



Imam Khomeini International University  
Vol. 7, No. 3, Autumn 2022



نشریه مهندسی منابع معدنی  
Journal of Mineral Resources Engineering  
(JMRE)

## Research Paper

# Determining the Method of Reclamation of Surface Mines Based on Renewable Energies Using A New Hybrid Approach

Hosseini S.Sh.<sup>1</sup>, Poormirzaee R.<sup>2\*</sup>

1- M.Sc Student, Dept. of Mining Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Dept. of Mining Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

Received: 12 Jun. 2021

Accepted: 25 Aug. 2021

**Abstract:** Mines as non-renewable resources have a significant role in the economic and social development of countries. However, at the end of the mine's life, to achieve sustainable development, the mine's pits reclamation is vital. Due to the situation of most mines that are located in remote areas, mine's reclamation based on renewable energies can be an appropriate strategy. In this study, a new hybrid method using the Fuzzy Cognitive Mapping (FCM) method, grey Complex Proportional Assessment (COPRAS-G), and Z-theory reliability is introduced for prioritization and selecting of the mine's reclamation strategies. The proposed method, for reclamation of an open-pit lead-zinc mine by considering several criteria and strategies is applied. The results of the FCM show that the average wind speed criterion has the highest weight. Also, the prioritization of the strategies showed that "closing the mine and building wind turbines" is the best strategy for reclamation of the investigated mine. Therefore, considering the windy situations in the study area, building a wind farm to supply electricity is a suitable strategy to achieve sustainable development in the region.

**Keywords:** Mine reclamation, Renewable energy, Fuzzy Cognitive Map, Z-number theory, COPRAS-G.

### How to cite this article

Hosseini, S. Sh., and Poormirzaee, R. (2022). "Determining the method of reclamation of surface mines based on renewable energies using a new hybrid approach". Journal of Mineral Resources Engineering, 7(3): 77-100.

DOI: [10.30479/JMRE.2021.15678.1520](https://doi.org/10.30479/JMRE.2021.15678.1520)

\*Corresponding Author Email: [r.poormirzaee@uut.ac.ir](mailto:r.poormirzaee@uut.ac.ir)

### COPYRIGHTS



©2022 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## INTRODUCTION

Humanity’s most valuable asset is the earth and its resources. The value of these resources can be seen not only for the current generation but also for future generations. The mining industry is one of the activities that search and obtain resources. Nevertheless, this industry sometimes and unintentionally disturbs the landscape and destroys the environment [1]. Therefore, scientists and managers attempt to present the solutions that solve these critical problems. Mine lands extracted can be beautified and used usefully [2,3]. Renewable energy is an appropriate solution for mine reclamation and power supply. The world community is leading the world towards clean energy such as solar, wind, biomass, etc. [4]. Therefore, this study aims to use a new hybrid method for investigating the possibility of renewable energies as a mine’s reclamation solution.

## METHODS

In this research, for the mine land reclamation, new techniques for eliminating the uncertainties, and to present more reliable results are used. To this aim, mine land reclamation alternatives are firstly considered, and the most effective criteria are identified. Then, the Z-number concept is used to evaluate the uncertainty of expert views. FCM theory is organized to determine the criteria weights based on causal-effect relationships between concepts. Finally, the best mine land reclamation strategy is determined using the grey COPRAS techniques.

## FINDINGS AND ARGUMENT

In the present study, to obtain more reliable results by the FCM, a hybrid learning algorithm by integrating the nonlinear Hebbian algorithm and differential evolution is used. FCM simulates the weight of concepts in various iteration, which the results illustrated in Figure 1. In this process, the reliability of opinions listed in the initial matrix importable to the FCM framework is provided and computation uncertainty is eliminated. The simulated weights are used in COPRAS-G, and the calculation processes are performed to prioritize the mine land reclamation strategies. The prioritizing of strategies and rank of each of them are tabulated in Table 1. Based on results, Alternative 7, namely the use of wind turbines, is the best solution to mine closure, and reclamation of the mine environment. Notably, the proposed strategies follow green mining and sustainable development.

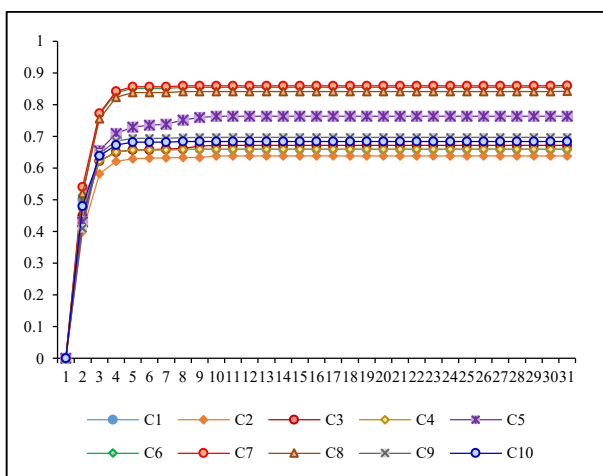


Figure 1. Criterion weights in different iterations

Table 1. Ranking of alternatives

	$P_j$	$R_j$	$Q_i$	$N_i$	RANK
A1	0.442	0.102	0.697	60.24	8
A2	0.644	0.196	0.776	67.08	6
A3	0.726	0.077	1.062	91.83	3
A4	0.724	0.104	0.972	84.04	4
A5	0.602	0.258	0.702	60.68	7
A6	0.987	0.179	1.131	97.83	2
A7	1.041	0.223	1.156	100	1
A8	0.741	0.283	0.832	71.99	5

## CONCLUSION

Mining activities have an essential role in the country’s economy. Mine reclamation is one of the strategies to consider about the environment. In recent decades, renewable energies have been considered one of the valuable solutions in mine reclamation. In this study, a novel hybrid method, namely the Z-number theory based on the FCM framework and the grey COPRAS (G-COPRAS), is presented to evaluate and prioritize

the reclamation strategies of a lead-zinc mine. In this way, ten main criteria and eight reclamation strategies based on renewable energies are considered. Based on the results, the criterion of “average wind speed” with the value of 0.86, and the criterion of “number of sunny days” with the value of 0.638 obtained the highest and lowest value of weights, respectively. As well, based on the prioritization results, the strategy of “mine closure and reclamation of wind turbines” is selected as the most appropriate reclamation strategy. Notably, the wind analysis results indicated that calm winds account for a negligible percentage of regional winds.

## REFERENCES

- [1] Bakhtavar, E., Aghayarloo, R., Yousefi, S., Hewage, K., and Sadiq, R. (2019). “*Renewable energy based mine reclamation strategy: a hybrid fuzzy-based network analysis*”. *Journal of Cleaner Production*, 230: 253-263.
- [2] Clemente, A. S., Werner, C., Máguas, C., Cabral, M. S., Martins-Loução, M. A., and Correia, O. (2004). “*Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs*”. *Restoration Ecology*, 12(1): 20-28.
- [3] Poormirzaee, R. (2018). “*The role of mining industry and mineral resources in sustainable development of Iran*”. *Mineral Resources Engineering*, 2(3): 81-92.
- [4] Çoban, V., and Onar, S. Ç. (2017). “*Modelling solar energy usage with fuzzy cognitive maps*”. *Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications*, 159-187.



## تعیین روش بازسازی معادن سطحی با تکیه بر انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از یک رویکرد ترکیبی جدید

سید شهاب حسینی<sup>۱</sup>، راشد پورمیرزائی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳

دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲

### چکیده

معادن به عنوان منابع تجدیدناپذیر نقش ارزشمندی در توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع دارند، اما با پایان یافتن عمر معادن بعد از استخراج مواد معدنی، برای دستیابی به توسعه پایدار، منطقه معدنکاری شده باید دوباره بازسازی یا احیاء شود. با توجه به پراکندگی اغلب معادن در مناطق دورافتاده و مجاورت آنها با روستاها و شهرهای کوچک، رویکرد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر یک راهکار مناسب برای بازسازی معادن است. این مطالعه با تلفیق نقشه شناختی فازی و قابلیت اطمینان تئوری اعداد Z و همچنین روش کوپراس خاکستری، رویکرد جدیدی برای ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های بازسازی معادن استخراج شده ارائه می‌دهد. این روش بر اساس داده‌های یک معدن سرب و روی و با بررسی اهداف توسعه پایدار، چندین معیار و استراتژی‌های مهم بازسازی را در نظر می‌گیرد. نتایج نقشه شناختی فازی نشان می‌دهد که معیار متوسط سرعت باد بیشترین وزن را دارد. در نهایت نتایج رتبه‌بندی رویکرد پیشنهادی نشان داد که استراتژی "بستن معدن و احداث توربین‌های بادی" بهترین گزینه برای احیای معدن مورد مطالعه است. در ادامه تجزیه و تحلیل مطالعات بادخیزی انجام شد تا بادهای منطقه از نظر جهت و سرعت دسته‌بندی شوند و مشخصات باد غالب به دست آید. نتایج نشان داد که بادهای آرام درصد کمی از بادهای منطقه را تشکیل می‌دهند و اغلب بادهایی با سرعت متوسط به بالا می‌وزند، بنابراین با توجه به وضعیت بادخیزی منطقه، ایجاد مزرعه بادی برای تامین انرژی الکتریسیته مناطق مجاور معدن یک راهبرد مناسب و بهینه برای دستیابی به توسعه پایدار است.

### کلمات کلیدی

انرژی‌های تجدیدپذیر، بازسازی معادن، نقشه شناختی فازی، تئوری اعداد Z، کوپراس خاکستری.

### استناد به این مقاله

حسینی، س. ش.، پورمیرزائی، ر.؛ ۱۴۰۱؛ "تعیین روش بازسازی معادن سطحی با تکیه بر انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از یک رویکرد ترکیبی جدید". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هفتم، شماره ۳، ص ۱۰۰-۷۷.

DOI: 10.30479/JMRE.2021.15678.1520



## ۱- مقدمه

سایت‌های استخراج معادن متروکه در حال حاضر یکی از مهم‌ترین موارد نگران‌کننده هستند، زیرا عواقبی برای بخش‌های محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی در مناطق سنتی روستایی به همراه دارند. هزینه‌های بالای احیاء و عدم ارزیاب راهکار مناسب، مانع پیاده‌سازی یک راه‌حل برای جلوگیری از تخریب محیط زیست می‌شود [۸].

پس از پایان معدنکاری، می‌توان از طریق احیاء مجدداً از زمین استفاده کرد. عملیات احیاء<sup>۱</sup> شامل برگرداندن زمین به کاربری اولیه آن است، در حالی که بازسازی<sup>۲</sup> به دنبال بازگرداندن زمین به درجه‌ای از حالت سابق خود است. احیاء یا بازسازی معادن متروکه چالش‌های جالبی را برای مهندسان و دانشمندان محیط زیست ایجاد می‌کند. توسعه مجدد معادن متروکه صرفاً با یک عملیات ساده انجام نمی‌شود، بلکه پروژه ایجاد مکانی ایده‌آل برای افرادی که ویژگی‌های اکولوژیکی، فرهنگی و اوقات فراغت خاص خود را دارند، با تنظیم یک طرح پایدار انجام می‌شود [۹].

قبل از سال ۱۹۶۰ موضوع حفاظت از محیط زیست مورد توجه قرار نگرفته بود و پاسخ دولت‌ها به مشکلات آلودگی به طور کلی برای تصویب قوانین نظارتی ضعیف بود، اما در سال‌های بعد، حفاظت از محیط زیست بیشتر بر کاهش و تخریب منابع طبیعی، به ویژه آب و هوا و منابع تجدیدناپذیر تمرکز کرده است. در دهه‌های اخیر مقررات اجباری به وسیله کشورهای مختلف برای کنترل و حذف تأثیرات محیط زیستی فعالیت‌های معدنی صادر شده است. این مقررات جنبه‌های مختلفی را در نظر می‌گیرند [۹]:

(۱) حفاظت و جلوگیری از انتشار آلودگی تولید شده در

معدن

(۲) کنترل و جلوگیری از افزایش میزان آلودگی تولید شده

(۳) رفع آلودگی، شناسایی نوع و میزان آلودگی ایجاد شده

علاوه بر این در چند دهه گذشته چندین آیین‌نامه برای

بازسازی، بازیابی و احیای زمین در مناطق استخراج شده صادر شده است [۹].

