	۰.۲	۰.۷	۹.۰	۳.۱	۲.۲	۰.۱	۰.۳	۰.۹	۰.۴	۰.۳	۰.۹	۱	۱	۱
	۰.۱	۰.۲	۰.۷	۳.۱	۲.۲	۰.۱	۰.۳	۰.۹	۰.۴	۰.۳	۰.۹	۱	۱	۱	۱
زمان	۰.۵	۰.۳	۰.۲	۷.۰	۲.۱	۸.۲	۰.۱	۰.۲	۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۲	۰.۴	۰.۸	۰.۲
	۰.۱	۰.۲	۰.۲	۲.۱	۸.۲	۰.۱	۰.۲	۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۲	۰.۴	۰.۸	۰.۲	۰.۲
فرآیند	۰.۶	۰.۲	۰.۸	۶.۰	۱	۴.۱	۰.۳	۰.۱	۰.۴	۰.۸	۰.۲	۰.۴	۰.۹	۰.۸	۰.۱
	۰.۱	۰.۲	۰.۸	۱	۴.۱	۰.۳	۰.۱	۰.۴	۰.۸	۰.۲	۰.۴	۰.۹	۰.۸	۰.۱	۰.۱
پایداری	۰.۳	۰.۵	۰.۱	۷.۰	۵.۱	۱.۲	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۱	۱	۱	۰.۹	۰.۸	۰.۲
	۰.۱	۰.۵	۰.۱	۵.۱	۱.۲	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۱	۱	۱	۱	۰.۹	۰.۸	۰.۲
پذیرش قانونی و مقرراتی	۰.۵	۰.۱	۰.۳	۱	۱	۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۵	۰.۷	۰.۵	۱	۱	۰.۱
	۰.۱	۰.۱	۰.۳	۱	۱	۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۵	۰.۷	۰.۵	۱	۱	۰.۱
کیفیت	۱	۱	۱	۸.۰	۱.۱	۹.۱	۰.۲	۰.۰	۰.۱	۰.۷	۰.۷	۰.۹	۲	۹	۰.۰
	۱	۱	۱	۸.۰	۱.۱	۹.۱	۰.۲	۰.۰	۰.۱	۰.۷	۰.۷	۰.۹	۲	۹	۰.۰

جدول ۱۲- وزن شاخص‌های نهایی جهت انتخاب مصالح ساختمانی در ساختمان‌های بلندمرتبه

شاخص‌ها	وزن
هزینه	۰,۱۷۸
زمان	۰,۱۷۹
فرآیند	۰,۱۶۳
پایداری	۰,۱۸۴
پذیرش قانونی و مقرراتی	۰,۱۲۹
کیفیت	۰,۱۶۷

همانگونه که در شکل زیر گزارش شده است، ضریب شاخص هزینه ۰/۱۷۸، ضریب شاخص زمان ۰/۱۷۹، ضریب شاخص فرآیند ۰/۱۶۳، ضریب شاخص پایداری ۰/۱۸۴، ضریب شاخص پذیرش قانونی و مقرراتی ۰/۱۲۹ و ضریب شاخص کیفیت ۰/۱۶۷ می‌باشد. با توجه به شکل زیر می‌توان شاخص پایداری، مهم‌ترین و شاخص پذیرش قانونی و مقرراتی، کم‌اهمیت‌ترین شاخص‌ها شناسایی شدند.



نمودار ۳- ارزیابی شاخص‌های نهایی جهت انتخاب مصالح ساختمانی در ساختمان‌های بلندمرتبه

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های دلفی فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس فازی جهت شناسایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس شاخص‌ها ارائه شدند. به کمک روش دلفی فازی شاخص‌های ایمنی و بهداشت و تدارکات حذف شدند. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی جهت وزن‌دهی شاخص‌ها ارزیابی شدند. مجموع وزن تمام شاخص‌ها باید ۱ می‌شد که این اتفاق افتاده است. ناسازگاری ۶ شاخص نیز ۰,۰۹۰ و کمتر از ۰,۱ قابل قبول است. در روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی شاخص‌ها نشان دادند که ترتیب اهمیت هر کدام به صورت زیر می‌باشد

- پایداری
- زمان
- هزینه
- کیفیت
- فرآیند
- پذیرش قانونی و مقرراتی

اهمیت بالای شاخص پایداری را می‌توان به این دلیل دانست که ایده‌ی اصلی استفاده از مصالح ساختمانی پایدار، ساختن خانه‌ای است که دوام داشته باشد. یک خانه با دوام بیشتر به معنای هزینه‌های نگهداری کمتر است. کاهش هزینه و افزایش طول عمر دلیل کافی برای متقاعد کردن هر کسی برای ساختن یک خانه به شکل پایدار دلیلی برای استفاده مصالح ساختمانی پایدار است. از دلایل استفاده از مصالح پایدار در ساخت و ساز می‌توان به این موضوع اشاره نمود که مواد مصنوعی اغلب سمی یا خطرناک هستند. بسیاری از آن‌ها تجزیه زیستی نمی‌شوند و می‌توانند مضر در محیط باشند. بسیاری از مواد طبیعی قابل تجدید نیستند. در حالی که برخی از مواد طبیعی غیرقابل تجدید مانند آهن و آلومینیوم فراوان هستند و می‌توان آن‌ها را به طور بی‌پایان بازیافت کرد.

