

## Choose the Optimal Method of Building Construction Using Multi-Criteria Decision Shannon Entropy and Fuzzy and Gray VIKOR

M. Shahraki<sup>1\*</sup>, M. Pajmorde<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2- Master student, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

### ABSTRACT

Housing is one of the major needs. The use of new and new technologies to increase the speed of construction, improve quality, increase earthquake resistance, increase the useful life of buildings is more than ever before. In this paper, four building methods Including LSF, LCF, 3D-PANEL and PRCS, 12 criteria for timely delivery of credit, ease of implementation, need for expert workforce, availability of consumable materials, control and supervision in the process of implementation, useful life, cost, quality Maintenance, energy saving, reducing dead load, increasing floors, compliance with regulations that, from the point of view of contractors, employers, And project consultants. These criteria have been selected using the Delphi method from among the selected criteria, and the fuzzy and gray vikor method has been used to rank building methods, to collect information from seven companies The contractor, two consulting companies and a number of professors have been used to obtain information. Regarding the ranking differences of the methods of construction in both fuzzy and gray vikor methods, for the final ranking of the ranking method, which includes the mean rating method, the Breda method and the Copland method, was used. For the results obtained The best way to build PRCS is through the LSF and 3D-PANEL methods, and finally the ICF method.

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 03 July 2019

**Revise Date:** 14 August 2019

**Accept Date:** 18 September 2019

### Keywords:

Optimal construction system;  
Multi-criteria decision making;  
Fuzzy VIKOR;  
Gray VIKOR;  
Compilation rating

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.192558.1893

\*Corresponding author: M. Pajmorde

Email address: m.reza.shahraki@gmail.com

## انتخاب روش ساخت ساختمانی بهینه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره

### آنترופی شانون و ویکور فازی و خاکستری

محمد رضا شهرکی<sup>۱\*</sup>، مسعود پژمرده<sup>۲</sup>

۱- استادیار، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

#### چکیده

مسکن از نیازهای مهم بوده، استفاده از فناوری‌های نوین و جدید به منظور افزایش سرعت ساخت، ارتقاء کیفیت، افزایش مقاومت در برابر زلزله، افزایش عمر مفید ساختمان‌ها، بیش از پیش مطرح است. در این مقاله به بررسی چهار روش ساخت ساختمان که شامل *LSF*، *3D-PANEL* و *PRCS* بر اساس دوازده معیار تامین به موقع اعتبار، سهولت اجرا، نیازمند بودن به نیروی کار متخصص، در دسترس بودن مصالح مصرفی، کنترل و نظارت در روند اجرا، عمر مفید، هزینه، کیفیت تعمیر و نگهداری، صرفه جویی در مصرف انرژی، کاهش بار مرده، افزایش طبقات، انطباق پذیری با آیین نامه‌ها که از دیدگاه پیمانکاران، کارفرماها، و مشاوران پروژه پرداخته شده است. این معیارها با استفاده از روش دلفی از بین سی معیار مشخص شده انتخاب شده است و روش ویکور فازی و خاکستری برای رتبه بندی روش‌های ساخت ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است، برای جمع آوری اطلاعات از هفت شرکت پیمانکاری، دو شرکت مشاور و تعدادی از استادان برای بدست آوردن اطلاعات استفاده شده است. با توجه به تفاوت‌های رتبه بندی روش‌های ساخت در دو روش ویکور فازی و خاکستری، برای رتبه بندی نهایی از روش تلفیق رتبه بندی که شامل روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا و روش کپ لند استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده بهترین روش ساخت *PRCS* است و بعد از آن روش‌های *LSF* و *D-PANEL* و در آخر روش *ICF* است.

کلمات کلیدی: سیستم ساخت ساختمانی بهینه، تصمیم‌گیری چند معیاره، ویکور فازی، ویکور خاکستری، رتبه بندی تلفیقی

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2019.192558.1893
۱۲ تیر ۱۳۹۸	۲۳ مرداد ۱۳۹۸	۲۷ شهریور ۱۳۹۸			doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.192558.1893
*نویسنده مسئول:		محمد رضا شهرکی			
پست الکترونیکی:		m.reza.shahraki@gmail.com			

## ۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم در کشورها، ساخت مسکن می‌باشد. احداث مسکن مناسب می‌تواند باعث حل قسمتی از مشکلات جامعه نظیر کاهش قیمت مسکن و کاهش اجاره بها شود [۱]. افزایش تقاضای مسکن به دلیل افزایش جمعیت، منجر به انتخاب روش ساخت صنعتی شده است [۲]. انتخاب صحیح روش ساخت صنعتی مسکن، همواره یکی از دغدغه‌های کارفرمایان می‌باشد [۴]. انتخاب روش ساخت براساس معیارهای مختلف یک تصمیم‌گیری چند معیاره محسوب می‌شود. از طرفی امروزه تصمیم‌گیری‌های اقتصادی بسیار پیچیده و بزرگ‌مقیاس شده‌اند و تقاضا و احتیاجات بازار متنوع و دستخوش تغییرات زیادی شده است. با توجه به این شرایط استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت می‌تواند کمک بسزایی به شرکت‌ها و پیمانکاران پروژه برای انتخاب بهترین روش برای ساخت ساختمان ارائه دهد.

اعداد فازی نوعی خاص از مجموعه‌های فازی هستند. در منطق کلاسیک هر عدد یک مقدار قطعی و مشخص است اما در منطق فازی هر عدد مقداری تقریبی است. عدد فازی یک مجموعه فازی با شرایط نرمال بودن و محدب بودن است [۱۵] بر خلاف اعداد فازی که تابع عضویت برای آنها تعریف می‌شود و احتمال حد‌های آن یکسان نیست، در حالت خاکستری اعداد به صورت بازه ای در نظر گرفته می‌شود که احتمال رخ دادن اعداد داخل بازه برای همه ی آن اعداد یکسان است [۱۷].

در این مقاله چهار سیستم نوین ساخت ساختمان شامل سیستم قاب سبک فولادی سرد نورد شده (LSF)<sup>۱</sup>، سیستم قالب عایق ماندگار (ICF)<sup>۲</sup>، سیستم پانل‌های ۳ بعدی (3D-PANEL)<sup>۳</sup> و سیستم پیش‌ساخته بتنی (PRCS)<sup>۴</sup> را به منظور ارزیابی میزان اهمیت و ارجحیت این گزینه‌ها در بهینه‌سازی ساخت ساختمان‌ها مورد بررسی قرار داده، سپس با استفاده از روش ویکور تحت شرایط فازی و خاکستری سیستم ساخت بهینه انتخاب می‌شود. در ادامه در بخش دوم، ادبیات و پیشینه تحقیق و در بخش سوم روش تحقیق ذکر شده است. بخش چهارم به تجزیه و تحلیل نتایج تحقیق با داده‌های عددی پرداخته شده است.

