

P. Hosseini

Faculty of Engineering,
Mahallat Institute of Higher
Education, Mahallat.

e-mail: p.hosseini@mahallat.ac.ir

M. Khalily Dermany*

Young Researchers and Elite
Club, Khomein Branch,
Islamic Azad University,
Khomein, Iran.

e-mail: md.khalili@gmail.com

A Fuzzy Decision Support System for Selecting the Roof and the Type of Structure of Buildings

Designing structures with sufficient resistance to loads with minimal human and financial losses are the duties of structural designers. However, various diaphragm systems have been proposed to cover the roofs of structures, and each of these types of roofs is suitable for one type of structure. Therefore, choosing the type of structure and roof of the structure is very important. The main purpose of this study is to use the decision support systems to provide a model for structural designers, contractors and other construction experts to select the roof and structure of the building. In this paper, hierarchical analysis and fuzzy Vickor techniques are used to solve this problem. The data collection tool in this research is a questionnaire and the results show that for conventional The results of this study show that buildings with reinforced concrete joist and reinforcement concrete frame structures are the most suitable and the masonry building with jack Arch roofs are the worst choice from the point of view of experts to choose the roof and the type of the frame structure. One of the most important reasons for this result is the ease of implementation and reasonable cost of Reinforcement Concrete joist and Reinforcement Concrete frame structures.

Keywords: decision support system, fuzzy Vickor techniques, structural design, selecting the type of structure, selecting the type of roof.

* Corresponding author

Received 05 December 2020, Revised 01 January 2021, Accepted 05 January 2021.

DOI: 10.22091/cer.2021.6321.1219

پدرام حسینی

استادیار، دانشکده
مهندسی، مرکز آموزش عالی
محلات، محلات، ایران
پست الکترونیک:
p.hosseini@mahallat.ac.ir

محمد خلیلی درمنی*

استادیار، باشگاه پژوهشگران و
نخبگان جوان، واحد خمین،
دانشگاه آزاد اسلامی، خمین،
ایران
پست الکترونیک:
md.khalili@gmail.com

یک سیستم تصمیم یار فازی برای انتخاب سقف و اسکلت بنا

طراحی سازه‌های با مقاومت کافی در برابر بارهای وارده با کمترین خسارات جانی و مالی از وظایف طراحان سازه است. تا به حال سیستم‌های دیافراگم متفاوتی برای پوشش سقف سازه‌ها ارائه شده‌اند و هرکدام از این نوع سقف‌ها برای یک نوع اسکلت سازه‌ای مناسب هستند. بنابراین انتخاب نوع اسکلت و سقف سازه از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف اصلی از پژوهش حاضر، استفاده از سیستم تصمیم‌یار به منظور ارائه مدلی برای طراحان سازه، پیمانکاران و سایر کارشناسان ساختمانی برای انتخاب سقف و اسکلت بنا است. در این مقاله، از تکنیک‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و ویکور فازی برای حل این مساله استفاده شده است. ابزار گردآوری داده در این تحقیق پرسشنامه است و نتایج نشان می‌دهد که برای ساختمان‌های متعارف استفاده از سقف تیرچه بتنی به همراه اسکلت بتنی گزینه با اولویت بالاتر است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ساختمان‌های با سقف تیرچه و بلوک و اسکلت بتن آرمه مناسب‌ترین و سقف تیرچه و بلوک با اسکلت آجری و سقف طاق ضربی بدترین انتخاب از دید افراد خبره برای انتخاب سقف و اسکلت بنا هستند. از جمله مهم‌ترین دلایل این نتیجه سهولت اجرا و هزینه مناسب ساختمان‌های با سقف تیرچه و بلوک و اسکلت بتن آرمه می‌باشد.

واژگان کلیدی: سیستم تصمیم‌یار، روش ویکور فازی، طراحی سازه، انتخاب نوع اسکلت سازه و سقف.

۱- مقدمه

دارد و انتخاب نوع اسکلت و سقف سازه بستگی به عوامل متعددی از قبیل توانایی مالی کارفرما، کاربری سازه، فاصله دهانه‌های ستون‌ها، نقشه معماری ارائه شده، زمان اجرا، صلبیت دیافراگم سازه و غیره دارد. اسکلت‌های رایج برای احداث سازه‌ها دو نوع فولادی و بتن مسلح هستند که انواعی خاصی از دیافراگم می‌توانند برای هرکدام از آنها به کار روند. بنابر موارد ذکر شده انتخاب نوع سیستم اسکلت سازه و سقف آن وابسته به عوامل بسیار متعددی است.

در پژوهش حاضر، انتخاب سیستم اسکلت سازه و سقف با رویکرد استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از یک سیستم تصمیم‌یار می‌تواند در کاهش هزینه‌ها، افزایش

نیروی وارد شده بر یک ساختمان در اثر زلزله متناسب با جرم آن است و هرچه از مصالح سنگین‌تری استفاده شود، وزن سازه بیشتر می‌گردد و در نتیجه نیروهای جانبی بیشتری بر ساختمان وارد می‌شوند [۱]. یکی از عوامل تأثیرگذار بر وزن سازه وزن اسکلت سازه و نوع سقف انتخابی است. بنابراین انتخاب نوع سقف و اسکلت بنا تأثیر زیادی بر وزن سازه و نیروهای وارد بر آن

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵، بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶
DOI: 10.22091/cer.2021.6321.1219 شناسه دیجیتال

صلاحیت پیمانکاران مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معیارهای تعیین صلاحیت را در اولویت قرار گرفت و برای انتخاب بهترین پیمانکاران برای انجام پروژه، لیست پیمانکاران با ترتیب نزولی تهیه شده است. در این مقاله، تصمیم‌گیری گروهی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی ارائه شده است [۳].

سیستم تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب مناسب‌ترین فرآیند بتن‌ریزی برای یک محصول مشخص ارائه شده است. ساختار سلسله مراتبی به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد تا فرآیندهای مختلف بتن‌ریزی را با استفاده از مناسب بودن و انعطاف‌پذیری مواد، پیچیدگی هندسی، تحمل ابعاد و عمل‌آوری سطح و هزینه به عنوان معیارهای انتخاب مقایسه کند. تحقیق ذکر شده با ارائه یک مثال عددی برای نشان دادن اثربخشی روش پیشنهادی برای انتخاب فرآیند بتن‌ریزی مناسب ارائه داده است [۴].

