MODIRIAT-E-FRDA JOURNAL
ISSN ٢٢٢٨-٦٠٤٧

Optimal Selection of Industrial Building Systems using Analytic Hierarchy Process: A Case Study in Schools of Kerman Province

Amirabbas Abouei Mehrizi[١] | **Hamzeh Dehghani**[٢*]

١. Instructor, Department of Industrial Engineering, Higher Education Complex of Bam, Bam, Iran. abouei@bam.ac.ir

٢. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Higher Education Complex of Bam, Bam, Iran. hdehghani@bam.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
Revised:
Accepted:

Keywords:
Industrial building systems,
Analytic hierarchy process,
Cost criterion,
Time criterion,
Execution criterion,
Quality and technical capability criterion.

ABSTRACT

Objective: The aim of this research is to select the optimal industrial building systems in the schools of Kerman province using the hierarchical analysis.

Importance and necessity of research: Industrialization of buildings as an experienced and systematic method to improve the quality and speed of construction has been considered by construction managers and policymakers. Also, in recent years, industrialization is one of the policies of the School Renovation, Development and Equipping Organization, and it is supposed to implement industrialization for schools of one to three classes in deprived areas. But choosing the right industrial system is very complicated due to the uncertainties in decision making.

Methodology: In this research, first, four main criteria and twenty sub-criteria were identified to compare and evaluate industrial systems suitable for schools. Also, according to the eleventh national building regulations, steel frame system, prefabricated concrete buildings, reinforced concrete structural wall system with permanent insulation mold and three-dimensional prefabricated panel system have been used for evaluation. In this research, the hierarchical analysis process approach has been used in order to rank the effective factors in the optimal selection of industrial building systems in the schools of Kerman province.

Findings: In the end, the data analysis was done using the hierarchical method. The results show that the light steel frame system with a score of ٠,٣٠٣ is the most suitable option. Also, the score of prefabricated concrete building system, three-dimensional style prefabricated panel system and reinforced concrete structural wall system with permanent insulation mold were obtained as ٠,٢٦٦, ٠,٢٢ and ٠,٢١ respectively.

Conclusion: Four main criteria have been used in this research. The results obtained from the data analysis show that the criterion of practicability is the most important criterion with a relative weight of ٠,٤٢٧. After that, according to quality and technical ability, cost and time with relative weights of ٠,٤٠١, ٠,١٠٦ and ٠,٠٦٧ were placed in the next priorities.

Cite this article: Abouei Mehrizi, Amirabbas., & Dehghani, Hamzeh. (٢٠٢٣).Optimal Selection of Industrial Building Systems using Analytic Hierarchy Process: A Case Study in Schools of Kerman Province. *Academic Librarianship and Information Research*, ٥٤ (٤), ١-٢٠. DOI: ٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠

© The Author(s).

DOI: ٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠

, Vol, , No. , ٢٠٢٠, pp. .

نشریه مدیریت فردا
ISSN ۲۲۲۸-۶۰۴۷

انتخاب بهینه سیستم‌های ساختمانی صنعتی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی: مطالعه‌ی موردی مدارس استان کرمان

امیرعباس ابوئی مهریزی*[۱] | حمزه دهقانی[۲]

چکیده

هدف: هدف از انجام این پژوهش، انتخاب بهینه سیستم‌های ساختمانی صنعتی در مدارس استان کرمان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی است.

ضرورت: صنعتی‌سازی ساختمان‌ها به عنوان روشی تجربه‌شده و نظام‌مند جهت نیل به ارتقا کیفیت و سرعت ساخت، مدنظر مدیران و سیاست‌گذاران ساختمان‌سازی بوده است. همچنین در سال‌های اخیر، صنعتی‌سازی یکی از سیاست‌های سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس است و قرار بر این است تا صنعتی‌سازی برای مدارس یک تا سه کلاسه در مناطق محروم اجرا گردد. اما انتخاب سیستم صنعتی مناسب به علت عدم قطعیت‌های موجود در تصمیم‌گیری بسیار پیچیده است.

روش شناسی: در این پژوهش، ابتدا چهار معیار اصلی و بیست زیر معیار جهت مقایسه و ارزیابی سیستم‌های صنعتی مناسب مدارس، شناسایی گردید. همچنین بر اساس مقررات ملی ساختمان مبحث یازدهم، سیستم قاب سبک فولادی، ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته، سیستم دیوار سازه‌ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار و سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی برای ارزیابی استفاده شده است. در این پژوهش از رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور رتبه‌بندی عوامل موثر در انتخاب بهینه سیستم‌های ساختمانی صنعتی در مدارس استان کرمان استفاده شده است.

یافته‌ها: در پایان، تحلیل داده‌ها با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که سیستم قاب سبک فولادی با امتیاز ۰/۳۰۳ مناسب‌ترین گزینه می‌باشد. همچنین امتیاز سیستم ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته، سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی و سیستم دیوار سازه‌ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار به ترتیب ۰/۲۶۶، ۰/۲۲ و ۰/۲۱ بدست آمدند.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش از چهار معیار اصلی استفاده شده است. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که معیار قابلیت اجرایی با وزن نسبی ۰/۴۲۷مهمترین معیار اصلی است. پس از آن به ترتیب کیفیت و قابلیت فنی، هزینه و زمان با وزن نسبی ۰/۴۰۱، ۰/۱۰۶ و ۰/۰۶۷ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های ساختمانی صنعتی، تحلیل سلسله مراتبی، معیار هزینه، معیار زمان، معیار اجرایی، معیارکیفیت و قابلیت فنی

استناد: ابوئی مهریزی، امیرعباس؛ و دهقانی، حمزه (سال). انتخاب بهینه سیستم‌های ساختمانی صنعتی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی: مطالعه‌ی موردی مدارس استان کرمان.

دریافت مقاله: ..... ۱۴۰۱/۱۲/۲۱ پذیرش مقاله: .....۱۴۰۲/۰۲/۰۶..

[۱] مربی، گروه مهندسی صنایع، مجتمع آموزش عالی بم، بم، ایران. abouei@bam.ac.ir
[۲] استادیار، گروه مهندسی عمران، مجتمع آموزش عالی بم، بم، ایران. hdehghani@bam.ac.ir

مقدمه

یکی از فعالیت‌های کشورها، توسعه صنعت ساختمان است که سالانه بخش عمده‌ای از بودجه کشور را به خود اختصاص می‌دهد؛ بنابراین برنامه‌ریزی اصولی درخصوص این توسعه از ضروریات است تا بتواندکمترین نسبت هزینه به بهره‌وری را از آن بدست آورد. رشد سریع جمعیت و افزایش تقاضا، نیاز به کاهش زمان تحویل پروژه‌های عمرانی، کاهش زمان برگشت سرمایه و عواملی از این قبیل باعث شده‌اند تا ضرورت ایجاد تحول در شیوه‌های سنتی صنعت ساختمان روز به روز بیشتر شود. در صورت حرکت به سمت صنعتی‌سازی ساختمان با استفاده از مدل علمی، نه تنها توانایی پاسخگویی به تقاضای فعلی جامعه وجود خواهد داشت، بلکه بر سرعت ساخت، کیفیت و قیمت تمام شده ساختمان نیز تاثیرات مثبت بسیاری خواهد گذاشت (دهقانی و فدائی، ۲۰۱۳؛ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸). در اروپا، فکرصنعتی‌شدن ساختمان‌ها در اواخر قرن نوزدهم شکل گرفت و انقلاب صنعتی در مسیر خود با پیدایش مواد ساختمانی جدید مانند تیرآهن و دیگر فرآورده‌های فلزی، فولاد و بالاخره بتن مسلح، موجب سرعت بخشیدن به ایجاد ساختمان‌های صنعتی شد. مهمترین تغییری که انقلاب صنعتی باعث آن شد دگرگونی در روش‌ها بود نه دگرگونی در دستگاه‌ها و ماشین‌ها. تجربیات صنعتی سازی در جهان نشان می‌دهد در حد امکان بایستی عناصر ساختمانی به صورت پیش ساخته در خارج از سایت تولید شوند، این فعالیت در یک ساختمان مرکزی انجام شود تا تجهیزات تخصصی و سازماندهی برای این هدف بتوانند دایر شود (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۸). رعایت پارامترهای اساسی سرعت، هزینه، کیفیت و قابلیت اجرایی در مراحل کار از جمله عواملی است که سیستم‌های نوین ساختمانی نیز می بایست دارا باشند. از طرفی دیگر گرایش به سمت ساختمان‌سازی مهندسی به شیوه‌های صنعتی و یا نیمه‌صنعتی که امروزه در کشور ما رونق گرفته، بدون تردید مستلزم حمایت‌های فنی اعم از تهیه و تدوین آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط با موضوعات صنعتی‌سازی و ترویج آن با اطلاع‌رسانی و آموزش‌های فنی توسط مراجع قانونی معتبر است. بدیهی است مزایای استفاده از فن‌آوری‌های مدرن و جدید در صنعتی‌سازی ساختمان در صورت کاربرد صحیح توسط طراحان و مجریان ذیصلاح تحقق خواهد یافت. در این میان مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، سیستم‌های صنعتی را معرفی کرده است؛ که می‌تواند مورد استفاده کارفرمایان قرار گیرد. مطابق با مبحث یازدهم سیستم‌های صنعتی عبارتند از: سیستم قاب سبک فولادی، ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته، سیستم دیوار سازه ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار، سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی و سیستم قالب تونلی (دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۴۰۰). همزمان با توسعه صنعت ساختمان، صنعتی‌سازی یکی از سیاست‌های سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور شده است و قرار بر این است تا صنعتی‌سازی برای مدارس یک تا سه کلاسه در مناطق محروم اجرا گردد. انتخاب بهترین سیستم صنعتی، یکی از چالش‌های اصلی تصمیم‌گیران و مدیران است، که بدون تردید متغیرهای زیادی در تصمیم‌گیری آن‌ها نقش دارد. یکی از روش‌های مناسب، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با اتخاذ انواع مشخصه‌های کمی و کیفی و وزن دهی آن‌ها ابزارهای مناسبی در تحلیل تصمیم‌گیری است (دهقانی و همکاران ۲۰۲۲؛ رخشانی و ورناصری ۱۳۹۹).

