

انتخاب سیستم ساختمانی بهینه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با تاکید بر سه روش AHP, SAW, TOPSIS

علیرضا رضاییان^۱، سید امیرحسین حسینی^{۲*}

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

چکیده

امروزه با پیچیده شدن فرآیند تصمیم‌گیری و دخالت عوامل مختلف، نیاز به تصمیم‌گیری‌هایی که تمام عوامل موثر در مساله را مدنظر قرار دهند، بیش از پیش نمایان شده است. از این رو محققان داخلی و خارجی، به سمت تصمیم‌گیری‌های چند معیاره رغبت نشان داده‌اند. ما نیز در این تحقیق، از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شامل روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، مجموع ساده وزنی و تاپسیس (تکنیک رتبه‌بندی پیشنهادها با توجه به شباهت به راه حل ایده آل)، برای حل مساله انتخاب سیستم بهینه ساختمانی استفاده کرده‌ایم. سیستم‌هایی که در این مساله مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند عبارتند از: سیستم قاب سبک فولادی سرد نورد شده، سیستم قالب عایق ماندگار، سیستم تری دی پانل و سیستم پیش ساخته بتنی. داده‌های مورد نیاز با استفاده از پرسشنامه در سطح نمونه (۱۵۰ نفر) بررسی شد. پرسشنامه‌ها در میان خبرگان انبوه سازی، مراکز دانشگاهی و کنفرانس‌ها توزیع گردید. بنا بر نتایج تحقیق، استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری، نتایج نسبتاً مشابهی را به همراه خواهد داشت؛ به گونه‌ای که با استفاده از هر سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره، سیستم پیش ساخته بتنی در رتبه اول و سیستم قاب سبک فولادی سرد نورد شده در رتبه دوم قرار گرفتند. همچنین سیستم پیش ساخته بتنی، از لحاظ معیارهای اجرایی و اقتصادی، در رتبه اول قرار گرفت و سیستم قاب سبک فولادی سرد نورد شده، از لحاظ معیار زیست محیطی رتبه اول را به خود اختصاص داد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، تحلیل سلسله مراتبی، مجموع ساده وزنی، تاپسیس، انتخاب سیستم ساختمانی بهینه

Selecting the Optimal Building System Using Multiple Criteria Decision Making Emphasising on Three Methods of TOPSIS , SAW, AHP

Alireza Rezaiean¹, Seyed Amirhosein Hoseini^{2*}

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, karaj branch

2- MSc, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, karaj branch

Abstract

* مؤلف مسئول: سید امیرحسین حسینی hoseiniamirhosein@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۷/۱۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۵/۶

Nowadays, various factors complicate the decision making process and the need to make decisions that consider all the factors in question, they are more than ever before. The internal and external researchers, have shown interest in the multi-criteria decision making. In our study, the method includes a multi-criteria decision making method such as Analytical Hierarchy Process, Simple additive weighting and TOPSIS (Technique for order-preference by similarity to ideal solution) to solve the selection problem of building efficient systems we have used. Systems that have been evaluated in this issue include: Lightweight Steel Frames, Insulating concrete formwork, 3D-PANEL and Prefabricated reinforced concrete systems. Required data using the questionnaire sample ($n = 150$) were examined. Questionnaires among the mass of experts, academic institutions and conferences were distributed. According to the research results, using different methods of decision making, the results will yield fairly similar, so that all three methods, Prefabricated reinforced concrete systems in the first place, and the Lightweight Steel Frames system was in the Second place. The Prefabricated reinforced concrete systems, in terms of administrative and economic criterias, in the first place, and the system Lightweight Steel Frames, ranked first in terms of environmental criteria accounted for.