وونگ^۳ و همکاران با هدف شناسایی شاخص‌های کلیدی هوشمندسازی و ایجاد مدل‌های تصمیم‌تحلیلی برای ارزیابی هوش سیستم‌های ساختمان دو پژوهش ارائه دادند. آنها در مجموع ۶۹ شاخص کلیدی هوشمند برای هشت سیستم اصلی ساختمان شناسایی کردند [۵]. فرایند شبکه تحلیلی، برای اولویت‌بندی شاخص‌های هوشمند و توسعه مدل برای محاسبه نمره هوشمند سیستم و اندازه‌گیری هوش سیستم برای سیستم‌های هوشمند ساختمان ارائه شده است. همچنین، تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد تا روابط متقابل بین ویژگی‌های هوشمند و اهداف عملیاتی ساختمان را در نظر بگیرند. کاربرد روش ارائه شده آنها با استفاده از یک پروژه ساختمانی هوشمند به عنوان مطالعه موردی صورت گرفته است. سهم اصلی تحقیق ذکر شده ترویج و تقویت درک از شاخص‌های کلیدی هوشمندسازی و ایجاد یک چارچوب سیستمی است [۶ و ۷].

کیفیت، زمان اجرا و به طور کلی انتخاب هوشمندانه کمک شایانی کند. در این سیستم با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت و با کمک از تئوری فازی، با استفاده از روش ویکور فازی^۱ به رتبه‌بندی گزینه‌ها (شامل سقف و نوع اسکلت) پرداخته می‌شود و برای این منظور وزن و رتبه عوامل مؤثر بر این گزینه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی^۲ رتبه‌بندی می‌شوند. از آنجا که هرکدام از این عوامل، اهمیت و ارتباط یکسانی ندارند، ارتباط و وابستگی بین عوامل مؤثر بر انتخاب سقف و اسکلت سازه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در شرایط فازی تعیین می‌شود.

در بخش دوم از مقاله حاضر، کارهای گذشته بیان شده‌اند، در بخش سوم بیان مسأله و در آخرین بخش نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- کارهای گذشته

برای کارشناسان، مهندسان و مدیران، تصمیم‌گیری در ردیف مهم‌ترین وظایف قرار دارد و توان آن‌ها در تجزیه و تحلیل داده‌ها به منظور اخذ تصمیمات مناسب نقش مهمی در موفقیت و اثربخشی مدیریت و سازمان دارد [۲]. در حقیقت، سیستم تصمیم‌یار زیرمجموعه‌ای از سیستم‌های اطلاعاتی تعریف می‌گردد که توانایی تحلیل رفتارهای گذشته و ارائه توصیه‌هایی برای مسائل جاری را دارا می‌باشد. در ادامه تحقیقات اخیر در سیستم تصمیم‌یار و رتبه‌بندی عوامل مؤثر در مهندسی عمران ارائه شده است.

در سال ۲۰۰۱ کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در مدیریت پروژه مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، فرایند تحلیلی سلسله مراتبی به عنوان یک روش تصمیم‌گیری بالقوه برای استفاده در مدیریت پروژه ارائه می‌شود. ساختار سلسله مراتبی به عنوان معیار تعیین

^۱- Fuzzy Vikor

^۲- Fuzzy AHP

^۳- Wong

لوآ^۵ و همکاران در سال ۲۰۲۰ یک روند سلسله مراتبی فازی را برای ارزیابی خطر زیرساخت‌های کلان شهر مربوط به فرونشست زمین ارائه دادند. اعداد فازی برای بیان اهمیت نسبی بین عوامل ارزیابی استفاده شده است. در تحقیق ذکر شده پرسشنامه جدیدی برای جمع‌آوری قضاوت از متخصصان مشاوره ارائه شده است. خطرات ارزیابی شده با استفاده از روند سلسله مراتبی فازی در مکان‌هایی با زیرساخت‌های قابل توجه بیشتر از آنهاست است که با استفاده از روند سلسله مراتبی ارزیابی شده است. بنابراین توانستند از روش سلسله مراتبی فازی با پرسشنامه جدید استفاده کنند تا به طور مؤثر ریسک‌های بالای زیرساخت‌های صنعتی مربوط به فرونشست زمین را به‌دست آورند. بنابر تحقیق آنها، مشاهده شد که پیشگیری از نشست زمین در دستورالعمل‌های مدیریت دولتی به اندازه کافی ریسک‌ها را در نظر نمی‌گیرند [۱۲].

۳- بررسی چگونگی حل مسائل

هدف از پژوهش حاضر، رتبه‌بندی انواع ترکیب ممکن برای انتخاب سقف و اسکلت ساختمان است که برای این منظور، گزینه‌ها و عوامل مؤثر بر انتخاب آن‌ها معرفی شده و سپس از سیستم تصمیم‌یار برای انتخاب گزینه برتر استفاده می‌شود. ابزار گردآوری داده در این تحقیق، پرسشنامه است که پس از تأیید روایی و پایایی پرسشنامه، داده‌های تحقیق گردآوری می‌شوند. عوامل مؤثر بر انتخاب سقف و اسکلت بنا با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی وزن‌دهی می‌شوند و سپس انواع سقف و اسکلت بنا، با در نظر گرفتن وزن‌های به‌دست آمده و با استفاده از روش ویکور فازی رتبه‌بندی می‌شوند. با توجه به نتایج روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و ویکور فازی، راهکارهای مناسب برای طراحان

داگدروین^۴ با استفاده از فرایند تحلیلی سلسله مراتبی برای تجزیه و تحلیل ساختار مسئله انتخاب تجهیزات و تعیین وزن معیارها برای به‌دست آوردن رتبه‌بندی نهایی و تجزیه و تحلیل حساسیت با تغییر وزن استفاده کرد [۸]. به منظور ارزیابی ثبات و پایداری روش‌های مختلف ساخت پل، مدل تحلیل سلسله‌مراتبی معرفی شد. یکی از چالش‌های بزرگ در معماری، سازگاری با محیط‌زیست است، به‌طوری که کمترین آسیب به این میراث گرانبها وارد شود. برای محافظت از این میراث گرانبها می‌توان از استراتژی‌های مناسب در طراحی معماری و اتخاذ رویکردهای منطقی در تصمیم‌گیری استفاده کرد [۹].