۱. پیشینه ی پژوهش

در حوزه صنعتی‌سازی مطالعاتی انجام شده است؛ که در ادامه بیان می‌گردد. اولیا و همکاران (۱۳۸۹) به سازگاری ساختاری سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی پرداخته‌اند. آن‌ها در این تحقیق به مشکلات موجود در روش‌ها و سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی در پاسخ به نیازهای جمعیت در حال رشد، کیفیت نسبتاً پایین محصول نهایی، تقاضا برای ساخت با کیفیت بالاتر، بالابودن میزان مصرف انرژی و مواد اولیه در ساختمان‌سازی و تأثیر منفی محیطی ناشی از تولید انبوه زباله و نخاله‌های ساختمانی می‌پردازند. حقیقی و حسینعلی‌پور (۱۳۸۹) به راهبرد صنعتی‌سازی ساختمان در چشم‌انداز بیست

ساله کشور پرداخته‌اند. در این تحقیق که با هدف معرفی فناوری‌های نوین ساختمانی و امکان سنجی کاربرد سیستم قاب سبک فولادی در ساخت و ساز تهران انجام شده، برخورداری سیستم یاد شده از توجیه فنی، صنعتی، اقتصادی و فرهنگی برای بخش ساختمان و مسکن تهران ارزیابی شده است. لاسن و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی سیستم‌های ساختمانی پیش‌ساخته با استفاده از فولاد سبک و فناوری‌های مدولار پرداختند و مزیت‌های اقتصادی استفاده از این سیستم‌ها را بیان کردند. همچنین نمونه‌هایی از پروژه‌های مهم با استفاده از این فناوری‌ها نشان داده شده است. چن و همکاران (۲۰۱۰) تاکید نمودند پیش‌ساخته سازی می‌تواند مزایای قابل توجهی ازجمله کاهش هزینه های کلی، کاهش زمان ساخت و ساز، بهبود کیفیت، افزایش ایمنی در سایت و کاهش تولید ضایعات را به همراه داشته باشد. جایلون و پون (۲۰۱۴) با استفاده از پرسشنامه، مصاحبه و مشاهدات میدانی مهمترین مزایای پیش‌ساختگی را ارزیابی نمودند: کاهش ضایعات ساخت و ساز، بهبود کیفیت، کاهش مصرف مواد اولیه، بهبود موارد زیست محیطی در سایت، کاهش میزان آلودگی‌های صوتی، بهبود ایمنی و بهداشت، کاهش تعداد کارگران، بهبود بهره‌وری، بهبود مدیریت ساخت و فعالیت‌ها، سهولت و سادگی ساخت و ساز، کاهش زمان ساخت و ساز و صرفه جویی در هزینه‌های پروژه. از سوی دیگر این محققان مهم‌ترین معایب و موانع استفاده از قطعات پیش‌ساخته را ارزیابی کردند: انبارداری، محدودیت ابعاد سایت باتوجه به نیاز به مکان مناسب برای انبار قطعات، بالا بودن هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، عدم انعطاف‌پذیری کافی و مقاومت در مقابل تغییرات، بالا بودن هزینه‌های کلی، مشکلات حمل و نقل، نقص کارشناسی، کمبود تامین کنندگان و تجربه ناکافی و سابقه امر در صنعت ساخت. سندرا و لندولفوب (۲۰۰۷) در تحقیق خود به بررسی تأثیر تکنولوژی‌های جدید در صنعت ساختمان به تبیین اهمیت ساختار و اجزای سیستم‌ها و بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید صنعتی ساختمان‌سازی و ارزیابی مکان و هزینه، روش‌ها و مزایای سازگاری بهبود کیفیت و به روزآوری صنعت ساخت، بهبود مصرف انرژی، انطباق دائم با نیازهای درحال تغییر و فرصت‌های جدید، بهبود پایداری و اثربخشی هزینه فرآیندها پرداخته‌اند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی چالش‌های صنعتی‌سازی در ساختمان‌های مسکونی، با مطالعه موردی در کشور چین و ارزیابی محدودیت استفاده از صنعتی‌سازی در ساختمان‌های مسکونی، نتیجه گرفتند که صنعتی‌سازی به دلیل توانایی خود برای بهبود کیفیت و بهره‌وری و ایمنی و پایداری، نقش مهمی در صنعت احداث ساختمان‌های مسکونی در کشور چین دارد. کیو و رازکناری (۲۰۲۱) به بررسی سیستماتیک فناوری‌های نو، در ساخت و سازهای صنعتی می پردازند. هدف اصلی این بررسی، شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی در استفاده از سازه‌های صنعتی است؛ همچنین مزایا و معایب انواع سیستم‌های صنعتی مورد بررسی قرارگرفته است. حاتم و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی موانع و راهکارهای پذیرش سیستم‌های صنعتی در کشور عراق پرداختند. در این تحقیق با جمع آوری پرسشنامه از کارشناسان، متخصصان و مهندسان درگیر در صنعت ساختمان عراق، موانع صنعتی سازی بررسی شده است. فقدان حمایت دولتی، هزینه، نداشتن دانش و تخصص از مهمترین موانع تولید سیستم‌های صنعتی است. ساد و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی کلید موفقیت در پروژه‌های صنعتی‌سازی ساختمان پرداختند. در این مقاله عوامل موفقیت پروژه در پنج گروه تعامل و درک ذینفعان، در دسترس بودن منابع، مدیریت تولید، مسائل سهامداران و چشم اندازه آینده دسته بندی شده است و با استفاده از شاخص موفقیت نسبی، عوامل موفقیت در پروژه‌های صنعتی‌سازی ساختمان رتبه بندی شده است. در این پژوهش، ابتدا معیارهایی جهت مقایسه و ارزیابی سیستم‌های صنعتی مناسب مدارس شناسایی گردید. همچنین بر اساس مقررات ملی ساختمان مبحث یازدهم سیستم قاب سبک فولادی، ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته، سیستم دیوار سازه ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار و سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. در پایان، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی که یکی از روش‌های کارآمد تصمیم‌گیری چند معیاره است، ارزیابی سیستم‌های صنعتی انجام شده است.

