

انتخاب محل دپوی باطله با استفاده از روش VIKOR تحت محیط فازی

عبدالرضا یزدانی چمزینی^{1*}، ذبیح احمدی²، سید کاظم اورعی³، محمد حسین بصیری⁴

1 و* - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش فنی و اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس؛ a.yazdani@modares.ac.ir

2 - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش استخراج، دانشگاه تربیت مدرس؛ z.ahmadi@modares.ac.ir

3 - استاد و عضو هیئت علمی بخش مدیریت دانشگاه استرلینگ انگلستان؛ sko1@stir.ac.uk

4 - استادیار و عضو هیئت علمی گروه معدن دانشگاه تربیت مدرس؛ mhbasiri@modares.ac.ir

چکیده

با توجه به ماهیت معادن روباز، حجم برداشت، معمولاً نیاز است که برای دسترسی به مواد معدنی حجم زیادی از عملیات باطله برداری صورت گیرد. بنابراین، یکی از مهم ترین بخشهای طراحی معادن روباز، انتخاب محل دپوی مواد باطله می باشد. بسیاری از عوامل در انتخاب محل دپوی مواد باطله موثر هستند. این عوامل گاهی در تضاد با یکدیگرند. بنابراین انتخاب محل مناسب برای دپوی مواد باطله فرآیند پیچیده و چند معیاره است. روش های گوناگونی برای تصمیم گیری تحت شرایط پیچیده وجود دارند، که می توان به روشهای فازی، دلفی، تصمیم گیری چند معیاره و سیستم های خبره اشاره کرد. روش VIKOR، که یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره است، ابزاری مفید برای تصمیم گیری است. از سوی دیگر با توجه به عدم اطمینان در تصمیم گیری، رویکرد فازی ابزار مفیدی برای این هدف است. در این مقاله توسط فازی VIKOR بهترین سایت برای دپوی مواد باطله ی معدن طلای ساری گونای انتخاب شده است. نتایج نشان می دهد که موقعیت C اولویت بالاتری نسبت به موقعیت های دیگر دارد.

واژه های کلیدی: دپوی باطله، انتخاب، روش فازی VIKOR، معدن طلای ساری گونای.

1- مقدمه

هدف از استخراج معادن این است که بتوان تقاضا برای فلزات و مواد معدنی جهت توسعه زیرساخت ها را پاسخگو بود. همچنین به منظور بهبود کیفیت زندگی مردم، این مواد استخراج شده، در موارد بسیاری به عنوان مواد اولیه برای تولید بسیاری از کالاها و مواد بکار می روند [1]. مواد باطله از استخراج معادن فلزی و غیر فلزی منتج می شوند. در مورد استخراج معادن فلزی، حجم بالایی از باطله ها به دلیل عیار کم یا خیلی کم فلز در کانسنگ تولید می شود. در واقع، باطله معدن بالاترین نسبت ضایعات تولید شده توسط فعالیت های صنعتی را تشکیل می دهد. باطله حاصل از معادن در سطح زمین و به صورت کپه هایی انبار می شوند که مناظر طبیعت را بد شکل می کنند [2]. سنگ باطله معمولاً درشت است و به صورت تکه- های سنگ، یا تخته سنگ های همراه با ذرات ریز طبقه بندی می شوند. گزینه های دفع مواد باطله شامل دره ها، دامنه تپه ها، تپه ماهورها، و یا به صورت خاکریز می باشد. انتخاب نهایی محل دفع باطله معمولاً براساس نقشه برداری دقیق محل، نتایج طراحی مهندسی و مطالعات هزینه، ارزیابی اثرات زیست محیطی و نتیجه جلسات عمومی انجام می گیرد [4].

انتخاب محل یک دپو یک مشکل پیچیده مهندسی می باشد که شامل ملاحظات مالی، زیست محیطی و ملاحظات ایمنی است، این مشکلات در زیر توصیف شده اند[1]:

1- ملاحظات مالی شامل هزینه های تخلیه، ساخت جاده، حمل و نقل مواد باطله و توانبخشی و بازسازی محل می باشد.
2- ملاحظات زیست محیطی شامل امکان تولید اسید و واکنش پذیری، زهکشی مورد نیاز که بوسیله تجزیه و تحلیل نقاط تخلیه آبهای زیرزمینی تعیین می شود، اثرات آن بر موجودات زنده، وجود آلودگی های فیزیکی آب زیرزمینی در اثر هوازگی مواد باطله، و اقدامات برای حفاظت از محیط اطراف از آلاینده ها توسط شاخص فیزیکی بازسازی دپوهای باطله معدن می باشد.