محققان برای تقویت فرایند انتخاب مواد بادوام برای پروژه‌های ساختمانی، روش تحلیل سلسله مراتبی را توسعه دادند. در این مقاله، به منظور در نظر گرفتن سه ستون مقاومتی، روش تحلیل سلسله مراتبی براساس اعداد فازی مثلثی مورد استفاده قرار گرفت تا اولویت‌ها در میان معیارها مشخص شوند. سپس این معیارها از طریق تجزیه و تحلیل ترکیب شدند [۱۰].

در سال ۲۰۱۷ روش جدیدی برای تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها در فرایند سلسله مراتبی فازی با استفاده از روش جدیدی برای یافتن مقادیر ویژه و بردارهای ویژه معیارها و گزینه‌های دیگر پیشنهاد شد. وزن‌های فازی محلی و کلی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تعیین شدند. تحقیق ارائه شده فرمولی برای رتبه‌بندی اعداد فازی با کاهش میانگین فازی تعمیم یافته نیز ارائه داده است، زیرا رتبه‌بندی با ضریب تغییرات همیشه قابل اعتماد نیستند. در مطالعه ارائه شده، از داده‌های ورودی نادقیق نتایج با دقت مناسب و مفیدی برای رتبه‌بندی منطقی گزینه‌های به‌دست آمده است [۱۱].

⁵- Lyu

⁴- Dağdeviren

جدول ۱- طیف زبانی لیکرت

متغیر زبانی	مخفف	عدد فازی
اهمیت خیلی کم	VL	(1, 1, 3)
اهمیت کم	L	(1, 3, 5)
اهمیت متوسط	M	(3, 5, 7)
اهمیت زیاد	G	(5, 7, 9)
اهمیت خیلی زیاد	VG	(7, 9, 9)

۳-۱- عوامل و گزینه‌های مسئله

براساس نظر افراد خبره و متخصصان حوزه ساختمان، ۱۱ عامل تأثیرگذار که در جدول ۲ نشان داده شده است به عنوان عوامل اصلی انتخاب نوع سازه یک بنا مورد استفاده قرار گرفتند و گزینه‌های ممکن برای اجرای یک بنا برابر ۲۰ گزینه مدنظر قرار گرفت که در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

سازه، پیمانکاران و سایر کارشناسان ساختمانی برای انتخاب سقف و اسکلت بنا ارائه می‌شوند.

برای انجام تحقیق، دو پرسشنامه طراحی شد که پرسشنامه اول، عوامل مؤثر در انتخاب گزینه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد و به روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی رتبه‌بندی می‌شوند. این پرسشنامه، شامل ۱۵ سؤال، عوامل مؤثر بر انتخاب سقف و اسکلت بنا را بر مبنای مقایسات زوجی و متغیرهای زبانی مشخص و وزن هر معیار را تعیین می‌کند. در این پرسشنامه از پاسخگویان خواسته می‌شود تا میزان اهمیت هر یک از عوامل در مقایسه با سایر عوامل را ارائه بدهند که متغیرهای زبانی نظردهندگان با استفاده از طیف لیکرت مطابق جدول ۱ به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند. در پرسشنامه دوم از پاسخگویان خواسته شده است تا میزان برتری هر یک از گزینه‌های ممکن برای اجرای سقف و اسکلت بنا را با استفاده از متغیرهای زبانی تعیین کنند.

جدول ۲- عوامل مؤثر بر انتخاب سقف و اسکلت بنا

عامل	توصیف
F1	میزان عایق بودن صوتی و حرارتی
F2	دوام در مقابل آتش سوزی
F3	سبکی
F4	صاف و هموار بودن
F5	کاهش هزینه‌های اضافه و تجهیزات مورد نیاز
F6	سرعت و سهولت اجرا
F7	امکان اجرای همزمان
F8	یکپارچگی سقف و اسکلت
F9	کاهش میزان مصرف مصالح
F10	کاهش زمان لازم برای پیاده‌سازی
F11	نیروی متخصص مورد نیاز

برای تعیین وزن عوامل مؤثر استفاده شده است که برای این موضوع از تعدادی افراد خبره و متخصص حوزه ساختمان خواسته شده است که اهمیت نسبی هر یک از عوامل را با استفاده از طیف زبانی بیان کنند. به منظور رتبه‌بندی معیارهای مؤثر در انتخاب سقف و اسکلت از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده که مبتنی بر

۳-۲- رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر انتخاب سقف و اسکلت بنا

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، روش تصمیم‌گیری چند شاخصه است که اساس این روش بر مقایسات زوجی نهفته است. در این مقاله از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

مقایسات زوجی (دو به دو) است که با توجه به وجود ۱۱ عامل مؤثر، یک ماتریس ۱۱×۱۱ تشکیل می‌گردد (n=11).

جدول ۳- انواع گزینه‌های ممکن برای اجرای سقف و اسکلت بنا

گزینه	توصیف
A1	سقف طاق ضربی با اسکلت فلزی
A2	سقف طاق ضربی با اسکلت آجری
A3	سقف دال بتنی (یک طرفه و دوطرفه) با اسکلت بتنی
A4	سقف تیرچه و بلوک با اسکلت آجری
A5	سقف تیرچه و بلوک با اسکلت فلزی
A6	سقف تیرچه و بلوک با اسکلت بتنی
A7	سقف تیرچه و بلوک با اسکلت پیچ و مهره‌ای
A8	سقف کامپوزیت با اسکلت پیچ و مهره‌ای
A9	سقف کامپوزیت با اسکلت فلزی
A10	سقف تیرچه پیش‌تنیده با اسکلت بتنی
A11	سقف کرومیت با اسکلت بتنی
A12	سقف کرومیت با اسکلت فلزی
A13	سقف کرومیت با اسکلت آجری
A14	سقف کرومیت با اسکلت پیچ و مهره‌ای
A15	سقف عرشه فولادی با اسکلت پیچ و مهره‌ای
A16	سقف عرشه فولادی با اسکلت فلزی
A17	سقف کوبیاکس با اسکلت بتنی
A18	سقف روفیکس با اسکلت بتنی
A19	سقف روفیکس با اسکلت فلزی
A20	سقف روفیکس با اسکلت پیچ و مهره‌ای

برای دیگر معیارها نیز انجام داده و وزن نسبی را محاسبه می‌کنیم.

$$A = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (a_{12}, b_{12}, c_{12}) & \dots & (a_{1n}, b_{1n}, c_{1n}) \\ (a_{21}, b_{21}, c_{21}) & (1,1,1) & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (a_{n1}, b_{n1}, c_{n1}) & (a_{n2}, b_{n2}, c_{n2}) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

گام دوم به این ترتیب که برای هر یک از سطرهای مقایسات زوجی، ارزش S_k که خود یک عدد فازی مثلثی است، به‌دست آمده است. معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده است. میزان اهمیت هر یک نسبت به معیار مقابل با استفاده از بازه عددی ۱ تا ۹ محاسبه شده است.