اگرچه فرآیند احیای معدن پس از اتمام استخراج معادن رخ می‌دهد، اما آماده‌سازی و برنامه‌ریزی فعالیت‌های احیای معدن قبل از اجازه یا شروع عملیات معدنکاری انجام می‌شود. امروزه احیای معدن بخشی منظم از روش‌های معدنکاری مدرن است. روش‌های احیای معدن اثرات محیط زیستی استخراج را به حداقل می‌رساند. فرموله کردن گزینه‌های احیای

چرخه عمر معدنکاری مدرن (غیرسستی) به سه مرحله اصلی یعنی فعالیت‌های قبل از شروع معدنکاری (پی‌جویی و اکتشاف)، شروع معدنکاری (توسعه و بهره‌برداری) و پس از معدنکاری (بستن و بازسازی معادن) تقسیم می‌شود. امروزه مرحله پس از معدنکاری به عنوان مهم‌ترین مرحله برای حفظ فعالیت‌های معدنی مطابق با اصول توسعه پایدار در نظر گرفته می‌شود [۲، ۱].

معدنکاری یک فعالیت غیرمستقیم در استفاده از زمین است که در آن طول عمر معدن به در دسترس بودن ذخایر ماده معدنی قابل استخراج و امکان‌سنجی اقتصادی بستگی دارد [۳]. شرکت‌های معدنی بر روی به حداقل رساندن تأثیرات محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های اکتشاف و استخراج معادن به ویژه برای کاهش خطرات مالی آینده سهامداران تمرکز کرده‌اند. در این راستا، بستن و بازسازی معدن دو راه حل موثر است. بستن معادن نقطه شروع احیای زمین‌های استخراج شده است. هدف از بستن و بازسازی معادن، آزادسازی محل معدنکاری و محیط اطراف از آلودگی‌های شیمیایی و فیزیکی و همچنین برگرداندن مناطق به شرایط قبل از استخراج (ترمیم) و اکوسیستم‌های خودپایدار است [۴].

بستن معادن به دوره‌ای گفته می‌شود که مراحل عملیاتی معدن و کارخانه فرآوری برای همیشه و به طور کامل متوقف شود [۵]. بسته شدن معادن ممکن است به دلیل اتمام ذخایر معدن یا به دلایل دیگری برنامه‌ریزی نشده باشد که در این حالت "بسته شدن زودرس" نامیده می‌شود. با توجه به نتایج برخی مطالعات، درصد کمی از موارد بستن معادن در جهان برنامه‌ریزی شده است و در بیشتر موارد معادن عمدتاً به دلیل عوامل اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی بسته می‌شوند [۶]. اثرات محیط زیستی استخراج معدن به روش روباز بی‌شمار و متنوع است. عملیات معدنکاری باعث تخریب زمین‌ها، از بین رفتن جنگل، خاک سطحی و زمین‌های کشاورزی، تغییر در توپوگرافی و شرایط هیدرولوژیکی و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی قابل استفاده می‌شود. استراتژی‌هایی مانند بهینه‌سازی و به حداقل رساندن تأثیرات محیط زیستی با اتخاذ روش‌های مناسب استخراج معادن، بازیابی سریع محیط آسیب دیده و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر آسیب‌های محیط زیستی در آینده نزدیک در مورد وضعیت محیط زیستی منطقه مورد مطالعه به اطلاعات مقرون به صرفه نیاز دارند [۷].

زمین و انتخاب بهترین گزینه، حین یا پس از عملیات استخراج بسیار مهم است [۱۰].

بستن و بازسازی معادن و فعالیت‌های پس از معدنکاری به ویژه در پروژه‌های استخراج سطحی، نقش عمده‌ای دارند. در این حالت مساله اصلی اتخاذ مناسب‌ترین استراتژی احیاء (کاربری اراضی) برای یک منطقه استخراج شده است [۱۱]. بازسازی باید همزمان با برنامه‌ریزی معدن به دلیل نقش اصلی آن در فعالیت‌های استخراج معدن، دامپ باطله و بستن زمین استخراج شده در نظر گرفته شود. استراتژی‌های مختلف بازسازی معادن که پس از بسته شدن یک معدن فعال دنبال می‌شوند شامل اهداف کشاورزی، اهداف جنگل‌کاری، ایجاد مرتع، جاذبه‌های گردشگری، مناطق تفریحی و تسهیلات ورزشی، اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر و اهداف مسکونی یا صنعتی است. استراتژی بازسازی معدن<sup>۳</sup> باید هدفمند انتخاب شود تا از نظر اقتصادی سودآور باشد [۳].

منابع انرژی سوخت‌های فسیلی محدوداند، اما به دلیل رشد جمعیت و تولید صنعتی، تقاضای جهان برای این نوع از انرژی‌ها افزایش یافته است. این افزایش باعث تغییرات آب و هوایی و گرم شدن کره زمین می‌شود. برای حل این مشکلات، بسیاری از کشورها سعی دارند منابع انرژی جایگزین را به جای منابع انرژی سوخت‌های فسیلی معرفی کنند. بر این اساس استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر (به ویژه انرژی‌های خورشیدی و بادی) به دلیل مزایای آنها از نقطه نظر اقتصادی و محیط زیستی افزایش یافته است [۱۲، ۱۳]. با در نظر گرفتن پراکندگی اغلب معادن در مناطق دورافتاده و وجود روستاها و نیز شهرهای کوچک در اطراف آنها، امکان بازسازی معادن با رویکرد ایجاد مزارع انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک علاوه بر توسعه اقتصادی منطقه، سبب حفظ محیط زیست، کاهش مخاطرات و کاهش هزینه‌های مورد نیاز برای تامین انرژی تجدیدناپذیر در این مناطق می‌شود.

اتخاذ استراتژی‌های بازسازی در پایان عملیات استخراج و بسته شدن معدن به دلیل ضرورت بررسی اثرات پارامترهای مشخص و نامشخص، یک مساله تصمیم‌گیری پیچیده است. اگر فعالیت‌های کشاورزی یا تفریحی به عنوان استراتژی‌های بازسازی اتخاذ شود ساختارهای زمین‌شناسی، مسایل هیدرولوژیکی، ثبات شیب توپوگرافی، دسترسی به جاده‌های موجود و فاصله از منابع انرژی باید به عنوان پارامترهای اساسی در نظر گرفته شوند [۱۴].

برخی از کارهای تحقیقاتی اهمیت اولویت‌بندی استراتژی‌های (گزینه‌های) مرتبط با بازسازی معادن را نشان داده‌اند. اولویت‌بندی و انتخاب گزینه مناسب را می‌توان با استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره انجام داد [۱۱] که در ادامه مطالعات انجام شده طی سال‌های گذشته در زمینه ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های بازسازی معادن بررسی می‌شوند. سوئیگارد<sup>۴</sup> و رامانی<sup>۵</sup> اولین محققانی بودند که روش تصمیم‌گیری چند معیاره را برای استفاده مجدد از زمین‌های معدنکاری شده به کار بردند [۱۵]. باشکتین<sup>۶</sup> از رویکرد تحلیلی سلسله مراتبی<sup>۷</sup> برای استفاده بهینه از زمین پس از استخراج معادن زغال‌سنگ روباو استفاده کرد [۷]. سلطان محمدی<sup>۸</sup> و همکاران از روش‌های "اولویت‌بندی برای ارزیابی غنی‌سازی"<sup>۹</sup> و "حذف و انتخاب سازگار با واقعیت"<sup>۱۰</sup> برای استفاده از زمین پس از استخراج و از روش AHP برای ارزیابی وزن معیارها استفاده کردند [۱۶، ۱۷]. ایسالو<sup>۱۱</sup> و همکاران از روش تحلیل شبکه فازی<sup>۱۲</sup> برای انتخاب سایت‌های دامپ باطله استفاده کردند [۱۸]. معصومی<sup>۱۳</sup> و همکاران از روش‌های AHP فازی و روش‌های ترجیح بر اساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل<sup>۱۴</sup> فازی در مطالعات انتخاب پروژه احیا استفاده کردند [۱۹]. یاووز<sup>۱۵</sup> و آلتای<sup>۱۶</sup> استراتژی‌های بازسازی معدن را برای یافتن مناسب‌ترین روش با استفاده از روش AHP فازی اولویت‌بندی کردند [۱۰]. تسولاکی<sup>۱۷</sup> و همکاران گزینه‌های بازسازی معدن را با استفاده از رویکرد PROMETHEE رتبه‌بندی کردند [۲۰].

طبق ادبیات تحقیق، تصمیم‌گیری در مورد استراتژی‌های بازسازی معادن یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره است. در این راستا روابط علیت<sup>۱۸</sup> بین معیارها و اهداف وجود دارد، بنابراین تعیین وزن معیارها بخش مهمی از رویه تصمیم‌گیری است.

در این تحقیق برای رتبه‌بندی روش‌های بازسازی معادن روباو، از روش ارزیابی تناسب جامع<sup>۱۹</sup> خاکستری که اصطلاحاً کوپراس خاکستری خوانده می‌شود، استفاده شده است. دلیل استفاده از این روش سادگی محاسبات و در نظر گرفتن معیارهای مثبت و منفی است. این روش مزایا و معایبی دارد که به شرح زیر بیان می‌شود [۲۱]:

مزایا:

- ارزیابی چند معیاره متغیرها برای به حداکثر رساندن و به حداقل رساندن مقادیر



معدن<sup>۲۰</sup> به عوامل مختلفی در رابطه با زمین استخراج شده، محیط اطراف، زیرساخت‌های معدن و جاده‌های دسترسی بستگی دارد، بنابراین در این تحقیق ابتدا از متخصصان این حوزه که چندین سال در این زمینه فعالیت داشته‌اند، خواسته شد مهم‌ترین معیارها و استراتژی‌های MLR را معرفی کنند. همچنین برخی از معیارها و گزینه‌های استفاده شده در این تحقیق با مراجعه به مطالعات انجام شده جمع‌آوری شد [۱۰،۷،۴]. شرایط آب و هوایی، مشخصات عمومی منطقه، شرایط اکوسیستم و سایر شرایط استخراج به عنوان مهم‌ترین معیارها در نظر گرفته شده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی معدن مورد مطالعه و اکوسیستم منطقه، ۸ استراتژی به عنوان گزینه‌های ممکن و قابل اجرا در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که متناسب با گزینه‌های پیشنهادی، معیارهایی جهت پیاده‌سازی آن‌ها ارائه شد که با تصمیم نهایی متخصصان ۱۰ معیار در نظر گرفته شدند. تمام اجزای تصمیم‌گیری این تحقیق در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

در واقع معیارها و گزینه‌های معرفی شده و در نتیجه بازسازی معدن در این تحقیق، اهداف زیر را دنبال می‌کند:

- به حداقل رساندن تأثیرات منفی محیط زیستی
- به حداقل رساندن تأثیرات منفی اجتماعی
- به حداقل رساندن هزینه‌های بازسازی
- و به حداکثر رساندن درآمد مالی حاصل از استراتژی بازسازی

احیای یک زمین استخراج شده به وسیله گیاهان محلی یک استراتژی قابل قبول MLR برای بازگرداندن مناطق آسیب دیده به شرایط قبل از استخراج و ایجاد هماهنگی

- مقایسه نتایج به دست آمده

- ارزیابی متغیرهایی که یک ساختار سلسله مراتبی دارند.
  - عدم نیاز به تغییراتی مانند به حداقل رساندن متغیرها
  - ارزیابی یک گزینه (استراتژی) به تنهایی
- معایب:

- پایداری کم در تغییرپذیری داده‌ها
- حساس بودن نتایج و رتبه‌بندی‌ها نسبت به تغییرات اندک داده‌ها

از آنجا که تصمیم‌گیری کارشناسان با عدم قطعیت همراه است، بنابراین از مفهوم خاکستری برای رفع عدم قطعیت نظرات استفاده شده است. برای وزن‌دهی معیارها روش نقشه شناختی فازی<sup>۲۰</sup> که علیت بین معیارها را در نظر می‌گیرد، به کار گرفته شده است. لازم به ذکر است که روش FCM نیز مبتنی بر نظرات کارشناسان است و در آن نیز عدم قطعیت وجود دارد. در نتیجه برای رفع آن از تئوری اعداد Z استفاده شد که در ادامه به توضیح آن پرداخته شده است.

## ۲- روش‌شناسی تحقیق

در این تحقیق، روش مناسب برای بازسازی معادن روباز با تکیه بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌شود که برای آن تکنیک‌هایی نوین به کار گرفته می‌شود تا هم عدم قطعیت موجود برطرف شود و هم نتایجی با دقت بالا ارائه شوند که قابل اعتماد باشند. در ادامه استراتژی‌ها و معیارهای مساله معرفی می‌شوند.