## ۲- ادبیات و پیشینه تحقیق

روش‌های ساخت ساختمان طی سال‌های اخیر پیشرفت زیادی داشته است.

سیستم قاب سبک فلزی (LSF) سریع‌ترین روش در صنعت ساختمان است که بر مبنای استانداردهای کانادا و استرالیا می‌باشد [۱۰]. سازه‌های قاب سبک فلزی به صورت پانل تولیدشده و اجزای هر پانل شامل: اعضای قائم باربر، اعضای همبند قاب، اعضای خمش سقف، اعضای باربر جانبی می‌باشد. هر دیوار از تعدادی اجزای عمومی C شکل (استاد) به فواصل ۴۰ تا ۶۰ سانتیمتر، که در بالا و پایین به اجزای افقی ناودانی U یا C شکل متصل شده‌اند، تشکیل می‌شود. در صورتی که از مقاطع C شکل به عنوان تراک (رانر) استفاده شود، لازم است برش‌هایی در محل نصب انجام گیرد [۱۰]. روش‌های اجرای سیستم قاب سبک فلزی به صورت زیر می‌باشد:

مونتاژ در محل اجرا، سیستم برافراشتن، سیستم جعبه‌ای می‌باشد.

سیستم قالب‌های عایق ماندگار (ICF) شامل قالب‌های دائمی است که برای بتن‌ریزی و ساخت دیوارهای بتن مسلح استفاده شده و پس از بتن‌ریزی، جزئی از دیوار محسوب می‌شوند. عمده قالب‌ها در این سیستم از جنس پلی‌استایرن منبسط شده است که نقش عایق حرارتی ایفا می‌کند [۱۰].

سیستم پانل سه بعدی (3D-PANEL)، صفحات متشکل از پانل عایق حرارتی (پلی‌استایرن منبسط یا پلی‌اورتان)، همراه با دو شبکه فلزی در طرفین عایق، که به وسیله‌ی مفتول‌های فولادی مورب به یکدیگر متصل شده‌اند، یک شبکه فلزی سه‌بعدی را تشکیل می‌دهد. سیستم ساختمانی از پانل‌های دیواری و سقفی تشکیل می‌شود. پانل‌های دیواری، علاوه بر عملکرد جداکننده، نقش سازه‌های نیز

<sup>1</sup> Lightweight steel frames

<sup>2</sup> Insulating concrete formwork

<sup>3</sup> 3D sandwich panels

<sup>4</sup> Prefabricated reinforced concrete systems

دارند، و باید قادر به تحمل بارهای ثقلی و اثر بارهای جانبی نیز باشند. به عبارت دیگر، هیچ گونه عضو باربر خطی مانند ستون در این سیستم سازه‌های وجود ندارد، و باربری توسط عناصر صفحه‌ای انجام می‌شود [۱۸].

پانل‌های پیش‌ساخته (PRCS) سبک شامل دو صفحه شبکه جوش شده فولادی می‌باشند که یک‌لایه عایق پلی استایرن در میان آن قرار گرفته و توسط تعدادی اعضای خرپایی به یکدیگر متصل شده‌اند. این پانل‌ها به عنوان المان دیوار و سقف ساختمان بکار می‌روند. پانل‌های دیوار علاوه بر اینکه جداکننده فضاهای معماری هستند، نقش دیوار باربر قائم و دیوار برشی در برابر بارهای جانبی را هم ایفا می‌کنند. لایه پلی استایرن نقش قالب برای بتن پاشی و همچنین عایق حرارتی و صوتی را ایفا می‌کند [۱۰].

حسینی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی انتخاب سیستم ساختمانی بهینه با استفاده از روش AHP پرداختند. عبدالعلی رحمانی (۱۳۹۰) به بررسی مزایا و معایب سازه‌های قالب فولادی سبک (LSF) پرداختند. ذوالفقاریان و همکاران (۱۳۹۴) مقاله‌ای با عنوان سیستم ساختمانی 3D-PANEL: راهکاری جهت تولید صنعتی و پایدار سازه‌های نوین ارائه کردند. رضاییان و حسینی (۱۳۹۳) تحقیقی با عنوان انتخاب سیستم ساختمانی بهینه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با تأکید بر سه روش AHP, SAW, TOPSIS ارائه کردند. ذوالفقاریان و نعیمی (۱۳۹۴) به بررسی سیستم ساختمانی 3D پانل؛ راهکاری جهت تولید صنعتی و پایدار سازه‌های نوین پرداختند. پور صباغ و مناجاتی (۱۳۹۵) به بررسی انتخاب سیستم بهینه ساختمانی به روش ارزیابی چند معیاره با تأکید بر معیارهای مؤثر در پایداری پرداختند. عباسی و ملکی (۱۳۹۵) مقاله‌ی ارزیابی و انتخاب اجرای سیستم ساختمانی بهینه صنعتی، با استفاده از تکنیک TOPSIS ارائه کردند. باران دوست و ملکی (۱۳۹۵) مقاله‌ی ارزیابی و انتخاب اجرای سیستم ساختمانی بهینه از بین شیوه‌های نوین صنعتی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره saw ارائه کردند. کلانتری و سبزی (۱۳۹۷) به بررسی مقایسه فناوری‌های نوین ساختمانی و انتخاب گزینه بهتر بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی ارائه پرداختند.

با توجه به گزینه‌های زیاد و فرآیند سخت تصمیم‌گیری در ساخت ساختمان به علت وجود معیارهای زیاد، از روش‌های تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت و فازی و خاکستری استفاده می‌شود. روش ویکور فازی یکی از روش‌های مناسب برای تصمیم‌گیری و بررسی این روش‌ها می‌باشد [۱۴]. در این مقاله چهار روش ساخت ساختمانی LCF, LSF, 3D-PANEL و PRCS بر اساس معیارهای مختلف توسط روش ویکور در دو حالت فازی و خاکستری بررسی کرده و نتایج را با هم مقایسه کرده و روش ساخت مناسب انتخاب گردد.

### ۳- روش تحقیق

در ابتدا برای مشخص کردن روش‌های ساخت ساختمان با بررسی تحقیقات مرتبط با حوزه ساخت ساختمان چهار روش LSF و PRCS و 3D-PANEL و ICF انتخاب شدند [۱۰]. با توجه به نظر خبرگان، مشاوران و کارفرمایان پروژه از بین ۳۰ معیار ۱۲ معیار به روش دلفی انتخاب شد و با توجه به معیارهای انتخابی و گزینه‌ها، پرسشنامه‌ای طراحی و در اختیار متخصصان قرار داده شد و با تجزیه و تحلیل اطلاعات بدست آمده با روش ویکور در دو حالت خاکستری و فازی نتایج رتبه‌بندی و با هم مقایسه شد. از مدل‌های فازی و خاکستری می‌توان برای تحلیل شرایط عدم قطعیت استفاده کرد چرا که این مدل‌ها می‌توانند به صورت انعطاف‌پذیر، پاسخگوی شرایط باشند [۱].