Keywords: Multiple criteria decision making, TOPSIS, Analytical Hierarchy Process, Simple additive weighting, Selecting the optimal Building system

۱- مقدمه

انتخاب سیستم ساختمانی بهینه، همواره یکی از دغدغه‌های کارفرمایان بوده است، چرا که در صورت انتخاب نامناسب، تبعاتش تا چندین سال متوجه ذی نفعان پروژه خواهد شد. فرآیند انتخاب سیستم بهینه، به دلیل درگیر بودن معیارهای مختلف، یک تصمیم‌گیری چند معیاره محسوب می‌شود.

این تحقیق، به دنبال انتخاب سیستم بهینه نوین ساختمانی با استفاده از سه روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP)، مجموع ساده وزنی^۲ (SAW) و تاپسیس^۳ (TOPSIS) می‌باشد.

در زمینه انتخاب سیستم ساختمانی بهینه، بلالی، حسینی، زهرائی و روزبهانی در ششمین کنگره ملی مهندسی عمران (۱۳۹۰) تحقیقی با عنوان انتخاب سیستم ساختمانی مناسب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP گروهی ارائه کردند. در تحقیق دیگری در زمینه انتخاب سیستم ساختمانی بهینه، حسامی، اکبری کفاش، طاهری امیری، در دومین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت ساخت (۱۳۹۱) تحقیقی با عنوان انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب از میان سیستم‌های نوین و سنتی با استفاده از روش AHP ارائه دادند. مزایای تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات سابق عبارتند از:

- ۱- استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری TOPSIS و SAW علاوه بر روش AHP
- ۲- استفاده از زیر معیارهای متعدد به منظور ارزیابی جامع‌تر گزینه‌ها
- ۳- جامعه آماری بزرگتر به منظور کسب داده‌های با اطمینان بیشتر
- ۴- ارزیابی رایج‌ترین سیستم‌های نوین ساختمانی در عرصه انبوه‌سازی
- ۵- ادغام رتبه بندی حاصل از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره

۲- اهداف تحقیق

- ۱- آشنایی با روش‌های کاربردی تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله AHP، TOPSIS و SAW
- ۲- آشنایی با معیارهای مهم در ارزیابی و مقایسه سیستم بهینه ساختمانی

1- Analytical Hierarchy Process

2- Simple additive weighting

3- Technique for order-preference by similarity to ideal solution

۳- ارائه راهکارهایی برای توسعه صنعتی سازی ساختمان در کشور با رویکرد استفاده از سیستم‌های نوین ساختمانی

۳- روش تحقیق

در این پژوهش، چهار سیستم نوین ساختمانی مورد ارزیابی و مقایسه خبرگان قرار گرفته است. این سیستم‌ها عبارتند از: سیستم‌های قاب سبک فولادی سرد نورد شده^۱ (LSF)، سیستم قالب عایق ماندگار^۲ (ICF)، سیستم پانل‌های سه بعدی^۳ (3D-PANEL) و سیستم پیش ساخته بتنی^۴ (PRCS).

علت انتخاب این سیستم‌ها، مورد تایید بودن آن‌ها از نظر مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و رواج آن‌ها در پروژه‌های انبوه سازی است. [۲]

جهت شناخت معیارهای تاثیرگذار در روند انتخاب سیستم‌های ساخت مسکن، با بررسی تحقیقات داخلی و خارجی صورت گرفته در این زمینه، از منابع مختلفی برای بدست آوردن معیارها استفاده شده است. در نهایت ساختار معیارها و زیر معیارها بدین صورت به دست آمد:

