



Paper Type: Original Article



Sustainable Location Selection of Weighing Infrastructure in Mining Supply Chains: A BWM-ERASA Multi-Criteria Decision-Making Framework

Mohammad Sanjari-Parizi^{1,2,*}, Mohammadali Saadati-Parizi¹, Mohammadjavad Mohammadi Soleimani¹, Seyyed Reza Alenabi¹, Hamid Khajehnazari¹

¹ Gohar Zamin Mining and Industrial Company, Sirjan, Iran; msanjari@ut.ac.ir.

² Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Citation:



Sanjari-Parizi, M., Saadati-Parizi, M., Mohammadi Soleimani, M., Alenabi, S. R., & Khajehnazari, H. (2025). Sustainable location selection of weighing infrastructure in mining supply chains: A BWM-ERASA multi-criteria decision-making framework. *Management: Modeling, analysis and applications*, 2(4), 302-310.

Received: 15/05/2025

Reviewed: 25/09/2025

Revised: 11/10/2025

Accepted: 22/11/2025

Abstract

Purpose: Facility location selection is a strategic decision in supply chain management with long-term implications for operational costs, productivity, service quality, and organizational sustainability. In the mining industry, selecting appropriate locations for load-regulation weighing systems plays a critical role in accelerating loading operations, reducing transportation costs, and improving material flows. Despite its importance, limited attention has been paid to the location selection of supporting mining supply chain facilities through a sustainability-oriented Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) perspective. Therefore, this study aims to evaluate and identify the most suitable locations for load-regulation weighing systems at Goharzamin Mining and Industrial Company.

Methodology: This applied research was conducted as a case study in Goharzamin Mining and Industrial Company. Four candidate locations and seven evaluation criteria covering economic, social, and environmental sustainability dimensions were identified. The Best-Worst Method (BWM) was employed to determine criteria weights based on the judgments of five industry experts and managers. Subsequently, the candidate locations were evaluated and ranked using the ERASA multi-criteria decision-making method. Sensitivity analysis and comparative evaluations with several established MCDM methods were also performed to assess the robustness of the results.

Findings: The results revealed that distance and construction cost are the most influential decision criteria. The evaluation of candidate locations indicated that the fourth alternative, which involves installing weighing systems near each product's storage area, achieved the highest overall score and ranked first among all alternatives. Sensitivity analysis confirmed the relative stability of the ranking results across different weighting scenarios, while comparisons with other MCDM methods demonstrated satisfactory consistency.

Originality/Value: The primary contribution of this study lies in integrating the BWM and the recently developed ERASA method to address a mining facility location problem while explicitly incorporating sustainability considerations. The proposed framework extends the practical application of ERASA and provides a decision-support tool for mining managers seeking more effective and reliable location-selection decisions under multiple, potentially conflicting criteria.

Keywords: Multi-criteria decision making, ERASA method, Best-worst method, Load weighing systems, Location selection.



Corresponding Author: msanjari@ut.ac.ir

<https://doi.org/10.22105/mmaa.v2i4.117>

Licensee. **Management: Modeling, Analysis and Application**. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



مکان یابی پایدار زیرساخت های توزین در زنجیره تامین معدن: یک چارچوب تصمیم گیری چندمعیاره مبتنی بر BWM-ERASA

محمد سنجری پاریزی^{۱،*}، محمدعلی سعادت پاریزی^۱، محمدجواد محمدی سلیمانی^۱، سید رضا آل نبی^۱، حمید خواجه نظری^۱

^۱ شرکت معدنی و صنعتی گهرزمین، سیرجان، ایران.
^۲ گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

هدف: در صنایع معدنی، انتخاب محل مناسب برای استقرار سیستم های توزین و تنظیم بار نقش مهمی در تسریع عملیات بارگیری، کاهش هزینه های حمل و نقل و بهبود جریان مواد ایفا می کند. با وجود اهمیت این موضوع، مطالعات اندکی به مکان یابی تجهیزات پشتیبان زنجیره تامین معدن با رویکردی مبتنی بر پایداری و تصمیم گیری چندمعیاره^۱ پرداخته اند. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و انتخاب مناسب ترین محل برای استقرار سیستم های توزین تنظیم بار در شرکت معدنی و صنعتی گهرزمین انجام شد.

روش شناسی پژوهش: این پژوهش از نوع کاربردی بوده و در قالب یک مطالعه موردی در شرکت معدنی و صنعتی گهرزمین انجام شده است. ابتدا چهار گزینه مکانی بالقوه و هفت معیار ارزیابی با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پایداری شناسایی شدند. سپس وزن معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین^۲ و بر مبنای نظر پنج نفر از خبرگان و مدیران مرتبط تعیین شد. در ادامه، گزینه های مکانی با استفاده از روش نوین تصمیم گیری چندمعیاره ERASA ارزیابی و رتبه بندی شدند. همچنین تحلیل حساسیت و مقایسه نتایج با چند روش شناخته شده MCDM برای بررسی استحکام نتایج انجام گرفت.

