

An Optimal Integrated Method Using New Multi-Criteria Decision Making Methods to Rank Workshop Facility Positions in Construction Projects

Abdolrasoul Parhizgarsharif¹, Alireza Lork^{2*}, Abdolrasoul Telvari³

1- Department of Civil Engineering, Roudehen branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

2- Department of Civil Engineering, safadasht branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

ABSTRACT

This study presents a new hybrid framework based on the multi-criteria decision making to rank the potential site layout locations by consideration of the cost and safety criteria in the Mehr Construction Project in Tehran, Iran. To this end, all of the criteria in selecting suitable potential locations are extracted from the research literature and the most effective ones, which are matched with existing conditions in Tehran based on the opinion of experts, are considered. Then, the proper locations for site layout are determined as the potential alternatives and ranked by experts based on the structure, which exists in the proposed method. According to the data collecting from the questionnaires, the weights of selected criteria are calculated using WBM and the final ranking of the locations is performed using two Gray Relational Analysis and VIKOR methods. The computational results indicate that both VIKOR and GRA methods have largely the same ranking. However, a method with higher reliability should be used to select the best potential location of a construction site layout. Therefore, the sensitivity analysis of final outputs on the parameters existing in VIKOR and GRA methods is used to rank the alternatives and select the best approach. According to the computational results, a GRA method has higher robustness compared to the VIKOR method. Accordingly, the ranking obtained from the GRA method is employed as the final solution in implementing the case study.

ARTICLE INFO

Receive Date: 09 March 2020

Revise Date: 14 May 2020

Accept Date: 18 May 2020

Keywords:

Site Facilities

Safety Criteria

Best-Worst Method (BWM)

VIKOR Method

Gray Relational Analysis (GRA)

Mehr Construction Project of Tehran

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.222939.2099>

*Corresponding author: Alireza Lork

Email address: lorkdr@gmail.com

یک روش تلفیقی بهینه با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره جدید جهت رتبه بندی موقعیت های تسهیلات کارگاهی در پروژه های ساخت

عبدالرسول پرهیزگار شریف^۱، علیرضا لrk^{۲*}، عبدالرسول تلوری^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران گرایش مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد صفادشت، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش یک چارچوب ترکیبی جدید مبتنی بر روش های تصمیم گیری چندمعیاره به منظور رتبه بندی مکان های بالقوه احداث تسهیلات کارگاهی در پروژه مسکن مهر در شهر تهران با توجه به معیارهای هزینه و ایمنی ارائه شده است. بدین منظور در ابتدا تمامی معیارهای موجود در انتخاب مکان های مناسب از ادبیات تحقیق استخراج شده و سپس طبق نظر کارشناسان و خبرگان، تأثیرگذارترین این معیارها که با شرایط موجود در شهر تهران همخوانی دارد، در نظر گرفته شده است. سپس مناطق مساعد جهت احداث تسهیلات به عنوان گزینه های بالقوه تعیین شد و طبق ساختار موجود در روش پیشنهادی توسط کارشناسان امتیازدهی شده است. مطابق با اطلاعات دریافتی از پرسشنامه ها، اوزان معیارهای انتخابی توسط روش بهترین-بدترین تعیین شده و رتبه بندی نهایی گزینه ها با استفاده از دو روش تحلیل خاکستری و ویکور صورت گرفته است. نتایج حاکی از آن است که هر دو روش ویکور و تحلیل روابط خاکستری دارای رتبه بندی یکسانی هستند. اما جهت انتخاب بهترین مکان بالقوه احداث تسهیلات کارگاهی نیازمند استفاده از روشی با قابلیت اطمینان بالا می باشد. از این رو جهت انتخاب بهترین روش، از تحلیل حساسیت نتایج نهایی بر روی پارامترهای موجود در روش های VIKOR و GRA استفاده شده است. بر اساس نتایج، روش GRA دارای میزان استواری بالاتری نسبت به روش VIKOR است. بنابراین رتبه بندی بدست آمده توسط روش GRA به عنوان پاسخ نهایی جهت پیاده سازی در مورد مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: تسهیلات کارگاهی، معیارهای ایمنی، روش بهترین-بدترین، روش ویکور، روش تحلیل خاکستری، پروژه مسکن مهر تهران.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.222939.2099	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.222939.2099	۱۴۰۰/۰۶/۳۱	۱۳۹۹/۰۲/۲۹	۱۳۹۹/۰۲/۲۹	۱۳۹۹/۰۲/۲۵	۱۳۹۸/۱۲/۱۹
			علیرضا لrk lorkdr@gmail.com		*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

مسئله جانمایی سایت یکی از مهم‌ترین بخش‌های برنامه‌ریزی در اجرای پروژه‌های عمرانی و صنعتی است. هدف اصلی جانمایی در پروژه‌های ساخت، قرار دادن مناسب تسهیلاتی مانند دفتر کار، انبارها، خوابگاه کارگران و غیره است؛ بطوری که بتوان تمام امور مربوطه را بدون وجود مشکل انجام داد. وجود یک جانمایی مناسب موجب ارتقاء سطح ایمنی و کارایی، کاهش هزینه‌های رفت‌وآمد بین تسهیلات، جلوگیری از ایجاد گلوگاه و ایجاد انسداد در مسیر انتقال مواد و تجهیزات به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ می‌شود [۱].

در کاربردهایی نظیر اجرای پروژه‌های عمرانی که متولی آن دولت است یا پروژه‌های غیر عمرانی که متولی اصلی آن بخش خصوصی یا عمومی است، مبالغ هنگفتی صرف تضمین ایمنی و انجام مکان‌یابی مناسب احداث تسهیلات می‌شود، لذا مهم‌ترین هدف این دسته از مسائل، صرفه‌جویی در کل هزینه‌های سیستم و بهینه‌سازی سطح ایمنی می‌باشد [۲]. اکثر تحقیقات انجام‌شده تنها با در نظر گرفتن هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها به مطالعه و بررسی این مساله پرداخته‌اند، درحالی‌که در کاربردهای دنیای واقعی، مدیران به دنبال بهینه‌سازی اهداف بیشتری نظیر بهینه‌سازی سطح ایمنی می‌باشند. از طرفی معمولاً تغییر مکان یک تسهیل پس از اجرای پروژه غیرممکن یا دشوار است، لذا در نظر گرفتن تمام معیارهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیری‌های نهایی دارای اهمیت بسیاری است [۳].

موضوع مهم در اجرای تمام پروژه‌های صنعتی و ساخت‌وساز، توجه به سطح ایمنی و عوامل تأثیرگذار بر آن است. این موضوع از آن جهت دارای اهمیت است که به خطر افتادن امنیت کارگران، مدیران و تجهیزات مورد استفاده می‌تواند باعث ایجاد تأخیرهای هزینه‌زا و جریمه‌های دولتی و خصوصی سنگین شود [۴]. بنابراین ارائه الگویی مناسب جهت جانمایی مناسب تسهیلات در پروژه‌های ساخت به‌صورت کارا با در نظر گرفتن تمامی عوامل مهم و تأثیرگذار ضروری بنظر می‌رسد.

در این تحقیق، یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین، روش ویکور و روش تحلیل روابط خاکستری به منظور رتبه‌بندی مکان‌های بالقوه جهت احداث تسهیلات کارگاهی ارائه شده است. این موضوع پیش‌تر کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است [۵]. آن‌ها روش تلفیقی AHP-DEA جهت رتبه‌بندی الگوهای طراحی چیدمان استفاده نمودند. آن‌ها روش AHP برای تعیین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی به‌منظور استفاده در مدل DEA به کار گرفتند [۶]. رویکردی مشابه را جهت اولویت‌بندی الگوهای طراحی چیدمان به کار گرفتند با این تفاوت که در آن بر اساس سیستم تصمیم‌گیری فازی از دو متغیر فازی شده جریان اطلاعات و شرط محیطی جهت تعیین روابط بین فعالیت‌ها و در نهایت امتیازات نزدیکی استفاده شده است [۷]. از رویکرد الگوریتم تجسس ژنتیک و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره الکره جهت رتبه‌بندی الگوها استفاده نمودند که در آن نخست جواب پارتو بهینه با به‌کارگیری الگوریتم‌های ژنتیک مقید چندهدفه تعیین شد و سپس انتخاب جواب بهینه توسط روش تصمیم‌گیری الکره صورت پذیرفت [۸]. از رویکرد فازی TOPSIS جهت اولویت‌بندی الگوهای طراحی چیدمان استفاده کردند و سپس نتایج به‌دست‌آمده را با نتایج TOPSIS مورد مقایسه قرار داد. رویکرد پیشنهادی آن‌ها به‌شدت به قضاوت‌های ذهنی طراحان وابسته است.

[۹] یک سیستم تصمیم‌گیری که شامل مراحل ورودی، طراحی، ارزیابی و انتخاب، و خروجی است به‌منظور حل مسئله پویا چندهدفه برنامه‌ریزی جانمایی سایت ساخت‌وساز ارائه دادند. در مرحله ورودی اهداف گوناگون، برنامه زمان‌بندی و شرایط سایت‌ها تعیین می‌شوند. در مرحله طراحی دو مدل بهینه‌سازی ریاضی سیستم مورچه ماکس-مین^۱ و الگوریتم اصلاح‌شده مبتنی بر پارتو بهینه‌سازی کلونی مورچگان جهت حل مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه و بهینه‌سازی چندهدفه به ترتیب ارائه شدند. در نهایت در مرحله ارزیابی و انتخاب از روش TOPSIS فازی به‌منظور ارزیابی و انتخاب بهترین طرح جانمایی از بین سایر طرح‌های تولیدشده در مرحله طراحی استفاده می‌شود. [۱۰] در پژوهشی با عنوان "الگوی جانمایی مناسب تجهیزات در کارگاه‌های ساختمانی جهت حفظ ایمنی و کیفیت و هزینه با استفاده از روش TOPSIS" به رتبه‌بندی معیارهای تجهیز کارگاه‌های ساختمانی با رویکرد مدیریت کیفیت، هزینه و ایمنی در پروژه‌های عمرانی با استفاده از نرم‌افزار TOPSIS پرداختند تا در راستای موفقیت مدیران پروژه مقید باشد. با تحلیل زیرمعیارها به روش مذکور، نوع اجرا، ایمنی، برنامه‌ریزی پروژه، زمان کار و ابعاد ساختمان به ترتیب در اولویت قرار گرفتند. [۱۱] پژوهشی را با عنوان "طراحی مدل تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی جهت انتخاب طرح جانمایی تسهیلات" ارائه دادند. در این پژوهش ابتدا به شناسایی معیارهای مؤثر در

^۱ Max-Min ant system (MMAS)

ارزیابی طرح‌های چیدمان پرداخته شد. همچنین یک روش تلفیقی تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای انتخاب طرح چیدمان مطلوب ارائه شد. در این روش از AHP گروهی فازی برای تعیین مقادیر عملکردی طرح‌های چیدمان با توجه به معیارهای کیفی، از آن‌رویی شانون برای تعیین وزن معیارها و از تاپسیس برای رتبه‌بندی نهایی طرح‌های چیدمان استفاده شد. علاوه بر این نیز معیارهای کمی و کیفی به صورت هم‌زمان در نظر گرفته شده است و عملکرد طرح‌های چیدمان برای معیارهای کیفی به صورت فازی در نظر گرفته می‌شوند. همچنین طرح بهینه به طور موزون اما بدون در نظر گرفتن اهمیت نسبی بین معیارها از طریق نظر مستقیم خبرگان، انتخاب می‌شود.