شکل ۱: روش تحقیق

## ۳-۱- آنترپوی شانون

در این مرحله وزن معیارها محاسبه می شود. که از روش آنترپوی شانون استفاده شده است [۱]. در این روش ابتدا ماتریس تصمیم را تشکیل داده می شود. سپس ماتریس نرمال می شود. هر درایه نرمال شده را  $P_{ij}$  نامیده می شود. برای محاسبه ماتریس نرمال درایه هر ستون را بر مجموع ستون تقسیم می شود.

$$P_{ij} = \text{مقدار نرمال شده برای گزینه } i \text{ ام و معیار } j \text{ ام را نشان می دهد}$$

سپس محاسبه آنترپوی هر گزینه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می گردد

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad (1)$$

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (2)$$

M برابر تعداد گزینه ها می باشد و  $E_j$  مقدار آنترپوی برای معیار  $j$  ام می باشد.

در ادامه مقدار درجه انحراف ( $d_j$ ) محاسبه می شود. چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم گیری در اختیار تصمیم گیرنده قرار داده شده است. هر چه مقادیر اندازه گیری شده شاخص به هم نزدیک باشند، نشان دهنده آن است که گزینه های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.

$$d_j = 1 - E_j \quad (3)$$

مقدار وزن  $W_j$  هر شاخص با توجه به رابطه (۴) محاسبه می گردد، که  $W_j$  بیانگر وزن معیار  $j$  ام می باشد.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum d_j} \quad (4)$$

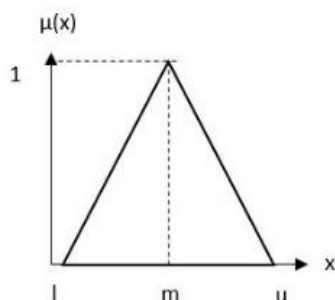
## ۳-۲- روش ویکور فازی

اعداد فازی نوعی خاص از مجموعه های فازی هستند. بنابراین با درک مفهوم مجموعه فازی می توان اعداد فازی را بسادگی فرا گرفت. در منطق کلاسیک هر عدد یک مقدار قطعی و مشخص است اما در منطق فازی هر عدد مقداری تقریبی است. عدد فازی یک مجموعه فازی با شرایط نرمال بودن و محدب بودن است.

در این مقاله از عدد فازی مثلثی [۱۵] که یک عدد فازی است که با سه عدد حقیقی به صورت  $F=(l,m,u)$  نمایش داده می شود. کران بالا که با  $u$  نشان داده می شود بیشینه مقادیری است که عدد فازی  $F$  می تواند اختیار کند. کران پایین که با  $l$  نشان داده می شود کمینه مقادیری است که عدد فازی  $F$  می تواند اختیار کند. مقدار  $m$  محتمل ترین مقدار یک عدد فازی است. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به صورت زیر است: [۱۷]

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l < x < m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m < x < u \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

عدد فازی مثلثی  $F=(l,m,u)$  در فضای هندسی به صورت زیر نمایش داده می شود.



شکل ۲: یک نمونه عدد فازی مثلثی

با توجه به تابع عضویت اعداد فازی مثلثی مشخص است اگر  $x$  بین  $l$  و  $m$  باشد، آنگاه  $x$  هر چه بزرگتر باشد درجه عضویت آن نیز بزرگتر خواهد شد، تا جاییکه برای  $x=m$  درجه عضویت برابر یک می شود. اگر  $x$  بین  $m$  و  $u$  باشد و بزرگتر باشد، درجه عضویت کوچکتر خواهد شد و در  $x=u$  درجه عضویت صفر خواهد شد.

برای بررسی سیستم‌های ساخت از روش ویکور می توان استفاده کرد. روش ویکور مسائل با معیارهای مختلف را مورد ارزیابی قرار می دهد. در شرایطی که فرد تصمیم گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های مسئله در زمان شروع و طراحی مسئله نباشد، این روش یک روش مؤثر برای تصمیم گیری است [۷]. روش ویکور یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره می باشد که برای حل مسائلی با معیارهای چندگانه استفاده می شود. این روش روی دسته بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه‌ها تمرکز داشته و جواب‌های سازشی را برای یک مسئله با معیارهای متضاد تعیین می کند، بطوریکه قادر است تصمیم گیرنده<sup>۵</sup> ها را برای دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. مراحل روش ویکور فازی به صورت زیر است [۱۴].

### مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم فازی

در این مرحله ماتریس تصمیم گیری براساس معیارها و گزینه ها تشکیل می شود. در این ماتریس  $\tilde{X}_{ij}$  بیانگر مقدار فازی<sup>۶</sup> برای گزینه  $i$  نام در معیار  $j$  نام می باشد.  $i$ ، بیانگر تعداد گزینه ها می باشد و  $j$ ، بیانگر تعداد معیار ها می باشد.

$$A = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{X}_{m1} & \dots & \tilde{X}_{mn} \end{bmatrix}$$

### مرحله دوم: بدست آوردن وزن معیار ها از روش انترپوی شانون

برای بدست آوردن وزن معیار، روش های متفاوتی وجود دارد، که می توان به روش های WASPAS و AHP و SAW و انترپوی اشاره کرد. روش انترپوی شانون با محاسبه میزان انترپوی یا اشفستگی هر معیار با توجه به گزینه ها وزنی برای آن اختصاص می دهد. این روش ی روش مرسوم در بدست آوردن وزن معیار است زمانی که اطلاعات درستی از میزان اهمیت معیار ها نسبت به هم نداریم.

### مرحله سوم: مشخص کردن ایده آل مثبت و منفی

<sup>5</sup> Decision maker

<sup>۶</sup> این اعداد به صورت  $(l,m,u)$

از آن جایی که ماتریس تصمیم در حالت فازی است، به منظور به دست آوردن ایده آل مثبت و منفی از روابط (۶) و (۷) استفاده می شود.

$$\tilde{F}^* = \text{MAX}_j \tilde{f}_{ij}, \tilde{F}^- = \text{MIN}_j \tilde{f}_{ij} \quad (6)$$

$$\tilde{F}^{*-} = \text{MIN}_j \tilde{f}_{ij}, \tilde{F}^{-*} = \text{MAX}_j \tilde{f}_{ij} \quad (7)$$

### مرحله چهارم: محاسبه مقادیر $R^A$ و $S^V$

برای محاسبه مقایر  $S$  و  $R$ ، که  $S$  بیانگر فاصله نسبی گزینه  $i$  ام از ایده آل مثبت از رابطه (۸) و  $R$  بیانگر حداکثر تاسف گزینه  $i$  ام از رابطه (۹) استفاده می گردد.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \left( \frac{\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_{ij}}{\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-} \right) \quad (8)$$

$$\tilde{R}_j = \text{Max}_j \left[ \tilde{w}_j \left( \frac{\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_{ij}}{\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-} \right) \right] \quad (9)$$