3- ملاحظات ایمنی نیاز به آنالیز پایداری ساختاری دارد زیرا دپوها باید به گونه ای طراحی شوند که فرسایش، مهاجرت آلاینده ها به محیط اطراف و دیگر احتمالات شکست را به حداقل رسانند.

بسیاری از مدل هایی که تعریف شده اند، مدل های پشتیبانی تصمیم گیری هستند، برخی از این مدل ها مانند ارزیابی ریسک، ارزیابی اثرات زیست محیطی، تجزیه و تحلیل هزینه-سود، تصمیم گیری چند معیاره، به عنوان بخشی از فرایند تصمیم گیری می باشند[5]. با توجه به اهمیت انتخاب محل دپوی باطله در معادن روباز، در این زمینه کارهای مختلفی انجام شده است.

حکمت و همکارانش (2008) محل دپوی باطله را توسط روش های MADM (شامل SAW، AHP و TOPSIS) انتخاب کردند[6]. Golestanifar و Bazazi (2009) با استفاده از الگوریتم WDL در وضعیت نامشخص انتخاب گروهی را برای محل دپوی باطله در معادن روباز مورد بررسی قرار دادند [7]. Cetin و Yesilnacar (2005) به انتخاب محل دپوی باطله های خطرناک پرداختند، آنها بر روی یک مطالعه ی موردی در منطقه GAP کار کردند [8]. Ekmekciog و دیگران (2010) روش دفع باطله فازی چند معیاره را به کار بردند و پس از آن به انتخاب محل برای مواد زائد جامد شهری پرداختند [9]. Kumral و Dimitrakopoulos (2008) به انتخاب محل های دپوی باطله با استفاده از الگوریتم جستجوی تابو پرداختند [1].

اورعی و گودرزی (2007) به بررسی روش معمول برای توزیع سنگ های باطله بین محل های دپوی مواد در معادن روباز پرداختند [10]. Galante و دیگران (2010) دو هدف متناقض را ارزیابی کرده اند، این اهداف عبارتند از به حداقل رساندن هزینه ها و به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی که بوسیله میزان آلودگی اندازه گیری می شود، بنابراین طراحی سیستم مدیریت فاضلاب یکپارچه در چارچوب بهینه سازی چند هدفه را بررسی کردند، برای تعیین بهترین راه، روش های برنامه-ریزی آرمانی، مجموع وزن دار و فازی چند هدفه به کار گرفته شدند [11].

در برخی از مطالعات فوق انتخاب بدون در نظر گرفتن تصمیم گیری تحت شرایط نامطمئن انجام گرفته اند. نظریه مجموعه ی فازی مجموعه های معمولی و یا کلاسیک را برای مدل و شبیه سازی مفاهیم زبانی در حوزه مشخص شده توسط داده های ناقص، مبهم، نامشخص و مبهم بکار می برد [12]. همچنین، روش VIKOR ابزاری مفید برای تصمیم گیری در شرایط پیچیده و چند معیاره می باشد. در این مقاله ترکیبی از روش فازی و روش VIKOR برای انتخاب بهترین محل برای دپوی مواد باطله در معدن طلای ساری گونای به کار گرفته شده است.

2- مجموعه ی فازی

این نظریه برای اولین بار توسط لطفی زاده (1965) ارائه شده است [13]. با توجه به عدم اطمینان از اطلاعات و مبهم بودن احساسات انسان، ارائه دقیق ارزش عددی برای این مفاهیم و ارزیابی دقیق انتقال احساس و شناخت از اشیاء برای تصمیم گیرندگان دشوار است. بنابراین، بسیاری از پارامترهای انتخاب را نمی توان به دقت بدست آورد [9]. بنابراین، ارزیابی مناسب بودن داده ها برای معیارهای مختلف ذهنی و وزن معیارها معمولاً در شرایط زبانی توسط تصمیم گیرندگان بیان می شود [14].

3- عدد فازی

مجموعه فازی \tilde{A} توسط تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ تعریف می شود، تابع عضویت به هر عنصر x در مجموعه X عدد حقیقی در بازه $[0, 1]$ را اختصاص می دهد. عدد فازی مثلثی \tilde{A} را می توان توسط سه مولفه (a, b, c) تعریف کرد. تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ به صورت زیر تعریف می شود [15]:

(1)

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{x-c}{b-c}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

4- فازی VIKOR

روش MCDM را می توان برای تعیین راه حل مطلوب از میان گزینه های متعدد با معیارهای متضاد بکار برد [16]. هدف اصلی از MCDM یافتن راه حل بهینه با حداکثر اثربخشی از طریق کمترین هزینه است [17].