## ۲-۱- شناسایی اجزای مورد نیاز

برنامه‌ریزی بازسازی و اتخاذ یک استراتژی مناسب بازسازی

جدول ۱: اجزای اصلی تصمیم‌گیری برای ارزیابی استراتژی‌های MLR [۱۰،۷،۴]

معیارها		استراتژی‌ها	
شدت هوا از نظر سرد یا گرم بودن	C1	برگرداندن زمین به حالت اولیه	A1
تعداد روزهای آفتابی	C2	اهداف کشاورزی	A2
شرایط خاک از نظر نیازهای گیاهی	C3	اهداف جنگل‌کاری	A3
فاصله از سایت تا مناطق مسکونی پرجمعیت	C4	ایجاد چراگاه	A4
بی‌نظمی توپوگرافی	C5	ایجاد تفرجگاه و امکانات تفریحی و ورزشی	A5
تراکم گونه‌های گیاهی در منطقه و مناطق اطراف آن	C6	ایجاد جاذبه‌های توریستی	A6
متوسط سرعت باد	C7	بستن معدن و احداث توربین‌های بادی	A7
انواع گونه‌های جانوری در اطراف منطقه	C8	بستن معدن و احداث سلول‌های خورشیدی	A8
نحوه دسترسی به سایت	C9		
اندازه و شکل سایت استخراج شده	C10		

است که در آن عدم دقت مقدار عضویت مشخص دارد. یک مجموعه فازی A به صورت معادله ۱ نشان داده می شود:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (1)$$

که در آن:

$\mu_A(x)$ : نشان دهنده تابع عضویت A است.

در شرایط فازی، برای بیان نظرات تصمیم گیرندگان از اعداد فازی مثلثی<sup>۲۱</sup> و اعداد فازی ذوزنقه ای<sup>۲۲</sup> استفاده می شود. یک عدد فازی مثلثی و ذوزنقه ای به ترتیب با سه گانه  $(a_1, a_2, a_3)$  و چهار گانه  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$  تعیین می شوند که تابع عضویت آنها به ترتیب در معادله های ۲ و ۳ بیان شده است [۲۳]:

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & x \in [-\infty, a_1] \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & x \in [a_1, a_2] \\ \frac{c-x}{a_3-a_2}, & x \in [a_2, a_3] \\ 0, & x \in [a_3, +\infty] \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & x \in [-\infty, a_1] \\ \frac{1}{a_2-a_1}x - \frac{a_1}{a_2-a_1}, & x \in [a_1, a_2] \\ 1, & x \in [a_2, a_3] \\ \frac{-1}{a_4-a_3}x + \frac{a_4}{a_4-a_3}, & x \in [a_3, a_4] \\ 0, & x \in [a_4, +\infty] \end{cases} \quad (3)$$

برای وزن دهی معیارها از روش نقشه شناختی فازی<sup>۲۳</sup> استفاده شد که برای آن یک تیم کارشناسی متشکل از پنج عضو خبره با تخصص های بستن و بازی سازی معادن، محیط زیست، اقتصاد انرژی و اقتصاد و مدیریت معدنی نظرات خود را بیان کردند. در این تحقیق از اعداد فازی مثلثی به دلیل کارایی محاسباتی بسیار بالا و سادگی محاسبات و قابل فهم بودن برای بیان نظرات متخصصان در روش FCM استفاده شده است. متغیرهای زبانی ۹ گانه بدین منظور در نظر گرفته شده است که در جدول ۲ لیست شده اند.

اما مساله مهم عدم قطعیت نظرات آنان است. پاسخ دهندگان تئوری اعداد Z را برای بیان میزان اطمینان از پاسخ خود به کار گرفتند.

### ۲-۳- تئوری اعداد Z

مفهوم عدد Z برای اولین بار توسط لطفی زاده در سال

با محیط اطراف است. در صورت مساعد بودن شرایط آب و هوایی، می توان محصولات متنوع کشاورزی را در مناطق استخراج شده کاشت. در صورت پایین بودن دما و رطوبت می توان گیاهان یا محصولات فصلی را کاشت. گاه شیب یک منطقه استخراج شده از زمین تقریباً بیشتر است و کیفیت خاک و شرایط آب و هوایی برای اهداف کشاورزی کافی نیست. در این حالت استراتژی MLR بر ایجاد مرتع متمرکز است، به ویژه هنگامی که نیاز اصلی مردم بومی داشتن چراگاه برای حیوانات اهلی خود باشد. اهداف جنگل کاری به عنوان یک استراتژی MLR فرصت های شغلی ایجاد و برای نسل های آینده درآمدزایی می کند. اگر دسترسی به سایت استخراج شده به راحتی امکان پذیر و فاصله تا مراکز بزرگ شهری و جاده های اصلی کوتاه باشد، استراتژی جاذبه های گردشگری و تفریحی قابل قبول تر است. بر این اساس، طرح های بازی سازی خلاقانه با اهداف جاذبه های گردشگری و تفریحی سودآور هستند. با توجه به مزایای انرژی های تجدید پذیر، استراتژی های جدید MLR مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر پس از بستن معدن باید تصویب شود.

منابع انرژی تجدید پذیر مانند خورشید، آب، باد و زمین گرمایی به عنوان منابع نامحدود، انرژی تولید می کنند. این منابع انرژی مزایای بیشتری نسبت به منابع سوخت فسیلی به ویژه از نظر آلودگی محیط زیست، انرژی پایدار و انرژی ایمن دارند [۱۲، ۱]. علاوه بر این، استفاده از انرژی های تجدید پذیر قیمت های پایین انرژی و فرصت های شغلی را در بخش انرژی فراهم می کند [۱۳]، بنابراین این مطالعه بر استفاده از انرژی های تجدید پذیر پس از بستن معدن به عنوان استراتژی های جدید MLR مبتنی بر نگرانی های توسعه پایدار تاکید کرده است.

### ۲-۲- عدم قطعیت در تصمیم گیری

یک تصمیم گیرنده ممکن است در بسیاری از مواقع که باید برای اولویت بندی و انتخاب گزینه بهینه تصمیم گیری کند، با دانش و عدم اطمینان کامل مواجه باشد. در این حالت باید با عدم اطمینان به ویژه در شرایط فازی و خاکستری تصمیم گیری شود. این عدم قطعیت به راحتی قابل حل است و دقت و اعتماد به نتایج را افزایش می دهد. یکی از روش های قابل استفاده برای رفع عدم قطعیت، نظریه مجموعه های فازی است که برای اولین بار توسط لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی شد [۲۲]. نظریه اعداد فازی یک راه حل ذاتی تعامل با مشکلاتی



## جدول ۲: متغیرهای زبانی و عدد فازی مثلثی متناظر با آن

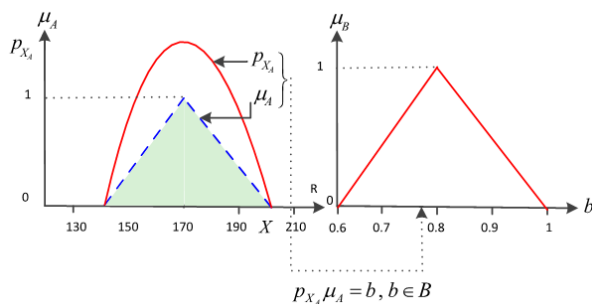
عدد فازی	نماد	متغیر زبانی	عدد قطعی
(۰,۰,۱), (۰,۲)	VVL	خیلی خیلی کم	۱
(۰,۱), (۰,۲), (۰,۳)	VL	خیلی کم	۲
(۰,۲), (۰,۳), (۰,۴)	RL	نسبتا کم	۳
(۰,۳), (۰,۴), (۰,۵)	L	کم	۴
(۰,۴), (۰,۵), (۰,۶)	M	متوسط	۵
(۰,۵), (۰,۶), (۰,۷)	H	زیاد	۶
(۰,۶), (۰,۷), (۰,۸)	RH	نسبتا زیاد	۷
(۰,۷), (۰,۸), (۰,۹)	VH	خیلی زیاد	۸
(۰,۸), (۰,۹), (۱)	VVH	خیلی خیلی زیاد	۹

تبدیل اطلاعات را کاهش می‌دهد [۲۶]. در این مطالعه، برای تبدیل عدد  $Z$  از تئوری فازی استفاده و همچنین یک مقیاس فازی برای بیان اطمینان در نظر گرفته شده است، بنابراین اعداد مثلثی فازی برای تبدیل عدد  $Z$  به اعداد فازی استفاده می‌شود. این قوانین تبدیل، ابتدا برای متغیرهای زبانی قابلیت اطمینان ارائه می‌شود. نظرات تیم متخصصان برای توضیح هر تخمین به متغیرهای زبانی نیاز دارد. در این تحقیق متغیرهای زبانی مورد استفاده برای تبدیل عدد  $Z$  به اعداد فازی در جدول ۳ لیست شده‌اند. همان‌طور که قابل مشاهده است، متغیرهای زبانی ۷ گانه مورد استفاده قرار گرفت:

جدول ۳: متغیرهای زبانی برای بیان اعداد  $Z$ 

عدد قطعی	متغیر زبانی	نماد	عدد $Z$
۱	نامطمئن	NS	(۰,۰,۰), (۰,۲)
۲	اطمینان خیلی کم	VLS	(۰, ۰,۲), (۰,۴)
۴	اطمینان کم	LS	(۰,۲), (۰,۴), (۰,۵)
۵	اطمینان متوسط	MS	(۰,۴), (۰,۵), (۰,۷)
۷	اطمینان زیاد	HS	(۰,۵), (۰,۷), (۰,۹)
۹	اطمینان خیلی زیاد	VHS	(۰,۷), (۰,۹), (۱)
۱۰	کاملا مطمئن	AS	(۰,۹), (۱), (۱)

یک نمونه عدد  $Z$  در شکل ۱ نشان داده شده است که در آن  $P_x$  و  $\mu_x$  به ترتیب بیانگر احتمال و تابع عضویت متغیر تصادفی  $X$  است.



شکل ۱: یک نمونه عدد  $Z$ : محدودیت (شکل سمت چپ) و قابلیت اطمینان (شکل سمت راست) [۲۷]

فرض کنید  $Z = (\tilde{A}, \tilde{R})$  یک عدد  $Z$  باشد که:

۲۰۱۱ معرفی شد که به صورت یک زوج مرتب اعداد فازی  $(A, R)$  نشان داده می‌شود [۲۴]. تئوری اعداد  $Z$  برای غلبه بر مفاهیمی که قابل اعتماد نیستند یا در آن عدم قطعیت وجود دارد، ارائه شده است. زوج مرتب  $(A, R)$  محدودیت‌هایی را برای نمایش رفتار اعداد  $Z$  نشان می‌دهد. مولفه  $A$  معمولاً یک مجموعه فازی را توصیف می‌کند. با این حال، مولفه  $R$  درجه قابلیت اطمینان است. درجه اطمینان را می‌توان به عنوان یک تابع چگالی احتمال یا یک مجموعه فازی نشان داد. به عنوان مثال، میزان تولید به شرح زیر اعلام می‌شود:

"توده سنگ انفجار شده روزانه در یک معدن بزرگ مقیاس تقریباً ۱۵۰۰ تن است"، اطمینان کم

این جمله را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$X \text{ is } Z=(A, R)$$

که در آن:

$X$ : متغیر "توده سنگ انفجار شده روزانه"

$A$ : یک مجموعه فازی است که توده سنگ انفجار شده

روزانه را "تقریباً ۱۵۰۰ تن" بیان می‌کند.

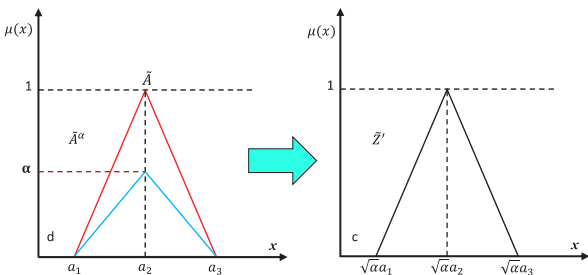
$R$ : درجه اطمینان از مجموعه  $A$  در یک رویداد "کم"

است.