### مرحله پنجم: محاسبه مقدار $Q$

در این مرحله شاخص ویکور ( $Q$ ) به کمک رابطه (۱۰) محاسبه می گردد.

$$\tilde{Q}_i = v \left( \frac{\tilde{S}_i - \tilde{S}^-}{\tilde{S}^* - \tilde{S}^-} \right) + (1-v) \left( \frac{\tilde{R}_i - \tilde{R}^-}{\tilde{R}^* - \tilde{R}^-} \right) \quad (10)$$

$$\tilde{S}^* = \text{Max}_i \tilde{S}_i, \tilde{S}^- = \text{Min}_i \tilde{S}_i$$

$$\tilde{R}^* = \text{Max}_i \tilde{R}_i, \tilde{R}^- = \text{Min}_i \tilde{R}_i$$

متغیر  $V$  حداکثر مطلوبیت گروهی<sup>۹</sup> است، این مقدار عددی بین ۰ تا ۱ می باشد. که بیانگر میزان همبستگی داده ها می باشد. رابطه  $\frac{\tilde{S}_i - \tilde{S}^-}{\tilde{S}^* - \tilde{S}^-}$  بیان کننده فاصله از ایده آل و رابطه  $\frac{\tilde{R}_i - \tilde{R}^-}{\tilde{R}^* - \tilde{R}^-}$  بیان کننده فاصله از ضد ایده آل است.

برای فازی زدایی کردن مقادیر  $R$  و  $S$  و  $Q$  از رابطه (۱۱) استفاده می شود [۱].

$$\text{crisp}(N) = (l + 2m + u) / 4 \quad (11)$$

سپس گزینه ها بر اساس مقادیر فازی زدایی شده رتبه بندی گردد. کمترین مقادیر دی فازی شده برای هر سه شاخص  $S$  و  $R$  و  $Q$  رتبه اول را اختیار می کنند. در واقع رتبه بندی به گونه ای است که هر گزینه ای که مقدار کمتری را داشته باشد رتبه بهتری دارد. به شرط آنکه دو شرط زیر برقرار باشد:

<sup>7</sup> Utility measure

<sup>8</sup> Regret measure

<sup>9</sup> the maximum group utility

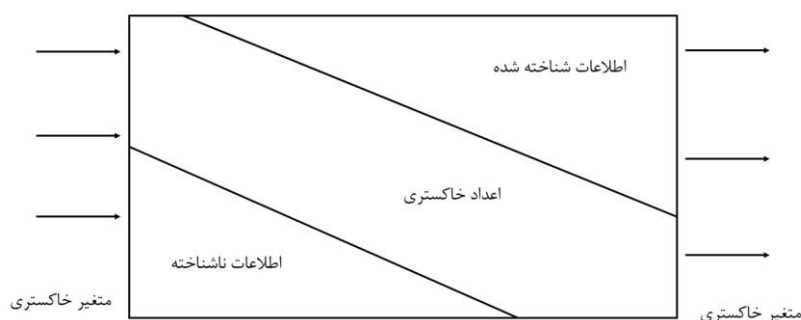
۱: اگر گزینه A1 و A2 در میان m گزینه رتبه اول و دوم را داشته باشند، باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1} \quad (12)$$

۲: گزینه A1 باید حداقل در یکی از گروه‌های R و S به عنوان رتبه برتر شناخته شود. اگر شرط نخست برقرار نباشد هر دو گزینه بهترین گزینه خواهند بود. اگر شرط دوم برقرار نباشد گزینه A1 و A2 هر دو به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شوند.

### ۳-۳- روش ویکور خاکستری

بر خلاف اعداد فازی که تابع عضویت برای آنها تعریف می‌شود و احتمال حد های آن یکسان نیست، در حالت خاکستری، اعداد به صورت بازه ای در نظر گرفته می‌شود که احتمال رخ دادن اعداد داخل بازه برای همه ی آن اعداد یکسان است [۱۷]. تئوری سیستم های خاکستری را نخستین بار دنگ در سال ۱۹۸۲ مطرح کرد و بعدها توسط پژوهشگران دیگر بسط داده شد. اساساً این منطق این گونه ساخت دهی می‌شود که اگر سیاه گویای اطلاعات کاملاً ناشناخته و سفید نشان دهنده اطلاعات کاملاً روشن و واضح باشد، خاکستری اطلاعاتی است که تا حدی نامعلوم است. سیستمی که حاوی اطلاعات خاکستری باشد را سیستم خاکستری می‌گویند. در شکل (۴) نمایی از مفهوم سیستم خاکستری مشاهده می‌شود [۱۳].



شکل ۴: سیستم خاکستری [۱۳].

مرحله روش ویکور خاکستری به شرح زیر است: [۱۶]

### مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم خاکستری

در این مرحله ماتریس تصمیم گیری براساس معیارها و گزینه ها تشکیل می‌شود. در این ماتریس  $f_{ij}^L, f_{ij}^U$  بیانگر مقدار خاکستری<sup>۱۰</sup> برای گزینه i در معیار j می‌باشد.

$$A = \begin{bmatrix} [f_{11}^L, f_{11}^U] & [f_{12}^L, f_{12}^U] & \dots & [f_{1n}^L, f_{1n}^U] \\ [f_{21}^L, f_{21}^U] & [f_{22}^L, f_{22}^U] & \dots & [f_{2n}^L, f_{2n}^U] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [f_{m1}^L, f_{m1}^U] & [f_{m2}^L, f_{m2}^U] & \dots & [f_{mn}^L, f_{mn}^U] \end{bmatrix}$$

<sup>10</sup> Grey number



$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

### مرحله دوم: تعیین وزن معیارها با روش آنتروپی خاکستری

برای محاسبه وزن معیارها ابتدا نرمال سازی ماتریس تصمیم از روابط (۱۳) و (۱۴) استفاده می شود. این روابط بیان می کنند که برای نرمال سازی کفایت حدهای پایین و بالا را بر مجموع حدهای بالا تقسیم کرد [۱۲].

$$p_{ij}^l = \frac{x_{ij}^l}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^u} \quad (13)$$

$$p_{ij}^u = \frac{x_{ij}^u}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^u} \quad (14)$$

$$j = 1, \dots, m$$

$$i = 1, \dots, n$$

سپس آنتروپی هر شاخص محاسبه می شود، در این گام با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) آنتروپی هر شاخص محاسبه می گردد. که  $h_0 = 1/(\ln(m))$  می باشد و  $m$  تعداد گزینه ها است.

$$h_i^l = \min\{-h_0 \sum_{j=1}^m p_{ij}^l \cdot \ln(p_{ij}^l), -h_0 \sum_{j=1}^m p_{ij}^u \cdot \ln(p_{ij}^u)\}, i = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$h_i^u = \max\{-h_0 \sum_{j=1}^m p_{ij}^l \cdot \ln(p_{ij}^l), -h_0 \sum_{j=1}^m p_{ij}^u \cdot \ln(p_{ij}^u)\}, i = 1, \dots, n \quad (16)$$