[۱۲] در پژوهشی با عنوان "نقش جانمایی تجهیزات و عوامل مؤثر آن در ایمنی کارگاه ساختمانی" به بررسی جانمایی تجهیزاتی مانند تاور کرین، جرثقیل در کارگاه ساختمانی پرداخته و عوامل تأثیرگذار این تجهیزات در ایمنی کارگاه ساختمانی را بررسی نمودند و راه‌حل‌های مناسبی برای افزایش ایمنی در مرحله طراحی پیشنهاد دادند.

[۱۳] پژوهشی را با عنوان "یک مدل بهینه‌سازی وزین غیرخطی جهت رتبه‌بندی مدل‌های مختلف چیدمان در مسئله طراحی چیدمان تسهیلات" ارائه دادند. در این پژوهش از رویکرد AHP جهت تعیین مقادیر عملکردی معیارهای کیفی استفاده می‌شود. یک نرم‌افزار تجاری جهت ایجاد الگوهای چیدمان و همچنین جهت ایجاد مقادیر عملکردی کمی به کار برده می‌شود و در نهایت از یک مدل بهینه‌سازی وزین غیرخطی جهت رتبه‌بندی الگوهای طراحی چیدمان در حضور هر دو گروه معیار و با در نظر گرفتن ترتیب رتبه‌بندی معیارها بر اساس نقطه نظرات کارشناسان طراحی پیشنهاد می‌شود. به منظور نشان دادن کاربردی بودن مدل یک مطالعه موردی واقعی پیاده‌سازی می‌شود و نتایج به دست آمده ارائه می‌شود. در جدول ۱، دسته‌بندی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده در تحقیقات پیشین ارائه شده است.

جدول ۱: دسته‌بندی انواع روش‌های تصمیم‌گیری جهت انتخاب سایت‌های انرژی

MCDM Methods									مرجع
BWM	VIKOR	GRA	OWA	TOPSIS	DEMATEL	ELECTRE	ANP	AHP	
								✓	[۱۴]
								✓	[۱۵]
				✓				✓	[۱۶]
						✓			[۱۷]
						✓			[۱۸]
					✓			✓	[۷]
							✓		[۷]
								✓	[۵]
	✓							✓	[۸]
								✓	[۱۱]
			✓						[۱۹]
					✓		✓		[۶]
	✓						✓		[۲۰]
✓	✓	✓							این مقاله

مطابق با اطلاعات جدول ۱ مشاهده می‌شود که اکثر مطالعات از روش AHP استفاده کردند. در حقیقت می‌توان این روش را پرکاربردترین روش تصمیم‌گیری در این حوزه دانست [۲۱]. برخی روش‌های تصمیم‌گیری مانند TOPSIS و VIKOR نیز به صورت ترکیبی با AHP مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما موضوع جالب توجه این است که روش‌های تصمیم‌گیری جدید مانند روش BWM و GRA تاکنون مورد توجه محققین این حوزه نبوده است. این در حالی است که BWM دارای رویکردی بسیار قوی در تعیین وزن معیارها نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری است [۲۲]. چراکه این روش به دلیل استفاده از یک مدل بهینه‌سازی خطی می‌تواند به طور بسیار دقیقی وزن

معیارها را تعیین کند. در واقع در تعیین وزن این معیارها به جزء پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط خبرگان هیچ دخالتی از طرف کاربر انجام نمی‌شود [۲۳]. به همین دلیل می‌توان به اوزان به دست آمده تا حد قابل قبولی اطمینان کرد. همچنین روش GRA دارای استواری بسیار بالایی در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با توجه معیارها است [۲۴]. بنابراین در این تحقیق به منظور گسترش سطح کاربرد این روش‌ها در تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث تسهیلات کارگاهی از رویکردی ترکیبی مبتنی بر روش‌های GRA، BWM و VIKOR استفاده می‌شود. در ادامه ساختار مقاله بدین صورت است که در بخش دوم به تشریح بیان مسئله تحقیق و معرفی گزینه‌ها و معیارهای انتخابی پرداخته می‌شود. سپس در بخش سوم روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده تشریح شده و سپس در بخش چهارم نتایج محاسبات انجام شده بیان می‌شود. در نهایت در بخش پنجم جمع‌بندی از نتایج تحقیق ارائه خواهد شد.

۲- تعاریف و مفاهیم BWM و تکنیک‌های VIKOR و GRA

در این بخش تعاریف روش بهترین-بدترین و تکنیک‌های VIKOR و GRA و همچنین روش شبیه‌سازی مونت کارلو به طور خلاصه معرفی می‌شوند. براساس این مفاهیم اساسی مدل ترکیبی MCDM پیشنهاد می‌گردد.

The Best-Worst method

روش بهترین-بدترین یکی از روش‌های قدرتمند در حل مسائل MCDM است که به منظور به دست آوردن اوزان گزینه‌ها و معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲]. این روش ضعف‌های روش‌های مبتنی بر مقایسات زوجی (به‌عنوان مثال AHP و ANP) از قبیل عدم سازگاری را جبران می‌کند. علاوه بر این نیز تعداد مقایسات زوجی را به طور قابل ملاحظه‌ای تنها با انجام مقایسات مرجعی کاهش می‌دهد. در سال‌های اخیر BWM توسط محققان بسیاری جهت تعیین اوزان و رتبه‌بندی گزینه‌ها در حوزه‌های مختلف به کار گرفته شده است. به طور کلی ساختار روش BWM شامل مراحل زیر است:

گام ۱. ایجاد سیستم معیار تصمیم: سیستم معیار تصمیم شامل مجموعه معیارهای شناسایی شده از طریق مرور ابیات و نظرات خبرگان است و به صورت $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر معیارهای تصمیم می‌تواند بازتاب‌کننده عملکرد گزینه‌های مختلف باشد.

گام ۲. تعیین بهترین و بدترین از بین معیارهای اصلی و همچنین زیرمعیارها: براساس سیستم معیار تصمیم، بهترین و بدترین معیار بایستی توسط تصمیم‌گیرندگان شناسایی شوند. بهترین معیار با نماد c_B و بدترین معیار نیز با نماد w_B نشان داده می‌شوند.

گام ۳. انجام مقایسات مرجعی برای بهترین معیار: در این گام به تعیین اولویت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها با به کارگیری اعداد بین ۱ تا ۹ براساس مقیاس کلامی ارائه شده در جدول (۵) پرداخته می‌شود. نتایج این بردار به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

به طوری که a_{Bj} اولویت مربوط به بهترین معیار انتخاب شده B نسبت به هر معیار j را نشان می‌دهد. واضح است که $a_{BB} = 1$.
گام ۴. انجام مقایسات مرجعی برای بدترین معیار: به طور مشابه با به کارگیری اعداد بین ۱ تا ۹، اولویت تمام معیارها نسبت به بدترین معیار انتخاب شده محاسبه می‌شود. نتایج این بردار به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})^T \quad (2)$$

به طوری که a_{jw} اولویت هر معیار j را نسبت به بدترین معیار انتخاب شده w را نشان می‌دهد. واضح است که $a_{ww} = 1$.
گام ۵. تعیین اوزان بهینه $(W_1^*, W_2^*, \dots, W_n^*)$: در این گام به منظور دستیابی به اوزان بهینه معیارها بایستی بیشترین اختلاف مطلق $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jw}w_w|\}$ برای تمام j ها کمینه شود. که به صورت مسئله بهینه‌سازی زیر فرمول‌بندی شده است.

$$\min \max_j \{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &S. t. \\ &\sum_j w_j = 1 \\ &w_j \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned}$$

مسئله (۳) قابل تبدیل شدن به مدل زیر را دارد:

$$\begin{aligned} &\min \xi^L \\ &S. t. \\ &|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi^L, \text{ for all } j \\ &|w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi^L, \text{ for all } j \\ &\sum_j w_j = 1 \\ &w_j \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (4)$$

مدل (۴) خطی و دارای جواب منحصر به فرد است. از این رو با حل این مدل اوزان بهینه $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ و مقدار بهینه ξ^{L*} نتیجه می شوند. برای مدل فوق مقادیر نزدیک به صفر ξ^{L*} نشان دهنده سطح بالای سازگاری است [۲۲].

Grey relational analysis technique

تحلیل رابطه ای خاکستری، نخستین بار توسط دنگ (۱۹۸۲) مطرح شده است [۲۵]. تئوری سیستم های خاکستری الگوریتمی است که روابط غیرقطعی اعضای یک سیستم را با یک عضو مرجع تحلیل نمود، قابلیت استفاده در مسائل تصمیم گیری چندمعیاره را دارا است. ویژگی این رویکرد این است که هر دو روابط کیفی و کمی می تواند در میان عوامل پیچیده در یک سیستم شناسایی شود، هنگامی که رویکرد می تواند میزان ارتباط بین دو گزینه را با استفاده از یک اندازه گیری فاصله مورد بررسی قرار دهد. فرض می شود مسئله تصمیم گیری چندمعیاره ای دارای m گزینه A_1, A_2, \dots, A_m و n معیار C_1, C_2, \dots, C_n است؛ به طوری که هر گزینه نسبت به n معیار ارزیابی می شود و تمامی مقادیر ارزیابی به گزینه ها اختصاص و براساس ماتریس تصمیم $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ نشان داده می شوند. به طور کلی روش تحلیل رابطه خاکستری شامل مراحل زیر است:

گام ۱: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال، مقدار نرمال شده x_{ij} براساس معادلات (۵) و (۶).

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}}{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \text{ for } j \in I \quad (5)$$

$$x_{ij} = \frac{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - y_{ij}}{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \text{ for } j \in J \quad (6)$$

به طوری که I مجموعه معیارهای از جنس سود و J مجموعه معیارهای از جنس هزینه هستند.

گام ۲: تعیین سری مرجعی x_0 با استفاده از معادله (۷).

$$x_0 = \{x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}\} \quad (7)$$

به طوری که $x_{0j} = \max_j x_{ij}$ و $j = 1, 2, \dots, n$

گام ۳: محاسبه ضریب رابطه خاکستری با به کارگیری معادله (۸).

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\min_i \min_j \Delta_{ij} + \xi \max_i \max_j \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \xi \max_i \max_j \Delta_{ij}} \quad (8)$$

به طوری که $\Delta_{ij} = |x_{0j} - x_{ij}|$ ، $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ و ξ ضریب برطرف سازی است $\xi = [0, 1]$ ، که در این پژوهش برابر با ۰.۵ در نظر گرفته شده است.