جدول ۱: معیارهای به دست آمده برای ارزیابی و مقایسه سیستم‌های نوین ساختمانی

معیارها	زیر معیارها
معیار اجرایی	وجود آیین نامه‌های اجرایی
	قابلیت انطباق با طراحی مدولار
	امکان تنوع در طرح معماری
	کم بودن مراحل اجرایی
	صلبیت سقف
	عدم وابستگی به کاربرد ماشین آلات سنگین
	وضعیت سیستم از لحاظ عایق حرارتی
	وضعیت سیستم از لحاظ عایق صوتی
	عدم محدودیت‌های فصلی در روش اجرایی
	قابلیت پیش ساختگی
	عدم نیاز به نیروی کاری ماهر
	سازگاری با المان‌های غیر سازه‌ای (تاسیسات)
	ایمنی در برابر حریق
	سهولت کنترل کیفی
معیار اقتصادی	دوام و پایداری مصالح و عناصر
	قابلیت ایجاد تغییرات بعدی
	کم بودن هزینه ساخت
	کم بودن زمان ساخت
	سهولت تامین مصالح در داخل کشور
	کم بودن هزینه‌های نگهداری
	سرعت بازگشت سرمایه
	قابلیت بازیافت مصالح

- 1- Lightweight Steel Frames
- 2- Insulating concrete formwork
- 3- 3D Sandwich panels
- 4- Prefabricated reinforced concrete systems

معیارها	زیر معیارها
معیار زیست محیطی	کم بودن مصرف انرژی در طراحی، ساخت و بهره برداری
	عدم تولید آلودگی زیست محیطی
	انطباق با شرایط اقلیمی
	تاثیر بر روی بازار کار
	عدم ایجاد مزاحمت ترافیکی در حین ساخت
	تامین سلامتی و ایمنی کارگران
	تامین زیبایی بصری
	سازگاری با فرهنگ ایرانی اسلامی

فرمول کلی تعیین حجم نمونه عبارتست از:

$$n = \frac{z_{\alpha}^2 pq}{e^2} \quad (1)$$

n : حداقل حجم نمونه مورد نیاز

z_{α}^2 : مقدار متغیر استاندارد (که برای سطح اطمینان ۹۵٪ مقدار آن از جدول مربوطه برابر ۱/۹۶ به دست می آید)

e : میزان خطایی که محقق در بررسی مرتکب می شود که در تحقیقات معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۱ انتخاب می شود که در این تحقیق مقدار آن مساوی ۰/۰۸ در نظر گرفته شده است.

P : نسبت موفقیت بین افراد نمونه که به علت نامعلوم بودن مقدار ماکزیمم آن (۰/۵) استفاده شده است.

(1-P) : نسبت عدم موفقیت بین افراد نمونه که به علت نامعلوم بودن مقدار ماکزیمم آن (۰/۵) استفاده شده است. استفاده از این روش باعث می شود تا نمونه انتخابی به اندازه کافی بزرگ باشد. [۶] با درج اعداد مربوطه در فرمول فوق، تعداد نمونه برابر ۱۵۰ به دست می آید.

۴- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

ابتدا عملیات نرمال سازی به روش نرم ساعتی بر روی ماتریس مقایسه گزینه ها در برابر زیرمعیارها انجام شده و بردار وزن گزینه ها به روش میانگین حسابی به دست می آید. سپس امتیاز هر یک از گزینه ها در برابر زیرمعیارها با رعایت وزن نسبی زیر معیارها به دست می آید.

از کنار هم قرار دادن ستون آخر ماتریس های مربوط به عملکرد گزینه ها در برابر زیر معیارها، ماتریس امتیاز گزینه ها در برابر معیارهای اصلی به دست می آید: [۳ و ۱]

در برابر معیارهای اصلی

معیار / گزینه	معیار اجرایی	معیار اقتصادی	معیار زیست محیطی
LSF	۰/۲۵	۰/۲۴۲	۰/۲۹۶
ICF	۰/۲۳	۰/۲۴۳	۰/۲۲۷
3D-panel	۰/۲۴	۰/۲۳۲	۰/۲۳۵
PRCS	۰/۲۸	۰/۲۸۳	۰/۲۴۲

جدول ۲: ماتریس امتیاز گزینه ها

در این مرحله، لازم است وزن معیارهای اصلی را به دست آوریم؛ بدین منظور، ابتدا ماتریس مقایسه معیارهای اصلی را به روش نرم ساعتی بی مقیاس می‌کنیم و سپس بردار وزن معیارهای اصلی را به روش میانگین حسابی، به دست می‌آوریم:

جدول ۳: بردار وزن نسبی معیارهای اصلی

معیارها	وزن نسبی معیار
معیار اجرایی	۰/۳۳
معیار اقتصادی	۰/۴۳

$$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.242 & 0.296 \\ 0.23 & 0.243 & 0.227 \\ 0.24 & 0.232 & 0.235 \\ 0.28 & 0.283 & 0.242 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.33 \\ 0.43 \\ 0.24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2628 \\ 0.2333 \\ 0.2356 \\ 0.2682 \end{bmatrix} \quad (2)$$

معیار زیست محیطی	۰/۲۴
------------------	------

از ضرب ماتریس امتیاز گزینه‌ها در برابر معیارهای اصلی در ماتریس وزن معیارهای اصلی، امتیاز نهایی گزینه‌ها به دست می‌آید که مبنای رتبه بندی گزینه‌ها در روش AHP می‌باشد.

جدول ۴: رتبه بندی گزینه‌ها بر اساس روش AHP

گزینه	امتیاز گزینه‌ها	رتبه
LSF	۰/۲۶۲۸	۲
ICF	۰/۲۳۳۳۱۵	۴
3D-PANEL	۰/۲۳۵۶۵۹	۳
PRCS	۰/۲۶۸۱۲۲۶	۱

۵- روش مجموع ساده وزنی (SAW)

۱- نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری به روش نرم خطی

جدول ۵: ماتریس تصمیم گیری نرمال شده به روش نرم خطی

گزینه \ معیار	معیار اجرایی	معیار اقتصادی	معیار زیست محیطی
LSF	۰/۸۹	۰/۸۵	۱
ICF	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۷۷
3D-panel	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۷۹
PRCS	۱	۱	۰/۸۲

۲- تعیین وزن معیارها به روش آنتروپی شانون

ماتریس مربوط به امتیاز گزینه‌ها از لحاظ معیارهای اصلی که به روش نرم ساعتی نرمال شده است را در نظر می‌گیریم:

جدول ۶: ماتریس نرمال شده امتیاز گزینه‌ها از لحاظ معیارهای اصلی

معیار گزینه	معیار اجرایی	معیار اقتصادی	معیار زیست محیطی
LSF	۰/۲۵	۰/۲۴۲	۰/۲۹۶
ICF	۰/۲۳	۰/۲۴۳	۰/۲۲۷
3D-PANEL	۰/۲۴	۰/۲۳۲	۰/۲۳۵
PRCS	۰/۲۸	۰/۲۸۳	۰/۲۴۲

۳- آنتروپی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m [p_{ij} \cdot \ln p_{ij}] \quad (2)$$

۴- K به عنوان مقدار ثابت به صورت زیر محاسبه می‌شود و مقدار E_j را بین صفر و یک نگه می‌دارد.

$$K = \frac{1}{\ln m} = \frac{1}{\ln 5} = 0.61 \quad (3)$$

۵- با توجه به رابطه فوق، مقدار E برای معیارهای اصلی به دست می‌آید:

جدول ۷: محاسبه E_j

	معیار اجرایی	معیار اقتصادی	معیار زیست محیطی
E _j	۰/۸۴۳۹۵۸	۰/۸۴۳۸۲۱	۰/۸۴۲۱۷۸

۵- عدم اطمینان یا درجه انحراف از اطلاعات ایجاد شده به ازای معیارهای زام (d_j) را محاسبه می‌کنیم:

$$d_j = 1 - E_j \quad (4)$$

جدول ۸: محاسبه d_j

	معیار اجرایی	معیار اقتصادی	معیار زیست محیطی
d _j	۰/۱۵۶۰۴۲	۰/۱۵۶۱۷۹	۰/۱۵۷۸۲۲

۶- برای اوزان w_j از شاخص‌های موجود خواهیم داشت:

$$W_1 = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} = \frac{0.156042}{0.47} = 0.3319$$

$$W_2 = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} = \frac{0.156179}{0.47} = 0.3323$$

$$W_3 = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} = \frac{0.157822}{0.47} = 0.3358$$