پس از آن با استفاده از رابطه (۱۷) درجه انحراف هر شاخص محاسبه می گردد.

$$d_i^l = 1 - h_i^u, d_i^u = 1 - h_i^l, i = 1, \dots, n \quad (17)$$

و در نهایت اوزان معیارها با استفاده از رابطه (۱۸) محاسبه می شود.

$$w_i^l = \frac{d_i^l}{\sum_{s=1}^n d_s^u}, w_i^u = \frac{d_i^u}{\sum_{s=1}^n d_s^l}, i = 1, \dots, n \quad (18)$$

## مرحله سوم: مشخص کردن ایده آل مثبت و منفی

از آن جایی که ماتریس تصمیم در حالت خاکستری است، به منظور به دست آوردن ایده آل مثبت و منفی از روابط (۱۹) و (۲۰) استفاده می شود.

$$F^+ = \left\{ \left( \max_i f_{ij}^U, j \in I \right) \text{ or } \left( \min_i f_{ij}^L, j \in J \right) \right\} \quad (19)$$

$$F^- = \left\{ \left( \min_i f_{ij}^L, j \in I \right) \text{ or } \left( \max_i f_{ij}^U, j \in J \right) \right\} \quad (20)$$

## مرحله چهارم: محاسبه مقادیر S و R

در این مرحله مقادیر S و R محاسبه می گردد، که S بیانگر فاصله نسبی گزینه i ام از ایده آل مثبت و R بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه i ام از دوری از ایده آل مثبت می باشد.

$$[S_i^L, S_i^U], [R_i^L, R_i^U]$$

$$S_i^L = \sum_{j \in I} w_j \left( \frac{f_j^+ - f_{ij}^U}{f_j^+ - f_j^-} \right) + \sum_{j \in J} w_j \left( \frac{f_{ij}^L - f_j^+}{f_j^- - f_j^+} \right) \quad (21)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$S_i^U = \sum_{j \in I} w_j \left( \frac{f_j^+ - f_{ij}^L}{f_j^+ - f_j^-} \right) + \sum_{j \in J} w_j \left( \frac{f_{ij}^U - f_j^+}{f_j^- - f_j^+} \right) \quad (22)$$

$$R_i^L = \max \left\{ w_j \left( \frac{f_j^+ - f_{ij}^U}{f_j^+ - f_j^-} \right) \middle| j \in I, w_j \left( \frac{f_{ij}^L - f_j^+}{f_j^- - f_j^+} \right) \middle| j \in J, \right\} \quad (23)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$R_i^U = \max \left\{ w_j \left( \frac{f_j^+ - f_{ij}^L}{f_j^+ - f_j^-} \right) \middle| j \in I, w_j \left( \frac{f_{ij}^U - f_j^+}{f_j^- - f_j^+} \right) \middle| j \in J, \right\} \quad (24)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$S^+ = \min_i S_i^L, S^- = \max_i S_i^U$$

$$R^+ = \min_i R_i^L, R^- = \max_i R_i^U$$

## مرحله پنجم: محاسبه مقدار Q

در این مرحله مقدار شاخص ویکور (Q) محاسبه می گردد این شاخص با استفاده از روابط (۲۵) و (۲۶) محاسبه می شود.

$$[Q_i^L, Q_i^U]$$

$$Q_i^L = v \frac{(S_i^L - S^+)}{(S^- - S^+)} + (1-v) \frac{(R_i^L - R^+)}{(R^- - R^+)} \quad (25)$$

$$Q_i^U = v \frac{(S_i^U - S^+)}{(S^- - S^+)} + (1-v) \frac{(R_i^U - R^+)}{(R^- - R^+)} \quad (26)$$

در آخر مقادیر Q بدست آمده از روابط (25) و (26) را با توجه به رابطه ی (27) به مقدار قطعی تبدیل می گردد .

برای تبدیل اعداد خاکستری به قطعی میانگین بازه مورد نظر را در نظر می گیریم.

$$[a, b] = (a + b)/2 \quad (27)$$

دو شرط زیر را برای رتبه بندی این گزینه ها بررسی می گردد.

۱: اگر گزینه A1 و A2 در میان m گزینه رتبه اول و دوم را داشته باشند، باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1} \quad (12)$$

۲: گزینه A1 باید حداقل در یکی از گروه های R و S به عنوان رتبه برتر شناخته شود. اگر شرط نخست برقرار نباشد هر دو گزینه بهترین گزینه خواهند بود. اگر شرط دوم برقرار نباشد گزینه A1 و A2 هر دو به عنوان گزینه برتر انتخاب می شوند .

### ۳-۴- روش های ادغامی رتبه بندی

چون از دو روش برای رتبه بندی روش های ساخت ساختمان استفاده شده است، لذا برای رسیدن به ی رتبه بندی واحد از روش های تلفیق رتبه بندی استفاده می شود.

این روش شامل سه روش زیر است [۲].

#### ۳-۴-۱- روش میانگین رتبه ها

در این روش رتبه گزینه ها را بر اساس هر روش تصمیم گیری چند معیاره محاسبه می کنیم سپس برای هر گزینه، میانگین حسابی رتبه های بدست آمده با استفاده از روشهای مختلف تصمیم گیری تعیین می شود و بر این اساس گزینه ها اولویت بندی می شوند بدیهی است که گزینه های با میانگین حسابی بالاتر در اولویت خواهند بود.

#### ۳-۴-۲- روش بردا

در این روش برای تصمیم گیری، ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه ها ایجاد می شود. در صورتی که بر اساس روشهای مختلف تصمیم گیری چند معیاره، تعداد ارجحیت گزینه ای بر گزینه دیگر بیش از تعداد مغلوب شدن آن گزینه بر گزینه دیگری باشد، در ماتریس مقایسه زوجی عدد ۱ گذاشته می شود و در صورتیکه رای اکثریت وجود نداشت و یا آراء با هم مساوی باشند، در ماتریس مقایسه زوجی عدد صفر گذاشته می شود. عدد ۱ به منزله آن است که سطر بر ستون ارجحیت دارد و عدد صفر به منزله آن است که ستون بر سطر ارجحیت دارد. پس از بررسی گزینه ها، ماتریس مقایسه زوجی شکل خواهد گرفت و مجموع عناصر هر سطر تعداد مسلط شدن هر گزینه را نشان می دهد و گزینه ها بر اساس تعداد مسلط شدن اولویت بندی می شوند.

۳-۴-۳- روش کپ لند

این روش اصلاح شده روش بردا است با این تفاوت که در اولویت بندی علاوه بر تعداد مسلط شدن (مجموع عناصر هر سطر)، تعداد مغلوب شدن (مجموع عناصر هر ستون) نیز مورد استفاده قرار می گیرد. بدین منظور گزینه ها بر اساس تفاضل مقادیر تعداد مسلط شدن و تعداد مغلوب شدن اولویت بندی می شوند.