در گام اول، ماتریس مقایسه زوجی برای هر معیار به طور جداگانه تشکیل داده می‌شود و گزینه‌ها دو به دو با هم مقایسه می‌شوند. تشکیل ماتریس مربعی به طوری که سطرها و ستون‌ها همان معیارهای تصمیم‌گیری باشند و در این ماتریس قطر اصلی همواره برابر ۱ بوده و مقادیر پایین قطر ماتریس معکوس مقادیر متناظر در بالای ماتریس است. ابتدا حاصل جمع هر ستون محاسبه شده و سپس هر عنصر در ماتریس زوجی تقسیم بر حاصل جمع محاسبه شده می‌شود تا ماتریس زوجی نرمالیزه شود. حال مقدار میانگین هر سطر در ماتریس نرمالیزه محاسبه می‌گردد. این مراحل را به‌طور مشابه

سایر عناصر آن سطح، یعنی محاسبه متوسط عناصر هر سطر تعیین می‌شود.

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 & \text{if } m_1 \geq m_2 \\ V(M_1 \geq M_2) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \frac{l_2 - u_1}{-(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)} \quad (6)$$

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از K عدد فازی مثلثی دیگر از رابطه (۷) به دست آمده است.

$$\begin{aligned} V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) &= \dots \\ V(M_1 \geq M_2) \dots V(M_1 \geq M_k) \end{aligned} \quad (7)$$

گام چهارم پس از به دست آوردن میانگین مقادیر هر سطر ماتریس نرمال شده در مرحله قبل که این عدد نشان دهنده وزن معیار مربوطه خواهد بود، جمع هر ستون باید برابر یک شود. در آخر، همه سطوح که پیمایش گردید و معیارها مقایسه زوجی شدند، ماتریس نرمالیزه و میانگین هر سطر محاسبه شد، وزن نسبی هر معیار به دست می‌آید. همچنین برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسات زوجی از رابطه (۸) استفاده شده است.

$$w'(x_i) = \min\{v(s_i \geq s_k)\} \quad k = 1, 2, \dots, n, k \neq i \quad (8)$$

بنابراین بردار وزن شاخص‌ها به صورت زیر خواهد بود، که همان بردار ضرایب غیربهنجار تحلیل سلسله‌مراتبی فازی خواهد بود. در نتیجه به طور خلاصه، ابتدا وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار محاسبه شد. سپس وزن معیارها با توجه به هدف محاسبه گردید.

$$w' = [w'(x_1), w'(x_2), \dots, w'(x_n)]^T \quad (9)$$

ارجحیت یک گزینه یا عامل نسبت به خودش مساوی با یک است، بنابراین اصل معکوس بودن یک عامل نسبت به دیگری و ارجحیت یک برای یک عامل یا گزینه نسبت به خودش، دو خاصیت اصلی ماتریس مقایسه‌ای دو به دویی در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است. این دو خاصیت باعث می‌شود که برای مقایسه n معیار یا

مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌نماید، ایجاد شده است. رابطه زیر این کار با انجام مقایسات زوجی بین عناصر تصمیم و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان‌دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است محاسبه گردیده است. سپس با استفاده از میانگین هندسی برای ترکیب مقایسات زوجی وزن‌ها به دست آمده است، یعنی از داده‌های هر سطر میانگین هندسی گرفته شده است که در این روابط، k بیانگر شماره سطر و i و j به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها می‌باشد. به عبارت ساده، ابتدا گزینه‌ها نسبت به هر معیار مقایسه شده سپس ماتریس نرمالیزه تشکیل و از هر سطر میانگین گرفته شده است.

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{ki}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m M_{ij} = \left(\sum_{i=1}^m l_j, \sum_{i=1}^m m_j, \sum_{i=1}^m u_j \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

گام سوم، نرمالایزه کردن است که از میانگین هندسی استفاده می‌شود و هر سطر بر مجموع عناصر ستون میانگین هندسی تقسیم می‌شود. به عبارت دیگر، تقسیم هر عنصر از ماتریس به جمع کل ستون همان عنصر می‌باشد. ستون جدید که حاوی وزن نرمال شده هر معیار است را بردار ویژه می‌گویند. وزن نهایی هر ماتریس همان ستون بردار ویژه است.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} = \left(\sum_{i=1}^m l_j, \sum_{i=1}^m m_j, \sum_{i=1}^m u_j \right) \quad (3)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ki}^j \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad (4)$$

پس از محاسبه تمام K ها، در این مرحله، طبق روابط (۵) و (۶) درجه بزرگی هر یک از عناصر سطوح بر

گزینه، تصمیم‌گیرنده تنها به $\frac{n(n-1)}{2}$ سؤال پاسخ دهد. نتایج این مرحله در جدول ۴ نشان شده است.

جدول ۴- وزن عوامل مؤثر محاسبه شده با روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

عوامل	میانگین سطر	رتبه	توصیف
F1	۰/۱۶۰۴۱۵	۲	میزان عایق بودن صوتی و حرارتی
F2	۰/۱۳۰۵۰۶	۳	دوام در مقابل آتش سوزی
F3	۰/۱۱۶۴۸۷	۴	سبک بودن
F4	۰/۱۱۳۴۰۱	۵	ضخامت کمتر سقف
F5	۰/۰۸۲۹۵۶	۷	کاهش هزینه‌های اضافه و تجهیزات مورد نیاز
F6	۰/۰۷۵۰۹۱	۸	سرعت و سهولت اجرا
F7	۰/۱۷۶۶۵۶	۱	امکان اجرای همزمان (طبقات)
F8	۰/۰۵۸۷۳۷	۹	یکپارچگی سقف و اسکلت
F9	۰/۱۰۱۳۴۳	۶	کاهش میزان مصرف مصالح
F10	۰/۰۵۲۵۱۶	۱۰	کاهش زمان لازم برای پیاده‌سازی
F11	۰/۰۴۵۸۵۸	۱۱	نیروی متخصص مورد نیاز

۳-۳- رتبه‌بندی گزینه‌های انتخاب سقف و اسکلت بنا با استفاده از روش ویکور فازی

در این مقاله به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های مربوط به سقف و اسکلت، از ویکور فازی استفاده شده است و وزن‌های معیارها از تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه شد. بر این اساس با توجه به وجود ۱۱ عامل و ۲۰ گزینه، یک ماتریس 20×11 تشکیل می‌گردد ($m=20$ و $n=11$).