۷- مناسبترین گزینه (A^*) به صورت زیر به دست می‌آید: [۱ و ۳]

$$A^* = \{A_i | \max \sum w_j . r_{ij}\}$$

جدول ۹: رتبه بندی گزینه‌ها بر اساس روش SAW

گزینه	امتیاز گزینه در روش SAW	رتبه
LSF	۰/۹۱۴	۲
ICF	۰/۸۱۷	۴
3D-PANEL	۰/۸۲۳	۳
PRCS	۰/۹۳۹	۱

۶- روش تاپسیس (TOPSIS)

۱- محاسبه ماتریس تصمیم نرمالیزه شده

ابتدا ماتریس مقایسه گزینه‌ها از لحاظ معیارهای اصلی را با روش نرم اقلیدسی، بی مقیاس می‌کنیم. در این روش، هر عنصر ماتریس را بر مجموع مجذور مربعات عناصر هر ستون (نرم ستون زام (به ازای شاخص X_i)) تقسیم می‌کنیم:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n r_{ij}^2}} \quad (5)$$

$$N_D = \begin{bmatrix} 0.497 & 0.483 & 0.589 \\ 0.459 & 0.485 & 0.451 \\ 0.477 & 0.462 & 0.467 \\ 0.558 & 0.564 & 0.481 \end{bmatrix}$$

۲- ماتریس بی مقیاس موزون (V) را ایجاد می‌کنیم:

$$V = N_D \cdot W_{n \times n} = \begin{bmatrix} 0.1654 & 0.207 & 0.141 \\ 0.1514 & 0.208 & 0.108 \\ 0.158 & 0.1989 & 0.112 \\ 0.184 & 0.2426 & 0.115 \end{bmatrix}$$

۳- راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی را محاسبه می‌کنیم:

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij}) = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^-, \dots, v_n^+\}\} \quad (6)$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij}) = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}\}$$

$$A^+ = \{0.184, 0.2426, 0.141\}$$

$$A^- = \{0.1514, 0.1989, 0.108\}$$

۴- اندازه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی به ازای راه حل ایده آل مثبت و منفی را محاسبه می‌کنیم:
فاصله گزینه i ام با ایده آل‌ها با استفاده از روش اقلیدسی بدین قرار است:

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{0.5}; i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_{i-} = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{0.5}; i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_{i+} = \begin{bmatrix} 0.0403 \\ 0.0579 \\ 0.0588 \\ 0.0258 \end{bmatrix}$$

$$d_{i-} = \begin{bmatrix} 0.0365 \\ 0.0094 \\ 0.00761 \\ 0.0552 \end{bmatrix}$$

۵- نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل را محاسبه می‌کنیم:

جدول ۱۰: محاسبه نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده آل

گزینه‌ها	d_{i+}	d_{i-}	$C_i = \frac{d_{i-}}{(d_{i+} + d_{i-})}$
LSF	۰/۰۴۰۳	۰/۰۳۶۵	۰/۴۷۵
ICF	۰/۰۵۷۹	۰/۰۰۹۴	۰/۱۴
3D-panel	۰/۰۵۸۸	۰/۰۰۷۶۱	۰/۱۱۴
PRCS	۰/۰۲۵۸	۰/۰۵۵۲	۰/۶۸۲

۶- رتبه بندی گزینه‌ها بر حسب ترتیب انحرافات به دست آمده

جدول ۱۱: رتبه بندی گزینه‌ها بر اساس روش Topsis

گزینه	C_i	رتبه
LSF	۰/۴۷۵	۲
ICF	۰/۱۴	۳
3D-PANEL	۰/۱۱۴	۴
PRCS	۰/۶۸۲	۱

[۱ و ۳]

۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس فنون تلفیقی

در دنیای واقعی، تصمیم گیرندگان، خود را محدود به یک روش تصمیم گیری نمی‌کنند و امکان دارد با استفاده از روش‌های مختلف، به نتایج مختلفی دست پیدا کنند. در این شرایط، فونونی برای تلفیق رتبه تکنیک‌ها پیشنهاد شده است که عبارتند از: روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا^۱ و روش کپ لند^۲.