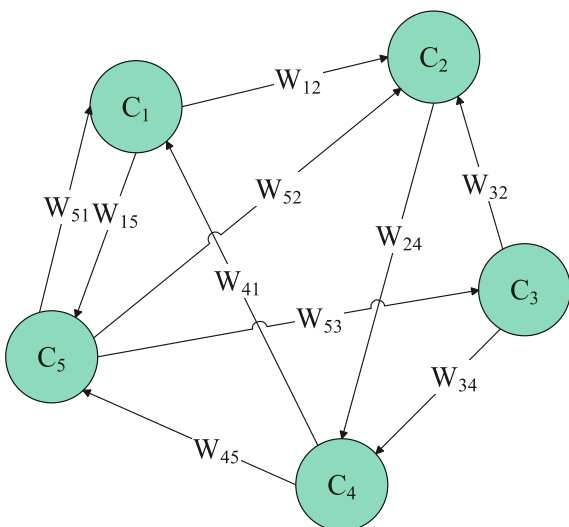
بیان مساله به وسیله اعداد  $Z$  ساده است، با این وجود انجام محاسبات مساله به وسیله اعداد  $Z$  نسبتاً دشوار است [۲۴]. برای غلبه بر این مشکل، استفاده از قابلیت اطمینان اعداد  $Z$  و تبدیل اعداد آن به اعداد قطعی توصیه می‌شود [۲۵]. روش‌های محاسباتی پیچیده برای یک عدد  $Z$  با تبدیل مقدار آن به عدد فازی یا قطعی برطرف می‌شوند. با این حال، بیان نظرات با یک عدد قطعی به طور قابل توجهی از اطلاعات را نادیده گرفته و در نتیجه مزایای استفاده از اطلاعات  $Z$  در هنگام

۲-۴- تعیین وزن‌ها با استفاده رویکرد نقشه شناختی فازی

پارامترهای موثر در یک مساله معمولاً بهم پیوسته است و در یک سیستم بر یکدیگر تاثیر می‌گذارند. این شرایط ممکن است بر اساس رابطه علت و معلولی باشد، که با رویکرد نقشه شناختی ارزیابی می‌شود. طراحی نقشه شناختی بر اساس مجموعه‌ای از گره‌ها است که به وسیله بردارهایی به هم متصل می‌شوند و پیوند علت و معلولی را بین چندین پارامتر نشان می‌دهند [۲۸]. کوسکو<sup>۲۴</sup> نقشه شناختی فازی را به عنوان یک نمودار گرافیکی تعریف کرد که رابطه علت و معلولی را در بین پارامترها نشان می‌دهد [۲۹]. نمایی گرافیکی از FCM در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲: تاثیر قابلیت اطمینان بر عدد Z



شکل ۳: مفهوم گرافیکی نقشه شناختی فازی [۲۹]

$$\{\tilde{A} = (x, u_{\tilde{A}}) | x \in [0, 1]\} \quad (4)$$

$$\{\tilde{R} = (x, u_{\tilde{R}}) | x \in [0, 1]\} \quad (5)$$

آنگاه، قابلیت اطمینان اعداد Z به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{\int x \mu_{\tilde{B}}(x) dx}{\int \mu_{\tilde{B}}(x) dx} \quad (6)$$

سرانجام، قابلیت اطمینان برای بخش محدودیت (B) از عدد Z اعمال شود:

$$\tilde{Z}^\alpha = \{(x, u_{\tilde{Z}^\alpha}) | u_{\tilde{Z}^\alpha}(x) = \alpha u_{\tilde{Z}}(x), x \in [0, 1]\} \quad (7)$$

به عنوان مثال اگر تصمیم‌گیرنده نظر خود را در مورد اهمیت یک معیار به صورت خیلی کم و با اطمینان کم درج کند، قابلیت اطمینان به شکل زیر در مجموعه فازی تاثیر می‌گذارد:

$$Z = [(0, 1), (0, 2), (0, 3), (0, 2), (0, 4), (0, 5)]$$

در مرحله اول با استفاده از معادله ۶، قابلیت اطمینان (alpha) بیان شده با یک عدد قطعی بیان می‌شود:

$$\alpha = \frac{\int \mu_B dx}{\int \mu_B dx} = 0.37$$

در مرحله دوم، وزن قابلیت اطمینان بر نظر کارشناس اعمال می‌شود.

$$\tilde{Z}^\alpha = (0, 1, 0, 2, 0, 3, 0, 3, 7)$$

در نهایت، یک عدد Z به صورت وزن‌دار به دست می‌آید که به عدد فازی معمولی تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \tilde{Z}' &= (\sqrt{0.37} \times 0.1, \sqrt{0.37} \times 0.2, \sqrt{0.37} \times 0.3) \\ &= (0.06, 0.12, 0.18) \end{aligned}$$

این فرآیند برای تمامی اعداد انجام می‌شود و در نهایت همه اعداد Z به یک عدد وزن‌دار فازی تبدیل می‌شوند که نتایج این تبدیل‌ها در جدول ۴ آمده است.

یک نمونه عدد Z پس از تاثیر دادن بخش قابلیت اطمینان در آن در شکل ۲ نشان داده شده است که به وضوح نحوه تبدیل و تغییر عدد Z را نشان می‌دهد.

جدول ۴: تبدیل متغیرهای زبانی در اعداد Z

$\tilde{Z}'$	$\alpha$	LTS		
		Z	B	A
(0,0.026,0.052)	0.07	(VVL,NS)	NS	VVL
(0,0.045,0.089)	0.2	(VVL,VLS)	VLS	VVL
(0,0.061,0.121)	0.37	(VVL,LS)	LS	VVL
(0,0.073,0.146)	0.53	(VVL,MS)	MS	VVL
(0,0.084,0.167)	0.7	(VVL,HS)	HS	VVL
(0,0.093,0.186)	0.87	(VVL,VHS)	VHS	VVL
(0,0.098,0.197)	0.97	(VVL,AS)	AS	VVL
(0.026,0.052,0.077)	0.07	(VL,NS)	NS	VL
(0.045,0.089,0.134)	0.2	(VL,VLS)	VLS	VL
(0.061,0.121,0.182)	0.37	(VL,LS)	LS	VL
(0.073,0.146,0.219)	0.53	(VL,MS)	MS	VL
(0.084,0.167,0.251)	0.7	(VL,HS)	HS	VL
(0.093,0.186,0.279)	0.87	(VL,VHS)	VHS	VL
(0.098,0.197,0.295)	0.97	(VL,AS)	AS	VL
(0.052,0.077,0.103)	0.07	(RL,NS)	NS	RL
(0.089,0.134,0.179)	0.2	(RL,VLS)	VLS	RL
(0.121,0.182,0.242)	0.37	(RL,LS)	LS	RL
(0.146,0.219,0.292)	0.53	(RL,MS)	MS	RL
(0.167,0.251,0.335)	0.7	(RL,HS)	HS	RL
(0.186,0.279,0.372)	0.87	(RL,VHS)	VHS	RL
(0.197,0.295,0.393)	0.97	(RL,AS)	AS	RL
(0.077,0.103,0.129)	0.07	(L,NS)	NS	L
(0.134,0.179,0.224)	0.2	(L,VLS)	VLS	L
(0.182,0.242,0.303)	0.37	(L,LS)	LS	L
(0.219,0.292,0.365)	0.53	(L,MS)	MS	L
(0.251,0.335,0.418)	0.7	(L,HS)	HS	L
(0.279,0.372,0.465)	0.87	(L,VHS)	VHS	L
(0.295,0.393,0.492)	0.97	(L,AS)	AS	L
(0.103,0.129,0.155)	0.07	(M,NS)	NS	M
(0.179,0.224,0.268)	0.2	(M,VLS)	VLS	M
(0.242,0.303,0.363)	0.37	(M,LS)	LS	M
(0.292,0.365,0.438)	0.53	(M,MS)	MS	M
(0.335,0.418,0.502)	0.7	(M,HS)	HS	M
(0.372,0.465,0.559)	0.87	(M,VHS)	VHS	M
(0.393,0.492,0.59)	0.97	(M,AS)	AS	M
(0.129,0.155,0.181)	0.07	(H,NS)	NS	H
(0.224,0.268,0.313)	0.2	(H,VLS)	VLS	H
(0.303,0.363,0.424)	0.37	(H,LS)	LS	H
(0.365,0.438,0.511)	0.53	(H,MS)	MS	H
(0.418,0.502,0.586)	0.7	(H,HS)	HS	H
(0.465,0.559,0.652)	0.87	(H,VHS)	VHS	H

جدول ۴ (ادامه): تبدیل متغیرهای زبانی در اعداد Z

$\tilde{Z}'$	$\alpha$	LTS		
		Z	B	A
(0.492,0.59,0.688)	0.97	(H,AS)	AS	H
(0.155,0.181,0.207)	0.07	(RH,NS)	NS	RH
(0.268,0.313,0.358)	0.2	(RH,VLS)	VLS	RH
(0.363,0.424,0.484)	0.37	(RH,LS)	LS	RH
(0.438,0.511,0.584)	0.53	(RH,MS)	MS	RH
(0.502,0.586,0.669)	0.7	(RH,HS)	HS	RH
(0.559,0.652,0.745)	0.87	(RH,VHS)	VHS	RH
(0.59,0.688,0.787)	0.97	(RH,AS)	AS	RH
(0.181,0.207,0.232)	0.07	(VH,NS)	NS	VH
(0.313,0.358,0.402)	0.2	(VH,VLS)	VLS	VH
(0.424,0.484,0.545)	0.37	(VH,LS)	LS	VH
(0.511,0.584,0.657)	0.53	(VH,MS)	MS	VH
(0.586,0.669,0.753)	0.7	(VH,HS)	HS	VH
(0.652,0.745,0.838)	0.87	(VH,VHS)	VHS	VH
(0.688,0.787,0.885)	0.97	(VH,AS)	AS	VH
(0.207,0.232,0.258)	0.07	(VVH,NS)	NS	VVH
(0.358,0.402,0.447)	0.2	(VVH,VLS)	VLS	VVH
(0.484,0.545,0.606)	0.37	(VVH,LS)	LS	VVH
(0.584,0.657,0.73)	0.53	(VVH,MS)	MS	VVH
(0.669,0.753,0.837)	0.7	(VVH,HS)	HS	VVH
(0.745,0.838,0.931)	0.87	(VVH,VHS)	VHS	VVH
(0.787,0.885,0.983)	0.97	(VVH,AS)	AS	VVH

$$A_i^{(k+1)} = f \left( A_i^{(k)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n W_{ji} A_j^{(k)} \right) \quad (8)$$

$$A_{new} = f \left( A_{old} + \sum W \cdot A_{old} \right) \quad (9)$$

که در آن:

$A_i^{(k+1)}$ : مقدار مفاهیم Ci در تکرار (k+1)

$A_i^{(k)}$ : مقدار مفاهیم Ci در تکرار (k) است.

FCM ممکن است مفاهیم و متغیرهای متنوعی داشته باشد و روابط علی را در قالب روابط متقابل بین مفاهیم در نظر بگیرد. یک مدل FCM سه روش یعنی نقشه شناختی<sup>۲۴</sup>، منطق فازی و شبکه‌های عصبی را برای مدل‌سازی سیستم‌های تصمیم‌گیری پیچیده ترکیب می‌کند و با در نظر گرفتن عدم

نقشه شناختی فازی از مجموعه‌ای از گره‌ها تشکیل شده است که مفاهیمی دارد که با علامت اختصاری  $C_i$  نشان داده می‌شود و بیانگر مفاهیم سیستم است. این مفاهیم به وسیله کمان‌های وزنی به هم پیوند می‌یابند و هر رابطه‌ای که بین دو مفهوم  $C_i$  و  $C_j$  وجود دارد، وزنی برابر با  $W_{ij}$  دارد که نشان‌دهنده درجه علیت و نوع رابطه بین مفاهیم است [۲۸،۴].  $W_{ij}$  بزرگتر از صفر و  $W_{ij}$  کمتر از صفر به ترتیب روابط مثبت و منفی را نشان می‌دهند.  $W_{ij}$  مساوی صفر، عدم وجود ارتباط بین دو مفهوم را نشان می‌دهد. برای تجزیه و تحلیل مدل پس از ترسیم گرافیکی نقشه شناختی باید از فرمول‌های ریاضی مرتبط استفاده شود. پس از تعیین مقادیر یک گره، مقادیر گره‌های دیگر متصل به این گره نیز باید بر اساس رابطه‌های ۸ و ۹ تعیین شود:

است. بیشتر گزینه‌های یک مساله با عدم قطعیت همراهاند و مقادیر معیارها دقیقاً قابل بیان نیستند. در نتیجه مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره با مقادیر مبهم معیارها به صورت دقیق قابل حل نیست. پس باید با مقادیر فازی و با استفاده از اعداد خاکستری حل شوند.

تئوری خاکستری برای اولین بار توسط دنگ<sup>۲۶</sup> در سال ۱۹۸۲ معرفی شد که اساس آن بر مفهوم مجموعه‌های خاکستری دلالت داشت. این تئوری در زمینه مسایل غیرقطعی که با اطلاعات ناقص همراه هستند، بسیار کاربردی است. سیستم خاکستری، سیستمی شامل اطلاعات غیرقطعی است که به واسطه متغیر و اعداد خاکستری بیان می‌شود. مدل مفهومی سیستم خاکستری در شکل ۴ رسم شده است.

در این تحقیق بر به کارگیری سیستم خاکستری در رفع عدم قطعیت تمرکز شده است. لازم به ذکر است که ماتریس تصمیم بر اساس همین تئوری تنظیم می‌شود، بنابراین یک مقیاس برای تعریف متغیرهای زبانی این سیستم در نظر گرفته شد تا متخصصان بتوانند نظرات خود را بر اساس آن بیان کنند. مقیاس زبانی استفاده شده در جدول ۵ خلاصه شده است.