مراحل اصلی تصمیم گیری چند معیاره به شرح زیر است [18]:

(الف) ایجاد معیار ارزیابی سیستمی که مربوط به توانایی های سیستم هدف است؛

(ب) توسعه سیستم های جایگزین دیگر را برای رسیدن به اهداف (ایجاد جایگزین)؛

(ج) ارزیابی گزینه ها از نظر معیار (مقادیر توابع معیار)؛

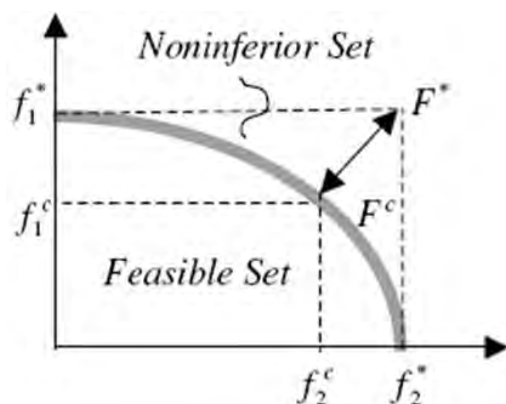
(د) استفاده از روش تجزیه و تحلیل اصولی چند هدفه؛

(ه) قبول یک جایگزین به عنوان "مطلوب" (دلخواه)؛

(و) اگر راه حل نهایی قابل قبول نیست، جمع آوری اطلاعات جدید و رفتن به تکرار بعد از بهینه سازی.

VIKOR (VlseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje) توسط Opricovic در سال 1998

معرفی گردید [19]، و برای حل مسائل تصمیم گیری فازی چند معیاره و بهترین راه حل توافقی در وضعیت موجود بکار گرفته شد. روش فازی VIKOR حداکثر "بهره وری گروه" "اکثریت" و حداقل تاسف فردی "مخالفت" را فراهم می کند، راه حل توافقی به دست آمده می تواند به راحتی توسط تصمیم گیرندگان پذیرفته شود [20]. مفاهیم راه حل های توافقی برای اولین بار توسط YU (1973) [21] و Zeleny (1982) آغاز شد [22]. راه حل توافقی راه حل F^c است که نزدیکترین راه حل به F^* ایده آل می باشد [17]، و توافق به معنای موافقت ایجاد شده توسط امتیازات متقابل است، در شکل 1 این مطلب بوسیله $\Delta f_1 = f_1^* - f_1^c$ و $\Delta f_2 = f_2^* - f_2^c$ نشان داده شده است.



شکل 1: راه حل توافقی و ایده آل

رویکرد فازی VIKOR که اولین بار توسط Wang و دیگران (2006) با روش فازی ترکیب شد [23] و به صورت فازی ویکور (Fuzzy VIKOR) شناخته شده شامل مراحل زیر است:

مرحله 1: ایجاد گزینه های ممکن، تعیین معیارهای ارزیابی، و تشکیل تصمیم گیرندگان. فرض کنیم که چندین گزینه m ، k معیار ارزیابی و n تصمیم گیرنده وجود دارد [24].

مرحله 2: شناسایی متغیرهای زبانی مناسب برای وزن اهمیت معیار و امتیاز برای گزینه ها با توجه به هر معیار (همانطور که در جدول 1 و جدول 2 نشان داده شده است).

جدول 1: متغیرهای زبانی برای وزن معیارها [17]

اعداد فازی	متغیرهای زبانی
(0.00, 0.00, 0.25)	Very Low (VL)
(0.00, 0.25, 0.50)	Low (L)
(0.25, 0.50, 0.75)	Medium (M)
(0.50, 0.75, 1.00)	High (H)
(0.75, 1.00, 1.00)	Very High (VH)

جدول 2: متغیرهای زبانی برای امتیازدهی به گزینه ها [17]

متغیرهای زبانی	اعداد فازی
Very Low (VL)	(0.00, 0.00, 0.25)
Low (L)	(0.00, 0.25, 0.50)
Medium (M)	(0.25, 0.50, 0.75)
High (H)	(0.50, 0.75, 1.00)
Very High (VH)	(0.75, 1.00, 1.00)

مرحله 3: یکپارچه کردن اولویت ها و نظرات تصمیم گیرندگان. تصمیم توسط گردآوری وزن فازی معیارها و درجه فازی گزینه ها که بوسیله نظرات n تصمیم گیرنده بدست می آید، محاسبه می شود [24]:

(2)

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{n} \left[\sum_{e=1}^n \tilde{w}_j^e \right], j = 1, 2, \dots, k$$

علاوه بر این، اولویت ها و نظرات n تصمیم گیرنده با توجه به معیار j برای وزن مهم هر معیار و درجه ی هر گزینه در گزینه i ام می تواند بدین صورت محاسبه شود [24]:

(3)

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{n} \left[\sum_{e=1}^n \tilde{w}_j^e \right], j = 1, 2, \dots, k$$

مرحله 4: محاسبه میانگین وزن فازی و ساخت ماتریس تصمیم گیری (نرمال) فازی

(4)

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & . & . & . & C_k \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & . & . & . & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & . & . & . & \tilde{x}_{2n} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & . & . & . & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} & \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ . \\ . \end{matrix} \end{matrix}$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k$$

$$[\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_k], j = 1, 2, \dots, k \quad \tilde{w} =$$

\tilde{x}_{ij} امتیاز گزینه ی A_i با توجه به معیار C_j ، و \tilde{w}_j درجه اهمیت وزن معیار i ام است.