جدول ۱۲: رتبه‌بندی سیستم‌ها بر اساس روش های تلفیق رتبه بندی

سیستم	روش میانگین رتبه‌ها	روش بردا	روش کپ لند
LSF	۲	۲	۲
ICF	۴	۴	۴
3D-PANEL	۳	۳	۳
PRCS	۱	۱	۱

۸- محاسبه نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی

نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی معیارهای اصلی و مقایسات زوجی گزینه‌ها از لحاظ زیرمعیارها محاسبه شده است که تمامی مقایسات زوجی از لحاظ نرخ ناسازگاری، تایید شدند. این محاسبات، اعتبار و پایایی مقایسات زوجی این تحقیق را اثبات می‌کند.

جدول ۱۳: محاسبه نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی

ضریب ناسازگاری	مقایسه زوجی
۰,۰۲۱	مقایسه معیارهای اصلی
۰,۰۰۱۱۴۳	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ وجود آیین نامه های اجرایی
۰,۰۰۱۹۲	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ قابلیت انطباق با طراحی مدولار
۰,۰۰۱۰۳۹	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ امکان تنوع در طرح معماری
۰,۰۰۵۱۴۴	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ کم بودن مراحل اجرایی
۰,۰۰۲۸۹۲	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ صلبیت سقف
۰,۰۰۲۲۳۷	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ عدم وابستگی به کاربرد ماشین آلات سنگین
۰,۰۰۴۲۲۹۸	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ وضعیت سیستم از لحاظ عایق حرارتی
۰,۰۰۳۲۶۴	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ وضعیت سیستم از لحاظ عایق صوتی
۰,۰۳۷۱۴۵	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ عدم محدودیت های فصلی در روش اجرایی
۰,۰۰۷۳۶۶	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ قابلیت پیش ساختگی
۰,۰۸۸۴۳۶	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ عدم نیاز به نیروی کاری ماهر
۰,۰۰۰۲۲	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ سازگاری با المان های غیر سازه ای (تاسیسات)
۰,۰۳۰۹۲	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ ایمنی در برابر حریق
۰,۰۰۳۰۲۳	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ سهولت کنترل کیفی
۰,۰۰۴۳۲۶۶	مقایسه گزینه‌ها از لحاظ دوام و پایایی مصالح و عناصر

1- Borda Method

2- Copeland Method

مقایسه زوجی	ضریب ناسازگاری
مقایسه گزینه ها از لحاظ قابلیت ایجاد تغییرات بعدی	۰,۰۴۹۱۴۸
مقایسه گزینه ها از لحاظ هزینه ساخت	۰,۰۷۹۹۵
مقایسه گزینه ها از لحاظ زمان ساخت	۰,۰۰۰۶۴
مقایسه گزینه ها از لحاظ سهولت تامین مصالح در داخل کشور	۰,۰۰۸۶۲۳
مقایسه گزینه ها از لحاظ هزینه های نگهداری	۰,۰۱۸۴۹۲
مقایسه گزینه ها از لحاظ سرعت بازگشت سرمایه	۰,۰۸۹۳۸
مقایسه گزینه ها از لحاظ قابلیت بازیافت مصالح	۰,۰۰۰۳۸۵
مقایسه گزینه ها از لحاظ مصرف انرژی در طراحی ، ساخت و بهره برداری	۰,۰۸۵۱۸۶
مقایسه گزینه ها از لحاظ عدم تولید آلودگی زیست محیطی	۰,۰۰۳۵۸۸
مقایسه گزینه ها از لحاظ انطباق با شرایط اقلیمی	۰,۰۶۵۸۳۸
مقایسه گزینه ها از لحاظ تاثیر بر روی بازار کار	۰,۰۴۲۷۵۱
مقایسه گزینه ها از لحاظ عدم ایجاد مزاحمت ترافیکی در حین ساخت	۰,۰۰۳۰۵۸
مقایسه گزینه ها از لحاظ تامین سلامتی و ایمنی کارگران	۰,۰۰۴۰۴۳
مقایسه گزینه ها از لحاظ تامین زیبایی بصری	۰,۰۵۲۸۲۳
مقایسه گزینه ها از لحاظ سازگاری با فرهنگ ایرانی اسلامی	۰,۰۱۴۸۵۹