زاوادسکاس و همکاران ایده به کارگیری روش کوپراس همراه با روش اعداد خاکستری را ارائه دادند. مراحل به کارگیری روش کوپراس خاکستری به شرح زیر است [۳۴]:

۱- انتخاب مجموعه‌ای از مهم‌ترین معیارهایی که بتوانند به خوبی معرف گزینه‌ها باشند.

۲- تشکیل ماتریس تصمیم  $X$

اطمینان و علیت بین مفاهیم، اعداد واقعی در فاصله ۱- تا ۱ یا ۰ تا ۱ را به مفاهیم اختصاص می‌دهد. مرحله اصلی در فرآیند FCM شناسایی مفاهیم و روابط علی و معلولی آنها و برآورد نقاط قوت روابط است.

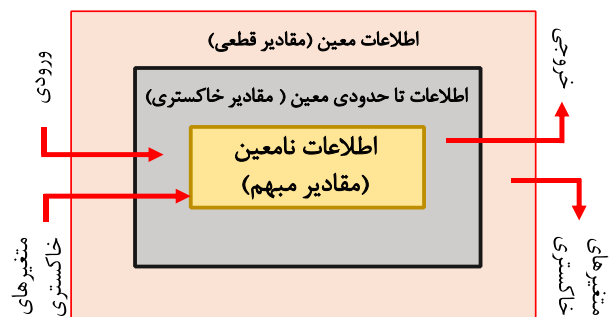
لازم به ذکر است که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری در FCM باعث افزایش قابلیت اطمینان تصمیم‌گیری، قابل فهم بودن سیستم، همگرایی نقشه، دقت وزن‌های به دست آمده و از همه مهم‌تر استقلال نظرات متخصصان می‌شود. علاوه بر این، FCM با بررسی سناریوهای مختلف و مدل‌سازی سیستم‌های پویا نقش‌های روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره را پوشش می‌دهد [۳۰]. در نتیجه FCM ممکن است دقت وزن‌دهی را افزایش دهد که یکی از مهم‌ترین مسایل در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. FCM حتی وقتی برای مدل‌سازی داده‌های کم قابل دسترسی است، مناسب است و وقتی مفاهیم یک سیستم و روابط بین آنها پیچیده باشد محدودیتی ندارد [۳۱]. این موارد از جمله مهم‌ترین مزیت‌های روش FCM است و دقت نتایج را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.

## ۲-۵- کوپراس خاکستری

تصمیم‌گیری مربوط به وضعیتی است که در آن یک شخص تصمیم‌گیرنده باید از بین گزینه‌های مختلف یک گزینه را با در نظر گرفتن مجموعه‌ای خاص از معیارهای متناقض انتخاب کند. برای تصمیم‌گیری، از بین سایر روش‌ها روش کوپراس که توسط زاوادسکاس<sup>۲۵</sup> توسعه یافته است [۳۲]، قابل استفاده

جدول ۵: مقیاس مربوط به سیستم خاکستری [۳۳]

ردیف	مقیاس	عدد خاکستری
۱	خیلی ضعیف	[۰, ۱]
۲	ضعیف	[۱, ۳]
۳	تقریباً ضعیف	[۳, ۴]
۴	متوسط	[۴, ۵]
۵	تقریباً خوب	[۵, ۶]
۶	خوب	[۶, ۹]
۷	خیلی خوب	[۹, ۱۰]



شکل ۴: مفهوم سیستم خاکستری [۳۳]

$$\otimes \hat{x}_{ji} = \otimes \tilde{x}_{ji} \cdot q_i \quad (13)$$

$$\hat{x}_{ji} = \tilde{x}_{ji} \cdot q_i \quad (14)$$

$$\bar{x}_{ji} = \bar{\tilde{x}}_{ji} \cdot q_i \quad (15)$$

که در آن:

$q_i$ : اهمیت (وزن) معیار  $i$ ام است. پس از انجام مراحل یاد شده ماتریس تصمیم به فرمت زیر تغییر می‌یابد (رابطه ۱۶):

$$\otimes \hat{X} = \begin{bmatrix} [\otimes \hat{x}_{11}] & [\otimes \hat{x}_{12}] & \dots & [\otimes \hat{x}_{1m}] \\ [\otimes \hat{x}_{21}] & [\otimes \hat{x}_{22}] & \dots & [\otimes \hat{x}_{2m}] \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ [\otimes \hat{x}_{n1}] & [\otimes \hat{x}_{n2}] & \dots & [\otimes \hat{x}_{nm}] \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$= \begin{bmatrix} [\hat{x}_{11}; \hat{x}_{11}] & [\hat{x}_{12}; \hat{x}_{12}] & \dots & [\hat{x}_{1m}; \hat{x}_{1m}] \\ [\hat{x}_{21}; \hat{x}_{21}] & [\hat{x}_{22}; \hat{x}_{22}] & \dots & [\hat{x}_{2m}; \hat{x}_{2m}] \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ [\hat{x}_{n1}; \hat{x}_{n1}] & [\hat{x}_{n2}; \hat{x}_{n2}] & \dots & [\hat{x}_{nm}; \hat{x}_{nm}] \end{bmatrix}$$

۶- محاسبه مجموع  $P_j$  مربوط به مقادیر معیارها که پس از محاسبه، مقادیر بزرگتر انتخاب می‌شوند:

$$P_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (\hat{x}_{ji} + \bar{x}_{ji}) \quad (17)$$

۷- محاسبه مجموع  $R_j$  مربوط به مقادیر معیارها که پس از محاسبه، مقادیر کوچکتر انتخاب می‌شوند:

$$R_j = \frac{1}{2} \sum_{i=k+1}^m (\hat{x}_{ji} + \bar{x}_{ji}), i = \overline{k, m} \quad (18)$$

که در آن:

(m-k): بیانگر تعداد معیارها است که باید کمینه شود.

۸- تعیین حداقل مقدار  $R_j$  با استفاده از رابطه زیر:

$$R_{min} = \min_j R_j, j = \overline{1, n} \quad (19)$$

۹- محاسبه اهمیت نسبی هر گزینه ( $Q_i$ ):

$$Q_j = P_j + \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{R_j \sum_{j=1}^n 1/R_j} \quad (20)$$

۱۰- تعیین معیار بهینه (k):

$$\otimes X = \begin{bmatrix} [\otimes x_{11}] & \dots & \dots & [\otimes x_{1m}] \\ [\otimes x_{21}] & \dots & \dots & [\otimes x_{2m}] \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ [\otimes x_{n1}] & \dots & \dots & [\otimes x_{nm}] \end{bmatrix} = \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} [x_{11}; \bar{x}_{11}] & [x_{12}; \bar{x}_{12}] & \dots & [x_{1m}; \bar{x}_{1m}] \\ [x_{21}; \bar{x}_{21}] & [x_{22}; \bar{x}_{22}] & \dots & [x_{2m}; \bar{x}_{2m}] \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ [x_{n1}; \bar{x}_{n1}] & [x_{n2}; \bar{x}_{n2}] & \dots & [x_{nm}; \bar{x}_{nm}] \end{bmatrix};$$

$$j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}$$

که در آن:

$\otimes x_{ij}$ : به  $\bar{x}_{ji}$  (کوچکترین مقدار، حد پایین و کران پایین) و  $x_{ji}$  (بزرگترین مقدار، حد بالا و کران بالا) محدود می‌شود.

۳- محاسبه میزان اهمیت (وزن) معیارها ( $q_i$ )

۴- ماتریس تصمیم  $\otimes X$  با استفاده از رابطه زیر نرمالیزه می‌شود:

$$\tilde{x} = \frac{x_{ji}}{\frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n x_{ji} + \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ji} \right)} = \frac{2x_{ji}}{\left( \sum_{j=1}^n x_{ji} + \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ji} \right)}; \quad (11)$$

$$j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}$$

$$\bar{\tilde{x}} = \frac{\bar{x}_{ji}}{\frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n x_{ji} + \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ji} \right)} = \frac{2\bar{x}_{ji}}{\left( \sum_{j=1}^n x_{ji} + \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ji} \right)};$$

$$j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}$$

که در آن:

$\tilde{x}_{ji}$  و  $\bar{\tilde{x}}_{ji}$ : به ترتیب حد بالا و حد پایین معیار  $i$  در گزینه  $j$  است.

m: تعداد معیار

n: تعداد گزینه‌ها را نشان می‌دهد، سپس ماتریس نرمال

شده به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\otimes \tilde{X} = \begin{bmatrix} [\tilde{x}_{11}; \bar{\tilde{x}}_{11}] & [\tilde{x}_{12}; \bar{\tilde{x}}_{12}] & \dots & [\tilde{x}_{1m}; \bar{\tilde{x}}_{1m}] \\ [\tilde{x}_{21}; \bar{\tilde{x}}_{21}] & [\tilde{x}_{22}; \bar{\tilde{x}}_{22}] & \dots & [\tilde{x}_{2m}; \bar{\tilde{x}}_{2m}] \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ [\tilde{x}_{n1}; \bar{\tilde{x}}_{n1}] & [\tilde{x}_{n2}; \bar{\tilde{x}}_{n2}] & \dots & [\tilde{x}_{nm}; \bar{\tilde{x}}_{nm}] \end{bmatrix} \quad (12)$$

۵- محاسبه ماتریس تصمیم نرمال شده وزن دار  $\otimes \hat{X}$ .

مقادیر نرمال شده وزن دار ( $\otimes \hat{x}_{ij}$ ) به صورت یکی از روابط

زیر محاسبه می‌شود:



استراتژی‌های MLR در مورد معدن سرب و روی انگوران استفاده می‌شود. معدن سرب و روی در منطقه‌ای کوهستانی در شمال غرب ایران و در فاصله ۱۳۵ کیلومتری شهر زنجان واقع شده است. شکل ۵ موقعیت و نمای کلی منطقه مورد مطالعه را بر روی نقشه گوگل نشان می‌دهد.

گزارش‌های هواشناسی استان زنجان نشان می‌دهد که کل روزهای بسیار سرد در این منطقه تقریباً ۱۳۵ روز است. بر اساس گزارش سینوپتیک شهر زنجان، این شهر در مجموع ۱۵۷ روز در معرض وزش باد با حداقل و حداکثر سرعت ۱۲ متر بر ثانیه و ۱۸ متر بر ثانیه است. جدول ۶ اطلاعات اساسی منطقه مورد مطالعه را ارائه می‌دهد.

$$K = \max_j Q_j, i = \overline{1, n} \quad (21)$$

۱۱- تعیین ترتیب اولویت گزینه‌ها

۱۲- محاسبه درجه سودمندی هر گزینه با استفاده از رابطه زیر:

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{\max}} \times 100\% \quad (22)$$

که در آن:

$Q_{\max}$  و  $Q_j$ : نشانگر اهمیت گزینه‌ها هستند.

### ۳- بحث و بررسی

روش توسعه یافته در این مطالعه برای اولویت‌بندی



شکل ۵: موقعیت جغرافیایی معدن سرب و روی انگوران (با استفاده از نقشه گوگل ارث)

جدول ۶: اطلاعات کلی منطقه مورد مطالعه

شرایط	وضعیت
متوسط	شدت هوای سرد در فصول سرد
متوسط	شدت هوای گرم در فصول گرم
۳۱۵	تعداد روزهای آفتابی سال
اغلب روزها (با جهات مختلف)	تعداد روزهای بادخیز سال
نسبتا زیاد	متوسط سرعت باد در روزهای باد
مداوم	زمان وزش باد در روزهای بادی
کم	حجم آب سطحی و زیرزمینی ناشی از بارش جوی
تقریبا منظم	بی‌نظمی توپوگرافی
متوسط	شیب منطقه
حدود ۱۳۵ کیلومتر تا زنگان	فاصله از سایت تا مناطق مسکونی
کم تا متوسط	مقاومت سنگ بستر
خیلی کم	تراکم گونه‌های گیاهی در منطقه و مناطق اطراف آن
تقریبا خوب	شرایط خاک از نظر نیازهای گیاهی
کشاورزی (اغلب گندم و جو و میوه)	استفاده از زمین‌های مجاور
کم (مار، کبک، گرگ و روباه)	تنوع گونه‌های جانوری منطقه
دامداری و کشاورزی	نوع اشتغال و وابستگی افراد بومی
جاده آسفالت	نحوه دسترسی به سایت

در ابتدا نظرات پنج متخصص جمع‌آوری و میزان اطمینان مبتنی بر اعداد Z در هر یک از نظرات آن تاثیر داده شد. جدول ۷ ماتریس اولیه از نظرات متخصصان را نشان می‌دهد که بر اساس متغیرهای زبانی تعریف شده، درج شده‌اند. هر معیار از دو مقدار تشکیل شده است که مقدار اول بیانگر نظر متخصص در مورد آن معیار (مولفه A از عدد Z) است که بر اساس متغیرهای زبانی تعریف شده در جدول ۲ در نظر گرفته شده‌اند. همچنین مقدار دوم، اطمینان متخصص از پاسخ خود (مولفه B از عدد Z) را نشان می‌دهد که بر اساس متغیرهای زبانی تعریف شده در جدول ۳ در نظر گرفته شده است.