یافته ها: نتایج نشان داد معیارهای مسافت و هزینه احداث بیشترین اهمیت را در تصمیم گیری دارند. ارزیابی گزینه های مکانی نیز نشان داد گزینه چهارم، شامل استقرار باسکول های تنظیم بار در مجاورت محل ذخیره هر محصول، بالاترین امتیاز را کسب کرده و به عنوان مناسب ترین گزینه انتخاب شد. نتایج تحلیل حساسیت نیز حاکی از پایداری نسبی رتبه بندی گزینه ها در سناریوهای مختلف وزنی بود و مقایسه با سایر روش های MCDM، سازگاری قابل قبولی را در نتایج نشان داد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: نوآوری اصلی پژوهش در کاربرد هم زمان BWM و روش نوین ERASA برای حل مساله مکان یابی زیرساخت های توزین در زنجیره تامین معدن و لحاظ کردن ابعاد پایداری در فرایند ارزیابی است. پژوهش حاضر علاوه بر توسعه کاربردهای عملی روش ERASA، چارچوبی تصمیم یار برای مدیران صنایع معدنی فراهم می کند تا تصمیمات مکان یابی را با دقت بیشتر و بر مبنای معیارهای چندگانه اتخاذ کنند.

کلیدواژه ها: تصمیم گیری چندمعیاره، روش ERASA، روش بهترین-بدترین، سیستم های توزین، مکان یابی.

۱- مقدمه

تعیین مکان مناسب یک جزء زیرساختی (زمین، جاده، سایت و تسهیلات) در یک منطقه خاص با توجه به ترجیحات تصمیم گیرنده و محدودیت های موجود به عنوان مساله مکانیابی معرفی می شود [1]. مکان یابی بخش های مختلف یکی از اساسی ترین مراحل در راه اندازی یا گسترش کارخانه ها و سازمان ها است. با توجه به شرایط مختلف، بسیاری از شرکت ها ممکن است پس از چند سال نیاز به توسعه منطقه، افزایش ظرفیت تولید و بازنگری

¹ Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)

² Best-Worst Method (BWM)

در ساختار سنتی گذشته داشته باشند؛ بنابراین، نیاز به تغییر ساختار فضایی یا ایجاد مکان‌های جدید دارند. تصمیم‌گیری در مورد مکان تأسیسات در مدیریت زنجیره‌تأمین بسیار مهم است. با در نظر گرفتن تأثیر مکان تأسیسات بر هزینه، سرعت تحویل، سطح خدمات و اثربخشی زنجیره‌تأمین، عملکرد کلی زنجیره‌تأمین تحت تأثیر تصمیمات مکان‌یابی قرار می‌گیرد [2]. مدلسازی ریاضی و *MCDM* روش‌های رایج در انتخاب مکان مناسب تأسیسات هستند. کارشناسان باتوجه‌به نوع و پیچیدگی مساله، روشی را انتخاب می‌کنند. باتوجه‌به وجود معیارهای متضاد در انتخاب مکان بهینه تأسیسات، رویکردهای *MCDM* یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای کسب حداکثر رضایت تصمیم‌گیرنده در این نوع مسایل هستند.

بسیاری از تحقیقات کاربرد روش‌های *MCDM* را در انتخاب مکان مناسب بررسی کرده‌اند. وانگ و همکاران [3] از ترکیبی از روش‌های *MCDM* برای یافتن بهترین مکان برای ساخت نیروگاه خورشیدی بر اساس معیارهای کمی و کیفی استفاده کردند. کاراشان و همکاران [4] از یک رویکرد *MCDM* یکپارچه برای ارزیابی گزینه‌های انتخاب‌شده جهت یافتن مناسب‌ترین مکان احداث ایستگاه شارژ وسایل نقلیه الکتریکی استفاده کردند. وانگ و همکاران [5] یک چارچوب انتخاب مکان بهینه برای ایستگاه تعویض باتری برای تأمین انرژی خودروهای الکتریکی بر اساس روش‌های دیمتل و مورا پیشنهاد کردند و یک مطالعه موردی در پکن به منظور انتخاب محل ایستگاه‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. آیدین و ساکر [6] با استفاده از روش‌های *MCDM* مناسب‌ترین مکان را برای یک بیمارستان ایزوله برای بیماران مبتنی بر اپیدمی بررسی و انتخاب کرده‌اند. در تحقیق آن‌ها، پنج مکان کاندید در بخش اروپایی استانبول بر اساس نه معیار ارزیابی با کمک روش دلفی، *BWM* و روش تاپسیس بررسی شده است. شاهین و همکاران [7] با استفاده از روش‌های *MCDM* یک رویکرد ترکیبی برای ارزیابی و انتخاب مکان‌های بالقوه برای ساخت کارخانه تولید خودرو ترکیه ارایه کردند. ژوان و همکاران [8] از تکنیک‌های *MCDM* برای رتبه‌بندی سایت‌های کاندید به منظور تعیین مکان احداث نیروگاه برق خورشیدی برای تولید هیدروژن در ازبکستان استفاده کردند. نجله و همکاران [9] روشی را برای انتخاب مناسب‌ترین طرح چیدمان تسهیلات با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۱ و روش تاپسیس پیشنهاد کردند که به بررسی یک مطالعه موردی در صنعت ریلی پرداخته است.