۲. سیستم‌های صنعتی

درصنعتی‌سازی، تولید قطعات ساختمانی براساس استاندارد ساخته‌شده و در نهایت به صورت مکانیزه و صنعتی نیز نصب و اجرا می‌شود. در تولید صنعتی از آنجایی که استانداردهای لازم و مشخص تعیین شده است، امکان تولید پیمانه‌ای در این شیوه وجود دارد و از اتلاف منابع تا حد زیادی کاسته و بر سرعت تولید می‌افزاید؛ بنابراین یکی از پیش نیازهای اولیه تولید صنعتی تبیین و تعریف استانداردهای ساختمانی، با توجه به ویژگی‌های اقلیمی، فرهنگی و نیاز انسانی است. مطابق با مقررات ملی ساختمان مبحث یازدهم سیستم‌های صنعتی عبارتند از: سیستم قاب سبک فولادی، ساختمان‌های بتنی‌پیش ساخته، سیستم دیوار سازه‌ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار، سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی و سیستم قالب تونلی. اما از آنجا که این تحقیق به صنعتی‌سازی مدارس یک تا سه کلاسه می‌پردازد، سیستم قالب تونلی مناسب نیست. در ادامه مختصری از معرفی چهار سیستم صنعتی که در این تحقیق گزینه‌های مورد ارزیابی می باشد، ارائه شده است (شکل۱).

شکل(۱): گزینه‌های مختلف سیستم‌های صنعتی مورد ارزیابی

٤. قاب سبک فولادی

سیستم قاب سبک فولادی یک سیستم ساختمانی است، که برای اجرای ساختمان‌های عمدتاً کوتاه مرتبه و میان مرتبه استفاده می‌شود. این سیستم که شباهت زیادی به روش‌های ساخت ساختمان‌های چوبی دارد، بر اساس کاربرد اجزایی به نام وادار و رانر شکل گرفته است و از ترکیب نیمرخ‌های فولادی گالوانیزه سرد نورد شده، ساختار اصلی ساختمان برپا می‌شود. مقاطع مورد استفاده در این سیستم U، C و Z است. هر دیوار از تعدادی اجزای عمومی C شکل (وادار) به فواصل ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، که در بالا و پایین به اجزای افقی ناودانی U یا C شکل(رانر) متصل شده‌اند، تشکیل می‌شود (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰)

۲,۲. سازه های بتنی پیش ساخته

سیستم سازه‌های بتنی پیش‌ساخته مدولار سه‌بعدی یا سیستم خانه‌سازی مدولار جعبه ای، یک سیستم ساختمانی کامل است که از مدول‌های جعبه‌ای شامل دیوار و سقف تشکیل شده است. این مدول‌ها به دو صورت درکارخانه تولید و به کارگاه منتقل می‌شوند و پس از سرهم‌بندی مدول‌ها یک ساختمان کامل را تشکیل می‌دهد. مدول‌های اصلی این سیستم عبارتند از مدول میانی، شامل دو دیوار پیرامونی و سقف و مدول انتهائی، شامل سه دیوار پیرامونی و سقف. به دلیل اینکه مصالح مورد استفاده در این سیستم ساختمانی، بتن و فولاد معمولی می‌باشد، لذا عملکرد این سیستم در خصوص انرژی، حریق و آکوستیک مشابه عملکرد سازه های بتن مسلح مرسوم بوده و کلیه تمهیداتی که در مورد آن‌ها به کارگرفته می‌شود، می‌بایست در مورد این سیستم نیز رعایت شود. سیستم سازه‌های بتن مسلح پیش‌ساخته مدولار سه‌بعدی در زمینه‌های سازه و زلزله، انرژی،

حریق و آکوستیک در مرکز تحقیقات مسکن مورد بررسی و تائید قرار گرفته است و اجرای آن در حیطه الزامات تعیین شده مجاز می‌باشد (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۷).

۳,۲.سیستم دیوار سازه ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار

این سیستم یک سیستم ساختمانی مرکب از بتن مسلح و پانل‌های پلی‌استایرن است که در آن بتن‌مسلح به عنوان جزء باربر و پانل‌های پلی‌استایرن به عنوان قالب بتن و عایق حرارتی و صوتی عمل می‌کنند. سیستم قالب‌های عایق ماندگار اساسا شامل قالب‌های دائمی است؛ که برای بتن‌ریزی و ساخت دیوارهای بتن مسلح استفاده شده و پس از بتن‌ریزی، جزئی از دیوار محسوب می‌شوند و نقش عایق حرارتی را ایفا می‌کنند. در این سیستم، قطعات پلی‌استایرن به‌عنوان قالب ماندگار بتن سازه‌ای اعم از دیوار باربر و غیرباربر، زیر سطح زمین یا روی سطح زمین به کار می‌روند. این قطعات پس از بتن‌ریزی و عمل‌آوری بتن، در محل باقی مانده و می‌بایست با مواد نازک‌کاری داخلی و خارجی محافظت شوند که پانل‌های آن عایق حرارتی و برودتی و صوتی مناسبی بوده و موجب محافظت بتن در مقابل عوامل جوی و افزایش دوام و عمر بتن می‌شود. همچنین افزایش سرعت اجرا و کاهش هزینه‌ها با لحاظ نمودن مصرف انرژی بهینه در مدت طول عمر ساختمان، از دیگر مزایای این سیستم است (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۶)

٤,۲.سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه‌بعدی

یکی از پیشرفت‌ها در صنعت ساختمان استفاده از دیوارهای پانل ساندویچی است که خواص عایق حرارتی و صوتی را نیز دارند. اگر چه استفاده از این دیوارها ابتدا جهت تعبیه‌ی فضاهای معماری بوده، اما با توجه به جنس مصالح، پتانسیل جذب انرژی و سختی که در مقابل تغییر شکل دارند، به نظر می‌رسد بتواند به عنوان قطعات باربر نیز مورد استفاده قرار گیرند. وجود این دیوارها بین قاب‌های ساختمانی عملکرد ترکیبی شبیه میان قابها با سایر مصالح بنایی را به وجود می‌آورد. این‌گونه دیوارها دارای مش فولادی و لایه‌ای از عایق پلی استایرن یا پلی اورتان بوده و نیازمند پوشش بتنی رویه می باشند (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰)

۳. روش ارزیابی

در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روش‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه «MADM»[۱] جای خود را باز کرده‌اند. از این میان روش تحلیل سلسله مراتبی بیش از سایر روش‌ها در علم مدیریت مورد استفاده قرار گرفته است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند منظوره است که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی[۲] ابداع گردید. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از جامع‌ترین روشهای طراحی شده برای تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه است که به منظور تصمیم‌گیری و انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های متعدد تصمیم، با توجه به شاخص‌هایی که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردد، به کار گرفته می‌شود. فرآیند سلسله مراتبی ترکیب معیارهای کیفی و کمی را به طور همزمان امکان پذیر می سازد. این فرآیند از مقایسه‌های دو به دوئی

[۱] Multiple Attribute Decision Making

[۲] Thomas L . Saaty

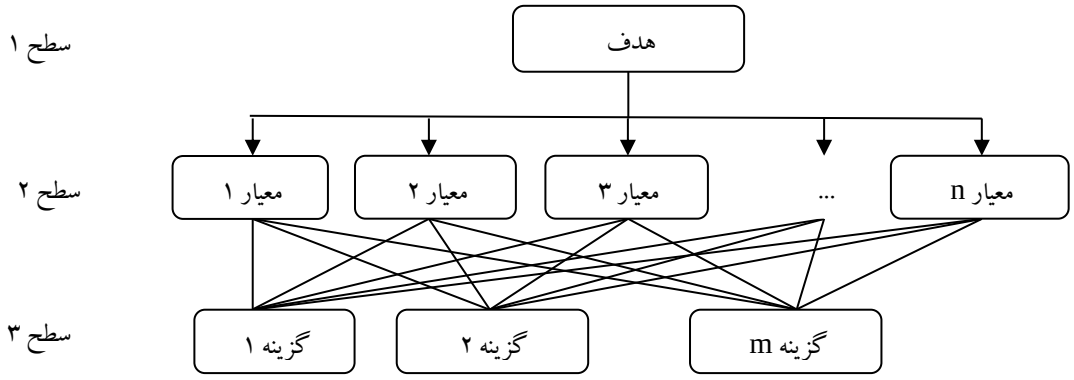
متغیرها و معیارهای تصمیم‌گیری استفاده می‌نماید. مقایسات زوجی به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد که فارغ از هرگونه نفوذ و مزاحمت خارجی تنها بر روی مقایسه دو معیار یا گزینه تمرکز کند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیری با فرآهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم آغاز می‌شود. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. در نهایت منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید (دهقانی و همکاران، ۲۰۲۱)