میزان اطمینان درج شده در نظرات متخصصان تاثیر داده شد تا نظرات دقیق‌تر و قابل اعتمادتر به دست آید که به یک ماتریس اولیه مطمئن منجر می‌شود. این ماتریس پس از تاثیر عدد Z در نظرات متخصصان در جدول ۸ تهیه شده است. در نهایت برای فراخوانی در FCM و به دست آوردن اوزان، ماتریس اولیه همان‌طور که در جدول ۹ نشان داده شده است به مقادیر قطعی تبدیل می‌شود. در واقع این ماتریس بر گرفته از نظرات مطمئن متخصصان است که عدم قطعیت موجود را حذف کرده است. این ماتریس وارد FCM شده و با ارایه یک نقشه شناختی، ارتباط بین هر مفهوم (معیار) را در نظر می‌گیرد. نقشه شناختی این تحقیق در شکل ۶ نشان داده شده است که با قرار گرفتن ماتریس اولیه در الگوریتم یادگیری NLH-DE به دست می‌آید و در نهایت وزن هر معیار را پس از چندین شبیه‌سازی محاسبه می‌کند. تکرار شبیه‌سازی‌ها در شکل ۷ نمایان است، که بر اساس آن وزن هر معیار در شکل ۸ به دست آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده، وزن معیار "متوسط سرعت باد" با مقدار ۰/۸۶ بیشترین و وزن معیار "تعداد روزهای آفتابی" با مقدار ۰/۶۳۸ کمترین مقدار است. وزن‌های به دست آمده از این بخش که وزن‌هایی دقیق و آموزش دیده‌اند، در فرآیند روش کوپراس خاکستری استفاده می‌شوند.

### ۳-۲- کوپراس خاکستری وزن‌دهی شده با نقشه شناختی فازی

در این بخش فرآیند روش کوپراس خاکستری برای رتبه‌بندی گزینه‌های بازسازی بررسی می‌شوند. ابتدا ۱۰ معیار و ۸ گزینه بازسازی در یک ماتریس تصمیم مرتب شده و سپس نظرات متخصصان در این ماتریس درج می‌شوند. نظرات بر اساس اعداد خاکستری ثبت و ماتریس تصمیم حاصل از نظرات

### ۳-۱- نقشه شناختی فازی

نقشه شناختی فازی از یک ماتریس اولیه که حاصل نظرات متخصصان است بهره می‌گیرد. با توجه به اینکه تصمیم‌ها و نظرها ناشی از دانش و اطلاعات درونی یک متخصص است، بنابراین نتایج به دست آمده به نظرات متخصصان وابستگی بسیار زیادی دارد. در نتیجه، ماتریس اولیه با قرار گرفتن در یک الگوریتم یادگیری، وابستگی نتایج به نظرات کارشناسان را از بین می‌برد.

در این مطالعه ترکیبی از الگوریتم غیرخطی هبیین<sup>۲۷</sup> و الگوریتم فراابتکاری تکامل تفاضلی<sup>۲۸</sup> به عنوان یک الگوریتم مناسب یادگیری استفاده شد. این الگوریتم ترکیبی الگوریتم NLH-DE نامیده می‌شود که وزن‌های غیربعدي را در فرآیند شبیه‌سازی به روز می‌کند و اتصالات موجود بین گره‌ها (ارتباط علی و معلولی بین مفاهیم) را در نقشه شناختی در نظر می‌گیرد.

به دست آمد، بنابراین جدول ۱۱ به صورت جدول ۱۲ به شکل وزن دار تنظیم می‌شود. کران بالا و پایین هر عدد خاکستری با یکدیگر جمع می‌شوند (جدول ۱۳) تا از طریق مقدار  $P_j$  و  $P_j$  محاسبه شوند و در نهایت یک عدد قطعی به دست آید (جدول ۱۴). در جدول ۱۴ نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس درجه سودمندی درج شده است.

متخصصان در جدول ۱۰ تنظیم شده است. در مرحله بعد ماتریس تصمیم خاکستری نرمال می‌شود که در جدول ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در بخش قبل شرح داده شد، وزن‌های معیار از طریق مفهوم علت و معلولی در یک الگوریتم یادگیری محاسبه شد که در اینجا مورد استفاده قرار گرفت و از طریق آن‌ها ماتریس خاکستری نرمال شده وزن دار

جدول ۷: ماتریس اولیه همراه با درج بخش اطمینان از عدد Z

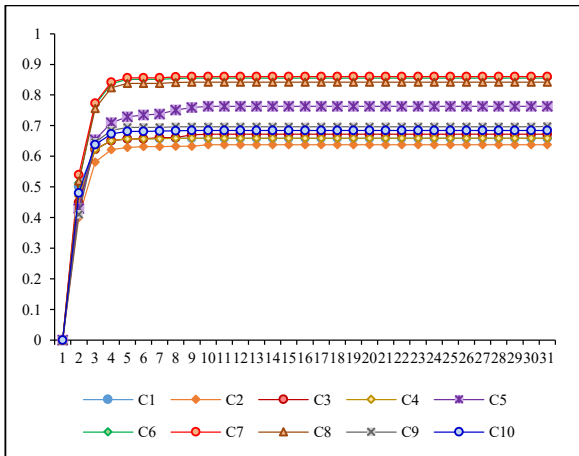
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.4,0.5,0.6)	(0.5,0.6,0.7)	(0.5,0.6,0.7)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.9,1,1)	(0.8,0.9,1)	(0.65,0.8,0.9)	(0,0,0)	(0,0,0)
C2	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.5,0.6,0.7)	(0.4,0.5,0.6)	(0.5,0.6,0.7)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.5,0.65,0.8)	(0.8,0.9,1)	(0.5,0.65,0.8)	(0,0,0)	(0,0,0)
C3	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.4,0.5,0.6)	(0.5,0.6,0.7)	(0.3,0.4,0.5)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.9,1,1)	(0.8,0.9,1)	(0.65,0.8,0.9)	(0,0,0)	(0,0,0)
C4	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.2,0.3,0.4)	(0.2,0.3,0.4)	(0.1,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.4)	(0.1,0.2,0.3)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.65,0.8,0.9)	(0.8,0.9,1)	(0.65,0.8,0.9)	(0.9,1,1)	(0.8,0.9,1)
C5	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.2,0.3,0.4)	(0.1,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.4)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.8,0.9,1)	(0.9,1,1)	(0.65,0.8,0.9)	(0,0,0)	(0,0,0)
C6	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
C7	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
C8	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
C9	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
C10	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)

جدول ۸: ماتریس اولیه پس از تاثیر دادن بخش اطمینان از عدد Z در نظرات متخصصان

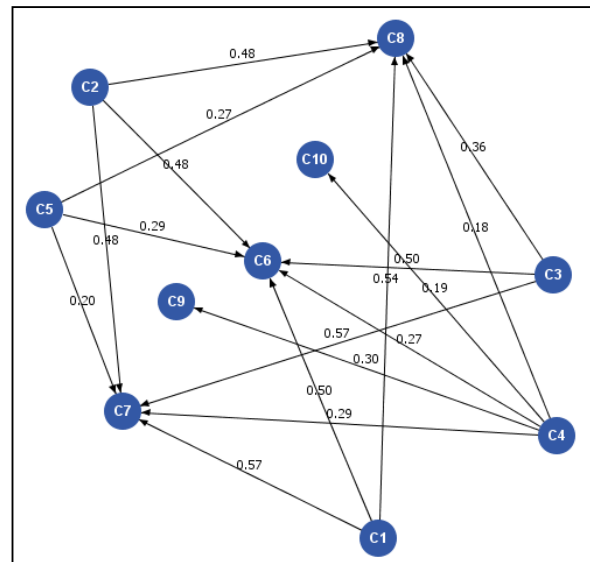
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.4,0.5,0.59)	(0.48,0.57,0.67)	(0.45,0.54,0.63)	(0,0,0)	(0,0,0)
C2	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.4,0.48,0.56)	(0.38,0.48,0.57)	(0.4,0.48,0.56)	(0,0,0)	(0,0,0)
C3	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.4,0.5,0.59)	(0.48,0.57,0.67)	(0.27,0.36,0.45)	(0,0,0)	(0,0,0)
C4	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.18,0.27,0.36)	(0.19,0.29,0.38)	(0.09,0.18,0.27)	(0.2,0.3,0.4)	(0.1,0.19,0.29)
C5	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0.19,0.29,0.38)	(0.1,0.2,0.3)	(0.18,0.27,0.36)	(0,0,0)	(0,0,0)
C6	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
C7	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
C8	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
C9	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
C10	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)

جدول ۹: ماتریس اولیه نهایی

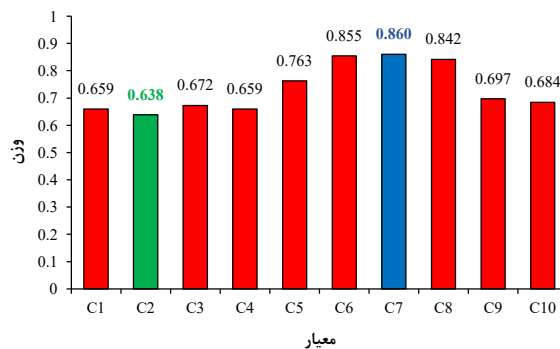
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	0	0	0	0	0	0.5	0.57	0.54	0	0
C2	0	0	0	0	0	0.48	0.48	0.48	0	0
C3	0	0	0	0	0	0.5	0.57	0.36	0	0
C4	0	0	0	0	0	0.27	0.29	0.18	0.3	0.19
C5	0	0	0	0	0	0.29	0.2	0.27	0	0
C6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



شکل ۷: تغییرات وزن هر معیار در هر بار شبیه‌سازی



شکل ۶: نقشه شناختی مساله برای تعیین وزن معیارها



شکل ۸: وزن نهایی به دست آمده برای هر معیار

جدول ۱۰: ماتریس تصمیم خاکستری برای بازسازی معادن شامل ۱۰ معیار و ۸ گزینه

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10	
W	0.659	0.659	0.638	0.638	0.672	0.672	0.659	0.659	0.763	0.763	0.855	0.855	0.860	0.860	0.842	0.842	0.697	0.697	0.684	0.684
A1	0	1	0	1	0	1	1	3	5	6	4	5	0	1	0	1	1	3	6	9
A2	9	10	6	9	3	4	1	3	4	5	0	1	9	10	6	9	0	1	0	1
A3	5	6	6	9	5	6	1	3	0	1	1	3	6	9	6	9	1	3	0	1
A4	3	4	5	6	3	4	1	3	3	4	5	6	6	9	5	6	0	1	1	3
A5	6	9	5	6	5	6	9	10	9	10	0	1	0	1	1	3	1	3	6	9
A6	9	10	6	9	6	9	5	6	3	4	1	3	6	9	6	9	5	6	3	4
A7	6	9	6	9	9	10	9	10	6	9	6	9	1	3	1	3	5	6	5	6
A8	9	10	9	10	9	10	6	9	9	10	1	3	0	1	0	1	3	4	6	9

جدول ۱۱: ماتریس خاکستری نرمال برای بازسازی معادن

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10	
A1	0.000	0.019	0.000	0.020	0.000	0.022	0.025	0.075	0.114	0.136	0.163	0.204	0.000	0.028	0.000	0.030	0.047	0.140	0.174	0.261
A2	0.170	0.189	0.118	0.176	0.067	0.089	0.025	0.075	0.091	0.114	0.000	0.041	0.254	0.282	0.182	0.273	0.000	0.047	0.000	0.029
A3	0.094	0.113	0.118	0.176	0.111	0.133	0.025	0.075	0.000	0.023	0.041	0.122	0.169	0.254	0.182	0.273	0.047	0.140	0.000	0.029
A4	0.057	0.075	0.098	0.118	0.067	0.089	0.025	0.075	0.068	0.091	0.204	0.245	0.169	0.254	0.152	0.182	0.000	0.047	0.029	0.087
A5	0.113	0.170	0.098	0.118	0.111	0.133	0.225	0.250	0.205	0.227	0.000	0.041	0.000	0.028	0.030	0.091	0.047	0.140	0.174	0.261
A6	0.170	0.189	0.118	0.176	0.133	0.200	0.125	0.150	0.068	0.091	0.041	0.122	0.169	0.254	0.182	0.273	0.233	0.279	0.087	0.116
A7	0.113	0.170	0.118	0.176	0.200	0.222	0.225	0.250	0.136	0.205	0.245	0.367	0.028	0.085	0.030	0.091	0.233	0.279	0.145	0.174
A8	0.170	0.189	0.176	0.196	0.200	0.222	0.150	0.225	0.205	0.227	0.041	0.122	0.000	0.028	0.000	0.030	0.140	0.186	0.174	0.261