#### ۴- تحلیل نتایج

در این مقاله چهار سیستم نوین ساختمانی مورد تأیید مرکز تحقیقات مسکن که به ترتیب سیستم قاب سبک فولادی سرد نورد شده (LSF)، سیستم قالب عایق ماندگار (ICF)، سیستم پانل های سه بعدی (3D-PANEL)، سیستم پیش ساخته بتنی (PRCS) می باشد، جهت انتخاب بهترین سیستم ساخت مسکن مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. جهت شناسایی معیارهای مؤثر در روند انتخاب نوع سیستم ساخت مسکن، پرسشنامه ای با کمک متخصصین، افراد و سازمان هایی که به طور مستقیم در انتخاب نوع سیستم ساختمانی، مشارکت دارند، تنظیم شد. برای این منظور از هفت شرکت پیمانکاری، دو شرکت مشاور و تنی چند از اساتید دانشگاه، استفاده شده است. معیارهای لازم شامل تامین به موقع اعتبار (A1)، سهولت اجرا (A2)، نیازمند نبودن به نیروی کار متخصص (A3)، و در دسترس بودن مصالح مصرفی (A4)، کنترل و نظارت در روند اجرا (A5)، عمر مفید (A6)، هزینه (A7)، کیفیت تعمیر و نگهداری (A8)، صرفه جویی در مصرف انرژی (A9)، کاهش بار مرده (A10)، افزایش تعداد طبقات (A11)، انطباق پذیری با آیین نامه ها (A12) می باشد، که از دیدگاه پیمانکاران، کارفرماها، و مشاوران می باشد. این معیارها با نظر کارشناسان این حوزه و مطالعه تحقیقات بدست آمده است برای انتخاب این دوازده معیار از روش دلفی استفاده شده است و این دوازده معیار از بین ۳۰ معیار مشخص شده انتخاب شده اند. برای کمی سازی داده ها از طیف لیکرت که در پرسشنامه ها استفاده شده است، با توجه به جدول های (۱) و (۲) انجام شده است. با توجه به این که هر مقدار فازی دارای یک حد بالا یک حد پایین و یک مقدار محتمل است و هر مقدار خاکستری به صورت بازه ای بیان می شود، برای فازی سازی و اعداد خاکستری از عبارات زبانی که در جدول (۱) و (۲) آورده شده است، استفاده شد.

تفاوت بین اعداد خاکستری و فازی در نحوه محاسبه کران بالا و پایین خلاصه می شود [۱۶]. کران بالا و پایین اعداد خاکستری با استفاده از نظر خبرگان به دست آمده و در بازه های مربوط به هر معیار زبانی ثابت در نظر گرفته می شود؛ در حالی که در اعداد فازی این دو کران با محاسبه تابع عضویت به دست می آیند. این ویژگی اعداد خاکستری چالش های موجود در تبدیل معیارهای زبانی به اعداد قابل محاسبه را تا حدی برطرف کرده و محاسبات را ساده تر می کند.

جدول ۱: تعریف اعداد فازی

مقدار کلامی	عدد قطعی	عدد فازی متناظر
خیلی کم	۱	(۱،۱،۱)
کم	۳	(۲،۳،۴)
متوسط	۵	(۴،۵،۶)
زیاد	۷	(۶،۷،۸)
خیلی زیاد	۹	(۹،۹،۹)

جدول ۲: اعداد خاکستری

عدد قطعی متناظر	عبارت کلامی	عدد خاکستری متناظر
۱	خیلی کم	[۰، ۳]
۳	کم	[۱، ۵]
۵	متوسط	[۳، ۷]
۷	زیاد	[۵، ۹]
۹	خیلی زیاد	[۷، ۱۰]

جدول ۳: ماتریس تصمیم فازی تشکیل شده با توجه به جدول (۱)

	از دیدگاه پیمانکاران			از دیدگاه کار فرما				از دیدگاه مشاور				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
LSF	(۹,۹,۹)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۹,۹,۹)	(۲,۳,۴)	(۶,۷,۸)
ICF	(۹,۹,۹)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)	(۲,۳,۴)	(۶,۷,۸)
3D-PANEL	(۹,۹,۹)	(۲,۳,۴)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)
PRCS	(۹,۹,۹)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)	(۷,۸,۹)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)

ابتدا وزن معیارها از روش آنتروپی شانون محاسبه می شود. نتایج محاسبات در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴: وزن معیارهای ماتریس تصمیم

	از دیدگاه پیمانکاران			از دیدگاه کار فرما				از دیدگاه مشاور				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
وزن معیار	۰,۰۰۰	۰,۲۵۴	۰,۰۰۰	۰,۰۶۱	۰,۰۷۲	۰,۰۶۱	۰,۰۶۱	۰,۰۶۱	۰,۰۰۹	۰,۰۳۳	۰,۳۴۱	۰,۰۴۹

با توجه به اینکه می دانیم که "هزینه (A7)" و "نیازمند بودن به نیروی کار متخصص (A3)" شاخص هایی با جنبه منفی و مابقی شاخص ها از نوع مثبت هستند. برای معیارهای مثبت از رابطه (۶) استفاده می شود و برای معیارهای منفی از رابطه (۷) استفاده می گردد.

جدول ۵: مقادیر  $F^*$  و  $F^-$ 

	از دیدگاه پیمانکاران			از دیدگاه کار فرما				از دیدگاه مشاور				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
$F^*$	(۹,۹,۹)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۷,۸,۹)	(۹,۹,۹)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)
$F^-$	(۹,۹,۹)	(۲,۳,۴)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۶,۷,۸)	(۶,۷,۸)	(۲,۳,۴)	(۴,۵,۶)

پس از محاسبه بدترین و بهترین گزینه در هر معیار با توجه به روابط (۶) و (۷) به محاسبه مقادیر  $R$  و  $S$  پرداخته می شود. جدول (۶) بیانگر نتایج محاسبات با استفاده از روابط (۸) و (۹) می باشد.