۱,۲. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

بکارگیری این روش مستلزم سه مرحله عمده زیر می باشد:

۱,۱,۳. مدلسازی

در این مرحله، مسئله و هدف تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی از عناصر تصمیم که با هم در ارتباط می باشند، استخراج می‌شود. عناصر تصمیم شامل «شاخص‌های تصمیم‌گیری» و «گزینه‌های تصمیم » می‌باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نیازمند شکستن یک مسئله با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. سطح بالا بیانگر هدف اصلی فرآیند تصمیم‌گیری است. سطح دوم، نشان دهنده شاخص‌های عمده و اساسی که ممکن است به شاخص‌های فرعی و جزئی‌تر در سطح بعدی شکسته شود، می‌باشد. سطح آخر گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند. در شکل ۲ سلسله مراتب یک مسئله تصمیم نشان داده شده است (ساعتی، ۱۹۸۶)



شکل (۲): ساختار کلی درخت سلسله مراتبی (ساعتی، ۱۹۸۶)

۲,۱,۳. قضاوت ترجیحی (مقایسات زوجی)

انجام مقایساتی بین گزینه‌های مختلف تصمیم، بر اساس هر شاخص و قضاوت در مورد اهمیت شاخص تصمیم با انجام مقایسات زوجی، بعد از طراحی سلسله مراتب مساله، تصمیم گیرنده می‌بایست 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 کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد.

برای انجام این کار معمولا از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های i ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های j ام استفاده می‌شود که در جدول ۱ نحوه ارزش گذاری شاخص‌ها نسبت به هم نشان داده شده است.

جدول (۱): مقیاس نه کمیتی ساعتی برای مقایسه دودویی گزینه‌ها (ساعتی، ۱۹۸۶)

امتیاز	ترجیحات
۱	ترجیح یکسان
۳	کمی ارجح
۵	ترجیح بیشتر
۷	ترجیح خیلی بیشتر
۹	کاملاً ارجح
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بینابین

۳,۱,۳. محاسبات وزن های نسبی و مطلق

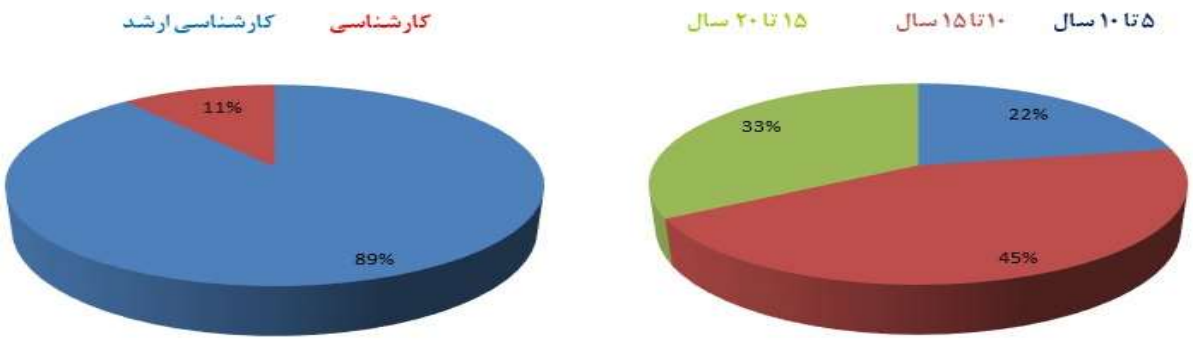
مرحله بعدی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هریک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی است. محاسبه وزن در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در دو قسمت جداگانه مورد بحث قرار می گیرد: وزن نسبی و وزن نهایی. وزن نسبی از ماتریس مقایسه های زوجی به دست می آید در حالی که وزن مطلق هر گزینه از تلفیق اوزان نسبی محاسبه می گردد. به عبارت دیگر، وزن هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل‌ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها بدست می آید.

٤. ارزیابی سیستم‌های صنعتی

در فرآیند تحقیق، پس از تعیین روش بایستی داده های مورد نیاز را با استفاده از ابزارهای مناسب جمع آوری نمود، سپس با بهره‌گیری از تکنیک‌های مناسب تجزیه و تحلیل نمود؛ تا از این راه بتوان پاسخی مناسب یافت. در این بخش پس از تدوین ساختار سلسله مراتبی، مقادیر مربوط به ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی، ارزش‌های نسبی و تحلیل حساسیت ارائه شده اند.

۱,۳. معرفی معیارها و ساختار سلسله مراتبی

برای جمع آوری داده‌های تحقیق، از میان افراد و بخش‌های درگیر پروژه‌های عمرانی در اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان کرمان، اعم از مدیران و کارشناسان با استفاده از روش نمونه گیری قضاوتی (هدف‌دار) اشخاصی که دانش و شناخت کافی از پروژه‌های عمرانی، روش‌های متعدد اجرای پروژه‌ها و جنبه های مختلف موجود اعم از جنبه‌های فنی، مالی و حقوقی را دارا بوده، انتخاب شدند. به همین منظور نسخه کاغذی پرسشنامه در اختیار یازده نفر از خبرگان قرار گرفت. در نهایت با استفاده از روش میانگین هندسی، برآیند نظرات مربوط به هر پرسشنامه محاسبه شد. آمار توصیفی و جمعیت شناختی پاسخ دهندگان به پرسشنامه تحقیق شامل سابقه اجرایی و سطح تحصیلات آنها در شکل۳ ارائه شده است. همچنین عناوین مربوط به پرسشنامه های مذکور در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل(۳): نسبت سابقه اجرایی و سطح تحصیلات پاسخ دهندگان به پرسشنامه تحقیق

جدول (۲): عناوین مربوط به پرسشنامه‌ها

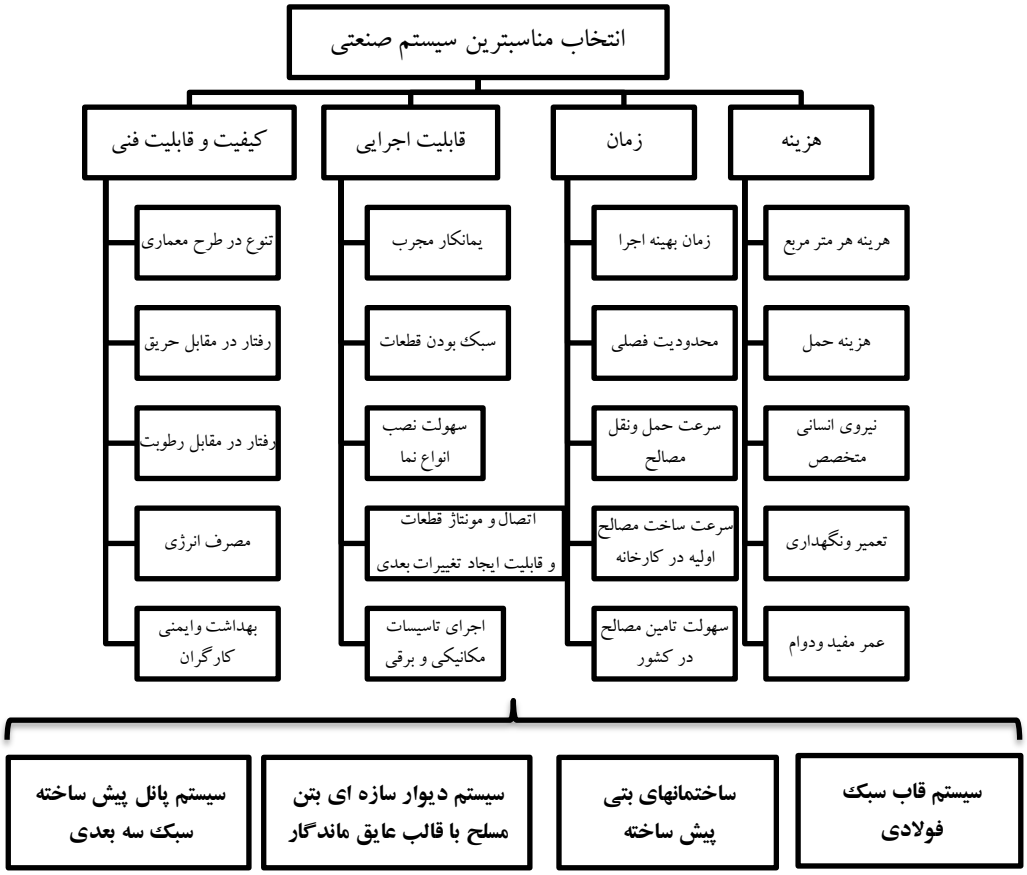
شماره	موضوع	تعداد پرسشنامه
بخش الف	مقایسات معیارهای اصلی با یکدیگر	۱
بخش ب	مقایسه پنج زیر معیار هزینه با یکدیگر و مقایسه هر زیر معیار با گزینه‌ها	۶
بخش ج	مقایسه پنج زیر معیار زمان با یکدیگر و مقایسه هر زیر معیار با گزینه‌ها	۶
بخش د	مقایسه پنج زیر معیار قابلیت اجرایی با یکدیگر و مقایسه هر زیر معیار با گزینه‌ها	۶
بخش ه	مقایسه پنج زیر معیار کیفیت و قابلیت فنی با یکدیگر و مقایسه هر زیر معیار با گزینه‌ها	۶