جدول ۱۲: ماتریس خاکستری نرمال شده وزن دار

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10	
A1	0.000	0.012	0.000	0.013	0.000	0.015	0.016	0.049	0.087	0.104	0.140	0.174	0.000	0.024	0.000	0.026	0.032	0.097	0.119	0.178
A2	0.112	0.124	0.075	0.113	0.045	0.060	0.016	0.049	0.069	0.087	0.000	0.035	0.218	0.242	0.153	0.230	0.000	0.032	0.000	0.020
A3	0.062	0.075	0.075	0.113	0.075	0.090	0.016	0.049	0.000	0.017	0.035	0.105	0.145	0.218	0.153	0.230	0.032	0.097	0.000	0.020
A4	0.037	0.050	0.063	0.075	0.045	0.060	0.016	0.049	0.052	0.069	0.174	0.209	0.145	0.218	0.128	0.153	0.000	0.032	0.020	0.059
A5	0.075	0.112	0.063	0.075	0.075	0.090	0.148	0.165	0.156	0.173	0.000	0.035	0.000	0.024	0.026	0.077	0.032	0.097	0.119	0.178
A6	0.112	0.124	0.075	0.113	0.090	0.134	0.082	0.099	0.052	0.069	0.035	0.105	0.145	0.218	0.153	0.230	0.162	0.194	0.059	0.079
A7	0.075	0.112	0.075	0.113	0.134	0.149	0.148	0.165	0.104	0.156	0.209	0.314	0.024	0.073	0.026	0.077	0.162	0.194	0.099	0.119
A8	0.112	0.124	0.113	0.125	0.134	0.149	0.099	0.148	0.156	0.173	0.035	0.105	0.000	0.024	0.000	0.026	0.097	0.130	0.119	0.178



جدول ۱۳: محاسبه جمع جبری کران بالا و پایین اعداد خاکستری

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A1	0.012	0.013	0.015	0.066	0.191	0.314	0.024	0.026	0.130	0.297
A2	0.236	0.188	0.105	0.066	0.156	0.035	0.460	0.383	0.032	0.020
A3	0.137	0.188	0.164	0.066	0.017	0.140	0.363	0.383	0.130	0.020
A4	0.087	0.138	0.105	0.066	0.121	0.384	0.363	0.281	0.032	0.079
A5	0.187	0.138	0.164	0.313	0.329	0.035	0.024	0.102	0.130	0.297
A6	0.236	0.188	0.224	0.181	0.121	0.140	0.363	0.383	0.356	0.139
A7	0.187	0.188	0.284	0.313	0.260	0.523	0.097	0.102	0.356	0.218
A8	0.236	0.238	0.284	0.247	0.329	0.140	0.024	0.026	0.227	0.297

جدول ۱۴: محاسبه  $P_j$  و  $R_j$  و رتبه‌بندی گزینه‌ها

	$P_j$	$R_j$	$Q_i$	$N_i$	RANK
A1	0.442	0.102	0.697	60.24	8
A2	0.644	0.196	0.776	67.08	6
A3	0.726	0.077	1.062	91.83	3
A4	0.724	0.104	0.972	84.04	4
A5	0.602	0.258	0.702	60.68	7
A6	0.987	0.179	1.131	97.83	2
A7	1.041	0.223	1.156	100	1
A8	0.741	0.283	0.832	71.99	5

نسبت به هزینه‌های اولیه کمتر است که این مساله در مقابل حفظ چشم‌انداز منطقه و حفظ محیط زیست قابل اغماض است.

### ۳-۲- ارزیابی پتانسل بادخیزی منطقه مورد مطالعه

پس از انتخاب گزینه مناسب برای بازسازی معدن، مطالعات بادخیزی در منطقه مورد مطالعه انجام شد. بر این اساس، اطلاعات بادهای منطقه طی ۱۱ سال اخیر مورد مطالعه قرار گرفت. سرعت باد و جهت باد از ابتدای سال ۱۳۸۹ تا انتهای ۱۳۹۹ ارزیابی شدند. حدود ۳۲ هزار داده بادخیزی شامل پارامترهای طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح آزاد دریا، سرعت باد و جهت باد مربوط به منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شد. برای تحلیل بادخیزی از نرم‌افزار WRPLOT ۷8.0.02 استفاده شد. شکل ۹ گلباد منطقه مورد مطالعه طی ۱۱ سال اخیر را نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده، جهت باد غالب در فصل بهار و با سطح احتمال ۲۵ درصد ۶۲NE است. نتیجه مطالعات بادخیزی در فصل‌های مختلف در شکل ۱۰ نشان داده شده است. اطلاعات به دست آمده از مطالعات بادخیزی طی ۱۱ سال در جدول ۱۵ درج شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که جهت باد غالب در جهت شمالی-شرقی است. به طور کلی، بادهایی با سرعت زیاد در جهت شرق وزش می‌یابند.

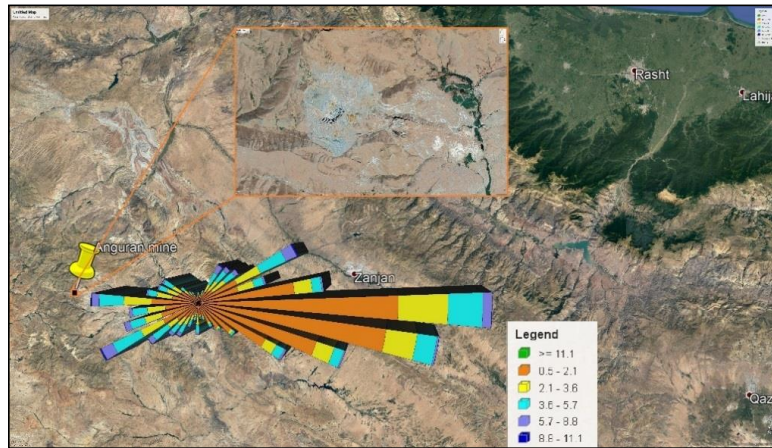
تجزیه و تحلیل انجام شده امکان‌سنجی احداث توربین‌های بادی را از نظر فنی بررسی می‌کند. نتایج حاکی از آن است که درصد بادهای آرام (بادهایی با سرعت کمتر از ۰/۵ متر بر ثانیه) بسیار کم است و معمولاً بادهایی با سرعت بیش از ۱۱ متر بر ثانیه در اکثر ماه‌ها می‌وزند و این سرعت برای چرخش پره توربین‌ها کفایت می‌کند و انرژی الکتریکی مورد نظر از این طریق تولید خواهد شد.

بر اساس نتایج جدول ۱۴، رتبه‌بندی ۸ گزینه ارایه شده به صورت  $A7 > A6 > A3 > A4 > A8 > A2 > A5 > A1$  انجام شد. نتایج به دست آمده از رویکرد ترکیبی نشان می‌دهد که بستن معدن و احداث توربین‌های بادی بهترین گزینه برای بازسازی معدن سرب و روی انگوران است.

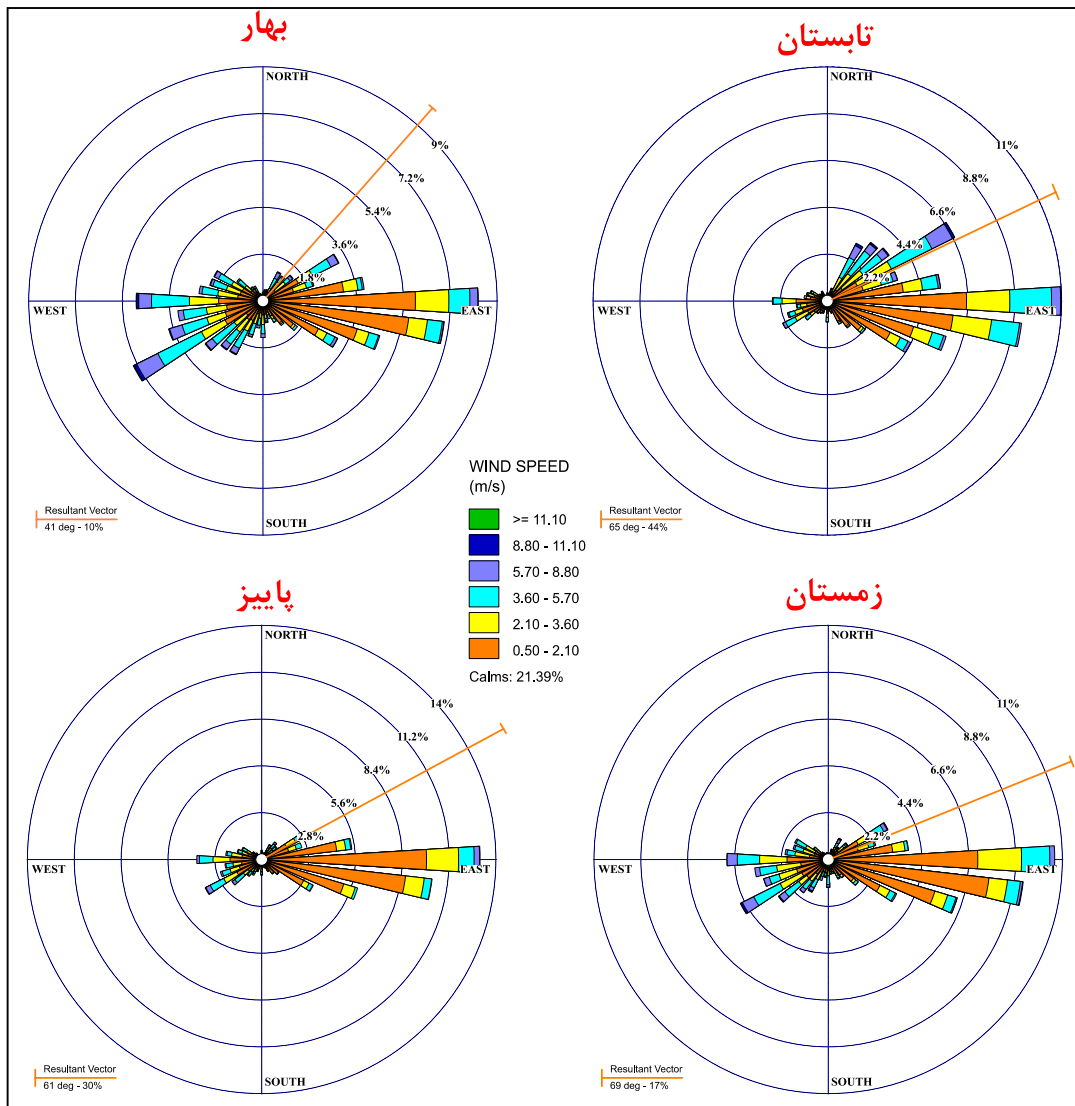
با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تعداد روزهای بادخیز در این منطقه، احداث مزرعه بادی یک راه‌حل مناسب برای بازسازی معدن و همچنین تامین برق منطقه است، چرا که چندین روستا نیز در اطراف معدن وجود دارند که برق مصرفی آن‌ها به راحتی از طریق مزرعه بادی قابل تامین است. علاوه بر این، راه‌حل پیشنهادی یک رویکرد زیست‌سازگار و همگام با محیط زیست است که بستر توسعه پایدار را برای منطقه مورد مطالعه فراهم می‌سازد.