مساله انتخاب مکان انبار یکی از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین تصمیمات در مدیریت زنجیره‌تأمین است. بنابراین، مطالعات مختلفی برای تعیین بهترین مکان برای استقرار انبار با استفاده از روش‌های مختلف *MCDM* انجام شده است. در پژوهشی توسط کباک و کسکین [10] با استفاده از روشی ترکیبی شامل مدل ریاضی، *MCDM* و *GIS*، مناسب‌ترین مکان برای ایجاد انبار مواد منفجره و مهمات در منطقه مرمره ترکیه و با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های حمل و نقل و اثرات زیست‌محیطی تعیین شده است. در پژوهشی توسط اوکامپو و همکاران [11] با استفاده از روش تاپسیس، یک مساله تصمیم‌گیری انتخاب مکان انبار تحت ساختار تصمیم‌گیری گروهی با اولویت‌های مختلف کارشناسان و با در نظر گرفتن ۲۲ معیار مختلف بررسی شده است. آک و دریا [12] با استفاده از روش *AHP* برای ارزیابی وزن معیارها و روش تاپسیس برای بررسی گزینه‌ها، به مشکل انتخاب انبار در زنجیره‌تأمین بشردوستانه پرداخته‌اند. ساها و همکاران [13] با استفاده از تکنیک‌های دلفی و روش *MARCOS* و بر اساس مجموعه‌های فازی، بهترین مکان انبار را برای یک شرکت خودروسازی بررسی کرده‌اند. میتال و اوپاید [14] از رویکرد *MCDM* مبتنی بر *BWM* و تاپسیس با در نظر گرفتن جنبه‌های پایداری استفاده کردند تا در مورد مکان انبارهای تجهیزات کمکی در زنجیره‌تأمین بشردوستانه تصمیم‌گیری کنند. سنجری پاریزی و همکاران [15] با ارایه یک رویکرد جدید در *MCDM* بر اساس مرزهای تغییر ارزش و انباشت گزینه‌ها به بررسی و انتخاب محل مناسب ساخت انبار مرکزی در شرکت معدنی و صنعتی گهرزمین پرداختند.

باتوجه‌به مطالعات انجام‌شده، مشاهده می‌شود که از روش‌های *MCDM* برای ارزیابی و انتخاب مکان تسهیلات در زنجیره‌های تأمین مختلف استفاده شده است. اما بررسی و استفاده از روش‌های *MCDM* برای استقرار امکانات در زنجیره‌تأمین معدن زیاد مورد استفاده قرار نگرفته است. از سوی دیگر، باتوجه‌به نقش استراتژیک شرکت‌های معدنی در اقتصاد کشورها و اهمیت مدیریت زنجیره‌تأمین معدن، ایجاد بهینه و مناسب امکانات به منظور افزایش بهره‌وری ضروری است. در این پژوهش موضوع انتخاب مناسب‌ترین مکان برای احداث سیستم‌های توزین محصولات در شرکت گهرزمین بررسی شده است. همچنین سعی شده است با ارایه روش‌های جدید *MCDM* دقت تصمیم‌گیری افزایش یابد.

¹ Analytical Hierarchy process (AHP)

۲- روش تحقیق

در تصمیم گیری با استفاده از روش های $MCDM$ ، گزینه های مختلف با استفاده از معیارهای کمی و کیفی مختلف ارزیابی می شوند. باتوجه به تعداد زیاد روش های $MCDM$ ، انتخاب روش مناسب برای مساله تصمیم گیری بسیار مهم است و متخصصان باتوجه به نوع و پیچیدگی مساله، روشی را انتخاب می کنند [16].

۲-۱- روش ERASA

روش ERASA توسط سنجر پریزی و همکاران [15] معرفی شد. این روش با بررسی همزمان راه حل های ایده آل، ضد ایده آل و میانگین و توجه به چولگی و تجمع گزینه ها بر اساس معیارهای ارزیابی، سعی در بررسی دقیق تر و جامع تر گزینه ها دارد. مراحل استفاده از روش ERASA به شرح زیر است.

مرحله ۱ (ساخت ماتریس تصمیم) - می توان از ماتریس ارزیابی اصلی^۱ ایجاد شده با استفاده از روش VAB^2 به عنوان ورودی روش های تصمیم گیری استفاده کرد.

مرحله ۲ (نرمال سازی ماتریس تصمیم) - عناصر ماتریس نرمال شده $(NM = [z_i^j]_{m \times n})$ با اعمال معادله های (۱) و (۲) به دست می آیند.

$$z_i^j = \frac{g_i^j}{\max g_i^j}, \quad \text{if } j \in \text{beneficial criteria} \quad \text{for all } j \in J \text{ and } i \in I. \quad (1)$$

$$z_i^j = \frac{\min g_i^j}{g_i^j}, \quad \text{if } j \in \text{nonbeneficial criteria} \quad \text{for all } j \in J \text{ and } i \in I. \quad (2)$$

مرحله ۳ (تشکیل ماتریس وزن $WM = [v_i^j]_{m \times n}$) - با ضرب NM در ضرایب وزنی معیارها (w^j) مطابق رابطه (۳) به دست می آید:

$$v_i^j = z_i^j \times w^j, \quad \text{for all } j \in J \text{ and } i \in I. \quad (3)$$