۹- محاسبه مجموع مربعات خطا

برای این که بتوان نزدیک ترین روش به نتیجه نهایی را به دست آورد، از روش مجموع مربعات خطا استفاده می‌کنیم.

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (9)$$

y_i ، رتبه نهایی به دست آمده و $f(x_i)$ ، رتبه به دست آمده توسط هر روش تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌باشد. نتایج به دست آمده مطابق جدول زیر می‌باشد. روشی که دارای مجموع کمتری باشد، خطای کمتری نسبت به رتبه بندی نهایی دارد. [۷]

جدول ۱۴: محاسبه مجموع مربعات خطا

روش تصمیم‌گیری چند معیاره	RSS
AHP	۰
SAW	۰
TOPSIS	۱,۴۱

۱۰- نتیجه‌گیری

۱- استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب سیستم بهینه ساختمانی، منجر به نتایج نسبتاً مشابهی در رتبه بندی سیستم‌های ساختمانی می‌شود؛ چنان که بر اساس هر سه روش AHP، SAW و TOPSIS، سیستم ساختمانی پیش ساخته بتنی (PRCS) و سیستم قاب سبک فولادی (LSF) به ترتیب در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفتند.

۲- بر اساس هر سه روش تلفیقی (روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا، روش کپ لند)، رتبه‌بندی سیستم‌های ساختمانی، کاملاً یکسان به دست آمد و سیستم‌های پیش ساخته بتنی (PRCS)، قاب سبک فولادی (LSF)، تری دی پانل (3D-PANEL) و قالب عایق ماندگار