روش ویکور به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، برای حل مسائل تصمیم‌گیری گسسته با معیارهای متضاد و غیرقابل اندازه‌گیری توسعه یافته است. این روش، برای رتبه‌بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه‌ها متمرکز شده و جواب‌های سازشی را برای یک مسأله با معیارهای متضاد تعیین می‌کند. این روش قابلیت آن را دارد که تصمیم‌گیرندگان به تصمیم نهایی دست یابند. جواب سازشی یک جواب ممکن به نزدیک‌ترین جواب ایده‌آل بوده و سازش نیز یک توافق در جهت تبادلات دوسویه می‌باشد. روش ویکور یکی از ابزارهای کارآمد برای رتبه‌بندی گزینه‌های ممکن است که می‌تواند برای رتبه‌بندی خدمات مورد نیاز مشتریان مورد

استفاده قرار گیرد. مخصوصاً زمانی که تصمیم‌گیرنده (تصمیم‌گیرندگان) به دلیل عدم توان یا عدم شناخت نمی‌توانند اولویتشان را در آغاز طراحی یک سیستم بیان کنند.

در اولین گام، ماتریس تصمیم‌گیری گروهی چند شاخصه را در حالت کلی برای گزینه‌ها و معیارها مورد بررسی قرار می‌دهیم. هدف انتخاب بهترین گزینه با استفاده از معیارها مورد نظر می‌باشد. همانطور که گفته شد، برای بدست آوردن وزن هر معیار از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. به طوری که w_i امتیاز وزن معیار i ام است.

فازی‌زدایی روش تبدیل یک مجموعه اعداد فازی به مقادیر غیرفازی به منظور رتبه‌بندی ترتیب آنهاست. بسیاری از روش‌های فازی‌زدایی در دهه گذشته توسعه یافته‌اند. در روش مقدار میانگین، از تفکیک‌های چپ و راست، که علاوه بر ساده بودن از همه اطلاعات تابع عضویت استفاده می‌کنند، برای فازی‌زدایی استفاده می‌شود. مجموعه اعداد فازی $A_i = [a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}]$ برای $i = 1, \dots, I$ مقدار فازی‌زدایی شده \tilde{A}_i

در گام دوم، گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی براساس قواعد زیر تعیین می‌شوند:

که توسط روش مقدار میانگین نمایش داده می‌شود به صورت رابطه (۱۰) تعریف می‌شود:

$$\tilde{A}_i = \frac{a_{1i} + 2a_{2i} + a_{3i}}{4} \quad (10)$$

$$\tilde{A}^* = \left\{ \begin{array}{l} C_1 \rightarrow \text{positive aspect} | A^* = \max_1 \{ \tilde{f}_{11} \} \\ C_1 \rightarrow \text{negative aspect} | A^* = \min_1 \{ \tilde{f}_{11} \} \end{array} \right\} = \left((e_1^* f_1^* g_1^*) \cdots (e_5^* f_5^* g_5^*) \right) = \left(\tilde{f}_i^* \cdots \tilde{f}_5^* \right) \quad (11)$$

$$\tilde{A}^- = \left\{ \begin{array}{l} C_1 \rightarrow \text{positive aspect} | A^- = \min_1 \{ \tilde{f}_{11} \} \\ C_1 \rightarrow \text{negative aspect} | A^- = \max_1 \{ \tilde{f}_{11} \} \end{array} \right\} = \left((e_1^- f_1^- g_1^-) \cdots (e_5^- f_5^- g_5^-) \right) = \left(\tilde{f}_i^- \cdots \tilde{f}_5^- \right) \quad (12)$$

در گام سوم و چهارم، مقدار مطلوبیت و عدم مطلوبیت و محاسبه مقدار سودمندی (S_i) و تأسف (R_i) برای هر گزینه محاسبه می‌شود.

برای ایده‌آل‌های مثبت بیشترین مقدار و برای ایده‌آل‌های منفی کمترین مقدار انتخاب می‌شود. در نتیجه برای هر ستون یک ایده‌آل مثبت و یک ایده‌آل منفی خواهیم داشت که ما در اینجا ۱۰ ایده‌آل مثبت و منفی خواهیم داشت.

$$s_i = \sum_j^m \left(w_j \times \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right) = (v_i \ s_i \ t_i) \quad (13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} s^+ = \min_i s_i^- (\min_i v_i \ \min_i s_i \ \min_i t_i) = \dots \\ (v^+ \ s^+ \ t^+) \\ s^- = \max_i s_i^- (\max_i v_i \ \max_i s_i \ \max_i t_i) = \dots \\ (v^- \ s^- \ t^-) \end{array} \right\} \quad (14)$$

$$R_i = \max_i \left(w_j \times \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right) = (P_i \ R_i \ I_i) \dots \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R^+ = \min_i R_i^- (\min_i p_i \ \min_i r_i \ \min_i I_i) = (P^+ \ R^+ \ I^+) \\ R^- = \max_i R_i^- (\max_i p_i \ \max_i r_i \ \max_i I_i) = (P^- \ R^- \ I^-) \end{array} \right\}$$

تصمیم‌گیرندگان دارد مشخص گردد. معمولاً آن را ۰/۵ در نظر می‌گیرند.

در گام ششم، رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس شاخص ویکور انجام می‌شود. در این گام گزینه‌ها مطابق با مقادیر Q, S, R در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند که نتیجه آن سه حالت رتبه‌بندی برای مسئله می‌باشد.

که f_j^* نشان‌دهنده ایده‌آل مثبت مربوط به هر ستون و f_j^- ایده‌آل منفی مربوط به هر ستون می‌باشد.