گام ۴: بعد از دستیابی به تمام ضرائب روابط خاکستری، درجه رابطه خاکستری بین x_0 و x_i بر اساس معادله (۹) محاسبه می شود.

$$\Gamma(x_0, x_i) = \sum_{j=1}^n w_j \gamma(x_{0j}, x_{ij}), \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (9)$$

به طوری که w_j وزن معیارها و $i = 1, 2, \dots, m$ ، $j = 1, 2, \dots, n$.

گام ۵: رتبه بندی گزینه ها مطابق با ارزش درجه رابطه خاکستری به طوری که مقدار بزرگ تر $\Gamma(x_0, x_i)$ نشان دهنده بهتر بودن گزینه A_i است.

VIKOR technique

تکنیک ویکور یک روش رتبه بندی سازشی است و اغلب در شرایط داشتن معیارهای مختلف متعارض مورد استفاده قرار می گیرد [۲۶]. این روش یک راه حل سازشی مبتنی بر "نزدیکی به راه حل ایده آل و توافق دوجانبه از طریق امتیازات" ایجاد می کند. این روش به طور گسترده توسط محققان بسیاری جهت رتبه بندی گزینه ها به کار گرفته شده است. گام های روش ویکور در زیر ارائه شده است [۲۷]:

گام ۱: به دست آوردن ماتریس زوجی برای هر گزینه به طوری که هر معیار با استفاده از مقیاس کلامی ارائه شده در جدول (۴) ارزیابی می شود.

گام ۲: محاسبه ماتریس تصمیم میانگین با استفاده از معادله (۱۰).

$$f_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k x_{ij}^t \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

به طوری که x_{ij}^t ارزش گزینه i ام نسبت به معیار j ام توسط خبره t ام است.

گام ۳: محاسبه مقادیر بهترین f_j^* و بدترین f_j^- برای تمام معیارها با استفاده از معادلات (۱۱) و (۱۲).

$$f_j^* = \max f_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$f_j^- = \min f_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

به طوری که f_j^* نشان دهنده راه حل ایده آل مثبت و f_j^- نشان دهنده راه حل ایده آل منفی برای معیار j ام است.

گام ۴: محاسبه مقادیر S_i و R_i برای $i = 1, 2, \dots, m$ با استفاده از معادلات (۱۳) و (۱۴).

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \quad (13)$$

$$R_i = \max \left[w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] \quad (14)$$

به طوری که S_i نشان دهنده فاصله گزینه i ام از راه حل ایده آل مثبت و R_i بیانگر فاصله گزینه i ام از راه حل ایده آل منفی و w_j نیز نشان دهنده اوزان فاکتورهای به دست آمده از طریق تجزیه و تحلیل BWM فازی است.
گام ۵: محاسبه مقدار Q_i بر اساس معادله (۱۵).

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (15)$$

به طوری که $S^- = \max_i S_i$, $S^* = \min_i S_i$ و $R^- = \max_i R_i$, $R^* = \min_i R_i$ و پارامتر v نیز به عنوان وزنی برای استراتژی حداکثر مطلوبیت گروهی معرفی می شود که در این پژوهش برابر با ۰,۵ در نظر گرفته شده است.

گام ۶: رتبه بندی گزینه ها با استفاده از مقادیر Q_i .

گام ۷: گزینه ها بر اساس کمینه مقادیر به دست آمده Q_i رتبه بندی می شوند به طوری که دو شرط زیر هم زمان برقرار گردد:

شرط اول (ویژگی پذیرش): گزینه A^1 انتخاب می شود اگر $Q(A^2) - Q(A^1) \geq 1/m - 1$ به طوری که A^2 گزینه ایست که در رتبه دوم قرار گرفته و m نیز برابر با تعداد کل گزینه ها است.

شرط دوم (ثبات پذیرش در تصمیم گیری): A^1 همچنین بایستی رتبه اول را بر اساس مقادیر S_i و/یا R_i به دست آورد.

گام ۸: گزینه ای که کمترین مقدار در Q_i را داشته باشد در رتبه نخست قرار می گیرد.

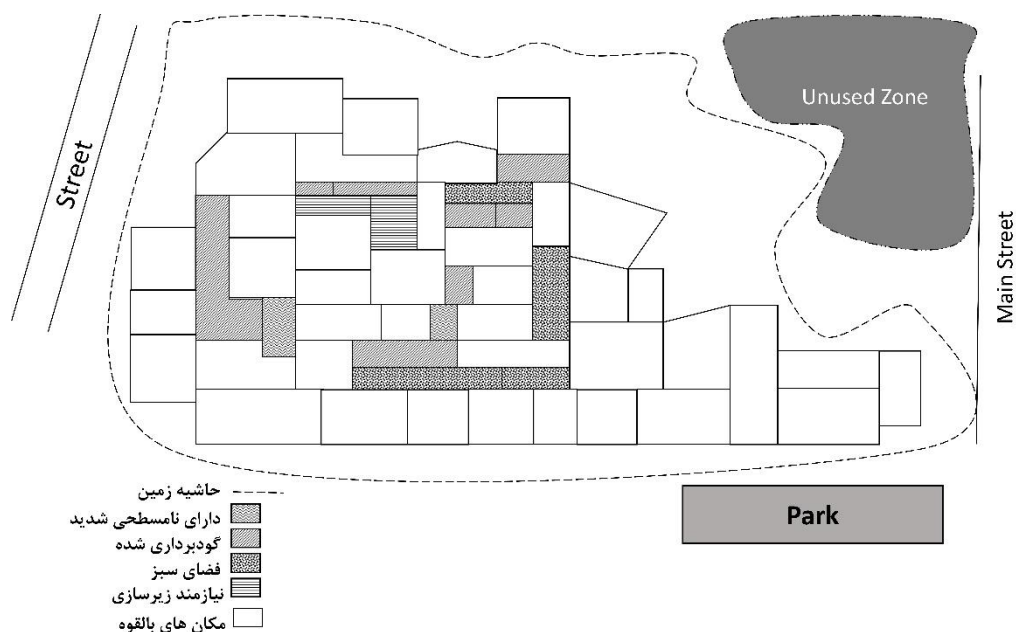
۳- نتایج محاسباتی

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از حل مورد مطالعاتی تحقیق که یک پروژه ساخت و ساز واحدهای مسکن مهر در استان تهران است، به کمک روش های پیشنهادی پرداخته می شود. البته با توجه به اینکه تمام اطلاعات این پروژه در دسترس نمی باشد، برخی از اطلاعات به صورت تصادفی و متناسب با ساختار مسئله تولید شده است. در این پروژه ۴۰ مکان بالقوه جهت احداث ۲۰ تسهیل توسط کارشناسان تعیین شده است.

جدول ۲: ساختار اولیه کارگاه ساختمانی

۱- انبار مصالح تولیدی فلزی و بتنی ۱	۲- سلف سرویس و خوابگاه
۳- انبار مصالح تولیدی فلزی و بتنی ۲	۴- دفاتر مهندسی و آزمایشگاه
۵- انبار مصالح تولیدی فلزی و بتنی ۳	۶- کارگاه تیرچه زنی، بلوک و دال ۱
۷- انبار سرپوشیده مصالح ساختمانی ۱	۸- کارگاه تیرچه زنی، بلوک و دال ۲
۹- انبار سرپوشیده مصالح ساختمانی ۲	۱۰- کارگاه تیرچه زنی، بلوک و دال ۳
۱۱- انبار سرپوشیده مصالح ساختمانی ۳	۱۲- کارگاه آهنگری و نجاری ۱
۱۳- انبار سرپوشیده مصالح ساختمانی ۴	۱۴- کارگاه آهنگری و نجاری ۲
۱۵- انبار سرپوشیده مصالح ساختمانی ۵	۱۶- پارکینگ وسایل نقلیه سواری
۱۷- انبار سرپوشیده تجهیزات الکتریکی و مکانیکی ۱	۱۸- پارکینگ وسایل نقلیه سنگین و ساختمانی
۱۹- انبار سرپوشیده تجهیزات الکتریکی و مکانیکی ۲	۲۰- تعمیرگاه

جدول ۲ و شکل ۱ ساختار اولیه کارگاه ساختمانی مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۱: ساختار اولیه کارگاه مورد مطالعه

مراحل اجرای روش تحقیق به منظور حصول نتایج نهایی در بخش‌های زیر ارائه می‌شود.

۴- تعیین اوزان معیارهای مؤثر بر سطح افزایش ایمنی و رتبه‌بندی مکان‌های بالقوه جهت تسهیلات

تجزیه و تحلیل داده‌ها فرآیندی چندمرحله‌ای است که طی آن داده‌هایی که از طریق به‌کارگیری ابزارهای جمع‌آوری در نمونه (جامعه) آماری فراهم آمده‌اند خلاصه، کدبندی، دسته‌بندی و در نهایت پردازش می‌شوند تا زمینه برقراری انواع تحلیل‌ها و ارتباط‌ها بین این داده‌ها به‌منظور دستیابی به اهداف پژوهش فراهم آید. در زمینه فرآیند داده‌ها هم از لحاظ مفهومی و هم از جنبه تجربی پالایش می‌شوند.

۵- اعتباریابی معیارهای ایمنی

در این بخش با توزیع و جمع‌آوری پرسشنامه شماره (۱) از اعتباریابی لاوشه جهت تعیین معیارهای ایمنی مؤثر بر جانمایی تسهیلات استفاده شده است، که در این راستا از نظرات ۳۰ نفر از خبرگان جهت تعیین روایی معیارهای شناسایی شده استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳: نتایج اعتباریابی معیارهای ایمنی مؤثر بر جانمایی تسهیلات

معیار	N	ne	CVR	معیار	N	ne	CVR
زیبایی دیداری	۳۰	۱۹	۰,۲۷	ارتباط بین نیروی کار و ماشین آلات	۳۰	۲۷	۰,۸۰
انعطاف پذیری ایمنی ماشین آلات	۳۰	۲۸	۰,۸۷	درجه خودکارسازی ماشین آلات	۳۰	۱۸	۰,۲۰
کمبود روشنایی	۳۰	۲۶	۰,۷۳	نوع محصولات	۳۰	۱۹	۰,۲۷
خطرات تنفسی	۳۰	۲۷	۰,۸۰	مشخصه‌های محصولات	۳۰	۱۹	۰,۲۷
ارتباط با سایر بخش‌ها	۳۰	۱۹	۰,۲۷	مناسب بودن طرح نهایی	۳۰	۲۸	۰,۸۷
امکان گسترش در آینده	۳۰	۱۸	۰,۲۰	تغییرات حرارتی	۳۰	۱۴	-۰,۰۷
ایمنی در تغذیه ماشین آلات	۳۰	۱۵	۰,۰۰	اختلال در سروصدا	۳۰	۱۸	۰,۲۰
دسترسی به ماشین آلات استاندارد	۳۰	۲۷	۰,۸۰	دسترسی ایمن به مواد اولیه	۳۰	۲۶	۰,۷۳
تجهیزات حفاظتی کارگران	۳۰	۲۵	۰,۶۷	فاضلاب و دفع زباله	۳۰	۱۸	۰,۲۰
اطلاعات ایمنی مواد و دستورالعمل‌ها	۳۰	۲۸	۰,۸۷	آتش‌سوزی و انفجار	۳۰	۱۹	۰,۲۷