چنانکه بیان شد، انتخاب سیستم صنعتی مناسب به علت عدم قطعیت‌های موجود در تصمیم‌گیری و در نظر نگرفتن معیارهای مناسب برای مدیران بسیار پیچیده است. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، به دلایل مختلف از جمله: شناسایی معیارها و زیرمعیارهای انتخاب، استفاده بهینه از خبرگان و امکان ارزیابی میزان اثر گذاری معیارها در انتخاب سیستم صنعتی نقش مهمی دارد. در تحقیق حاضر ضمن بررسی و انجام مطالعات کتابخانه ای و نظرات خبرگان، چهار معیار اصلی (هزینه، زمان، قابلیت اجرایی، کیفیت و قابلیت فنی) و بیست زیر معیار جهت مقایسه سیستم‌های صنعتی در نظر گرفته شده است.

استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین روش سیستم صنعتی، مستلزم طراحی و ترسیم ساختار سلسله مراتبی هدف و معیارهای ارزیابی در قالب درخت سلسله مراتبی تصمیم می‌باشد. ساختارسلسه مراتبی این تحقیق در شکل ۴ ارائه شده است. در این شکل سه سطح کلی شامل هدف (تعیین مناسب‌ترین سیستم صنعتی)، معیارها و زیرمعیارها (چهار معیار و بیست زیرمعیار) و گزینه‌ها (سیستم قاب سبک فولادی، ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته، سیستم دیوار سازه ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار و سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی) مشخص شده است.

۲,٤. تجزیه و تحلیل مقایسه های زوجی

در این بخش به تجزیه و تحلیل داده های حاصل از مقایسات زوجی انجام شده در پرسشنامه‌ها پرداخته می‌شود. برای تحلیل داده‌ها و استخراج نتایج حاصل از مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها از نرم افزار اکسپرت چویس نسخه ۱۱ استفاده شده است. با تنظیم ماتریس مقایسات، هر کدام از معیارهای اصلی و زیرمعیارها و همچنین هر کدام از گزینه‌ها، به صورت دو به دو (زوجی) در معرض قضاوت خبرگان این موضوع قرار گرفته است. همچنین در نرم افزار سیستم قاب سبک فولادی به اختصارLSF، ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته به اختصارSCP، سیستم دیوار سازه‌ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار به اختصارICF و سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی به اختصار □□□□□ ۳□ به عنوان گزینه معرفی شده است؛ که در نمودارهای خروجی نرم‌افزار استفاده شده است.



شکل (۴): ساختارسلسله مراتبی این پژوهش

۱,۲,٤. محاسبه وزن وانتخاب ارجح‌ترین معیار اصلی

تعیین وزن معیارهای تصمیم گیری نسبت به یکدیگر از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی می‌باشد که انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم، با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی صورت می‌گیرد. لذا ابتدا مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسات

زوجی را محاسبه نموده، سپس هر عنصر ستون بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌شود. ماتریس جدیدی که بدین صورت بدست می‌آید، ماتریس مقایسات نرمال شده نامیده می‌شود. در ادامه میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسات نرمال شده محاسبه می‌گردد. این میانگین، وزن نسبی معیارهای تصمیم با سطرهای ماتریس را ارائه می‌کند. این محاسبات توسط نرم افزار اکسپرت چویس انجام شده است. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل یافته‌های حاصل از نخستین جدول مقایسه زوجی در پرسشنامه مربوط به معیارهای اصلی، حاکی از آن است که از دیدگاه مدیران و کارشناسان سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان کرمان، معیار قابلیت اجرایی با وزن نسبی ۰/۴۲۷مهمترین معیار اصلی می باشد. شکل ۵ ارزش وزنی هر معیار و نرخ ناسازگاری را در نرم‌افزار نشان می‌دهد.

شکل (۵): ارزش وزنی معیارهای اصلی

پس از آن کیفیت و قابلیت فنی، هزینه و زمان به ترتیب با وزن نسبی ۰/۴۰۱، ۰/۱۰۶ و ۰/۰۶۷ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. نرخ ناسازگاری مقایسات صورت گرفته که با نرم‌افزار محاسبه شده، ۰/۰۳ می‌باشد. با توجه به اینکه این مقدار از ۰/۱ کمتر می‌باشد، سازگاری نتایج بدست آمده در این بخش، در سطح قابل قبولی است. همچنین اولویت معیارهای اصلی به لحاظ اهمیت در جدول ۳ آمده است.

جدول (۳): اولویت بندی معیارهای اصلی

ردیف	نام معیار	ارزش وزنی
۱	معیار قابلیت اجرایی	۰/۴۲۷
۲	معیار کیفیت و قابلیت فنی	۰/۴۰۱
۳	معیار هزینه	۰/۱۰۶
۴	معیار زمان	۰/۰۶۷

۲,۲,٤. محاسبه وزن وانتخاب ارجح‌ترین زیرمعیار هزینه

با توجه به امتیاز دهی به مقایسه بین پنج زیر معیار هزینه، که عددی از ۱ تا ۹ اختیار می‌کند، ماتریس مقایسات زوجی به شرح جدول ۴ بدست آمده است. اعداد جدول نشان دهنده اولویت زیر معیار سطر نسبت به زیر معیار ستون مربوطه است. شکل ۶ ارزش وزنی هر زیرمعیار و نرخ ناسازگاری را در نرم افزار نشان می‌دهد. زیر معیار عمرمفید و دوام با وزن نسبی ۰/۴۵۰مهم‌ترین زیر معیار هزینه می باشد.

جدول (۴): ماتریس مقایسات زوجی زیر معیارهای هزینه

زیر معیار	هزینه هر مترمربع	هزینه حمل	نیروی انسانی متخصص	تعمیر و نگهداری	عمر مفید و دوام
هزینه هر مترمربع		۴/۱	۱/۵۷	۱/۱۵	۰/۴۴
هزینه حمل			۰/۲	۰/۲۷	۰/۱۴
نیروی انسانی متخصص				۱/۹۷	۰/۲۶
تعمیر و نگهداری					۰/۳
عمر مفید و دوام					

شکل(۶): ارزش وزنی زیرمعیارهای هزینه

پس از آن هزینه هرمترمربع، نیروی انسانی متخصص، تعمیر و نگهداری و هزینه حمل به ترتیب با وزن نسبی ۰/۱۹۵، ۰/۱۷۶، ۰/۱۳۴ و ۰/۰۴۴ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. نرخ سازگاری مقایسات صورت گرفته که با نرم‌افزار محاسبه شده، ۰/۰۳ می‌باشد. با توجه به اینکه این مقدار از ۰/۱ کمتر می‌باشد، سازگاری نتایج بدست آمده در این بخش، در سطح قابل قبولی است.