در گام پنجم، شاخص ویکور براساس رابطه (۱۶) محاسبه می‌گردد. بدین صورت که ابتدا باید V که عددی بین صفر تا یک است و تعیین آن بستگی به نظر

$$Q_i = \left(v \times \frac{(s^+ - s_i)}{(s^+ - s^-)} \right) + \left((1-v) \times \frac{(R^+ - R_i)}{(R^+ - R^-)} \right) = \begin{pmatrix} \left(v \times \frac{(v^+ - t_i)}{(v^+ - t^-)} \right) + \left((1-v) \times \frac{(P^+ - P_i)}{(P^+ - P^-)} \right) \\ \left(v \times \frac{(s^+ - s_i)}{(s^+ - s^-)} \right) + \left((1-v) \times \frac{(R^+ - R_i)}{(R^+ - R^-)} \right) \\ \left(v \times \frac{(t^+ - v_i)}{(t^+ - v^-)} \right) + \left((1-v) \times \frac{(I^+ - P_i)}{(I^+ - P^-)} \right) \end{pmatrix} \quad (16)$$

همچنین توافق عمومی یا عدم توافق زمانی حاصل می‌شود که به ترتیب $v \approx 0.5$ و $v < 0.5$ باشد.

اگر یکی از شروط بالا برقرار نشود، آنگاه مجموعه جواب‌های سازشی به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

اگر تنها شرط دوم برقرار نشد، گزینه‌های A_1 و A_2 و اگر شرط اول برقرار نشد، گزینه‌های $A_1 \cdot A_2 \cdots A_n$ که A_n گزینه‌ای است در موقعیت m که رابطه $Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{n-1}$ در مورد آن صادق می‌باشد.

قابلیت و انعطاف‌پذیری روش پیشنهادی بیانگر آن است که این روش می‌تواند برای سایر مسائل تصمیم‌گیری چند گزینه‌ای در مهندسی عمران مورد استفاده قرار گیرد. این مقادیر در پژوهش حاضر، به شرح جدول ۵ می‌باشد و فاصله‌های S_i (مقدار ثبات یا سودمندی) و R_i (مقدار عدم ثبات یا تأسف) در جدول ۶ نمایش داده شده است. مقادیر مربوط به این شاخص در جدول ۷ نشان داده شده است.

بهترین گزینه آن است که کوچکترین Q را داشته باشد به شرط آنکه دو شرط زیر برقرار باشد:

مزیت قابل قبول: اگر گزینه اول و دوم در میان $n = 20$ گزینه رتبه اول و دوم را داشته باشند، باید رابطه (۱۷) برقرار باشد:

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{n-1} \quad (17)$$

A_2 بهترین گزینه دوم در رتبه‌بندی به وسیله شاخص Q ، A_1 بهترین گزینه با کمترین مقدار برای Q و n تعداد گزینه‌های موجود است.

ثبات قابل قبول در تصمیم‌گیری: گزینه A_1 باید حداقل در یکی از گروه‌های R و S به عنوان رتبه برتر شناخته شود. این جواب سازشی در فرایند تصمیم‌گیری پایدار است، به طوری که اگر $v > 0.5$ باشد، استراتژی حداکثر مطلوبیت گروهی را به همراه داشته باشد.

جدول ۵- مقادیر بهترین و بدترین در روش ویکور فازی

عامل	بهترین مقدار	بدترین مقدار
F1	(۱/۵، ۱۲/۳، ۳۱/۵)	(۰/۳۱، ۱، ۳/۲۷)
F2	(۳۰، ۵۳/۱، ۷۲/۵)	(۰/۵۴، ۱، ۱/۸۷)
F3	(۱/۴۳، ۳، ۸/۵۳)	(۰/۲۲، ۱، ۴/۶۴)
F4	(۲/۳، ۸/۷۴، ۸/۷۴)	(۰/۳۴، ۱، ۲/۹۶)
F5	(۱/۷۱، ۷/۱۴، ۸/۶۵)	(۰/۳۴، ۱، ۲/۹۶)
F6	(۱/۴۴، ۳/۰۳، ۸/۵۷)	(۰/۲۲، ۱، ۴/۶۴)
F7	(۲/۲۹، ۸/۰۱، ۸/۷۰)	(۰/۳۴، ۱، ۲/۹۶)
F8	(۱/۷۱، ۷/۱۴، ۸/۶۵)	(۰/۳۴، ۱، ۲/۹۶)
F9	(۱/۶۸، ۶/۸۱، ۸/۲۵)	(۰/۳۵، ۱، ۲/۸۷)
F10	(۲/۲۹، ۸/۶۴، ۸/۷۰)	(۰/۳۴، ۱، ۲/۹۶)
F11	(۱/۰۳، ۲/۲۸، ۸/۴۹)	(۰/۲۱، ۱، ۴/۸۴)