جدول ۶: مقادیر شاخص های  $R$  و  $S$ 

	رتبه بندی	مقدار دی فازی	$R$	رتبه بندی	مقدار دی فازی	$S$	
LSF	۳	۰,۳۴۱	(۰,۳۴۱, ۰,۳۴۱, ۰,۳۴۱)	۲	۰,۴۷۱	(۰,۴۷۱, ۰,۴۷۱, ۰,۴۷۱)	
ICF	۳	۰,۳۴۱	(۰,۳۴۱, ۰,۳۴۱, ۰,۳۴۱)	۳	۰,۷۶۴	(۰,۷۶۴, ۰,۷۶۴, ۰,۷۶۴)	
3D-PANEL	۲	۰,۲۵۴	(۰,۲۵۴, ۰,۲۵۴, ۰,۲۵۴)	۴	۰,۷۶۹	(۰,۷۶۹, ۰,۷۶۹, ۰,۷۶۹)	
PRCS	۱	۰,۰۶۱	(۰,۰۶۱, ۰,۰۶۱, ۰,۰۶۱)	۱	۰,۱۵۴	(۰,۱۵۴, ۰,۱۵۴, ۰,۱۵۴)	

سپس مقادیر  $Q$  را با توجه به مقدار  $(V=0.5)$  و مقادیر  $S^*$  و  $S^-$  و  $R^*$  و  $R^-$  محاسبه می شود.

$$S^* = 0,254 \quad R^* = 0,107$$

$$S^- = 0,056 \quad R^- = 0,018$$

جدول ۷: مقدار Q برای گزینه ها

رتبه بندی	مقدار دی فازی	Q	روش ساخت
۲	۰,۷۵۸	(۰,۷۵۸, ۰,۷۵۸, ۰,۷۵۸)	LSF
۴	۰,۹۹۶	(۰,۹۹۶, ۰,۹۹۶, ۰,۹۹۶)	ICF
۳	۰,۸۴۵	(۰,۸۴۵, ۰,۸۴۵, ۰,۸۴۵)	3D-PANEL
۱	۰	(۰, ۰, ۰)	PRCS

در آخر مقادیر Q را برای گزینه های مورد بررسی در این مقاله که شامل LSF, ICF, 3D-PANEL و PRCS هستند را از کوچک به بزرگ مرتب می گردد. البته این نکته رو هم نباید فراموش کرد که برای پذیرفتن رتبه بندی Q، این مقدار باید ۲ شرط مرحله پنجم ویکور فازی برقرار باشد.

باتوجه به رابطه (۱۱) شرط اول برقرار نیست باید رتبه بندی های S و R را بررسی کرد، که با توجه به شروط داریم PRCS بهترین سیستم است و بعد از آن به ترتیب LSF, 3D-PANEL و ICF در رتبه های بعدی قرار می گیرند.

جدول ۸: ماتریس تصمیم خاکستری تشکیل شده با توجه به جدول (۲)

	از دیدگاه پیمانکاران			از دیدگاه کار فرما				از دیدگاه مشاور				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
LSF	[۵,۹]	[۵,۹]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۵,۹]	[۵,۹]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۵,۹]	[۷,۱۰]	[۱,۵]	[۵,۹]
ICF	[۵,۹]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۵,۹]	[۵,۹]	[۱,۵]	[۵,۹]
3D-PANEL	[۷,۱۰]	[۱,۵]	[۱,۵]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۳,۷]	[۵,۹]	[۵,۹]	[۳,۷]	[۳,۷]
PRCS	[۷,۱۰]	[۵,۹]	[۳,۷]	[۵,۹]	[۵,۹]	[۵,۹]	[۵,۹]	[۵,۹]	[۷,۱۰]	[۵,۹]	[۵,۹]	[۵,۹]

برای محاسبه وزن معیار ها در حالت خاکستری از روش آنتروپی خاکستری استفاده می کنیم که نتایج آن در جدول (۹) قابل ملاحظه است.

جدول ۹: وزن معیار های ماتریس تصمیم

	از دیدگاه پیمانکاران			از دیدگاه کار فرما				از دیدگاه مشاور				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
بردار	[۰,۰۰۰۳۱]	[۰,۰۰۵۶۹]	[۰,۰۰۲۰۸]	[۰,۰۰۱۴۲]	[۰,۰۰۱۷۳]	[۰,۰۰۱۷۳]	[۰,۰۰۱۴۲]	[۰,۰۰۱۴۲]	[۰,۰۰۰۲۴]	[۰,۰۰۰۲۴]	[۰,۰۰۷۰۱]	[۰,۰۰۱۲]
وزن	[۰,۰۷۲۷۸]	[۰,۰۲۵۹۴]	[۰,۰۶۴۱۱۲]	[۰,۰۵۸۷۴۱]	[۰,۰۲۷۵۳۳]	[۰,۰۲۷۵۳۳]	[۰,۰۵۸۷۴۱]	[۰,۰۵۸۷۴۱]	[۰,۰۳۴۹۰۱]	[۰,۰۳۴۹۰۱]	[۰,۰۱۴۷۱۲]	[۰,۰۲۹۵۰۰۷]

جدول ۱۰: مقادیر F\* و F-

	از دیدگاه پیمانکاران			از دیدگاه کار فرما				از دیدگاه مشاور				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
F+	۱۰	۹	۱	۹	۹	۹	۳	۹	۱۰	۱۰	۹	۹
F-	۵	۱	۷	۳	۳	۳	۹	۳	۵	۵	۱	۳

با توجه بر اینکه می دانیم که "هزینه (A7)" و "نیازمند بودن به نیروی کار متخصص (A3)" شاخص هایی با جنبه منفی و مابقی شاخص ها از نوع مثبت هستند. برای معیار های مثبت از رابطه (۱۸) استفاده می گردد و برای معیار های منفی از رابطه (۱۹) استفاده می شود.

جدول ۱۱: مقادیر شخص های S و R

	S	مقدار قطعی	رتبه بندی	R	مقدار قطعی	رتبه بندی
LSF	[۰,۰۲۵, ۴۰,۹۲۹]	۲۰,۴۷۷	۲	[۰,۰۱۱, ۷,۷۲۱]	۳,۸۶۶	۳
ICF	[۰,۰۳, ۴۸,۷۱۹]	۲۴,۳۷۴	۴	[۰,۰۱۱, ۷,۷۲۱]	۳,۸۶۶	۳
3D-PANEL	[۰,۰۲۹, ۴۵,۷۸۷]	۲۲,۹۰۸	۳	[۰,۰۰۹, ۶,۰۳۹]	۳,۰۲۴	۱
PRCS	[۰,۰۱۷, ۳۲,۱۴۷]	۱۶,۰۸۲	۱	[۰,۰۰۴, ۶,۱۸۸]	۳,۰۹۶	۲

پس از محاسبه بدترین و بهترین مقدار برای هر کدام از معیارها با توجه به ۴ گزینه موجود به محاسبه مقادیر S و R و Q با توجه به رابطه های (۲۱) و (۲۲) و (۲۳) و (۲۴) و (۲۵) و (۲۶) پرداخته می شود که جدول (۱۲) بیانگر نتایج محاسبات می باشد.