۳,۲,٤. محاسبه وزن وانتخاب ارجح‌ترین زیرمعیار زمان

با توجه به امتیازدهی به مقایسه بین پنج زیر معیار زمان، که عددی از ۱ تا ۹ اختیار می کند، ماتریس مقایسات زوجی به شرح جدول ۵ بدست آمده است. اعداد جدول نشان دهنده اولویت زیر معیار سطر نسبت به زیر معیار ستون مربوطه است. شکل۷ ارزش وزنی هر معیار و نرخ ناسازگاری را در نرم افزار نشان می‌دهد. زیر معیار زمان بهینه اجرا با وزن نسبی ۰/۳۶۵مهم‌ترین زیر معیار زمان می باشد. پس از آن به ترتیب سرعت ساخت مصالح اولیه در کارخانه، سهولت تامین مصالح در کشور، سرعت حمل و نقل مصالح و محدودیت فصلی با وزن نسبی ۰/۱۹۷، ۰/۱۷۲، ۰/۱۴۳ و ۰/۱۲۳ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. نرخ ناسازگاری مقایسات صورت گرفته که با نرم‌افزار محاسبه شده، ۰/۰۲ می‌باشد. با توجه به اینکه این مقدار از ۰/۱ کمتر می‌باشد، سازگاری نتایج بدست آمده در این بخش، در سطح قابل قبولی است.

جدول (۵): ماتریس مقایسات زوجی زیر معیارهای زمان

زیر معیار	زمان بهینه اجرا	محدودیت فصلی	سرعت حمل و نقل مصالح	سرعت ساخت مصالح اولیه در کارخانه	سهولت تامین مصالح در کشور
زمان بهینه اجرا		۳/۱۶	۲/۴۲	۲/۲۷	۱/۷۴
محدودیت فصلی			۱/۱۳	۰/۶۳	۰/۵۸
سرعت حمل و نقل مصالح				۰/۸۳	۰/۹۳
سرعت ساخت مصالح اولیه در کارخانه					۱/۶۲
سهولت تامین مصالح در کشور					

شکل(۷): ارزش وزنی زیرمعیارهای زمان

٤,۲,٤. محاسبه وزن وانتخاب ارجح‌ترین زیرمعیار قابلیت اجرایی

با توجه به امتیازدهی به مقایسه بین پنج زیر معیار قابلیت اجرایی، که عددی از ۱ تا ۹ اختیار می کند، ماتریس مقایسات زوجی به شرح جدول۶ بدست آمده است. اعداد جدول نشان دهنده اولویت زیر معیار سطر نسبت به زیر معیار ستون مربوطه است. شکل ۸ ارزش وزنی هر معیار و نرخ ناسازگاری را در نرم‌افزار نشان می‌دهد. زیر معیار پیمانکار مجرب با وزن نسبی ۰/۳۱۴مهمترین زیر معیار قابلیت اجرایی می‌باشد. پس از آن به ترتیب اتصال و مونتاژ قطعات و قابلیت ایجاد تغییرات بعدی، اجرای تاسیسات مکانیکی و برقی، سبک بودن قطعات و سهولت نصب انواع نما با وزن نسبی ۰/۲۲۳، ۰/۲۰۱، ۰/۱۴۱ و ۰/۱۲۲ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. نرخ ناسازگاری مقایسات صورت گرفته که با نرم‌افزار محاسبه شده، ۰/۰۳ می‌باشد. با توجه به اینکه این مقدار از ۰/۱ کمتر می‌باشد، سازگاری نتایج بدست آمده در این بخش، در سطح قابل قبولی است.

جدول (۶): ماتریس مقایسات زوجی زیر معیارهای قابلیت اجرایی

زیر معیار	پیمانکار مجرب	سبک بودن قطعات	سهولت نصب انواع نما	اتصال و مونتاژ قطعات و قابلیت ایجاد تغییرات بعدی	اجرای تاسیسات مکانیکی و برقی
پیمانکار مجرب		۲/۳۴	۱/۶۱	۱/۳۴	۲/۳۳
سبک بودن قطعات			۱/۵۵	۰/۶۹	۰/۵۰
سهولت نصب انواع نما				۰/۴۱	۰/۶۴
اتصال و مونتاژ قطعات و قابلیت ایجاد تغییرات بعدی					۱
اجرای تاسیسات مکانیکی و برقی					

شکل (۸): ارزش وزنی زیرمعیارهای قابلیت اجرایی

۵,۲,٤. محاسبه وزن وانتخاب ارجح ترین زیرمعیار کیفیت و قابلیت فنی

با توجه به امتیاز دهی به مقایسه بین پنج زیر معیار کیفیت و قابلیت فنی، که عددی از ۱ تا ۹ اختیار می کند، ماتریس مقایسات زوجی به شرح جدول۷ بدست آمده است. اعداد جدول نشان دهنده اولویت زیر معیار سطر نسبت به زیر معیار ستون مربوطه است. شکل ۹ ارزش وزنی هر معیار و نرخ ناسازگاری را در نرم‌افزار نشان می‌دهد. زیر معیار مصرف انرژی با وزن نسبی ۰/۳۵۶مهم‌ترین زیر معیارکیفیت و قابلیت فنی می‌باشد. پس از آن به ترتیب رفتار در مقابل حریق، تنوع در طرح معماری، رفتار در مقابل رطوبت و بهداشت و ایمنی کارگران با وزن نسبی ۰/۲۴، ۰/۱۶۵، ۰/۱۳۱ و ۰/۱۰۸ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. نرخ ناسازگاری مقایسات صورت گرفته که با نرم‌افزار محاسبه شده، ۰/۰۲ می‌باشد. با توجه به اینکه این مقدار از ۰/۱ کمتر می باشد، سازگاری نتایج بدست آمده در این بخش، در سطح قابل قبولی است.

جدول (۷): ماتریس مقایسات زوجی زیر معیارهای کیفیت و قابلیت فنی

زیر معیار	تنوع در طرح معماری	رفتار در مقابل حریق	رفتار در مقابل رطوبت	مصرف انرژی	بهداشت و ایمنی کارگران
تنوع در طرح معماری		۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۵۴	۱/۴۲
رفتار در مقابل حریق			۲/۴۸	۰/۷	۲/۰۱
رفتار در مقابل رطوبت				۰/۳	۱/۳۷
مصرف انرژی					۳/۲۶
بهداشت و ایمنی کارگران					

شکل (۹): ارزش وزنی زیرمعیارهای کیفیت و قابلیت فنی

۳,٤. محاسبه وزن مطلق و رتبه‌بندی سیستم‌های صنعتی

در مجموع و با در نظر گرفتن تمامی معیارهای اصلی و زیر معیارها، رتبه بندی سیستم‌های صنعتی در شکل ۱۰نشان داده شده است:

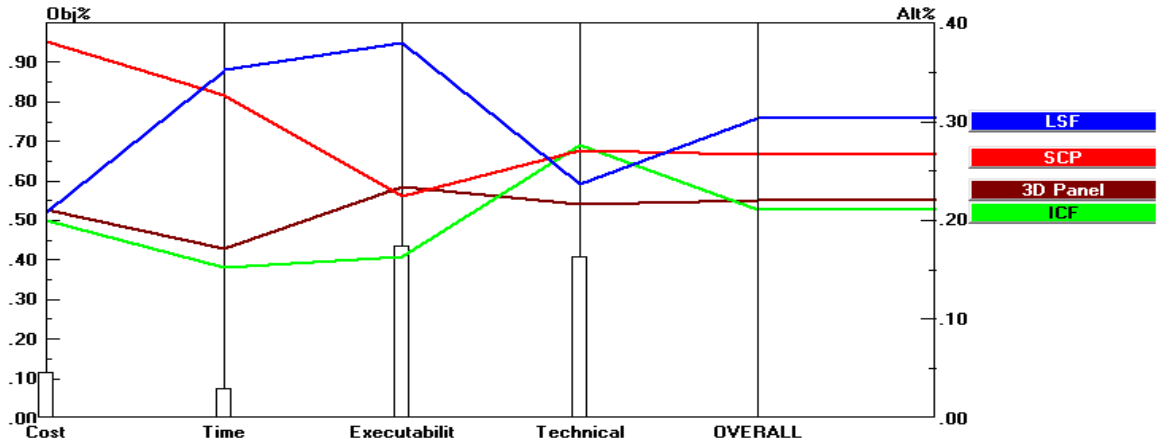
شکل (۱۰): اولویت بندی سیستم‌های صنعتی در مدارس استان کرمان

نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل یافته ها، حاکی از آن است که از دیدگاه مدیران و کارشناسان سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان کرمان، سیستم قاب سبک فولادی با وزن ۰/۳۰۳مناسب‌ترین سیستم صنعتی می باشد. پس از آن به ترتیب سازه‌های بتنی پیش‌ساخته با وزن ۰/۲۶۶، سیستم پانل پیش ساخته سبک سه‌بعدی با وزن ۰/۲۲ و سیستم دیوار سازه ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار با وزن ۰/۲۱ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. ضمنا همان‌گونه که در شکل ۱۰ درج شده است، نرخ ناسازگاری کلی برابر ۰/۰۲ می‌باشد که کمتر از ۰/۱ بوده و لذا نتایج قابل اتکا می باشد. هر چند تا به امروز تحقیق کاملاً مشابهی با تحقیق حاضر انجام نگرفته است؛ اما به جهت انجام مقایسه نتایج می‌توان به تحقیق رضاییان و حسینی (۱۳۹۴) اشاره نمود. در تحقیق رضاییان و حسینی سازه‌های بتنی پیش‌ساخته و سیستم قاب سبک فولادی به ترتیب بالاترین وزن را به خود

اختصاص دادند. از مقایسه ی این دو تحقیق به چشم می‌آید که سیستم قاب سبک فولادی و سازه‌های بتنی پیش‌ساخته مناسب‌ترین سیستمهای صنعتی است.

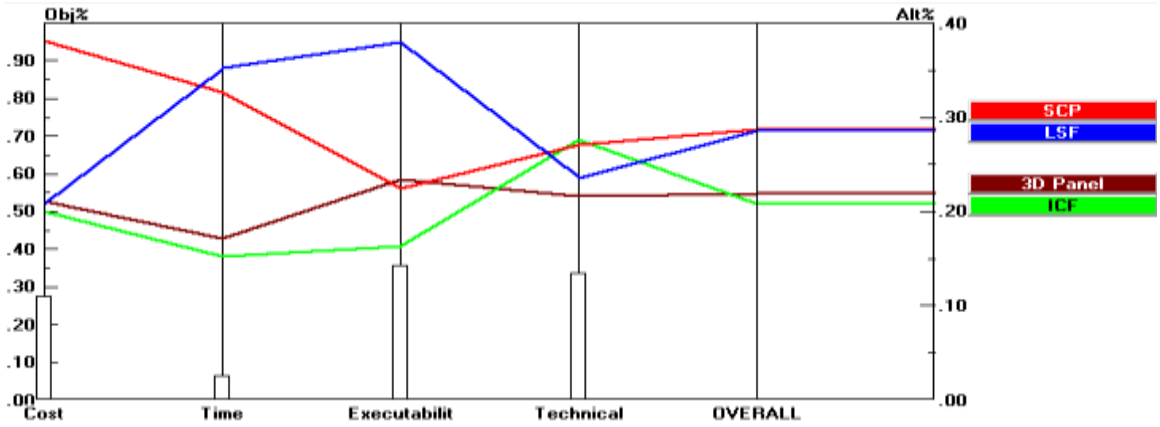
٤,٤. تحلیل حساسیت

یکی از عواملی که بیشترین تاثیر را در رتبه بندی نهایی گزینه‌ها در روش های تصمیم گیری چند معیاره دارد، امتیاز دهی است. با توجه به عدم قطعیت در مراحل امتیازدهی تحلیل حساسیت بر روی گزینه‌ها انجام می‌شود. تحلیل حساسیت یکی از مباحث مهم برنامه‌ریزی ریاضی است که همواره از بدو پیدایش و ابداع برنامه‌ریزی ریاضی تاکنون مورد توجه متخصصین تحقیق درعملیات واقع شده است. تحلیل حساسیت رویه ای است که به طور کلی بعد از به دست آوردن جواب بهینه به اجرا در می آید و منظور از آن بررسی تغییرات محتمل پارامترها بر روی جواب بهینه می‌باشد .بنابراین هدف از تحلیل حساسیت، شناخت پارامترهای کاملاً حساس می‌باشد تا تخمین و برآورد آنها با دقت بیشتری ا نجام شود. در این تحلیل با تغییر وزن یکی از معیارها، نرم افزار بطور خودکار وزن سایر معیارها را متناسب با آن تغییر می‌دهد و می‌توان اثر تغییرات را در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها مشاهده نمود. شکل ۱۱ تحلیل حساسیت را نشان می‌دهد. در این شکل تاثیر معیارهای اصلی بر روی سیستم‌های صنعتی مورد استفاده در این تحقیق، نمایش داده شده است. در شکل ۱۱، وزن معیار هزینه، معیار زمان، معیار قابلیت اجرایی و معیار کیفیت و قابلیت فنی به ترتیب ۰/۱۰۶، ۰/۰۶۷، ۰/۴۲۷و ۰/۴۰۱ مشخص می‌باشد؛ و با توجه به این اوزان سیستم قاب سبک فولادی مناسب‌ترین گزینه شده است. همچنین این شکل نشان می‌دهد براساس معیار هزینه مناسب‌ترین سیستم سازه بتنی پیش‌ساخته، براساس معیار زمان مناسب‌ترین سیستم قاب سبک فولادی، براساس معیار قابلیت اجرایی مناسب‌ترین سیستم قاب سبک فولادی و براساس معیار کیفیت و قابلیت فنی مناسب‌ترین سیستم دیوار سازه ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار می‌باشد، اما با در نظرگرفتن هر چهار معیار اصلی سیستم قاب سبک فولادی مناسب‌ترین گزینه شده است.



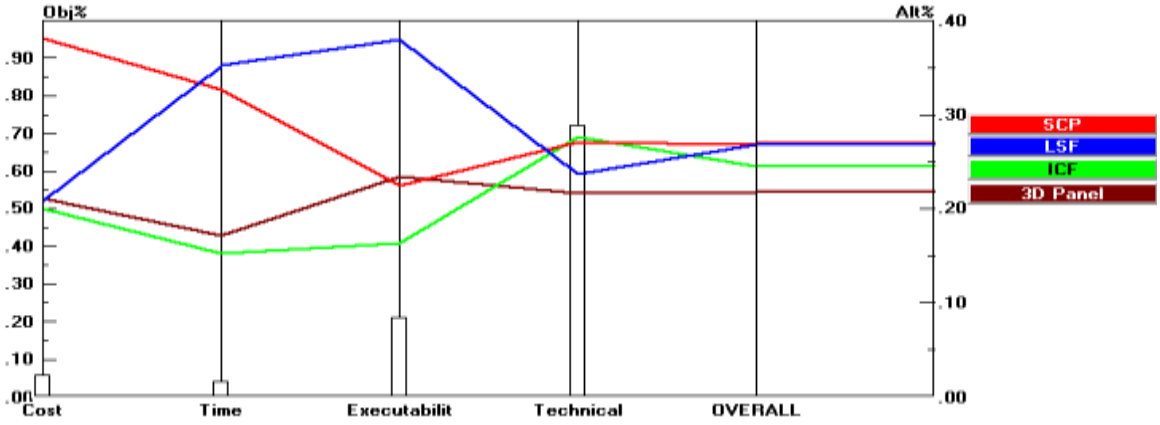
شکل (۱۱): تحلیل حساسیت معیارها نسبت به گزینه ها

به عبارت دیگر تحلیل حساسیت نشان می‌دهد چگونه گزینه‌ها با توجه به تغییر وزن معیارها تغییر می‌کنند. یکی از معیارها هزینه است در صورتی‌که وزن معیار هزینه را از ۰/۱۰۶ به ۰/۲۷۹ تغییر دهیم، باعث تغییر در رتبه‌بندی خواهد شد و سازه بتنی پیش‌ساخته مناسب‌ترین گزینه خواهد شد (شکل ۱۲).



شکل (۱۲): تحلیل حساسیت معیارها نسبت به گزینه‌ها با تغییر مقدار معیار هزینه

با تغییر مقدار معیار زمان و قابلیت اجرایی تغییری در اولویت‌بندی سیستم‌های صنعتی بوجود نمی‌آید. اما همانطور که در شکل ۱۳ نشان داده شده است در صورتی‌که وزن معیار کیفیت و قابلیت فنی از ۰/۴۰۱به ۰/۷۰۶ تغییر کند، سازه بتنی پیش‌ساخته مناسب‌ترین گزینه خواهد شد.