با توجه به اینکه تعداد ارزیابان ۳۰ نفر است حداقل مقدار CVR متناسب با جدول فوق برابر با ۰,۳۳ است. بنابراین معیارهای ایمنی مؤثر نهایی شده بر جانمایی تسهیلات بر اساس جدول ۴ عبارت‌اند از:

جدول ۴: معیارهای نهایی ارزیابی جانمایی

کدشناسایی	معیارهای نهایی ارزیابی جانمایی
C ₁	انعطاف‌پذیری ایمنی ماشین آلات
C ₂	کمبود روشنایی
C ₃	خطرات تنفسی
C ₄	دسترسی به ماشین‌آلات استاندارد
C ₅	تجهیزات حفاظتی کارگران
C ₆	اطلاعات ایمنی مواد و دستورالعمل‌ها
C ₇	ارتباط بین نیروی کار و ماشین‌آلات
C ₈	مناسب بودن طرح نهایی
C ₉	دسترسی ایمن به مواد اولیه

۶- اوزان معیارهای ایمنی

در این بخش نتایج تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته ارائه می‌شوند. به طوری که با توزیع و جمع‌آوری پرسشنامه روش بهترین-بدترین، مهم‌ترین (بهترین) و کم‌اهمیت‌ترین (بدترین) معیار تعیین می‌شوند. جهت پاسخگویی و ارزش‌گذاری معیارها از نظرات یک کمیته خبره در زمینه HSE بهره برده شده است. بهترین معیار شناسایی شده توسط هر پاسخ‌دهنده مهم‌ترین معیار مؤثر بر مکان‌یابی تسهیلات و بدترین معیار شناسایی شده توسط هر پاسخ‌دهنده کم‌اهمیت‌ترین آن بر اساس نظرات هر خبره است. بهترین و بدترین معیار اشاره شده توسط خبرگان در جدول ۵ قابل مشاهده است.

جدول ۵: بهترین و بدترین معیار شناسایی شده توسط خبرگان

معیارهای مربوطه	شناسایی شده به عنوان "مهم ترین معیار"	شناسایی شده به عنوان "کم اهمیت ترین معیار"
C ₁	۵ و ۱	-
C ₂	۸ و ۷ و ۳	-
C ₃	-	۵ و ۴ و ۱
C ₄	۴ و ۲	-
C ₅	-	-
C ₆	۶	-
C ₇	-	۷ و ۲
C ₈	-	۸ و ۳
C ₉	-	۶

در ادامه به تعیین اولویت‌های بهترین معیار از میان تمام معیارها پرداخته می‌شود. این اطلاعات نیز از طریق توزیع و جمع‌آوری پرسشنامه روش بهترین-بدترین نتیجه شده به طوری که از پاسخ‌دهندگان خواسته می‌شود اولویت بهترین معیار را نسبت به سایر معیارها مشخص کنند. از این رو بردارهای بهترین-سایر معیار در جدول ۶ قابل مشاهده است.

جدول ۶: بردارهای بهترین-سایر معیار

(خبرگان)	بهترین معیار	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
خبره ۱	C ₁	۱	۳	۹	۲	۴	۲	۳	۲	۴
خبره ۲	C ₄	۴	۲	۳	۱	۲	۲	۸	۳	۴
خبره ۳	C ₂	۲	۱	۴	۲	۲	۳	۲	۹	۴
خبره ۴	C ₄	۲	۳	۸	۱	۴	۲	۲	۳	۵
خبره ۵	C ₁	۱	۲	۹	۳	۲	۲	۳	۴	۲
خبره ۶	C ₆	۲	۳	۲	۴	۲	۱	۳	۳	۹
خبره ۷	C ₂	۳	۱	۲	۲	۳	۲	۹	۲	۵
خبره ۸	C ₂	۳	۱	۳	۲	۲	۲	۵	۸	۲

به طریق مشابه به تعیین اولویت‌های سایر معیارها نسبت به بدترین معیار پرداخته می‌شود. این اطلاعات نیز از طریق توزیع و جمع‌آوری پرسشنامه روش بهترین-بدترین نتیجه شده به طوری که از پاسخ‌دهندگان خواسته می‌شود اولویت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار مشخص کنند. از این رو بردار سایر معیار-بدترین در جدول ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۷: بردارهای سایر معیار-بدترین

خبره ۸	خبره ۷	خبره ۶	خبره ۵	خبره ۴	خبره ۳	خبره ۲	خبره ۱	(خبرگان)
C_8	C_7	C_9	C_3	C_3	C_8	C_7	C_3	بدترین معیار
								معیار
۲	۲	۲	۹	۲	۲	۲	۹	C_1
۸	۹	۲	۲	۴	۹	۳	۲	C_2
۲	۲	۳	۱	۱	۳	۲	۱	C_3
۳	۳	۴	۵	۸	۵	۸	۲	C_4
۵	۵	۵	۴	۲	۲	۳	۳	C_4
۳	۲	۹	۳	۵	۲	۲	۴	C_6
۳	۱	۳	۲	۳	۲	۱	۳	C_7
۱	۴	۲	۳	۲	۱	۴	۲	C_8
۲	۲	۱	۳	۲	۳	۲	۲	C_9

در نهایت روش Best-Worst به منظور تعیین نتایج ضریب سازگاری مقایسات زوجی و همچنین اوزان معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی تسهیلات به کار گرفته می‌شود. اوزان معیارهای ایمنی از طریق حل مدل خطی روش بهترین-بدترین برای هشت پاسخ‌دهنده (خبرگان) با به‌کارگیری نرم‌افزار GAMS نسخه ۲۴,۳ و حل‌کننده‌ی BARON نتیجه می‌گردد. این اوزان، متوسط اوزان به‌دست‌آمده برای هر معیار است که در یک بردار وزنی واحد در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸: اوزان معیارهای ایمنی در جانمایی تسهیلات

معیار	پاسخ دهنده (خبرگان)							
	خ (۱)	خ (۲)	خ (۳)	خ (۴)	خ (۵)	خ (۶)	خ (۷)	خ (۸)
انعطاف پذیری ایمنی ماشین آلات	۰,۲۵۶	۰,۰۷۲	۰,۱۰۳	۰,۱۰۶	۰,۲۵۳	۰,۱۰۰	۰,۰۹۷	۰,۰۹۱
کمبود روشنایی	۰,۰۹۹	۰,۱۳۹	۰,۲۵۶	۰,۰۹۷	۰,۱۰۴	۰,۰۹۵	۰,۲۴۶	۰,۲۳۶
خطرات تنفسی	۰,۰۳۳	۰,۰۹۶	۰,۰۷۷	۰,۰۳۴	۰,۰۲۸	۰,۱۲۹	۰,۱۰۱	۰,۰۹۱
دسترسی به ماشین آلات استاندارد	۰,۱۰۷	۰,۲۴۹	۰,۱۰۳	۰,۲۵۱	۰,۰۹۹	۰,۰۷۱	۰,۱۲۹	۰,۱۳۰
تجهیزات حفاظتی کارگران	۰,۰۷۴	۰,۱۳۹	۰,۱۰۳	۰,۰۷۲	۰,۱۴۹	۰,۱۴۳	۰,۰۹۵	۰,۰۱۳۷
اطلاعات ایمنی مواد و دستورالعمل‌ها	۰,۱۴۹	۰,۱۰۵	۰,۱۰۳	۰,۱۴۵	۰,۱۳۳	۰,۲۴۳	۰,۱۰۱	۰,۰۵۵
ارتباط بین نیروی کار و ماشین آلات	۰,۰۹۹	۰,۰۳۳	۰,۱۵۴	۰,۱۴۰	۰,۰۹۹	۰,۰۹۵	۰,۰۲۸	۰,۱۳۰
مناسب بودن طرح نهایی	۰,۱۰۷	۰,۰۹۵	۰,۰۲۶	۰,۰۹۷	۰,۰۷۵	۰,۰۹۵	۰,۱۴۵	۰,۰۳۱
دسترسی ایمن به مواد اولیه	۰,۰۷۶	۰,۰۷۲	۰,۰۷۷	۰,۰۵۸	۰,۰۶۰	۰,۰۲۹	۰,۰۵۸	۰,۰۹۹
L^*	۰,۰۴۱	۰,۰۳۸	۰,۰۵۱	۰,۰۳۹	۰,۰۴۶	۰,۰۴۳	۰,۰۴۴	۰,۰۳۸

L^* نشان دهنده سازگاری برای مقایسات است. همان‌طور که از جدول ۸ نتیجه می‌شود، مقایسات سازگاری بسیار بالایی دارند چراکه مقدار آن نزدیک به صفر است. در مورد مقایسات زوجی انجام شده برای معیارها این نتیجه حاصل می‌شود که اوزان به دست آمده برای معیارهای کمبود روشنایی، دسترسی به ماشین‌آلات استاندارد و انعطاف‌پذیری ایمنی ماشین‌آلات به ترتیب دارای بیشترین مقدار نسبت به سایر معیارهای دیگر است. همان‌طور که از جدول فوق نتیجه می‌شود، مقدار نهایی CR کمتر از ۰,۱ است. این موضوع نشان از انتخاب مناسب معیارها برای حصول نتیجه نهایی است. در حقیقت طبق نظر خبرگان و کارشناسان می‌توان گفت که معیارهای بیان شده دارای سطح سازگاری مناسبی بوده و به‌طور مشخص بر حصول پاسخ‌های نهایی تأثیر دارد.

۷- ارزیابی مکان‌های بالقوه

در این قدم، ۴۰ مکان بالقوه که جهت جانمایی تسهیلات ارزیابی می‌شوند. به‌منظور تسهیل در این فرآیند، مکان‌ها به‌وسیله متغیرهای زبانی ارزیابی می‌شوند. این متغیرها شامل خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف، با مقادیر به ترتیب از ۱ تا ۵ است. متغیر خیلی خوب در هر یک از معیارها نشان‌دهنده بهترین مقدار ارزیابی به ازای کلیه معیارها است. در ادامه مقادیر ارزیابی مکان‌ها در جداول ارائه شده قابل‌رؤیت است.

۸- رتبه‌بندی مکان‌های بالقوه

در این بخش با تبدیل متغیرهای زبانی به مقادیر کمی و با استفاده از تکنیک‌های ویکور و تحلیل رابطه خاکستری، وزن عملکردی مکان‌ها قابل اندازه‌گیری است. وزن عملکردی مکان‌ها با توجه به معیارهای ایمنی در جداول زیر به نمایش درآمده است.

نتایج رتبه بندی ویکور

در این بخش با توزیع و جمع آوری پرسشنامه شماره (۳) و اجرای گام به گام روش ویکور رتبه بندی ۴۰ مکان اولیه جهت جانمایی تسهیلات انجام می شود که مراحل آن مطابق زیر است.