جدول ۶- مقادیر سودمندی و تأسف در روش ویکور فازی

مقدار تأسف (R_i)	مقدار سودمندی (S_i)	گزینه
(۰/۰۳، ۰/۱۶، ۰/۲۵)	(۰/۳۳، ۰/۵۰، ۰/۵۹)	A1
(۰/۱۰، ۰/۱۵، ۰/۲۵)	(۰/۳۵، ۰/۶۸، ۰/۸۷)	A2
(۰/۰۳، ۰/۱۱، ۰/۱۶)	(۰/۳۸، ۰/۴۹، ۰/۵۶)	A3
(۰/۱۰، ۰/۱۶، ۰/۲۴)	(۰/۳۷، ۰/۶۵، ۰/۸۵)	A4
(۰، ۰/۰۴، ۰/۰۵)	(۰/۱۵، ۰/۱۶، ۰/۲۰)	A5
(۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۰۵)	(۰/۰۴، ۰/۱۵، ۰/۲۲)	A6
(۰/۰۱، ۰/۰۴، ۰/۰۵)	(۰/۱۴، ۰/۱۵، ۰/۱۹)	A7
(۰/۰۲، ۰/۰۷، ۰/۰۹)	(۰/۱۵، ۰/۱۶، ۰/۱۷)	A8
(۰/۰۶، ۰/۰۷، ۰/۱۱)	(۰/۲۳، ۰/۳۸، ۰/۳۹)	A9
(۰/۰۳، ۰/۱۱، ۰/۱۶)	(۰/۳۴، ۰/۴۵، ۰/۴۸)	A10
(۰/۰۵، ۰/۰۷، ۰/۱۱)	(۰/۰۵، ۰/۲۷، ۰/۳۳)	A11
(۰/۰۷، ۰/۰۷، ۰/۱۱)	(۰/۱۵، ۰/۳۴، ۰/۳۵)	A12
(۰/۱۰، ۰/۱۱، ۰/۱۷)	(۰/۳۴، ۰/۶۰، ۰/۷۷)	A13
(۰/۰۶، ۰/۰۷، ۰/۱۱)	(۰/۰۸، ۰/۳۳، ۰/۳۹)	A14
(۰/۰۷، ۰/۱۱، ۰/۱۵)	(۰/۲۵، ۰/۴۵، ۰/۵۲)	A15
(۰/۰۷، ۰/۰۷، ۰/۱۲)	(۰/۱۹، ۰/۳۹، ۰/۴۰)	A16
(۰/۰۷، ۰/۱۱، ۰/۱۷)	(۰/۲۵، ۰/۴۳، ۰/۴۹)	A17
(۰/۰۳، ۰/۱۱، ۰/۱۵)	(۰/۴۰، ۰/۴۷، ۰/۵۰)	A18
(۰/۱۰، ۰/۱۰، ۰/۱۴)	(۰/۲۲، ۰/۵۱، ۰/۶۴)	A19
(۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۲۹)	(۰/۰۲، ۰/۴۴، ۰/۷۹)	A20

جدول ۷: مقادیر شاخص ویکور در روش ویکور فازی

مقدار شاخص ویکور فازی	گزینه	مقدار شاخص ویکور فازی	گزینه
(۰/۳۰، ۰/۴۵، ۰/۶۴)	A11	(۰/۸۱، ۰/۸۳، ۱/۳۳)	A1
(۰/۳۳، ۰/۴۹، ۱/۰۶)	A12	(۰/۹۲، ۱، ۱/۸۵)	A2
(۰/۷۴، ۰/۷۵، ۱/۸۱)	A13	(۰/۶۲، ۰/۶۵، ۱/۴۴)	A3
(۰/۳۱، ۰/۵۰، ۰/۸۲)	A14	(۰/۹۱، ۰/۹۷، ۱/۸۹)	A4
(۰/۵۷، ۰/۶۳، ۱/۳۴)	A15	(۰/۰۹، ۰/۳۰، ۰/۵۸)	A5
(۰/۳۸، ۰/۵۲، ۱/۱۴)	A16	(۰/۰۶، ۰/۳۰، ۰/۴۵)	A6
(۰/۵۹، ۰/۶۴، ۱/۳۴)	A17	(۰/۰۸، ۰/۲۹، ۰/۶۳)	A7
(۰/۶۰، ۰/۶۲، ۱/۴۹)	A18	(۰/۱۳، ۰/۳۸، ۰/۶۹)	A8
(۰/۶۱، ۰/۶۵، ۱/۴۷)	A19	(۰/۳۶، ۰/۵۰، ۱/۱۶)	A9
(۰/۷۲، ۰/۹۷، ۱)	A20	(۰/۵۸، ۰/۶۲، ۱/۳۴)	A10

ویکور فازی محاسبه شد که سقف تیرچه و بلوک با اسکلت بتن آرمه (که در متن با نام اسکلت بتنی از آن نام برده شده است)، سقف تیرچه و بلوک با اسکلت پیچ و مهره‌ای و سپس سقف تیرچه و بلوک با اسکلت فلزی بالاترین اولویت را به دست آوردند.

بعد از محاسبه شاخص ویکور، به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها لازم است که مقادیر این شاخص غیرفازی شوند که مبنای رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. این مقادیر در شکل ۱ مشاهده می‌شوند.

با در نظر گرفتن وزن عوامل از مرحله قبل، رتبه گزینه‌های انتخاب سقف و اسکلت بنا با استفاده از روش

۸- تیرچه‌های بتنی وزن سبکی دارند و حمل و نقل آنها راحت صورت می‌گیرد.

۹- بتن کششی در سقف‌های تیرچه و بلوک توسط بلوک جایگزین می‌شوند که این امر یکی از دلایل اقتصادی بودن این نوع سقف‌هاست.

۱۰- با اجرای سقف‌های تیرچه و بلوک و با رعایت تمهیداتی امکان اجرای همزمان دو سقف وجود دارد(هر چند توصیه می‌گردد این اقدام صورت نگیرد).

۱۱- در صورت اجرای صحیح، این نوع سقف مقاومت مقاومت مناسبی در برابر آتش سوزی دارد. همانطور که مشاهده می‌شود، اولویت اول مربوط به ساختمان‌های با سقف تیرچه و بلوک و اسکلت بتنی است. اسکلت بتنی نسبت به اسکلت پیچ و مهره و فلزی مزایایی دارد. این اولویت از آن جهت قابل بحث است که:

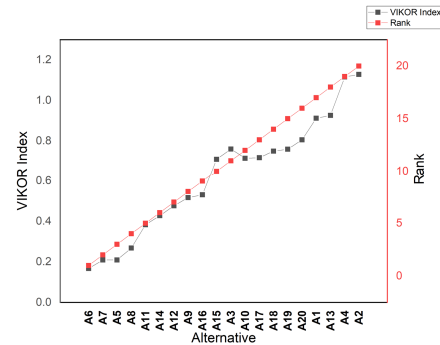
۱- ماده اصلی بتن که شن و ماسه است که بسیار یافت می‌شود.

۲- ساختمان‌های بتنی در مقابل عوامل جوی از ساختمان‌های فلزی مقاوم‌تر بوده و در نتیجه عمر طولانی‌تری دارند.

۳- ساختمان‌های بتنی در مقابل آتش سوزی نسبت به ساختمان‌های فلزی مقاوم‌تر می‌باشند.

۴- با توجه به اجرای طبقه به طبقه سازه‌های بتن مسلح، مبلغ هزینه شده به صورت سقف به سقف باید پرداخت شود و نه مانند اسکلت فلزی که هزینه بسیاری در ابتدای پروژه باید پرداخت شود.