مرحله ۴ - تعیین راه حل میانگین برای هر معیار (AV^j) ، طبق رابطه (۴):

$$AV^j = \frac{\sum_i v_i^j}{m}, \quad \text{for all } j \in J. \quad (4)$$

مرحله ۵ - تعیین درجه اعتبار گزینه ها بر اساس هر معیار (cd_i^j) ، طبق رابطه (۵):

$$cd_i^j = \max \left\{ (v_i^j - AV^j) \& \left((v_i^j - \max v^j) + (v_i^j - \min v^j) \right) \right\}, \quad \text{for all } j \in J \text{ and } i \in I. \quad (5)$$

مرحله ۶ - تعیین شاخص تعالی برای هر گزینه (EI_i) ، طبق رابطه (۶):

$$EI_i = \sum_j cd_i^j, \quad \text{for all } i \in I. \quad (6)$$

مرحله ۷ - رتبه بندی گزینه ها بر اساس شاخص تعالی، گزینه ای که بالاترین EI را داشته باشد، بهترین رتبه را کسب می کند.

¹ Main Evaluation (MEM)² Value Change Boundaries (VAB)

۲-۲- روش BWM

در مسایل تصمیم‌گیری، تعیین اهمیت نسبی بین معیارها (وزن معیار) موضوعی کلیدی و مهم است. به‌منظور ارزیابی وزن معیارها، چندین روش در چند دهه اخیر معرفی شده است. BWM که توسط رضایی [17]، [18] معرفی شد، وزن معیارهای مساله را با استفاده از مقایسه‌های نسبتاً کمتری نسبت به روش‌های دیگر مانند AHP و ANP محاسبه می‌کند [19]. در این پژوهش از BWM برای تعیین اهمیت و وزن معیارها استفاده شده است. در زیر نحوه محاسبه و تعیین وزن معیارها با استفاده از BWM آورده شده است.

مرحله ۱- تعیین مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری $(C_1, C_2, \dots, C_n)$ توسط تصمیم‌گیرندگان.

مرحله ۲- تعیین معیارهای بهترین^۱ و بدترین^۲.

مرحله ۳- محاسبه مقایسه زوجی بین بهترین و سایر معیارها بر اساس امتیاز بین ۱ و ۹ (نمره ۱ به معنای اولویت برابر و نمره ۹ به معنای ترجیح شدید). در این مرحله در نهایت بردار A_B به‌دست می‌آید، به‌طوری‌که a_{Bj} نشان‌دهنده ترجیح بهترین معیار بر معیار j است و کاملاً مسلم است که $a_{BB} = 1$.

مرحله ۴- مقایسه زوجی بین بدترین و سایر معیارها بر اساس امتیاز بین ۱ تا ۹ محاسبه کنید (نمره ۱ به معنای اولویت برابر و امتیاز ۹ به معنای ترجیح شدید). در این مرحله در نهایت بردار A_W به‌دست می‌آید.

مرحله ۵- محاسبه وزن بهینه $w^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$. برای محاسبه وزن بهینه معیارها از مدل (۷) استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \xi \\ & \text{s. t} \\ & |w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi. \\ & |w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi. \\ & \sum_{j=1}^n w_j = 1. \\ & w_j \geq 0, \quad \text{for all } j. \end{aligned} \quad (7)$$

۳- نتایج محاسباتی

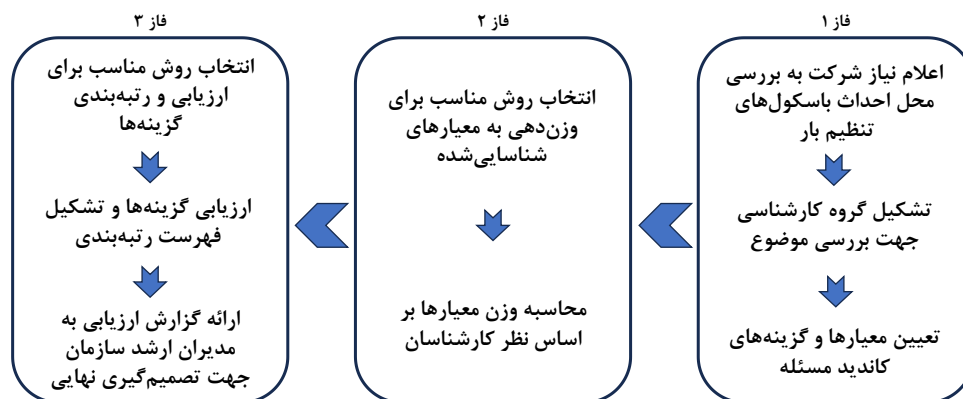
۳-۱- مطالعه موردی

معادن سنگ‌آهن گهرزمین در منطقه معدنی گل‌گهر، در فاصله ۵۰ کیلومتری شهرستان سیرجان در استان کرمان و در محدوده طول جغرافیایی ۵۵°۱۵' تا ۵۵°۲۴' شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹°۳۰' تا ۲۹°۷' شمالی واقع شده است. بر اساس مطالعات و اطلاعات جمع‌آوری شده و مطالعات فنی-اقتصادی مقدماتی صورت پذیرفته، مشخص شده است که معدن سنگ‌آهن گهرزمین دارای ذخیره زمین‌شناسی بالغ بر ۶۵۰ میلیون تن می‌باشد. در حال حاضر سه خط تولید کنسانتره هر کدام به ظرفیت ۲ میلیون تن در سال و خط ۱ گندله سازی با ظرفیت اسمی سالانه ۵ میلیون تن و تولید ۱۶٪ گندله کشور در حال بهره‌برداری است. در پژوهش حاضر مکانیابی محل استقرار باسکول‌های تنظیم بار در زنجیره‌تامین معدن سنگ‌آهن گهرزمین به‌منظور بهبود شرایط موجود و ارائه نتایج کاربردی تحت شرایط پایداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