طبق نتایج روش تاپسیس فازی به ترتیب بتن پلیمری، میکروسمنت، بتن شیشه‌ای، درای وال، ساندویچ پنل، بتن خودترمیم‌کننده، آرمات، شیشه اسپایدر، بتن کربن، بلوک گازی، کرتین وال و ترمووال رتبه ۱ الی ۱۲ را به خود اختصاص دادند. علت اهمیت بالای بتن پلیمری را می‌توان به این موضوع مربوط دانست که از رزین‌ها به عنوان ماده چسبنده به جای آب استفاده می‌شود که افزایش مقاومت در برابر خوردگی، یخ زدگی و غیره را به همراه دارد. بتن پلیمری در مقایسه با بتن معمولی مسلح نشده، به دلیل خاصیت چسبندگی قوی، استحکام کششی بیشتری دارد. مقاومت فشاری بتن پلیمر، مشابه یا بیشتر از بتن معمولی است. بتن پلیمر در برابر آب و دیگر محلول‌ها، نفوذپذیری بسیار کمی دارد. همچنین در برابر انجماد و ذوب سریع، بسیار بادوام است. بتن پلیمری در برابر حملات شیمیایی مانند سولفات، کربنات، روغن، اسید و غیره آسیب نمی‌بیند و همچنین در برابر خوردگی از مقاومت بالایی برخوردار است. بتن پلیمری وزن سبک‌تر و چگالی کمتری نسبت به بتن معمولی دارد؛ در نتیجه به سبک‌تر شدن وزن سازه بتنی کمک می‌کند. این نوع بتن عایق الکتریکی است. بتن‌های پلیمر را می‌توان در مقاطع بسیار نازک اجرا کرد. بتن پلیمری اجازه نفوذ CO_2 را نمی‌دهد و بتن را از کربناته شدن نجات می‌دهد.

در این پژوهش نیز پیشنهاداتی، در قالب پیشنهادات کاربردی و پیشنهاداتی جهت کارهای مطالعات بعدی ارائه شده است:

- پیشنهاد می‌شود به دلیل تنوع زیاد در مصالح نوین جهت کاهش آسیب به محیط زیست، مصالحی انتخاب شوند که از نظر اقتصادی برای بهره‌برداری ساختمان‌های بلندمرتبه به صرفه باشد.
- پیشنهاد می‌شود ساختمان‌های بلندمرتبه مدنظر موثر و کارا باشند، از مصالح قابل برگشت به محیط استفاده شود، قابل استفاده مجدد باشند و در فرایند طراحی و ساخت حداقل انرژی را مصرف کنند.

- پیشنهاد می‌شود مصالح قابل نگهداری باشند، اجزا بتوانند جایگزین شوند یا به محیط بازگردند و یا دوباره مورد استفاده قرار گیرند.
- پیشنهاد می‌شود مصالح تطبیق‌پذیر باشند، بتوانند به نیازهای متغیر و بارهای متغیر در زمان‌های متغیر در طول زندگی‌شان جواب دهند.
- پیشنهاد می‌شود در مصالح مصرفی، ساخت، برنامه نگهداری و تخریب، تا حد امکان از مواد سمی و تخریب‌کننده محیط زیست، استفاده نگردد و تا حد امکان بومی ساخته شوند.