مقادیر Q را با توجه به مقدار  $V=0,5$  (و مقادیر  $S^*$  و  $S^-$  و  $R^*$  و  $R^-$  محاسبه می شود).

$$S^*=0,017 \quad R^*=0,004$$

$$S^-=48,719 \quad R^-=7,721$$

جدول ۱۲: مقادیر S, R و Q برای گزینه ها

	S	مقدار قطعی	رتبه بندی	R	مقدار قطعی	رتبه بندی	Q	مقدار قطعی	رتبه بندی
LSF	[۰,۰۲۵, ۴۰,۹۲۹]	۲۰,۴۷۷	۲	[۰,۰۱۱, ۷,۷۲۱]	۳,۸۶۶	۳	[۰,۰۰۱, ۰,۹۲]	۰,۴۶	۳
ICF	[۰,۰۳, ۴۸,۷۱۹]	۲۴,۳۷۴	۴	[۰,۰۱۱, ۷,۷۲۱]	۳,۸۶۶	۳	[۰,۰۰۱, ۱]	۰,۵	۴
3D-PANEL	[۰,۰۲۹, ۴۵,۷۸۷]	۲۲,۹۰۸	۳	[۰,۰۰۹, ۶,۰۳۹]	۳,۰۲۴	۱	[۰,۰, ۰,۸۶۱]	۰,۴۳۱	۲
PRCS	[۰,۰۱۷, ۳۲,۱۴۷]	۱۶,۰۸۲	۱	[۰,۰۰۴, ۶,۱۸۸]	۳,۰۹۶	۲	[۰,۰, ۰,۷۳۱]	۰,۳۶۵	۱

پس از بدست آوردن مقادیر Q برای گزینه ها، مقادیر Q را با توجه به رابطه (۲۶) به مقدار قطعی تبدیل کرده و شرط های لازم را برای رتبه بندی به دست آمده بررسی می شود. باتوجه به این که رابطه (۱۱) شرط اول برقرار نیست باید رتبه بندی های S و R را بررسی کرد، که با توجه به شروط، PRCS بهترین سیستم است و بعد از آن به ترتیب 3D-PANEL، ISF و ICF در رتبه های بعدی قرار می گیرند.

جدول ۱۳: جدول رتبه بندی Q

	رتبه در روش بردا	رتبه در روش کپ لند	رتبه در روش میانگین رتبه ها	فازی Q	خاکستری Q
LSF	۲	۲	۲	۲	۳
ICF	۴	۴	۴	۴	۴
3D-PANEL	۲	۲	۳	۳	۲
PRCS	۱	۱	۱	۱	۱

در دنیا امروز که شرایط حالت ثابت ندارند و مدام در حال تغییر هستند، یکی از بهترین راه حل ها برای بررسی مسائل، استفاده از شرایط عدم قطعیت است. در این جا سعی شده تا با بررسی مسئله در حالت فازی و خاکستری که هر کدام ویژگی های خاص خود را دارند به یک نتیجه گیری کامل از مسئله برای تصمیم گیری برسیم. در حالت فازی برای هر مقدار یک مقدار محتمل و یک حد بالا و پایین در نظر می گیریم که احتمال های یکسانی ندارند ولی در حالت خاکستری برای هر مقدار ی بازه در نظر گرفته شده است که احتمال اعداد در این بازه برای تمامی مقادیر یکسان است. با توجه به اینکه دو رتبه بندی ارائه شده است و باید به یک رتبه بندی برسیم، از سه روش میانگین رتبه ها، روش بردا و روش کپ لند برای مقایسه رتبه بندی ها و رسیدن به یک رتبه بندی استفاده شده است که نتایج آن برحسب جدول (۱۳) است.

دلیل نبود رتبه ۳ در دو روش بردا و کپ لند اهمیت برابر روش های 3D-PANEL و LSF است و این رتبه بندی به ما می فهماند این دو روش دارای ارزش یکسان هستند. با توجه به جدول بهترین روش PRCS است و بعد از آن روش LSF و 3D-PANEL و در آخر روش ICF برای ساخت ساختمان پیشنهاد می شود. با توجه به نوع ساختمان ها از نظر مسکونی اداری صنعتی و ... و همچنین نوع آب و هوای مناسب برای اجرای هر روش می توان برای بررسی دقیق تر می توان این گزینه ها را با توجه به شرایط مطرح شده دوباره بررسی کرد.

## منابع

- [1] آذر، ع. حمزه جونقانی، س. احمدی نیک جونقانی، پ. ثنوری فازی و کاربرد آن در تصمیم گیری، انتشارات صفار، چاپ اول، ۱۳۹۳
- [2] اصغری پور، ج.، تصمیم گیری های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پانزدهم، ۱۳۹۶
- [3] حسینی، الف. رضاییان، ع. (۱۳۹۳). انتخاب سیستم ساختمانی بهینه از بین سیستم های نوین ساختمانی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره، همایش ملی معماری، عمران و توسعه ی نوین شهری، تبریز، اردیبهشت 1393
- [4] خانه زر، الف. نادر پور، ح. (۱۳۹۳). انتخاب سیستم ساختمانی مناسب با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره.
- [5] گلابچی، م.، مظاهریان، ح. فناوری های نوین ساختمانی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم، ۱۳۹۵
- [6] عباسی، پ.، ملکی طولابی، ح. (۱۳۹۵). ارزیابی و انتخاب اجرای سیستم ساختمانی بهینه صنعتی با استفاده از تکنیک topsis
- [7] عطائی، م.، تصمیم گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه شاهرود، چاپ چهارم، ۱۳۹۵
- [8] Afful-dadzie, e., nabareseh, s. , Oplatková, z, (2014), Fuzzy vikor approach: evaluating quality of internet health information
- [9] Amer, M., & Attia, S. (2019). Identification of sustainable criteria for decision-making on roof stacking construction method. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101456.
- [10] Dias, Y., Keerthan, P., & Mahendran ,M. (2018). Predicting the fire performance of LSF walls made of web stiffened channel sections. *Engineering Structures*, 168, 320-332.
- [11] Jiaqi Wang, Zhenzhou Lu , Yan Shi, (2018), Aircraft icing safety analysis method in presence of fuzzy inputs and fuzzy state, *Aerospace Science and Technology* 82–83 (2018) 172–184
- [12] Lotfi, F. H., & Fallahnejad, R. (2010). Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making. *Entropy*, 12(1).
- [13] Kamfirozi, M. H., Jafarieskandari, H. & Aliahmadi, A. (2015). Integrating multicriteria decision making methods Bolzay and Vikor with gray numbers three, *International journal industrial engineering and production management*, 25(4), 432-437. (in Persian)
- [14] Musani, s ., jemain, a, (2015), Ranking Schools' Academic Performance Using a Fuzzy VIKOR
- [15] Profillidis, V. A., & Botzoris, G. N. (2019). Chapter 9 - Fuzzy Methods. In V. A. Profillidis & G. N. Botzoris (Eds.), *Modeling of Transport Demand* (pp. 383-417): Elsevier.
- [16] Wang ,H., Zhang, Y.-M., & Yang, Z. (2019). A risk evaluation method to prioritize failure modes based on failure data and a combination of fuzzy sets theory and grey theory. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 82, 216-225.
- [17] Yang, Y., & Xue, D. (2018). An actual load forecasting methodology by interval grey modeling based on the fractional calculus. *ISA Transactions*, 82, 200-209.
- [18] Yazdani Sarvestani, H., Akbarzadeh, A. H., Niknam, H., & Hermenean, K. (2018). 3D printed architected polymeric sandwich panels: Energy absorption and structural performance. *Composite Structures*, 200, 886-909.