¹ Criteria for the best (CB)² Criteria for the Worst (CW)

۳-۲- مکان یابی باسکول های تنظیم بار با استفاده از روش ERASA

در این بخش از روش ERASA برای ارزیابی مکان های بالقوه جهت استقرار باسکول های تنظیم بار در شرکت معدنی و صنعتی گهرزمین استفاده شده است. این بخش یک تصویر تجربی از نحوه استفاده از روش ERASA در مساله انتخاب مناسب ترین مکان ارایه می کند. باتوجه به اهمیت سرعت بخشیدن به بارگیری کامیون های حمل بار، استراتژی شناسایی مکان مناسب جهت استقرار باسکول های تنظیم بار برای محصولات مختلف در دستور کار قرار گرفته است. پنج نفر از کارکنان شرکت گهرزمین (کارشناس اول: رئیس سفارشات، کارشناس دوم: مدیر سفارشات و انبارها، کارشناس سوم: رئیس انبارهای صادراتی، کارشناس چهارم: رئیس انبار محصول و کارشناس پنجم: سرپرست سیستم های توزین) در ارزیابی گزینه ها و معیارها در این مطالعه مشارکت داشته اند. پس از تشکیل یک گروه ارزیابی تخصصی، ابتدا مکان های کاندید مشخص شده و سپس معیارهای مختلف و لازم برای ارزیابی گزینه ها فهرست گردیده است. در نهایت کار اصلی گروه ارزیابی با تعیین وزن معیارها باتوجه به استراتژی های کلان شرکت و اهمیت ابعاد مختلف و ارزیابی گزینه ها بر اساس معیارهای تعیین شده آغاز می شود. مراحل روش حل مساله در شکل ۱ نشان داده شده است. جدول های ۱ و ۲ به ترتیب مکان های کاندید و معیارهای ارزیابی را نشان می دهد. بر اساس گروه ارزیابی، ۴ گزینه و ۷ معیار شناسایی شد. شکل ۲ همچنین مکان سایت های کاندید را در منطقه شرکت نشان می دهد. باتوجه به حجم بیشتر بارگیری محصول گندله نسبت به کنسانتره (نسبت تقریبی ۴ به ۱) در محاسبات مربوط به گزینه ۴ در ماتریس تصمیم گیری این نسبت رعایت شده است.



شکل ۱- فرایند حل مساله.

Figure 1- Problem-solving process.

جدول ۱- معرفی سایت های کاندید احداث باسکول های تنظیم بار.

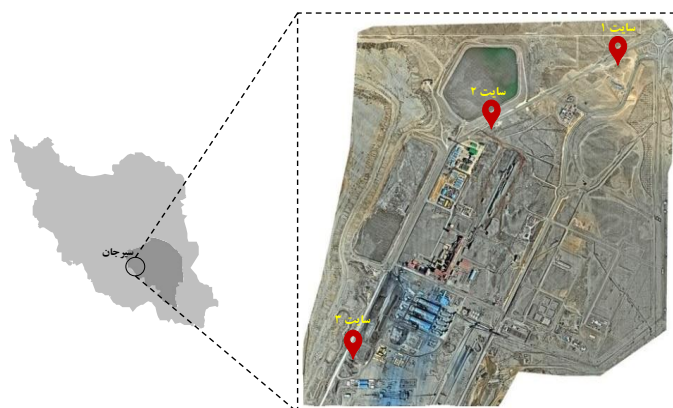
Table 1- Introducing candidate sites for the construction of load-regulating scales.

گزینه ها	شرح
گزینه ۱	محوطه کنار درب خروجی شرکت
گزینه ۲	محوطه ابتدای جاده ورودی به دپوهای گندله
گزینه ۳	محوطه انتهای دپوهای کنسانتره (مکان فعلی باسکول ها)
گزینه ۴	محوطه ابتدای جاده ورودی به دپوهای گندله (ویژه گندله) و محوطه انتهای دپوهای کنسانتره (ویژه کنسانتره)

جدول ۲- معرفی معیارهای ارزیابی با در نظر گرفتن جنبه های پایداری.

Table 2- Introducing evaluation criteria taking into account sustainability aspects.

نماد	نوع معیار	معیار	نوع پایداری
C1	کیفی	زیرساخت های منطقه	اقتصادی
C2	کیفی	سهولت دسترسی	اجتماعی
C3	کیفی	امکان گسترش	اقتصادی
C4	کمی	هزینه احداث	اقتصادی
C5	کیفی	خطرات زیست محیطی و ایمنی	زیست محیطی
C6	کمی	مسافت	اقتصادی
C7	کیفی	ترافیک	اجتماعی



شکل ۲- محل قرارگیری سایت‌های کاندید در منطقه شرکت.