مرحله ۱- تشکیل ماتریس تصمیم: با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه ها و ارزیابی همه گزینه ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت جدول ۹ تشکیل می شود.

جدول ۹: مقادیر ارزیابی مکان های اولیه جهت جانمایی تسهیلات

معیارهای مربوطه									ماتریس گزینه-معیار
C_9	C_8	C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
۳,۵۲	۱,۹۴	۲,۲۹	۲,۵۸	۱,۱۵	۳,۲۴	۱,۰۴	۴,۴۵	۳,۸۷	مکان (۱)
۱,۰۰	۱,۴۷	۴,۳۷	۴,۱۰	۱,۱۷	۴,۴۳	۳,۳۹	۳,۵۰	۲,۰۴	مکان (۲)
۲,۸۶	۴,۴۸	۳,۷۳	۳,۹۶	۳,۰۴	۱,۹۶	۲,۶۷	۲,۸۵	۴,۳۳	مکان (۳)
۱,۱۳	۱,۶۶	۱,۶۱	۲,۷۸	۲,۵۱	۱,۶۸	۳,۸۳	۳,۱۲	۲,۲۵	مکان (۴)
۱,۹۷	۱,۸۵	۱,۸۹	۴,۰۷	۴,۰۲	۱,۱۲	۳,۴۳	۲,۷۷	۳,۶۰	مکان (۵)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۲,۹۸	۱,۳۲	۲,۳۱	۲,۱۰	۱,۸۳	۲,۸۹	۳,۲۴	۱,۴۴	۳,۶۴	مکان (۳۵)
۴,۳۱	۳,۸۴	۱,۴۸	۳,۱۴	۲,۳۵	۳,۴۶	۲,۱۴	۱,۲۹	۳,۵۳	مکان (۳۶)
۴,۰۵	۱,۴۶	۳,۴۷	۲,۹۷	۱,۵۳	۱,۶۱	۳,۴۴	۱,۷۳	۳,۷۹	مکان (۳۷)
۳,۸۹	۱,۳۸	۲,۷۹	۴,۱۸	۱,۹۹	۲,۹۱	۲,۰۳	۳,۴۹	۲,۴۹	مکان (۳۸)
۴,۴۳	۲,۷۷	۱,۳۰	۳,۶۹	۴,۰۸	۱,۲۴	۳,۸۹	۳,۷۵	۴,۰۵	مکان (۳۹)
۴,۱۴	۲,۷۰	۱,۲۱	۲,۱۸	۴,۲۶	۳,۰۸	۱,۸۹	۲,۲۶	۲,۳۶	مکان (۴۰)

مرحله ۲- بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم: در ادامه می بایست ماتریس تصمیم گیری گزینه-معیار فوق نرمال شود. به عنوان مثال f_{11} به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$f_{ij} = \frac{x_{11}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{40} x_{1j}^2}} = \frac{3.87}{\sqrt{3.87^2 + 2.04^2 + \dots + 4.05^2 + 2.36^2}} = 0.186 \quad (16)$$

و به طریق مشابه f_{ij} های دیگر نیز به دست آمده و پس از نتیجه شدن تمام f_{ij} ها تا سه رقم اعشار ماتریسی به صورت جدول ۱۰ نتیجه می شوند.

جدول ۱۰: ماتریس بی مقیاس شده مقادیر ارزیابی مکان های اولیه جهت جانمایی تسهیلات

معیارهای مربوطه									ماتریس گزینه-معیار
C_9	C_8	C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
۰,۱۶۹	۰,۰۹۳	۰,۱۱۰	۰,۱۲۴	۰,۰۵۵	۰,۱۵۵	۰,۰۵۰	۰,۲۱۳	۰,۱۸۶	مکان (۱)
۰,۰۴۸	۰,۰۷۱	۰,۲۱۰	۰,۱۹۷	۰,۰۵۶	۰,۲۱۲	۰,۱۶۳	۰,۱۶۸	۰,۰۹۸	مکان (۲)
۰,۱۳۷	۰,۲۱۵	۰,۱۷۹	۰,۱۹۰	۰,۱۴۶	۰,۰۹۴	۰,۱۲۸	۰,۱۳۷	۰,۲۰۸	مکان (۳)
۰,۰۵۴	۰,۰۸۰	۰,۰۷۷	۰,۱۳۳	۰,۱۲۰	۰,۰۸۱	۰,۱۸۴	۰,۱۵۰	۰,۱۰۸	مکان (۴)
۰,۰۹۴	۰,۰۸۹	۰,۰۹۱	۰,۱۹۵	۰,۱۹۳	۰,۰۵۴	۰,۱۶۵	۰,۱۳۳	۰,۱۷۳	مکان (۵)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۰,۱۴۳	۰,۰۶۳	۰,۱۱۱	۰,۱۰۱	۰,۰۸۸	۰,۱۳۹	۰,۱۵۵	۰,۰۶۹	۰,۱۷۵	مکان (۳۵)
۰,۲۰۷	۰,۱۸۴	۰,۰۷۱	۰,۱۵۱	۰,۱۱۳	۰,۱۶۶	۰,۱۰۳	۰,۰۶۲	۰,۱۶۹	مکان (۳۶)
۰,۱۹۴	۰,۰۷۰	۰,۱۶۶	۰,۱۴۲	۰,۰۷۳	۰,۰۷۷	۰,۱۶۵	۰,۰۸۳	۰,۱۸۲	مکان (۳۷)
۰,۱۸۷	۰,۰۶۶	۰,۱۳۴	۰,۲۰۰	۰,۰۹۵	۰,۱۴۰	۰,۰۹۷	۰,۱۶۷	۰,۱۱۹	مکان (۳۸)
۰,۲۱۲	۰,۱۳۳	۰,۰۶۲	۰,۱۷۷	۰,۱۹۶	۰,۰۵۹	۰,۱۸۷	۰,۱۸۰	۰,۱۹۴	مکان (۳۹)
۰,۱۹۹	۰,۱۲۹	۰,۰۵۸	۰,۱۰۵	۰,۲۰۴	۰,۱۴۸	۰,۰۹۱	۰,۱۰۸	۰,۱۱۳	مکان (۴۰)

مرحله ۳- تعیین بهترین و بدترین مقدار: در گام بعد بهترین و بدترین مقدار برای هر معیار بر اساس جدول ۱۱ نتیجه می شود.

جدول ۱۱: بهترین و بدترین مقدار معیار

معیارهای مربوطه									مشخصه های مربوطه
C_9	C_8	C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
۰,۲۱۲	۰,۲۱۵	۰,۲۱۴	۰,۲۱۶	۰,۲۱۱	۰,۲۱۵	۰,۰۵۰	۰,۰۴۸	۰,۲۱۳	f_j^*
۰,۰۴۸	۰,۰۵۶	۰,۰۵۴	۰,۰۵۲	۰,۰۵۴	۰,۰۵۲	۰,۲۱۳	۰,۲۱۵	۰,۰۴۸	f_j^-
۰,۱۶۵	۰,۱۵۹	۰,۱۶۰	۰,۱۶۴	۰,۱۵۷	۰,۱۶۳	-۰,۱۶۳	-۰,۱۶۷	۰,۱۶۵	$f_j^* - f_j^-$

در ادامه:

جدول ۱۲: بیشینه و کمینه فاصله گزینه‌ها از راه حل ایده آل

S^-	۰,۷۳۰	R^-	۰,۱۵۹
S^*	۰,۲۶۶	R^*	۰,۰۸۰
$S^- - S^*$	۰,۴۶۳	$R^- - R^*$	۰,۰۷۹

مرحله ۴- محاسبه مشخصه‌های سودمندی، تأسف و ویکور و تعیین مکان‌های بالقوه: در این مرحله با توجه به مشخصه ویکور مکان‌های اولیه مورد نظر رتبه‌بندی می‌شوند به طوری که گزینه‌های با Q_i کمتر در اولویت قرار دارند. همان‌طور که مشخص است مکان‌های منتخب ۷، ۳۶ و ۳۰ به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند.

جدول ۱۳: نتایج مشخصه‌های سودمندی (S_i)، تأسف (R_i)، ویکور (Q_i) و رتبه‌بندی گزینه‌های پیشنهادی

رتبه	Q_i	R_i	S_i	گزینه
۳۷	۰,۸۰۷	۰,۱۵۷	۰,۵۶۲	مکان (۱)
۲۱	۰,۵۰۲	۰,۱۱۴	۰,۵۳۴	مکان (۲)
۶	۰,۲۴۷	۰,۱۰۵	۰,۳۴۸	مکان (۳)
۳۳	۰,۷۱۰	۰,۱۱۷	۰,۷۰۹	مکان (۴)
۳۲	۰,۶۵۹	۰,۱۴۰	۰,۵۲۴	مکان (۵)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۱۰	۰,۳۳۷	۰,۰۹۱	۰,۵۱۶	مکان (۳۵)
۲	۰,۱۲۳	۰,۰۸۷	۰,۳۴۳	مکان (۳۶)
۲۳	۰,۵۰۵	۰,۱۲۰	۰,۵۰۱	مکان (۳۷)
۱۹	۰,۴۷۴	۰,۱۱۳	۰,۵۱۱	مکان (۳۸)
۳۱	۰,۶۱۸	۰,۱۳۵	۰,۵۱۵	مکان (۳۹)
۷	۰,۲۹۲	۰,۰۹۴	۰,۴۵۴	مکان (۴۰)

۹- نتایج رتبه بندی تحلیل رابطه خاکستری

در این بخش با توزیع و جمع آوری پرسشنامه شماره (۳) و اجرای گام به گام روش تحلیل رابطه خاکستری رتبه بندی ۴۰ مکان اولیه جهت جانمایی تسهیلات انجام می شود که مراحل آن مطابق زیر است.