- (ICF) به ترتیب در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفتند. با توجه به یکسان بودن نتایج حاصل از روش‌های تلفیقی، می‌توان این رتبه بندی را به عنوان رتبه‌بندی نهایی سیستم‌های نوین ساختمانی مورد بحث در این تحقیق، پذیرفت.
- ۳- بر طبق محاسبات مجموع مربعات خطا، نتایج دو روش AHP و SAW با نتایج روش‌های تلفیقی یکسان بودند، ولی روش TOPSIS نسبت به روش‌های تلفیقی، دارای درصدی خطا می‌باشد؛ بنابراین در این تحقیق، روش‌های AHP و SAW بهتر از روش TOPSIS عمل کرده و نتایج قابل قبول‌تری ارائه داده‌اند.
- ۴- با توجه به اینکه بهترین گزینه از نظر معیار اجرایی، سیستم ساختمانی پیش ساخته بتنی (PRCS) به دست آمد، پیشنهاد می‌شود در پروژه‌هایی که با محدودیت‌های اجرایی مواجه بوده و نیازمند ملاحظات خاص اجرایی هستند، پیمانکاران از سیستم ساختمانی پیش ساخته بتنی (PRCS) استفاده نمایند.
- ۵- با توجه به اینکه بهترین گزینه از نظر معیار اقتصادی، سیستم ساختمانی پیش ساخته بتنی (PRCS) به دست آمد، پیشنهاد می‌شود در پروژه‌هایی که با محدودیت‌های منابع مالی برای اجرا و بهره‌برداری مواجه هستند، پیمانکاران از سیستم ساختمانی پیش ساخته بتنی (PRCS) استفاده نمایند.
- ۶- با توجه به اینکه بهترین گزینه از نظر معیار زیست محیطی، سیستم ساختمانی قاب سبک فولادی (LSF) به دست آمد، پیشنهاد می‌شود در مناطقی که از لحاظ زیست محیطی حساس و آسیب پذیر هستند، پیمانکاران از سیستم ساختمانی قاب سبک فولادی (LSF) به منظور اجرای پروژه‌های انبوه سازی استفاده نمایند.
- ۷- روش بهینه ارائه شده در این تحقیق برای اجرای پروژه‌های ساختمانی به روش صنعتی سازی، سیستم پیش ساخته بتنی (PRCS) می‌باشد که نه تنها امکان تولید صنعتی آن وجود دارد، بلکه از مزایایی همچون انعطاف پذیری از لحاظ معماری، سازگاری با تاسیسات، سرعت بالای نصب قطعات، بازگشت سریع سرمایه، صرفه جویی در مصرف انرژی، عملکرد مناسب از لحاظ عایق صوتی و حرارتی و ... برخوردار می‌باشد و از این رو، می‌تواند به عنوان روش مناسب برای اجرای ساختمان و تولید مسکن به روش صنعتی، مورد استفاده قرار گیرد.
- ۸- روش‌های تصمیم گیری چند معیاره با توجه به خصوصیات ویژه آن‌ها، می‌توانند در بررسی موضوعات مربوط به انتخاب سیستم بهینه، کاربرد مطلوبی داشته باشند. روش‌های تصمیم گیری چند معیاره از این نظر مفید هستند که زمینه را برای تبدیل مسائل پیچیده به مسائل ساده‌تر فراهم می‌آورند که در چارچوب آن، برنامه ریز بتواند ارزیابی گزینه‌ها را با کمک معیارها و زیر معیارها انجام دهد. با توجه به این که در مسائل مربوط به انتخاب سیستم ساختمانی بهینه، تعداد معیارها زیاد می‌باشد و احتیاج به اتخاذ تصمیم بر اساس چند معیار است، استفاده از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره می‌تواند کمک شایانی در انتخاب بهترین راه حل ممکن کند.

۱۱- مراجع

- [۱] آذر، عادل، رجب زاده، علی، تصمیم گیری کاربردی با رویکرد MADM، چاپ پنجم، نگاه دانش، ۱۳۹۱
- [۲] گلابچی، محمود، مظاهریان، حامد، فناوری‌های نوین ساختمانی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۱۳۸۹
- [۳] اصغرپور، محمد جواد، تصمیم گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم، ۱۳۸۷
- [۴] بلالی، وحید، حسینی، عبدا..، زهرائی، بنفشه، روزبھانی، عباس، انتخاب سیستم ساختمانی مناسب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP گروهی، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۰
- [۵] حسامی، سعید، اکبری کفاش، احسان، طاهری امیری، محمد جواد، انتخاب سیستم سازه ای مناسب از میان سیستم‌های نوین و سنتی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP، دومین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۳۹۱
- [۶] خاکی، غلامرضا، روش تحقیق با رویکردی بر پایان نامه نویسی، تهران، انتشارات بازتاب، ۱۳۸۶
- [۷] نوجوان، مهدی، محمدی، علی اصغر، صالحی، اسماعیل، کاربرد روش‌های تصمیم گیری چند معیاره در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای با تاکید بر روش‌های SAW MADM و TOPSIS، نشریه مدیریت شهری، شماره ۲۸، ۱۳۹۰
- [8] Ebgü, Charles, Abdullah, Mohd Rofdzi, Selection criteria framework for choosing industrialized building systems for housing projects, 26th Annual ARCOM Conference, 2010
- [9] Zabihi, Hosein, Habib, Farah, Mirsaedi, Leila, Sustainability Assessment Criteria For Building Systems in Iran, Middle -East Journal of Scientific Research 13, 2013