نکته قابل توجه توجیه اقتصادی پروژه است که اخیراً افزایش قابل توجه قیمت تجهیزات باعث کاهش ارزش خالص فعلی<sup>۲۹</sup> پروژه شده است. به این معنا که دوره بازگشت سرمایه طولانی خواهد بود و درآمد حاصل از فروش انرژی الکتریکی





شکل ۹: گلباد منطقه مورد مطالعه طی ۱۱ سال



شکل ۱۰: گلباد منطقه مورد مطالعه در فصل‌های مختلف

جدول ۱۵: نتایج مطالعات بادخیزی طی ۱۱ سال در فصل‌های مختلف

فصل/ماه	جهت باد غالب (درجه)	بادهای آرام (درصد)	سطح احتمال (درصد)
بهار	۴۱	۱۸/۳۳	۱۰
تابستان	۶۵	۱۸/۴۳	۴۴
پاییز	۶۱	۲۱/۳۹	۳۰
زمستان	۶۹	۱۷/۹۶	۱۷
فروردین	۳۳۷	۱۴/۹۵	۳
اردیبهشت	۵۷	۱۸/۰۳	۶
خرداد	۴۴	۱۸/۷۳	۱۰
تیر	۴۹	۱۹/۴	۲۴
مرداد	۶۴	۱۸/۵۷	۴۵
شهریور	۶۸	۱۶/۶۶	۵۱
مهر	۶۱	۲۰/۶۲	۳۶
آباد	۵۴	۲۱/۷۷	۲۷
آذر	۵۶	۲۳/۳۵	۳۳
دی	۷۷	۱۸/۹۱	۳۳
بهمن	۷۳	۲۰/۴۴	۲۳
اسفند	۷۱	۱۷/۵۴	۲۰

#### ۴- نتیجه‌گیری

صنعت معدنکاری موتور محرک سایر صنایع در یک کشور است. معادن پس از استخراج مواد معدنی، با برنامه‌ریزی صحیح همچنان می‌توانند نقش خود را در ارکان توسعه پایدار منطقه یعنی اشتغال، حفظ محیط زیست و در نتیجه پویایی جامعه ایفا کنند. برای دستیابی به این هدف، بازسازی و احیای معادن باید مبتنی بر روش‌های هوشمندانه و با در نظر گرفتن کلیه پتانسیل‌های منطقه مورد نظر باشد تا کاربردی و پایدار باشد. با توجه به چالش‌های حوزه انرژی برای جوامع بشری، راهبرد ایجاد مزارع انرژی‌های پاک و نو، رویکردی موفق در بازسازی معادن است. در این مطالعه با ترکیب روش FCM، تئوری اعداد Z و کوپراس خاکستری روشی را برای ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های بازسازی یک معدن سرب و روی بر اساس مهم‌ترین معیارها پیشنهاد داد. ۱۰ معیار اصلی یعنی شدت هوا از نظر سرد یا گرم بودن (C1)، تعداد روزهای آفتابی (C2)، متوسط سرعت باد (C3)، فاصله از سایت تا مناطق مسکونی پرجمعیت (C4)، بی‌نظمی توپوگرافی (C5)، تراکم گونه‌های گیاهی در منطقه و مناطق اطراف آن (C6)، شرایط خاک از نظر نیازهای گیاهی (C7)، انواع گونه‌های جانوری در اطراف منطقه (C8)، نحوه دسترسی به سایت (C9)،

اندازه و شکل سایت استخراج شده (C10) همراه با هشت استراتژی بازسازی با تاکید بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته شد. پس از تاثیر قابلیت اطمینان در نظرات کارشناسان، نتایج حاصل از بخش FCM به دست آمد که نشان داد اختلافات کمی بین وزن معیارها وجود دارد. این نشان می‌دهد معیارها تاثیرات تقریباً نزدیکی در هدف اصلی دارند. معیار "متوسط سرعت باد" با مقدار ۰/۸۶ بیشترین و وزن معیار "تعداد روزهای آفتابی" با مقدار ۰/۳۸ کمترین مقدار را ارائه داد، سپس وزن حاصل از FCM در فرآیند روش کوپراس خاکستری تاثیر داده شدند. پس از به دست آوردن ماتریس خاکستری نرمال شده وزن‌دار، درجه سودمندی هر گزینه و به دنبال آن رتبه هر استراتژی MLR تعیین شد. بر اساس نتایج اولویت‌بندی، استراتژی بستن معدن و احداث توربین‌های بادی به عنوان مناسب‌ترین گزینه بازسازی انتخاب شد. ارزیابی‌های انجام شده بر اساس وضعیت آب و هوایی و شرایط منطقه نتایج به دست آمده را از طریق روش پیشنهادی تایید کرد. پتانسیل بادخیزی منطقه مورد مطالعه در یک بازه حدود ۱۰ سال بررسی شدند تا جهت و سرعت بادهای غالب مشخص شوند. نتایج نشان داد که بادهای آرام درصد خیلی کمی از بادهای منطقه را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به یافته‌های حاصل از بررسی پتانسیل بادخیزی منطقه، سرعت باد منطقه برای تولید جریان الکتریسیته با استفاده از توربین‌های بادی مناسب است.

#### ۵- مراجع

- [1] پورمیرزائی، ر.؛ ۱۳۹۶؛ "بررسی نقش صنعت معدنکاری و منابع معدنی در توسعه پایدار کشور". مهندسی منابع معدنی، دوره دوم، شماره ۳، ص ۹۲-۸۱.
- [2] Amirshenava, S., and Osanloo, M. (2018). "Mine closure risk management: an integration of 3D risk model and MCDM techniques". Journal of Cleaner Production, 184: 389-401.
- [3] Mborah, C., Bansah, K. J., and Boateng, M. K. (2016). "Evaluating alternate post-mining land-uses: A review". Environment and Pollution, 5(1): 14-22.
- [4] Bakhtavar, E., Aghayarloo, R., Yousefi, S., Hewage, K., and Sadiq, R. (2019). "Renewable energy based mine reclamation strategy: a hybrid fuzzy-based network analysis". Journal of Cleaner Production, 230: 253-263.
- [5] Heikkinen, P., Noras, P., Salminen, R., Mroueh, U-M., Vahanne, P., Wahlström, M., Kaartinen, T., Juvankoski,

- [16] Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., and Aghajani Bazzazi, A. (2009). "Deriving preference order of post-mining land-uses through MLSA framework: application of an outranking technique". *Environmental Geology*, 58(4): 877-888.
- [17] Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., Rezaei, B. A. H. R. A. M., and Aghajani Bazzazi, A. (2008). "Achieving to some outranking relationships between post mining land uses through mined land suitability analysis". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5(4): 535-546.
- [18] Isalou, A. A., Zamani, V., Shahmoradi, B., and Alizadeh, H. (2013). "Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic network process (F-ANP)". *Environmental Earth Sciences*, 68(6): 1745-1755.
- [19] Masoumi, I., Naraghi, S., Rashidi-nejad, F., and Masoumi, S. (2014). "Application of fuzzy multi-attribute decision-making to select and to rank the post-mining land-use". *Environmental Earth Sciences*, 72(1): 221-231.
- [20] Tsolaki-Fiaka, S., Bathrellos, G. D., and Skilodimou, H. D. (2018). "Multi-criteria decision analysis for an abandoned quarry in the Evros Region (NE Greece)". *Land*, 7(2): 43.
- [21] Kraujalienė, L. (2019). "Comparative analysis of multicriteria decision-making methods evaluating the efficiency of technology transfer". *Business, Management and Education*, 17(1): 72-93.
- [22] Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy set theory". *Information and Control*, 8(3): 338-353.
- [23] Chen, S. M. (1994). "Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations". *Fuzzy Sets and Systems*, 64(1): 31-38.
- [24] Zadeh, L. A. (2011). "A note on Z-numbers". *Information Sciences*, 181(14): 2923-2932.
- [25] Song, C., Wang, J. Q., and Li, J. B. (2020). "New framework for quality function deployment using linguistic Z-numbers". *Mathematics*, 8(2): 224.
- [26] Abbaspour Onari, M., Yousefi, S., and Jahangoshai Rezaee, M. (2021). "Risk assessment in discrete production processes considering uncertainty and reliability: Z-number multi-stage fuzzy cognitive map with fuzzy learning algorithm". *Artificial Intelligence Review*, 54(2): 1349-1383.
- [27] Kang, B., Zhang, P., Gao, Z., Chhipi-Shrestha, G., Hewage, K., and Sadiq, R. (2020). "Environmental assessment under uncertainty using Dempster-Shafer theory and Z-numbers". *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(5): 2041-2060.
- M., Vestola, E., Mäkelä, E., Leino, T., Kosonen, M., Hatakka, T., Jarva, J., Kauppila, T., Leveinen, J., Lintinen, P., Suomela, P., Höyry, H., ... and Tolla, P. (2008). "Mine Closure Handbook: Environmental Techniques for the Extractive Industry". Geological Survey of Finland.
- [6] Laurence, D. (2011). "Establishing a sustainable mining operation: an overview". *Journal of Cleaner Production*, 19(2-3): 278-284.
- [7] Bascetin, A. (2007). "A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine". *Environmental Geology*, 52(4): 663-672.
- [8] George-Laurentiu, M., Florentina-Cristina, M., and Andreea-Loreta, C. (2016). "The assessment of social and economic impacts associated to an abandoned mining site case study: Ciudanovita (Romania)". *Procedia Environmental Sciences*, 32: 420-430.
- [9] Clemente, A. S., Werner, C., Máguas, C., Cabral, M. S., Martins-Loução, M. A., and Correia, O. (2004). "Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs". *Restoration Ecology*, 12(1): 20-28.
- [10] Yavuz, M., and Altay, B. L. (2015). "Reclamation project selection using fuzzy decision-making methods". *Environmental Earth Sciences*, 73(10): 6167-6179.
- [11] Palogos, I., Galetakis, M., Roumpos, C., and Pavloudakis, F. (2017). "Selection of optimal land uses for the reclamation of surface mines by using evolutionary algorithms". *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(3): 491-498.
- [12] Çoban, V., and Onar, S. Ç. (2017). "Modelling solar energy usage with fuzzy cognitive maps". *Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications*, 159-187.
- [۱۳] حسینی، ش.، پورمیرزائی، ر.؛ ۱۳۹۶؛ "استفاده از انرژی خورشیدی در معادن، بعنوان رویکردی مناسب جهت بازسازی معادن". ششمین کنفرانس انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران، تبریز، ص ۷۱۴-۷۱۰.
- [14] Pavloudakis, F., Galetakis, M., and Roumpos, C. (2009). "A spatial decision support system for the optimal environmental reclamation of open-pit coal mines in Greece". *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 23(4): 291-303.
- [15] Sweigard, R. J., and Ramani, R. V. (1988). "Evaluation of postmining land use plans using fuzzy set analysis". In *Transactions of SME-AIME Annual Meeting*, New Orleans, LA, 282: 1854-1859.

- <sup>3</sup> Mine land reclamation (MLR)
- <sup>4</sup> Sweigard
- <sup>5</sup> Ramani
- <sup>6</sup> Bascetin
- <sup>7</sup> Analytic Hierarchy Process (AHP)
- <sup>8</sup> Soltanmohammadi
- <sup>9</sup> Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations (PROMETHEE)
- <sup>10</sup> ELimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE)
- <sup>11</sup> Isalou
- <sup>12</sup> Analytic Network Process (ANP)
- <sup>13</sup> Masoumi
- <sup>14</sup> Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
- <sup>15</sup> Yavuz
- <sup>16</sup> Altay
- <sup>17</sup> Tsolaki
- <sup>18</sup> Causal relationships
- <sup>19</sup> Complex Proportional Assessment (COPRAS)
- <sup>20</sup> Mine Land Reclamation (MLR)
- <sup>21</sup> Triangular fuzzy number (TFN)
- <sup>22</sup> Trapezoidal fuzzy number (TrFN)
- <sup>23</sup> Fuzzy Cognitiva Map (FCM)
- <sup>24</sup> Kosko
- <sup>25</sup> Zavadskas
- <sup>26</sup> Deng
- <sup>27</sup> Non-linear Hebbian (NLH)
- <sup>28</sup> Differential evolution (DE)
- <sup>29</sup> Net Present Value (NPV)
- [28] Bakhtavar, E., Hosseini, S., Hewage, K., and Sadiq, R. (2021). "Green blasting policy: simultaneous forecast of vertical and horizontal distribution of dust emissions using artificial causality-weighted neural network". *Journal of Cleaner Production*, 283: 124562.
- [29] Kosko, B. (1986). "Fuzzy cognitive maps". *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1): 65-75.
- [30] Jahangoshai Rezaee, M., Yousefi, S., and Hayati, J. (2018). "A decision system using fuzzy cognitive map and multi-group data envelopment analysis to estimate hospitals' outputs' level". *Neural Computing and Applications*, 29(3): 761-777.
- [31] Papageorgiou, K., Singh, P. K., Papageorgiou, E., Chudasama, H., Bochtis, D., and Stamoulis, G. (2019). "Fuzzy cognitive map-based sustainable socio-economic development planning for rural communities". *Sustainability*, 12(1): 305.
- [32] Zavadskas, E. K., and Kaklauskas, A. (1996). "Determination of an efficient contractor by using the new method of multicriteria assessment". In *International Symposium for "The Organization and Management of Construction"*. Shaping Theory and Practice, Bury St. Edmunds, Suffolk, UK: St. Edmundsbury Press, 2: 94-104.
- [33] Park, K. (2017). "A grey-based risk selection model using fuzzy information of a supply chain". *Multimedia Tools and Applications*, 76(17): 18083-18097.
- [34] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., and Tamošaitiene, J. (2008). "Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals". *Journal of Civil Engineering and Management*, 14(2): 85-93.
- 
- <sup>1</sup> Restoration
- <sup>2</sup> Reclamation