مرحله ۱- تشکیل ماتریس تصمیم گیری: در این مرحله با استفاده از پرسشنامه نظرات جمع آوری گردیده و سپس با میانگین گیری از نظرات ماتریس معیار-گزینه تشکیل می گردد که در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۴: مقادیر ارزیابی مکان های اولیه جهت جانمایی تسهیلات

معیارهای مربوطه									ماتریس گزینه-معیار
C ₉	C ₈	C ₇	C ₆	C ₅	C ₄	C ₃	C ₂	C ₁	
۳,۵۲	۱,۹۴	۲,۲۹	۲,۵۸	۱,۱۵	۳,۲۴	۱,۰۴	۴,۴۵	۳,۸۷	مکان (۱)
۱,۰۰	۱,۴۷	۴,۳۷	۴,۱۰	۱,۱۷	۴,۴۳	۳,۳۹	۳,۵۰	۲,۰۴	مکان (۲)
۲,۸۶	۴,۴۸	۳,۷۳	۳,۹۶	۳,۰۴	۱,۹۶	۲,۶۷	۲,۸۵	۴,۳۳	مکان (۳)
۱,۱۳	۱,۶۶	۱,۶۱	۲,۷۸	۲,۵۱	۱,۶۸	۳,۸۳	۳,۱۲	۲,۲۵	مکان (۴)
۱,۹۷	۱,۸۵	۱,۸۹	۴,۰۷	۴,۰۲	۱,۱۲	۳,۴۳	۲,۷۷	۳,۶۰	مکان (۵)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۲,۹۸	۱,۳۲	۲,۳۱	۲,۱۰	۱,۸۳	۲,۸۹	۳,۲۴	۱,۴۴	۳,۶۴	مکان (۳۵)
۴,۳۱	۳,۸۴	۱,۴۸	۳,۱۴	۲,۳۵	۳,۴۶	۲,۱۴	۱,۲۹	۳,۵۳	مکان (۳۶)
۴,۰۵	۱,۴۶	۳,۴۷	۲,۹۷	۱,۵۳	۱,۶۱	۳,۴۴	۱,۷۳	۳,۷۹	مکان (۳۷)
۳,۸۹	۱,۳۸	۲,۷۹	۴,۱۸	۱,۹۹	۲,۹۱	۲,۰۳	۳,۴۹	۲,۴۹	مکان (۳۸)
۴,۴۳	۲,۷۷	۱,۳۰	۳,۶۹	۴,۰۸	۱,۲۴	۳,۸۹	۳,۷۵	۴,۰۵	مکان (۳۹)
۴,۱۴	۲,۷۰	۱,۲۱	۲,۱۸	۴,۲۶	۳,۰۸	۱,۸۹	۲,۲۶	۲,۳۶	مکان (۴۰)

مرحله ۲- تشکیل ماتریس تصمیم گیری معیار-گزینه نرمال: در این مرحله نرمال سازی ماتریس انجام می گردد که بر این اساس ماتریس معیار-گزینه نرمال در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۵: ماتریس بی‌مقیاس شده مقادیر ارزیابی مکان‌های اولیه جهت جانمایی تسهیلات

معیارهای مربوطه									ماتریس گزینه-معیار
C_9	C_8	C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
۰,۷۳۵	۰,۲۳۵	۰,۳۵۰	۰,۴۳۷	۰,۰۰۹	۰,۶۳۵	۱,۰۰۰	۰,۰۱۱	۰,۸۳۴	مکان (۱)
۰,۰۰۰	۰,۰۹۳	۰,۹۷۳	۰,۸۸۳	۰,۰۱۵	۰,۹۸۵	۰,۳۰۹	۰,۲۸۴	۰,۳۰۰	مکان (۲)
۰,۵۴۲	۱,۰۰۰	۰,۷۸۱	۰,۸۴۲	۰,۵۸۵	۰,۲۵۹	۰,۵۲۱	۰,۴۷۰	۰,۹۶۸	مکان (۳)
۰,۰۳۸	۰,۱۵۱	۰,۱۴۷	۰,۴۹۶	۰,۴۲۴	۰,۱۷۶	۰,۱۷۹	۰,۳۹۳	۰,۳۶۲	مکان (۴)
۰,۲۸۳	۰,۲۰۸	۰,۲۳۱	۰,۸۷۴	۰,۸۸۴	۰,۰۱۲	۰,۲۹۷	۰,۴۹۳	۰,۷۵۵	مکان (۵)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۰,۵۷۷	۰,۰۴۸	۰,۳۵۶	۰,۲۹۶	۰,۲۱۶	۰,۵۳۲	۰,۳۵۳	۰,۸۷۴	۰,۷۶۷	مکان (۳۵)
۰,۹۶۵	۰,۸۰۷	۰,۱۰۸	۰,۶۰۱	۰,۳۷۵	۰,۷۰۰	۰,۶۷۶	۰,۹۱۷	۰,۷۳۵	مکان (۳۶)
۰,۸۸۹	۰,۰۹۰	۰,۷۰۴	۰,۵۵۱	۰,۱۲۵	۰,۱۵۶	۰,۲۹۴	۰,۷۹۱	۰,۸۱۰	مکان (۳۷)
۰,۸۴۳	۰,۰۶۶	۰,۵۰۰	۰,۹۰۶	۰,۲۶۵	۰,۵۳۸	۰,۷۰۹	۰,۲۸۷	۰,۴۳۱	مکان (۳۸)
۱,۰۰۰	۰,۴۸۵	۰,۰۵۴	۰,۷۶۲	۰,۹۰۲	۰,۰۴۷	۰,۱۶۲	۰,۲۱۲	۰,۸۸۶	مکان (۳۹)
۰,۹۱۵	۰,۴۶۴	۰,۰۲۷	۰,۳۲۰	۰,۹۵۷	۰,۵۸۸	۰,۷۵۰	۰,۶۳۹	۰,۳۹۴	مکان (۴۰)

مرحله ۳- محاسبه ماتریس ضریب روابط خاکستری: در این مرحله ضریب روابط خاکستری هر گزینه محاسبه شده و در جداول ۱۶ نشان داده شده است.

جدول ۱۶: ماتریس ضریب روابط خاکستری

معیارهای مربوطه									ماتریس گزینه-معیار
C_9	C_8	C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
۰,۶۵۳	۰,۳۹۵	۰,۴۳۵	۰,۴۷۰	۰,۳۳۵	۰,۵۷۸	۱,۰۰۰	۰,۳۳۶	۰,۷۵۱	مکان (۱)
۰,۳۳۳	۰,۳۵۵	۰,۹۴۹	۰,۸۱۰	۰,۳۳۷	۰,۹۷۱	۰,۴۲۰	۰,۴۱۱	۰,۴۱۷	مکان (۲)
۰,۵۲۲	۱,۰۰۰	۰,۶۹۶	۰,۷۵۹	۰,۵۴۷	۰,۴۰۳	۰,۵۱۱	۰,۴۸۵	۰,۹۴۰	مکان (۳)
۰,۳۴۲	۰,۳۷۱	۰,۳۶۹	۰,۴۹۸	۰,۴۶۵	۰,۳۷۸	۰,۳۷۹	۰,۴۵۱	۰,۴۳۹	مکان (۴)
۰,۴۱۱	۰,۳۸۷	۰,۳۹۴	۰,۷۹۹	۰,۸۱۲	۰,۳۳۶	۰,۴۱۶	۰,۴۹۶	۰,۶۷۱	مکان (۵)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۰,۵۴۲	۰,۳۴۴	۰,۴۳۷	۰,۴۱۵	۰,۳۹۰	۰,۵۱۷	۰,۴۳۶	۰,۷۹۹	۰,۶۸۲	مکان (۳۵)
۰,۹۳۵	۰,۷۲۲	۰,۳۵۹	۰,۵۵۶	۰,۴۴۴	۰,۶۲۵	۰,۶۰۷	۰,۸۵۷	۰,۶۵۳	مکان (۳۶)
۰,۸۱۹	۰,۳۵۵	۰,۶۲۸	۰,۵۲۷	۰,۳۶۴	۰,۳۷۲	۰,۴۱۵	۰,۷۰۵	۰,۷۲۵	مکان (۳۷)
۰,۷۶۱	۰,۳۴۹	۰,۵۰۰	۰,۸۴۲	۰,۴۰۵	۰,۵۲۰	۰,۶۳۲	۰,۴۱۲	۰,۴۶۸	مکان (۳۸)
۱,۰۰۰	۰,۴۹۳	۰,۳۴۶	۰,۶۷۸	۰,۸۳۷	۰,۳۴۴	۰,۳۷۴	۰,۳۸۸	۰,۸۱۵	مکان (۳۹)
۰,۸۵۵	۰,۴۸۳	۰,۳۳۹	۰,۴۲۴	۰,۹۲۱	۰,۵۴۸	۰,۶۶۷	۰,۵۸۱	۰,۴۵۲	مکان (۴۰)

مرحله ۴-محاسبه رتبه روابط خاکستری: در این مرحله رتبه روابط خاکستری هر گزینه محاسبه شده و در جداول ۱۷ نشان داده شده است.

جدول ۱۷: ماتریس ضریب روابط خاکستری

مکان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
Γ	۰,۵۲۸	۰,۵۷۷	۰,۶۴۵	۰,۴۱۹	۰,۵۴۱	۰,۵۷۰	۰,۶۸۶	۰,۵۵۵	۰,۷۳۸	۰,۶۶۴
رتبه	۲۹	۱۳	۷	۴۰	۲۴	۱۷	۳	۲۰	۱	۴
مکان	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
Γ	۰,۵۸۸	۰,۴۸۴	۰,۶۰۲	۰,۵۳۴	۰,۴۹۱	۰,۵۲۷	۰,۶۴۸	۰,۵۳۷	۰,۴۸۹	۰,۵۷۳
رتبه	۱۲	۳۵	۱۱	۲۶	۳۳	۳۰	۶	۲۵	۳۴	۱۴
مکان	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
Γ	۰,۴۹۹	۰,۶۳۱	۰,۶۶۲	۰,۴۷۵	۰,۴۹۴	۰,۵۶۳	۰,۵۶۲	۰,۴۵۳	۰,۶۹۸	۰,۶۲۳
رتبه	۳۱	۹	۵	۳۶	۳۲	۱۸	۱۹	۳۸	۲	۱۰
مکان	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰
Γ	۰,۴۲۶	۰,۵۵۰	۰,۵۵۴	۰,۴۶۳	۰,۵۳۰	۰,۶۳۸	۰,۵۴۸	۰,۵۳۲	۰,۵۷۲	۰,۵۷۰
رتبه	۳۹	۲۲	۲۱	۳۷	۲۸	۸	۲۳	۲۷	۱۵	۱۶

با توجه به تحلیل رابطه خاکستری، گزینه‌ای با بالاترین ضریب رابطه خاکستری، گزینه برتر است؛ بنابراین اولویت بر طبق ارزش درجه رابطه خاکستری تعیین می‌شود. نتایج محاسبات درجه رابطه خاکستری حاکی از آن است که مکان‌های منتخب ۹، ۲۹ و ۷ به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار می‌گیرند.