در مقابل آن، کمترین اولویت‌ها مربوط به اسکلت آجری می‌باشد. این اولویت نیز از آن جهت قابل بحث است که: امروزه با پیدایش سازه‌های اسکلت‌های بتن مسلح و فلزی که مقاومت زیادی دارند، کمتر از اسکلت آجری استفاده می‌شود. در این نوع اسکلت، تحمل بارهای زنده و مرده ساختمان بر عهده دیوارهای آجری است که مقاومت بسیار کمی دارند و بنابراین در بسیاری از موارد،



شکل ۱- رتبه‌بندی گزینه‌های سقف و اسکلت بنا طبق روش ویکور فازی

همچنین در انتها سقف تیرچه و بلوک با اسکلت آجری و سقف طاق ضربی با اسکلت آجری، کمترین ارجحیت را کسب کردند. سه اولویت اول، مربوط به سقف تیرچه و بلوک می‌باشد که امکان ساخت آن با اسکلت بتنی، پیچ و مهره‌ای و فلزی است. این اولویت از آن جهت قابل بحث است که

۱- اجرای سقف تیرچه بلوک نیازی به نیروی کار متخصص و یا تجهیزات ویژه ندارد و توسط کارگران معمولی ساختمان نیز قابل اجرا می‌باشد.

۲- این سقف در میان پیمانکاران ساختمانی (خصوصاً برای ساختمان‌های با طبقات کم) گزینه‌ای رایج و در دسترس است.

۳- قالب بندی زیر سقف‌ها فقط با نصب جک و قالب بندی ساده در فاصله‌های مشخص صورت می‌گیرد و نیازی به افراد متخصصی ناست.

۴- نصب سقف تیرچه بلوک به سرعت و به سادگی صورت می‌گیرد.

۵- تیرچه و بلوک در کارگاه‌های صنعتی و تحت نظارت کنترل کیفی تولید می‌شوند و بنابراین نیروی انسانی کمتری مورد نیاز است.

۶- استفاده از بلوک‌های توخالی باعث کاهش مصرف بتن می‌شود که این امر باعث صرفه جویی در مصالح و کمتر شدن وزن سازه می‌گردد.

۷- این سقف‌ها صلبیت مناسبی در برابر نیروهای جانبی دارند.

پیمانکاران و سایر کارشناسان ساختمانی می‌پردازد. هر چند انتخاب عوامل مؤثر بر تحقیق با مطالعه و تجربه نویسندگان انتخاب شده است با این حال انتخاب این موارد سلیقه‌ای است و با بررسی‌های بیشتر امکان در نظر گرفتن عوامل به صورت دقیقتر نیز میسر است. از آنجا که هر پژوهش به‌ویژه پژوهش‌های میدانی با موانع و مشکلاتی روبه‌رو می‌شوند و در عمل برای محقق محدودیت‌هایی را ایجاد می‌کند، بنابراین پیشنهاد می‌گردد در روش تحلیل سلسله‌مراتبی به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقایسات زوجی طبق نظر کارشناسان استفاده شود. پیشنهاد می‌گردد با توجه به کاربرد روش تحلیل سلسله‌مراتبی در پژوهش حاضر، از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش SAW، TOPSIS و نیز برای رتبه‌بندی و اولویت‌دهی به شاخص‌ها استفاده شود.

به منظور استحکام بیشتر دیوارهای آجری با استفاده از میلگرد مسلح می‌شوند. ساختمان آجری، به دلیل فراوانی و در دسترس بودن مصالح آن ارزان و مقرون به صرفه است اما در برابر بار وارده (مخصوصاً زلزله) مقاومت لازم را ندارد بنابراین باید از ساختن این نوع ساختمان‌ها مخصوصاً در لرزه‌خیز خودداری نمود. همچنین احداث بنا با اینگونه اسکلت محدود به یک یا دو طبقه است.

۴- نتیجه گیری

امروزه احداث مسکن جزو اساسی‌ترین و حساس‌ترین بخش‌ها در برنامه ریزی توسعه اقتصادی و اجتماعی است. در کشور ما نیز کوشش‌هایی برای انسجام و انجام بالا بردن مجموعه دانش‌ها، از جمله صنعت ساختمان در حال شکل گرفتن است. با توجه به اهمیت سقف و اسکلت در ساخت و ساز، پژوهش حاضر به ارائه یک سیستم تصمیم‌یار برای طراحی طراحان سازه،

مراجع

- [1] Naeim, F., (2007). "Dynamics of structures—theory and applications to earthquake engineering", *Earthquake Spectra*, 23(2), 491-492.
- [2] Hatefi, S. M., & Tamošaitienė, J. (2018). *Construction projects assessment based on the sustainable development criteria by an integrated fuzzy AHP and improved GRA model*, Sustainability, 10(4), 991.
- [3] Al-Harbi, K.M.A.S. (2001). "Application of the AHP in project management", *International journal of project management*, 19(1), 19-27.
- [4] Tiwari, M., & Banerjee, R. (2001). "A decision support system for the selection of a casting process using analytic hierarchy process", *Production planning & control*, 12(7), 689-694.
- [5] Wong, J., Li, H., & Lai, J. (2008). "Evaluating the system intelligence of the intelligent building systems: Part 1: Development of key intelligent indicators and conceptual analytical framework", *Automation in construction*, 17(3), 284-302.
- [6] Ballal, T. M., & Sher, W. D. (2003). "Artificial neural network for the selection of buildable structural systems", *Engineering, Construction and Architectural Management*, ISSN: 0969-9988
- [7] Wong, J., Li, H., & Lai, J. (2008). "Evaluating the system intelligence of the intelligent building systems: Part 2: Construction and validation of analytical models", *Automation in Construction*, 17(3), 303-321.
- [8] Dağdeviren, M. (2008). "Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE", *Journal of intelligent manufacturing*, 19(4), 397-406.
- [9] Pan, N.-F. (2008). "Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method", *Automation in construction*, 17(8), 958-965.
- [10] Akadiri, P. O., Olomolaiye, P. O., & Chinyio, E. A. (2013). "Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects", *Automation in construction*, 30, 113-125.
- [11] Prasevic, N., & Prasevic, Z. (2017). "Application of fuzzy AHP for ranking and selection of alternatives in construction project management", *Journal of civil engineering and management*, 23(8), 1123-1135.
- [12] Lyu, H. M., Shen, S. L., Zhou, A., & Yang, J. (2020). "Risk assessment of mega-city infrastructures related to land subsidence using improved trapezoidal FAHP", *Science of The Total Environment*, 717, 135310.