شکل (۱۳): تحلیل حساسیت معیارها نسبت به گزینه‌ها با تغییر مقدار معیار کیفیت و قابلیت فنی

۵. نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در این پژوهش، به شرح زیرجمع بندی وخلاصه شده است:

- در این تحقیق از چهار معیار اصلی استفاده شده است. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که معیار قابلیت اجرایی را با وزن نسبی ۰/۴۲۷مهمترین معیار اصلی است. پس از آن به ترتیب کیفیت و قابلیت فنی، هزینه و زمان با وزن نسبی ۰/۴۰۱، ۰/۱۰۶ و ۰/۰۶۷ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.
- برای متغیر اصلی هزینه پنج زیر معیار در نظر گرفته شده است. زیر معیار عمرمفید و دوام با وزن نسبی ۰/۴۵۰مهم‌ترین زیر معیار هزینه است.

- برای متغیر اصلی زمان پنج زیر معیار در نظر گرفته شده است. زیر معیار زمان بهینه اجرا با وزن نسبی ۰/۳۶۵مهم‌ترین زیر معیار زمان است.
- برای متغیر اصلی قابلیت اجرایی پنج زیر معیار در نظر گرفته شده است. زیر معیار پیمانکار مجرب با وزن نسبی ۰/۳۱۴مهم‌ترین زیر معیار قابلیت اجرایی است.
- برای متغیر اصلی کیفیت و قابلیت فنی پنج زیر معیار در نظر گرفته شده است. زیر معیار مصرف انرژی با وزن نسبی ۰/۳۵۶مهم‌ترین زیر معیارکیفیت و قابلیت فنی است.
- در مجموع و با در نظر گرفتن تمامی معیارهای اصلی و زیر معیارها، نتیجه نهایی این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم قاب سبک فولادی با وزن ۰/۳۰۳مناسب‌ترین سیستم صنعتی می‌باشد. پس از آن به ترتیب سازه‌های بتنی پیش‌ساخته، سیستم پانل پیش‌ساخته سبک سه‌بعدی و سیستم دیوار سازه‌ای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار با وزن ۰/۲۶۶، ۰/۲۲ و ۰/۲۱ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.
- تحلیل حساسیت نشان می‌دهد، در صورتی‌که وزن معیار اصلی هزینه را از ۰/۱۰۶ به ۰/۲۷۹ تغییر دهیم، سازه بتنی پیش‌ساخته مناسب‌ترین گزینه می‌باشد، در صورتی‌که وزن معیار اصلی کیفیت و قابلیت فنی از ۰/۴۰۱به ۰/۷۰۶ تغییر کند، سازه بتنی پیش‌ساخته مناسب‌ترین گزینه می‌باشد. همچنین با تغییر مقدار معیار اصلی زمان و قابلیت اجرایی تغییری در اولویت‌بندی سیستم‌های صنعتی بوجود نمی‌آید.

٦. تشکر و قدردانی

نویسندگان از اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان کرمان به منظور ارائه اطلاعات تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

اولیا، جلیل؛ تقدیری، علیرضا؛ قنبرزاده، سارا. (۱۳۸۹). سازگاری ساختاری سیستم های صنعتی ساختمان سازی، *معماری و شهرسازی ایران (JIAU)*. ۱ (۱). doi: ۱۰,۳۰٤۷٥/isau.۲۰۱۰,٦۱۹۲۰

حقیقی، حسین؛ حسینعلی پور، مجتبی. (۱۳۸۹). راهبرد صنعتی‌سازی ساختمان در چشم‌انداز بیست ساله کشور (مطالعه موردی امکان‌سنجی استفاده از LSF در تهران). *فصلنامه علمی راهبرد*، ۱۸ (۴).

دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۴۰۰). مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان (طرح واجرای صنعتی ساختمان ها)

رضاییان، علیرضا؛ حسینی، سیدامیرحسین. (۱۳۹۴). انتخاب سیستم ساختمانی بهینه با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره با تاکید بر سه روش AHP, SAW,TOPSIS. *مهندسی سازه و ساخت*، ۲ (۲)، ۲۷-۱۶.

قیصری، سمیه؛ رخشانی مهر، مهراله؛ ورناصری، داریوش و همکاران. (۱۳۹۹). صنعتی سازی مدارس. *نشر کلام ماندگار*.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۸۷). سیستم قالب های عایق ماندگار

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۸۸). فناوری های نوین ساختمانی. ویرایش پنجم

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۹۰). سیستم قاب سبک فولادی

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۹۶). سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی (۳□)

Chen, Y., Okudan, G. E., & Riley, D. R. (۲۰۱۰). Decision support for construction method selection in concrete buildings: Prefabrication adoption and optimization. *Automation in Construction, 19*(٦), ٦٦٥-٦٧٥. doi: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.autcon.٢٠١٠,٠٢,٠١١

Dehghani, H., Amiri Moghadam, M., & Mahdavi, S. H. (۲۰۲۱). OPTIMIZED FLOORING SYSTEMS SELECTION BY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. [Research]. *Iran University of Science & Technology, 11*(۳), ۳۹۷-٤٠٩.

Dehghani, H., & Fadaee, M. J. (۲۰۱۳). Calibration of resistance factors for torsional reinfrced concrete beams strengthened with FRP composites. *Asian Journal of Civil Engineering, 14*, ٥٠٣-٥١٦.

Dehghani, H., Hormozi, A., & Nikpour, M. (۲۰۲۲). Systematic risks assessment of precast concrete canal in irrigation projects using DEMATEL method. *International Journal of System Assurance Engineering and Management, ۱۳*(۱), ۱۲۳-۱۳۰.

Ebrahimi, M., Hedayat, A. A., & Fakhrabadi, H. (۲۰۱۸). Selecting optimized concrete structure by Analytic Hierarchy Process (AHP). *Computers and Concrete, 22*, ۳۲۷-۳۳٦. doi: ١٠,١٢٩٨٩/cac.٢٠١٨,٢٢,٣,٣٢٧

Fiorino, L., Della Corte, G., & Landolfo, R. (۲۰۰۷). Experimental tests on typical screw connections for cold-formed steel housing. *Engineering Structures, 29*(۸), ۱۷٦۱-۱۷۷۳. doi: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.engstruct.٢٠٠٦,٠٩,٠٠٦

Jaillon, L., & Poon, C. S. (۲۰۱٤). Life cycle design and prefabrication in buildings: A review and case studies in Hong Kong. *Automation in Construction, 39*, ۱۹٥-۲۰۲. doi: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.autcon.٢٠١٣,٠٩,٠٠٦

Lawson, R., Ogden, R., Pedreschi, R., Grubb, P., & Ola, S. P. (۲۰۰٥). Developments in pre-fabricated systems in light steel and modular construction. *Transport, 35*(۱٥), ۱٥.

Qi, B., Razkenari, M., Costin, A., Kibert, C., & Fu, M. (۲۰۲۱). A systematic review of emerging technologies in industrialized construction. *Journal of Building Engineering, 39*, ١٠٢٢٦٥. doi: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.jobe.٢٠٢١,١٠٢٢٦٥

Saad, S., Alaloul, W. S., Ammad, S., Altaf, M., & Qureshi, A. H. (۲۰۲۲). Identification of critical success factors for the adoption of Industrialized Building System (IBS) in Malaysian construction industry. *Ain Shams Engineering Journal, 13*(۲), ١٠١٥٤٧. doi: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.asej.٢٠٢١,٠٦,٠٣١

Saaty, T. L. (۱۹۸٦). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science, 32*, ۸٤۱-۸٥٥.

Zaid Hatem, M. A., Alhamza Flaih, Ammar Oda. (۲۰۲۱). Barriers to the adoption of industrialized building system in Iraqi construction industry. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences, 33*(۳), ۳۰-٤۲.

Zhang, X., Skitmore, M., & Peng, Y. (۲۰۱٤). Exploring the challenges to industrialized residential building in China. *Habitat International, 41*, ۱۷٦–۱۸٤. doi: ١٠,١٠١٦/j.habitatint.٢٠١٣,٠٨,٠٠٥