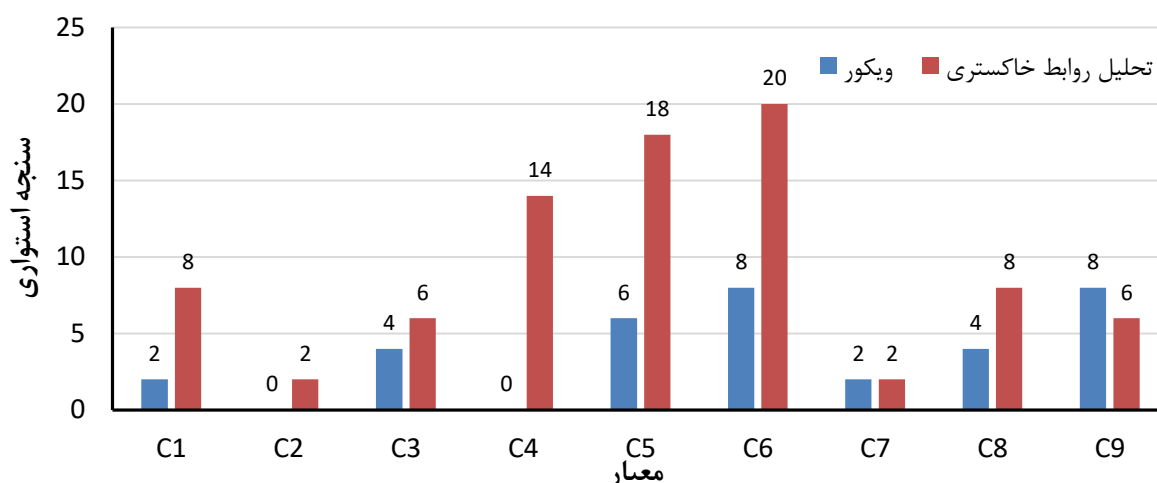
۱۰- آنالیز تحلیل حساسیت روش VIKOR و GRA

در این بخش دو دسته تحلیل حساسیت انجام می‌شود. در حالت اول تحلیل حساسیت روش‌ها نسبت به تغییر وزن معیارها و زیرمعیارها و در حالت دوم تحلیل حساسیت نسبت به تغییر وزن پارامتر استواری در هریک از روش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱۰-۱- تحلیل حساسیت نسبت به تغییر وزن معیارها

از آنجاییکه تغییر وزن معیارها تاثیر زیادی در اولویت‌بندی گزینه‌ها دارد، تحلیل حساسیت روش‌های اولویت‌بندی نسبت به تغییر وزن معیارها از طریق محاسبه سنجه استواری مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور وزن هریک از معیارها به میزان ۵٪ و ۵۰٪ درصد افزایش و کاهش می‌یابد که این موضوع باعث تغییر در اولویت‌بندی یک، دو یا چندگزینه می‌شود. در واقع اگر با تغییر وزن یک معیار، اولویت‌بندی گزینه‌ها تغییر نکند، سنجه استواری^۲ برای آن معیار برابر با صفر خواهند بود. حال آنکه اگر با تغییر وزن یک معیار، رتبه یک گزینه افزایش یابد، رتبه گزینه‌ای دیگر کاهش خواهد داشت، بنابراین سنجه استواری برابر با ۲ خواهد بود. برای مثال اگر با تغییر وزن یک معیار، رتبه بندی اولیه $A > B > C > D$ به $D > B > C > A$ تبدیل شود، مقدار سنجه استواری برابر با ۲ خواهد بود چون رتبه دو گزینه تغییر کرده است. شکل زیر میزان استواری هریک از روش‌ها را با سنجه استواری پیشنهادی برای روش ویکور و GRA نشان می‌دهد.

² robustness measure

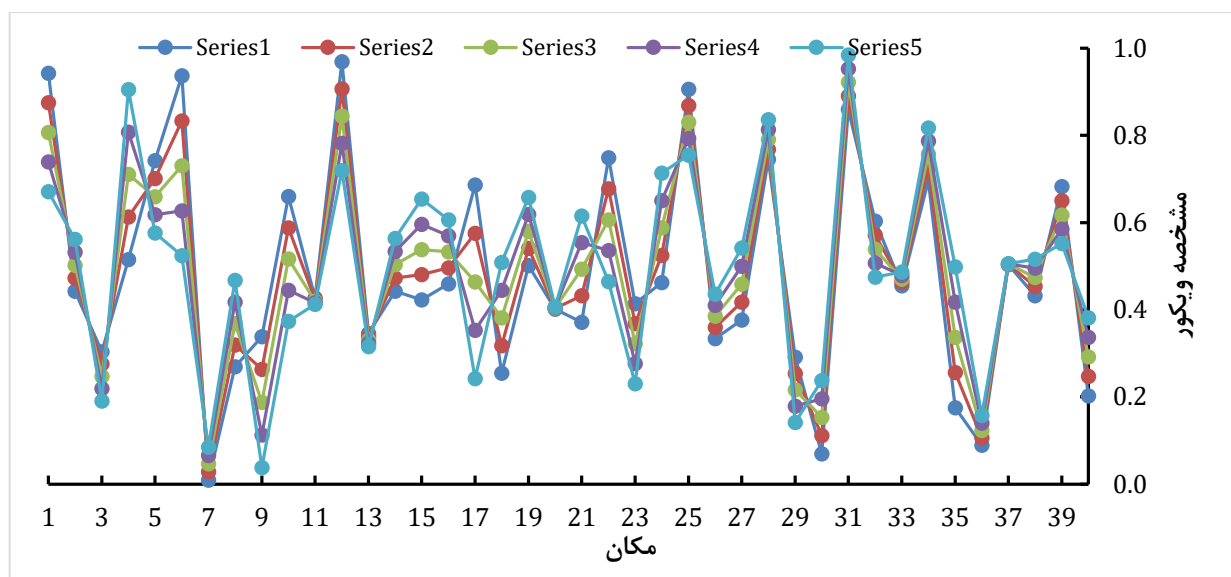


شکل ۲: محاسبه استواری روش‌های ویکور و GRA

مطابق با شکل ۲، می‌توان مشاهده نمود تغییر وزن معیارهای C2 و C4 در روش ویکور باعث تغییر در رتبه گزینه‌ها نشده است. اما تغییر در معیارهای C5، C6 و C9 باعث تغییر شدید در اولویت‌بندی در روش ویکور شده است. اما اولویت‌بندی در روش تحلیل روابط خاکستری دارای تغییرات بیشتری بوده و تغییر وزن معیارهای C6، C5 و C4 تغییرات بسیار شدید و در سایر معیارها نیز تغییرات مشخصی در اولویت‌بندی ارائه شده است. در یک جمع‌بندی برای تحلیل حساسیت روش‌های اولویت‌بندی، می‌توان گفت که روش GRA در مقابل تغییر وزن معیارها، تغییر بیشتری نسبت به روش ویکور داشته و در حقیقت استواری بالاتری را در مقابل تغییرات دارد. بنابراین بهتر است برای اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها از این روش استفاده شود.

۱۰-۲- تحلیل حساسیت نسبت به تغییر وزن پارامتر استواری

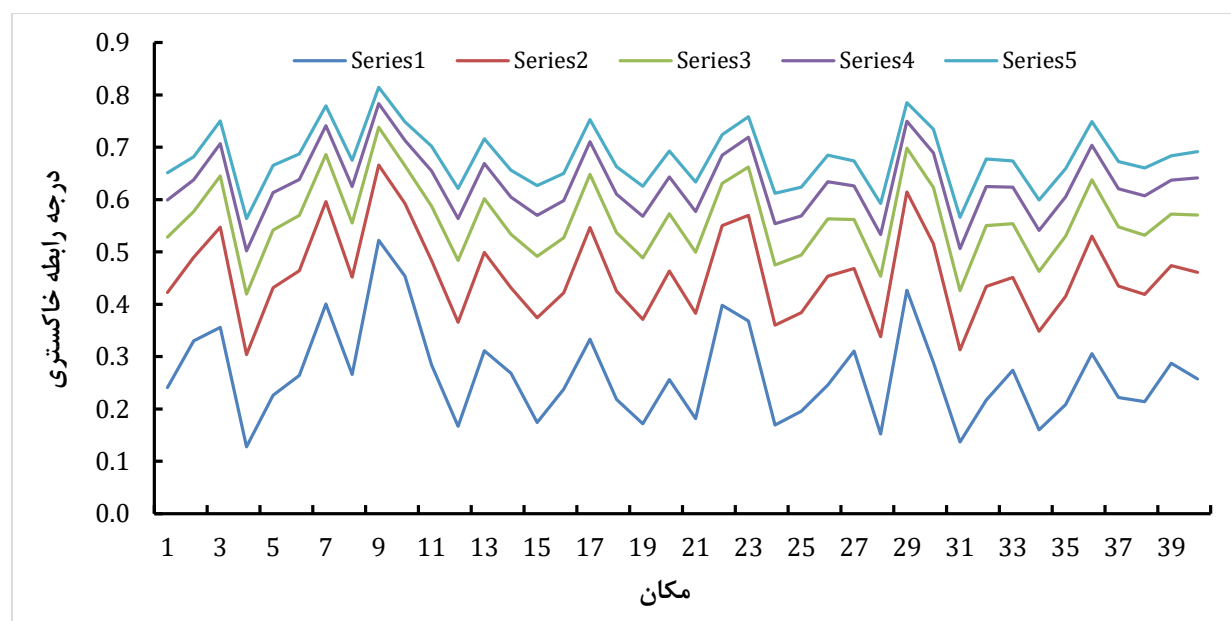
به‌منظور تحلیل حساسیت و اطمینان بیشتر از نتایج به‌دست‌آمده از روش VIKOR، تأثیر مقادیر مختلف ۷ بر نتایج روش VIKOR مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود بر اساس مقادیر مختلف استراتژی حداکثر مطلوبیت گروهی (۷)، تغییرات اولویت‌بندی گزینه‌ها دارای اختلافات ناچیزی است. اما همچنان مکان‌های منتخب ۷، ۹، ۳۰ و ۳۶ در اولویت‌های بالاتری قرار دارند.



شکل ۳: تحلیل حساسیت روش ویکور

بنابراین روش ویکور نسبت به تغییرات پارامتر ۷ از سازگاری قابل قبولی برخوردار نیست. به منظور بررسی تأثیر ضریب تشخیص‌های متفاوت بر نتایج روش تحلیل رابطه خاکستری، درجه رابطه خاکستری برای هر مکان با توجه به ضریب تشخیص‌های متفاوت محاسبه شد. در این آزمایش ضریب تشخیص‌های متفاوت در نظر گرفته شد. نتایج این آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود به ازای تغییرات ضریب تشخیص (ξ) اولویت‌های مربوط به گزینه‌ها تغییر نکرده است و نتایج به دست آمده از روش تحلیل رابطه خاکستری دارای استواری نسبت به روش ویکور است.