Figure 1- Location of candidate sites in the company's area.

۳-۳- محاسبه وزن معیارها

برای تعیین وزن معیارهای مساله مکان‌یابی، پس از تعیین معیارها با نظر همه کارشناسان، هر یک از کارشناسان به‌طور مستقل مهمترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار را تعیین می‌کنند و طبق مرحله‌های ۳ و ۴ بردارهای A_B و A_W تعیین می‌گردد. در مرحله بعد باتوجه به مدل $M2$ وزن بهینه معیارها توسط هر متخصص تعیین می‌شود. میانگین وزن هر معیار، وزن نهایی را در مساله مشخص می‌کند.

جدول ۳- تعیین بردارهای A_B و A_W .
Table 3- Determining vectors A_B and A_W .

A_W										A_B						
C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C _w	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C _B	
4	7	2	3	1	2	1.2	C3	1.5	1	3	2	7	3	5	C6	کارشناس ۱
3	5	2	6	1.2	2	1	C1	2	1.2	3	1	5	3	6	C4	کارشناس ۲
2	7	2.5	3	1	2.5	1.2	C3	2	1	2	2	7	3	6	C6	کارشناس ۳
2.2	4	2	5	1	2	1.2	C3	2	1.1	3	1	5	3	4	C4	کارشناس ۴
4	6	2	2	1.2	3	1	C1	1.4	1	3	3	5	2	6	C6	کارشناس ۵

باتوجه به وزن‌های به‌دست آمده از ارزیابی هر یک از کارشناسان و باتوجه به اهمیت نظر کارشناسان مختلف (در این پژوهش وزن نظر کارشناسان برابر در نظر گرفته شده است) وزن نهایی معیارها به‌دست می‌آید. باتوجه به BWM و نتایج جدول ۳، وزن نهایی معیارها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- وزن هر معیار ارزیابی.
Table 4- The weight of each evaluation criterion.

C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	
0.093	0.362	0.120	0.181	0.052	0.120	0.072	کارشناس ۱
0.096	0.263	0.105	0.315	0.063	0.105	0.053	کارشناس ۲
0.090	0.345	0.172	0.172	0.049	0.115	0.057	کارشناس ۳
0.104	0.269	0.099	0.296	0.059	0.099	0.074	کارشناس ۴
0.099	0.356	0.119	0.119	0.071	0.177	0.059	کارشناس ۵
0.096	0.319	0.123	0.217	0.059	0.123	0.063	وزن میانگین

۳-۴- رتبه بندی نهایی گزینه ها

پس از تعیین مقادیر وزنی معیارها، از روش جدید ERASA برای رتبه بندی گزینه ها با توجه به معیارها و گزینه های معرفی شده استفاده می شود. تصمیم گیرندگان از پنج مقیاس ارزیابی برای معیارهای کیفی استفاده می کنند، شامل: ۱= بسیار ضعیف، ۳= ضعیف، ۵= متوسط، ۷= خوب، ۹= خیلی خوب. ابتدا برآوردهای تصمیم گیرندگان تجمیع شده و طبق جدول ۵ ماتریس تصمیم اولیه به دست می آید. ماتریس های نرمال شده، وزنی و اعتباری به ترتیب در جدول ۶ تا جدول ۸ نشان داده شده اند. همچنین شاخص EI و رتبه بندی نهایی گزینه ها در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۵- ماتریس تصمیم گیری.

Table 5- Decision matrix.

گزینه ها	C1 (+)	C2 (+)	C3 (+)	C4 (-)	C5 (-)	C6 (-)	C7 (-)
A1	5.5	7	5	17	3	4240	4
A2	5	6	5	16.8	5	4270	5
A3	6	3	6	4	6	7760	5
A4	5.2	7	5.2	13	5.2	4240	2

جدول ۶- ماتریس نرمال شده.

Table 6- Normalized matrix.

گزینه ها	C1 (+)	C2 (+)	C3 (+)	C4 (-)	C5 (-)	C6 (-)	C7 (-)
A1	0.9166	1	0.8333	0.2353	1	1	0.5
A2	0.8333	0.8571	0.8333	0.2381	0.6	0.9929	0.4
A3	1	0.4286	1	1	0.5	0.5463	0.4
A4	0.8666	1	0.8667	0.3077	0.5769	1	1

جدول ۷- ماتریس نرمال شده وزن دار.

Table 7- Weighted normalized matrix.

گزینه ها	C1 (+)	C2 (+)	C3 (+)	C4 (-)	C5 (-)	C6 (-)	C7 (-)
A1	0.05775	0.123	0.04916	0.05106	0.123	0.319	0.048
A2	0.0525	0.1054	0.04916	0.05167	0.0738	0.3167	0.0384
A3	0.063	0.0527	0.059	0.217	0.0615	0.1743	0.0384
A4	0.0546	0.123	0.0511	0.06677	0.0709	0.319	0.096

جدول ۸- ماتریس اعتباری.

Table 8- Credit Matrix.