منابع

۱. احمدی، مسعود، نادرپور، حسین، فخاریان، پویان؛ رضازاده عیدگاهی، دانیال. (۱۴۰۰). تخمین مقاومت برشی تیرهای بتنی مسلح به آرماتور FRP با استفاده از مدل GMDH-GA. مهندسی سازه و ساخت
۲. اسکندری، عباس، امیدی‌نسب، فریدون، صحرایی مقدم، امیرحسین؛ دالوند، احمد. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر انواع الیاف در بهبود رفتار خمشی تیرهای بتنی بازافتی در نواحی الاستیک و پلاستیک. مهندسی سازه و ساخت
۳. بهرامی راد، افشین، نوری، مهدی، کاتبی، جواد؛ موسوی قاسمی، سید آرش. (۱۴۰۰). کنترل پیش‌بین مبتنی بر فیلتر کالمن و ملاحظه اثر اشباع عملگر در کنترل فعال ساختمان نه طبقه مبنای SAC. مهندسی سازه و ساخت
۴. خداینده لو، اشکان؛ اسدی زینالی، امین. (۱۴۰۰). بهینه‌یابی میزان مصرف الیاف ماکرو سینتتیک درهم تنیده برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی بتن. مهندسی سازه و ساخت
۵. خلیلی، مرتضی، صابری، وحید، صابری، حمید، منصوری، وحید، صادقی، عباسعلی، پاجیده، قاسم. (۱۴۰۰). مطالعه‌ی آزمایشگاهی اثر دماهای بالا بر عملکرد بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف‌های فولادی، پلی‌پروپیلن و شیشه. مهندسی سازه و ساخت
۶. دهقان، سید مهدی، بانسی، وحید، یوسفی کهنوج، سعدالله؛ نجفقلی پور، محمد امیر. (۱۴۰۰). بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع آجر و ملات بر مشخصات مکانیکی منشورهای بنایی. مهندسی سازه و ساخت
۷. شریعتمدار، هاشم، رضایی پژند، آزاده؛ رحیم زاده، نگار. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر میراگر لزجی بر ضریب رفتار سازه‌های بتن مسلح. مهندسی سازه و ساخت
۸. صابری ورزنده، علی؛ نادری، محمود. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن بر جمع‌شدگی، رفتار فشاری و مقاومت چسبندگی برشی و کششی ملات‌های تعمیری بر بستر بتنی. مهندسی سازه و ساخت
۹. عالی جهان، مهرداد؛ زمانی اهری، غلامرضا. (۱۴۰۰). بررسی و مقایسه قابلیت روش‌های المان محدود و المان مجزا برای پیش‌بینی رفتار داخل صفحه‌ی دیوار بنایی غیرمسلح. مهندسی سازه و ساخت
۱۰. قندی، الهام، اسماعیلی نیاری، شیرین؛ محمدی رعنا، نیر. (۱۴۰۰). بررسی عددی رفتار ستون‌های فولادی سردنورد شده جزئی پر شده با بتن تحت اثر بارگذاری همزمان بار محوری فشاری استاتیکی و بار ضربه‌ای محوری. مهندسی سازه و ساخت
۱۱. کماسی، مهدی؛ پیریایی، محمدرضا. (۱۴۰۰). بررسی دوام و مقاومت فشاری بتن با استفاده از افزودنی‌های الیاف پلی‌پروپیلن، پلی-کربوکسیلات اتر و E 205. مهندسی سازه و ساخت
۱۲. معمارزاده، آرمین، نعمت زاده، مهدی؛ جعفرزاده، حامد. (۱۴۰۰). مطالعه‌ی آزمایشگاهی مدول الاستیسیته ستون‌های کوتاه فولادی محصور شده در بتن مسلح حاوی الیاف فولادی. مهندسی سازه و ساخت
۱۳. واثقی امیری، شقایق؛ قناد، محمدعلی. (۱۴۰۰). تعیین میزان مشارکت خاک در پاسخ سیستم‌های خاک-سازه با استفاده از داده‌های ثبت شده در زلزله‌های کوچک-مقیاس. مهندسی سازه و ساخت

۱۴. ولی‌زاده، حامد؛ قلهکی، مجید. (۱۴۰۰). طراحی بر اساس عملکرد پلاستیک دیوار برشی فولادی در قاب بتن آرمه. مهندسی سازه و ساخت

۱۵. ولی‌زاده، حامد؛ قلهکی، مجید. (۱۴۰۰). طراحی بر اساس عملکرد پلاستیک دیوار برشی فولادی در قاب بتن آرمه. مهندسی سازه و ساخت

16. Das, B., Pal, S. C. (۲۰۲۰). Assessment of groundwater vulnerability to over-exploitation using MCDA, AHP, fuzzy logic and novel ensemble models: a case study of Goghat-I and II blocks of West Bengal, India. Environmental Earth Sciences, ۷۹(۵), ۱-۱۶.
17. Dhiman, H. S., Deb, D. (۲۰۲۰). Fuzzy TOPSIS and fuzzy COPRAS based multi-criteria decision making for hybrid wind farms. Energy, ۲۰۲, ۱۱۷۷۵۵.
18. Govindan K, et al. (۲۰۱۹), Sustainable material selection for construction industry - A hybrid multicriteria decision making approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
19. Kibert, C.J. (۲۰۱۸). Sustainable construction: Green Building Design and Delivery. Second edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New jersey, USA.