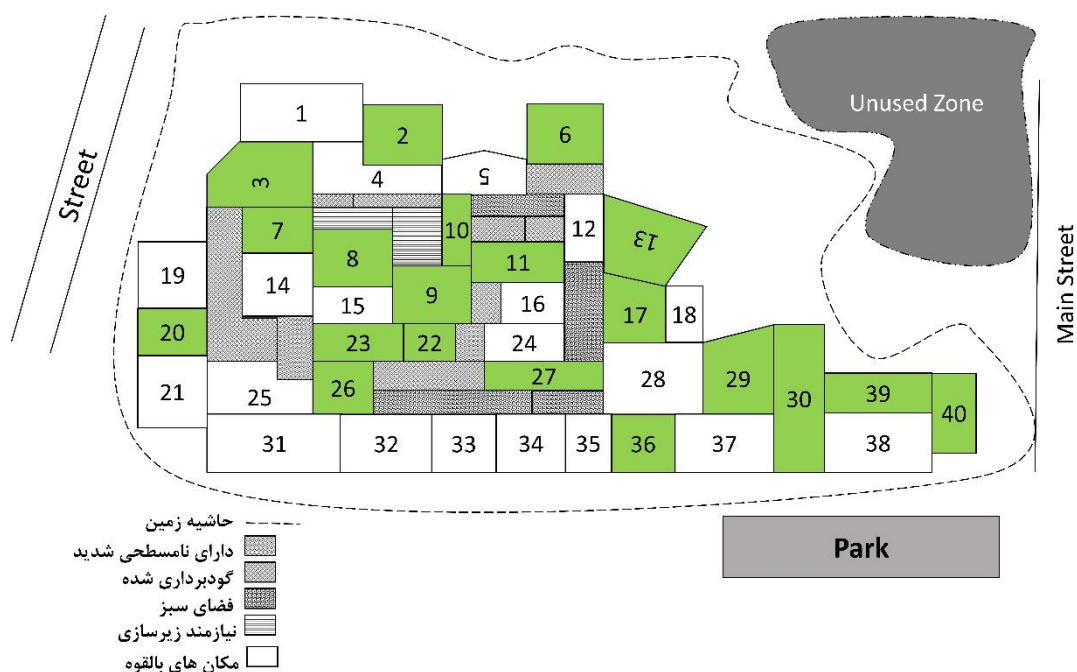
شکل ۴: تحلیل حساسیت روش تحلیل رابطه خاکستری

در نهایت مکان‌های بالقوه جهت جانمایی تسهیلات به شرح جدول ۱۸ به‌دست آمده است. لازم به ذکر است بر اساس توافق جمعی تصمیم‌گیران گزینه‌هایی که درجه رابطه خاکستری آن‌ها بیشتر از ۰,۵۵۵ نتیجه شده است به‌عنوان مکان‌های بالقوه انتخاب شده‌اند.

جدول ۱۸: مکان‌های بالقوه نتیجه‌شده

ردیف	مکان	درجه رابطه خاکستری (Γ)	ردیف	مکان	درجه رابطه خاکستری (Γ)
۱	مکان (۹)	۰,۷۳۸	۱۱	مکان (۱۳)	۰,۶۰۲
۲	مکان (۲۹)	۰,۶۹۸	۱۲	مکان (۱۱)	۰,۵۸۸
۳	مکان (۷)	۰,۶۸۶	۱۳	مکان (۲)	۰,۵۷۷
۴	مکان (۱۰)	۰,۶۶۴	۱۴	مکان (۲۰)	۰,۵۷۳
۵	مکان (۲۳)	۰,۶۶۲	۱۵	مکان (۳۹)	۰,۵۷۲
۶	مکان (۱۷)	۰,۶۴۸	۱۶	مکان (۴۰)	۰,۵۷۰
۷	مکان (۳)	۰,۶۴۵	۱۷	مکان (۶)	۰,۵۷۰
۸	مکان (۳۶)	۰,۶۳۸	۱۸	مکان (۲۶)	۰,۵۶۳
۹	مکان (۲۲)	۰,۶۳۱	۱۹	مکان (۲۷)	۰,۵۶۲
۱۰	مکان (۳۰)	۰,۶۲۳	۲۰	مکان (۸)	۰,۵۵۵

ساختار مکان‌های بالقوه انتخابی در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵: مکان‌های بالقوه انتخابی جهت احداث تسهیلات کارگاهی

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که تقریباً تمام نقاط انتخابی جهت احداث تسهیلات در نقاط مرکزی کارگاه قرار دارند. دلیل این امر را می‌توان به دلیل امتیازهای معیارهای ایمنی ارائه شده توسط روش بهترین-بدترین دانست. در واقع طبق نظر خبرگان، سطح

ایمینی کار در نقاط مرکزی فضای کارگاه تا حد زیادی نسبت به فضای مرزی آن بیشتر است. همچنین به دلیل انجام امور حمل و نقل به شکل مناسب، برخی از تسهیلات مانند انبارها باید در نقاطی نزدیک به خیابان اصلی احداث شوند که این موضوع نیز در نتایج نهایی قابل مشاهده است.

۱۱- نتیجه گیری

- در این پژوهش یک رویکرد جدید ترکیبی مبتنی بر BWM، تکنیک‌های GRA و VIKOR جهت انتخاب مکان احداث تسهیلات کارگاهی براساس طرح مطالعاتی در حوزه مدیریت ساخت و ساز در پروژه مسکن مهر در شهر تهران ارائه شده است.

- ساختار اجرایی تحقیق برمبنای سه فاز عملیاتی تدوین شده است. در فاز اول معیارها از ادبیات تحقیق استخراج و توسط خبرگان صحت‌گذاری شده است. همچنین مکان‌های بالقوه جهت احداث تسهیلات نیز توسط خبرگان تعیین شده و در نهایت داده‌های موردنیاز جهت حل مسئله در قالب پرسشنامه‌های طراحی شده اطلاعات جمع‌آوری شده است. در فاز دوم با به‌کارگیری BWM وزن مربوط به هر یک از معیارها تعیین شده است.

- مطابق با نتایج به‌دست‌آمده سه معیار مهم در ارزیابی مکان‌های بالقوه جهت احداث تسهیلات کارگاهی عبارت‌اند از کمبود روشنایی، دسترسی به ماشین‌آلات استاندارد و انعطاف‌پذیری ایمنی ماشین‌آلات است. سپس با به‌کارگیری روش‌های GRA و VIKOR رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها انجام شده است. بر این اساس در روش GRA سه گزینه برتر انتخاب شده به ترتیب عبارت‌اند از مکان (۹) مکان (۲۷) و مکان (۷) و در روش VIKOR نیز به ترتیب عبارت‌اند از مکان (۹)، مکان (۳۶) و مکان (۷).

- با توجه به شباهت موجود در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها توسط هر دو روش جهت انتخاب بهترین مکان بالقوه احداث تسهیلات کارگاهی نیاز به استفاده از روشی باقابلیت اطمینان بالا است. از این‌رو در فاز سوم جهت انتخاب بهترین روش از تحلیل حساسیت نتایج نهایی بر روی پارامترهای موجود در روش‌های VIKOR و GRA جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است.

- مطابق با نتایج محاسباتی روش GRA دارای میزان استواری بالاتری نسبت به روش VIKOR است. بنابراین رتبه‌بندی نتیجه شده توسط روش GRA به‌عنوان پاسخ نهایی جهت پیاده‌سازی در مورد مطالعاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پایان جهت گسترش ابعاد موضوعی پژوهش به‌کارگیری روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره و انجام مقایسات جهت ارزیابی کارایی آن‌ها پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

- [1] Said, H., & El-Rayes, K. (2013). Performance of global optimization models for dynamic site layout planning of construction projects. *Automation in Construction*, 36, 71-78 .
- [2] Kumar, S. S., & Cheng, J. C. (2015). A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. *Automation in Construction*, 59, 24-37 .
- [3] Yahya, M., & Saka, M. (2014). Construction site layout planning using multi-objective artificial bee colony algorithm with Levy flights. *Automation in Construction*, 38, 14-29 .
- [4] Kaveh, A., Rastegar Moghaddam, M., & Khanzadi, M. (2018). Efficient multi-objective optimization algorithms for construction site layout problem. *Scientia Iranica*, 25(4), 2051-2062 .
- [5] Jozi, S. A., Shoshtary, M. T., & Zadeh, A. R. K. (2015). Environmental risk assessment of dams in construction phase using a multi-criteria decision-making (MCDM) method. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21(1), 1-16 .
- [6] Durmusoglu, Z. D. (2018). A TOPSIS-based approach for sustainable layout design: activity relation chart evaluation. *Kybernetes*, 47(10), 2012-2024 .
- [7] Ardeshir, A., Mohseni, N., Behzadian, K., & Errington, M. (2014). Selection of a bridge construction site using fuzzy analytical hierarchy process in geographic information system. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(6), 4405-4420 .

- [8] Nguyen, H.-T., Dawal, S. Z. M., Nukman, Y., Rifai, A. P., & Aoyama, H. (2016). An integrated MCDM model for conveyor equipment evaluation and selection in an FMC based on a fuzzy AHP and fuzzy ARAS in the presence of vagueness. *PloS one*, 11(4), e0153222 .
- [9] Marzouk, M., & Al Daour, I. (2018). Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation. *Safety science*, 109, 17 . ۱۸۵-۴
- [10] Mytilinou, V., Lozano-Minguez, E., & Kolios, A. (2018). A framework for the selection of optimum offshore wind farm locations for deployment. *Energies*, 11(7), 1855 .
- [11] Abune'Meh, M. (2017). *Construction Site Layout Optimization, Considering Risk of Natural or Technological Hazard Utilizing GIS*. Université Paris-Est .
- [12] Esfahani, H. K., & Nik, M. S. A. (2016). Use of GIS-based Multi-Criteria Decision Making to Optimal Site Selection in an Illustrative Study Area in the Center of Iran. *International Journal of Engineering Research*, 5(4), 260-263 .
- [13] Ning, X., Ding, L., Luo, H., & Qi, S. (2016). A multi-attribute model for construction site layout using intuitionistic fuzzy logic. *Automation in Construction*, 72, 380-387 .
- [14] Önüt, S., Efeendigil, T., & Kara, S. S. (2010). A combined fuzzy MCDM approach for selecting shopping center site: An example from Istanbul, Turkey. *Expert systems with applications*, 37(3), 1973-1980 .
- [15] Ataei, E., & Branch, A. (2013). Application of TOPSIS and fuzzy TOPSIS methods for plant layout design. *World Applied Sciences Journal*, 24(7), 908-913 .
- [16] Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Šaparauskas, J., & Turskis, Z. (2013). Multi-criteria assessment of facades' alternatives: peculiarities of ranking methodology. *Procedia Engineering*, 57, 107-112 .
- [17] Stanujkić, D., Đorđević, B., & Đorđević, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: A case of ranking Serbian banks. *Serbian Journal of Management*, 8(2), 213-241 .
- [18] Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., & Canteras-Jordana, J. C. (2014). A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction*, 45, 151-162 .
- [19] Arashpour, M., Wakefield, R., Abbasi, B., Arashpour, M., & Hosseini, R. (2018). Optimal process integration architectures in off-site construction: Theorizing the use of multi-skilled resources *Architectural Engineering and Design Management*, 14(1-2), 46-59 .
- [20] Al Hawarneh, A., Bendak, S., & Ghanim, F. (2019). Dynamic facilities planning model for large scale construction projects. *Automation in Construction*, 98, 72-89 .
- [21] Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng ,Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609 .
- [22] Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130 .
- [23] Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49 Δ۷-
- [24] Zhang, S.-f., Liu, S.-y., & Zhai, R.-h. (2011). An extended GRA method for MCDM with interval-valued triangular fuzzy assessments and unknown weights. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 1336-1341 .
- [25] Deng, J.-L. (1982). Control problems of grey systems. *Sys. & Contr. Lett.*, 1(5), 288-294 .
- [26] Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5-21 .
- [27] Gupta, H. (2018). Evaluating service quality of airline industry using hybrid best worst method and VIKOR. *Journal of Air Transport Management*, 68, 35-47 .