گزینه ها	C1 (+)	C2 (+)	C3 (+)	C4 (-)	C5 (-)	C6 (-)	C7 (-)
A1	0.0008	0.0703	-0.003	-0.0456	0.0615	0.1447	-0.0072
A2	-0.0045	0.0351	-0.003	-0.045	-0.0085	0.1402	-0.0168
A3	0.0105	-0.0483	0.0098	0.1659	-0.0208	-0.108	-0.0168
A4	-0.0024	0.0703	-0.001	-0.0299	-0.0114	0.1447	0.0576

جدول ۹- رتبه بندی نهایی گزینه ها.

Table 9- Final ranking of options.

رتبه	EI	گزینه ها
2	0.2215	A1
3	0.0975	A2
4	-0.0077	A3
1	0.2279	A4

۴- تحلیل حساسیت

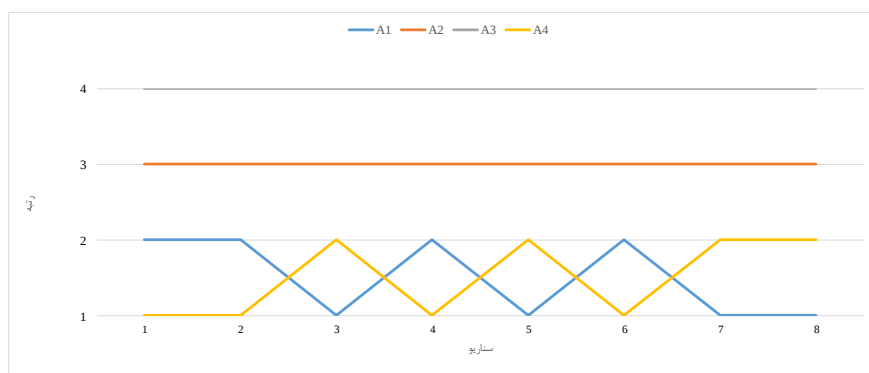
۴-۱- آنالیز وزن معیارها

برای بررسی تاثیر تغییرات وزن معیارها بر رتبه‌بندی گزینه‌ها، وزن معیارها در سناریوهای مختلف مطابق جدول ۱۰ تغییر داده شده و سپس تاثیر این تغییرات بر رتبه‌بندی گزینه‌ها مطابق شکل ۳ بررسی شده است.

جدول ۱۰- وزن‌های جدید معیارها بر اساس سناریوهای مختلف.

Table 10- New weights of criteria based on different scenarios.

سناریوها	معیارها						
	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1
۱ (مساله اصلی)	0.063	0.123	0.059	0.217	0.123	0.319	0.096
۲ (وزن یکسان)	0.142	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
۳	0.048	0.163	0.079	0.188	0.131	0.265	0.126
۴	0.115	0.111	0.098	0.149	0.171	0.221	0.135
۵	0.087	0.131	0.118	0.111	0.208	0.187	0.158
۶	0.124	0.137	0.134	0.071	0.237	0.132	0.165
۷	0.098	0.178	0.165	0.105	0.126	0.157	0.171
۸	0.083	0.198	0.195	0.065	0.113	0.148	0.198

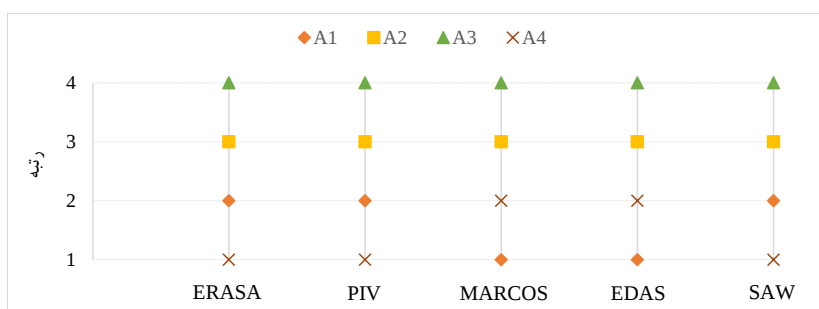


شکل ۳- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس وزن‌های مختلف.

Figure 3- The rank of alternatives according to different scenarios.

۴-۲- مقایسه رتبه‌بندی با سایر روش‌های MCDM

مساله مورد بررسی با استفاده از برخی روش‌های MCDM دیگر (از جمله *PIV*, *EDAS*, *MARCOS* و *SAW*) نیز بررسی شده است و نتایج بررسی و رتبه‌بندی بر اساس هر روش در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق بررسی‌های انجام‌شده، نتایج روش *ERASA* با روش‌های *SAW* و *PIV* یکسان است.



شکل ۴- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس روش‌های مختلف MCDM.

Figure 4- The rank of alternatives according to different MCDM methods.

۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

باتوجه به اهمیت بارگیری به موقع محصولات و تسریع عملیات‌های مرتبط با آن، به منظور افزایش بهره‌وری زنجیره تامین، فروش به موقع و جلب رضایت مشتری در کنار رعایت اصول انبارداری و جلوگیری از انباشت زیاد محصولات، در این مقاله مکان مناسب استقرار سیستم‌های توزین تنظیم بار در شرکت معدنی و صنعتی گهرزمین مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر این اساس با نظر کارشناسان مربوطه و بررسی‌های صورت گرفته ۴ سناریو جهت احداث باسکول‌های تنظیم بار در نظر گرفته شده است. همچنین ۷ معیار مختلف با در نظر گرفتن ابعاد پایداری جهت ارزیابی سایت‌های بالقوه تعیین شده است. نتایج حاصل از بررسی مساله با استفاده از روش ERASA که یکی از جدیدترین روش‌های ارایه شده در MCDM محسوب می‌شود حاکی از برتری سناریوی ۴ نسبت به سایر سناریوها دارد. بر اساس این سناریو باسکول‌های تنظیم بار در کنار هر محصول احداث می‌گردد. به طوری که کامیون‌های حمل بار محصول پس از بارگیری در محل دپوهای مخصوص هر محصول در نزدیکی دپوی مربوطه تنظیم بار می‌گردند. در پایان برای تحقیقات آتی استفاده از مفهوم VAB در تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و همچنین در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت توصیه می‌گردد.

منابع

- [1] Żak, J., & Węgliński, S. (2014). The selection of the logistics center location based on MCDM/A methodology. *Transportation research procedia*, 3, 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.034>
- [2] Aditi, Kaul, A., Darbari, J. D., & Jha, P. C. (2020). A Fuzzy MCDM model for facility location evaluation based on quality of life. In *Soft computing for problem solving* (pp. 687–697). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0035-0_56
- [3] Wang, C. N., Nguyen, V. T., Thai, H. T., & Duong, D. H. (2018). Multi-criteria decision making (MCDM) approaches for solar power plant location selection in Vietnam. *Energies*, 11(6), 1504. <https://doi.org/10.3390/en11061504>
- [4] Karaşan, A., Kaya, İ., & Erdoğan, M. (2020). Location selection of electric vehicles charging stations by using a Fuzzy MCDM Method: A case study in Turkey. *Neural computing and applications*, 32(9), 4553–4574. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3752-2>
- [5] Wang, R., Li, X., Xu, C., & Li, F. (2020). Study on location decision framework of electric vehicle battery swapping station: Using a hybrid MCDM method. *Sustainable cities and society*, 61, 102149. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102149>
- [6] Aydin, N., & Seker, S. (2021). Determining the location of isolation hospitals for COVID-19 via Delphi-based MCDM method. *International journal of intelligent systems*, 36(6), 3011–3034. <https://doi.org/10.1002/int.22410>
- [7] Şahin, M. (2021). Location selection by multi-criteria decision-making methods based on objective and subjective weightings. *Knowledge and information systems*, 63(8), 1991–2021. <https://doi.org/10.1007/s10115-021-01588-y>
- [8] Ao Xuan, H., Vu Trinh, V., Techato, K., & Phoungthong, K. (2022). Use of hybrid MCDM methods for site location of solar-powered hydrogen production plants in Uzbekistan. *Sustainable energy technologies and assessments*, 52, 101979. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.101979>
- [9] Nenzhelele, T., Trimble, J. A., Swanepoel, J. A., & Kanakana-Katumba, M. G. (2023). MCDM model for evaluating and selecting the optimal facility layout design: A case study on railcar manufacturing. *Processes*, 11(3), 869. <https://doi.org/10.3390/pr11030869>
- [10] Kabak, M., & Keskin, İ. (2018). Hazardous materials warehouse selection based on GIS and MCDM. *Arabian journal for science and engineering*, 43(6), 3269–3278. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3063-z>
- [11] Ocampo, L., Genimelo, G. J., Lariosa, J., Guinitaran, R., Borromeo, P. J., Aparente, M. E., ... , & Bongo, M. (2020). Warehouse location selection with TOPSIS group decision-making under different expert priority allocations. *Engineering management in production and services*, 12(4), 22–39. <https://doi.org/10.2478/emj-2020-0025>
- [12] Ak, M. F., & Acar, D. (2021). Selection of humanitarian supply chain warehouse location: A case study based on the MCDM Methodology. *European science and technology journal*, (22), 400–409. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat/article/849896>
- [13] Saha, A., Pamucar, D., Gorcun, O. F., & Raj Mishra, A. (2023). Warehouse site selection for the automotive industry using a fermatean Fuzzy-based decision-making approach. *Expert systems with applications*, 211, 118497. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118497>
- [14] Mittal, R., & Obaid, A. (2023). Sustainable warehouse location selection in humanitarian supply chain: Multi-criteria decision-making approach. *International journal of mathematical, engineering & management sciences*, 8(2). <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2023.8.2.019%0A>
- [15] Sanjari-Parizi, M., Sazvar, Z., Nayeri, S., & Mehralizade, R. (2024). Novel decision-making methods for the sustainable warehouse location selection problem considering the value alteration boundaries and accumulation of alternatives. *Clean technologies and environmental policy*, 26(9), 2977–3002. <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02759-5>
- [16] Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS). *Computers & industrial engineering*, 140, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>
- [17] Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- [18] Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>
- [19] Paramanik, A. R., Sarkar, S., & Sarkar, B. (2022). OSWMI: An objective-subjective weighted method for minimizing inconsistency in multi-criteria decision making. *Computers & industrial engineering*, 169, 108138. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108138>