مرحله 5: تعیین بهترین مقدار فازی (FBV) و بدترین مقدار فازی (FWV).

(5)

$$\tilde{f}_i^- = \min_j \tilde{x}_{ij}, \quad \tilde{f}_i^* = \max_j \tilde{x}_{ij}$$

مرحله 6: محاسبه مقادیر \tilde{R}_i ، \tilde{S}_i [17, 24]:

(6)

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)$$

(7)

$$\tilde{R}_i = \max_j [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)]$$

\tilde{S}_i عبارتست از A_i با توجه به همه معیارهای محاسبه شده بوسیله ی مجموع فاصله برای FBV، و \tilde{R}_i عبارتست از A_i با توجه به معیار j ام که بوسیله حداکثر فاصله FBV محاسبه می شود.

مرحله 7: محاسبه مقادیر \tilde{S}^* ، \tilde{Q}_i ، \tilde{R}^- ، \tilde{R}^* ، \tilde{S}^- [17, 24]:

(8)

$$\tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i, \quad \tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i$$

(9)

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i, \quad \tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i$$

(10)

$$\tilde{Q}_j = v(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*) / (\tilde{S}^- - \tilde{S}^*) + (1-v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*) / (\tilde{R}^- - \tilde{R}^*)$$

v به معنای وزن استراتژی حداکثر بهره وری گروه است. وقتی $v > 0.5$ ، تصمیم تمایل دارد به سمت قانون اکثریت حداکثر و وقتی $v = 0.5$ باشد، تصمیم تمایل دارد به سمت انصراف فرد مخالف پیش رود.

مرحله 8: دیفازی کردن \tilde{Q}_i فازی مثلی و رتبه گزینه ها، دسته بندی بر اساس مقدار Q_i

مرحله 9: تعیین راه حل توافقی. فرض کنیم که دو شرط در زیر آورده شده قابل قبول است. سپس، با استفاده از شاخص Q_i ، راه حل توافقی را به عنوان تنها راه حل مطلوب تعیین می کنیم.

[C1] مزیت قابل قبول [17,24,25,26]:

(11)

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

(12)

$$DQ = \frac{1}{m-1} (DQ = 0.25 \text{ if } m \leq 4)$$

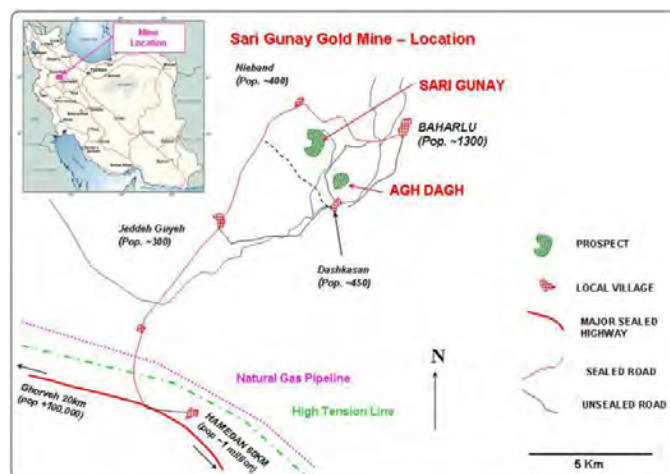
[C2] پایداری قابل قبول در تصمیم گیری است: تحت این شرایط $Q(a')$ بایستی $S(a')$ و یا $R(a')$ باشد.

اگر [C1] پذیرفته نیست، و $Q(a^{(m)}) - Q(a') < DQ$ ، در نتیجه $a^{(m)}$ و a' راه حل توافقی یکسان هستند. با این حال، a' مزیت توافقی ندارد، بنابراین راه حل های توافقی $a', a'', \dots, a^{(m)}$ یکسان هستند. اگر [C2] پذیرفته نیست، ثبات در تصمیم گیری ناقص است، هر چند a' مزیت توافقی دارد. از این رو، راه حل های توافقی a' و a'' یکسان هستند.

مرحله 10: انتخاب بهترین گزینه. $Q(a')$ به عنوان بهترین راه حل با حداقل Q_i انتخاب می شود.

5- معدن طلای ساری گونای

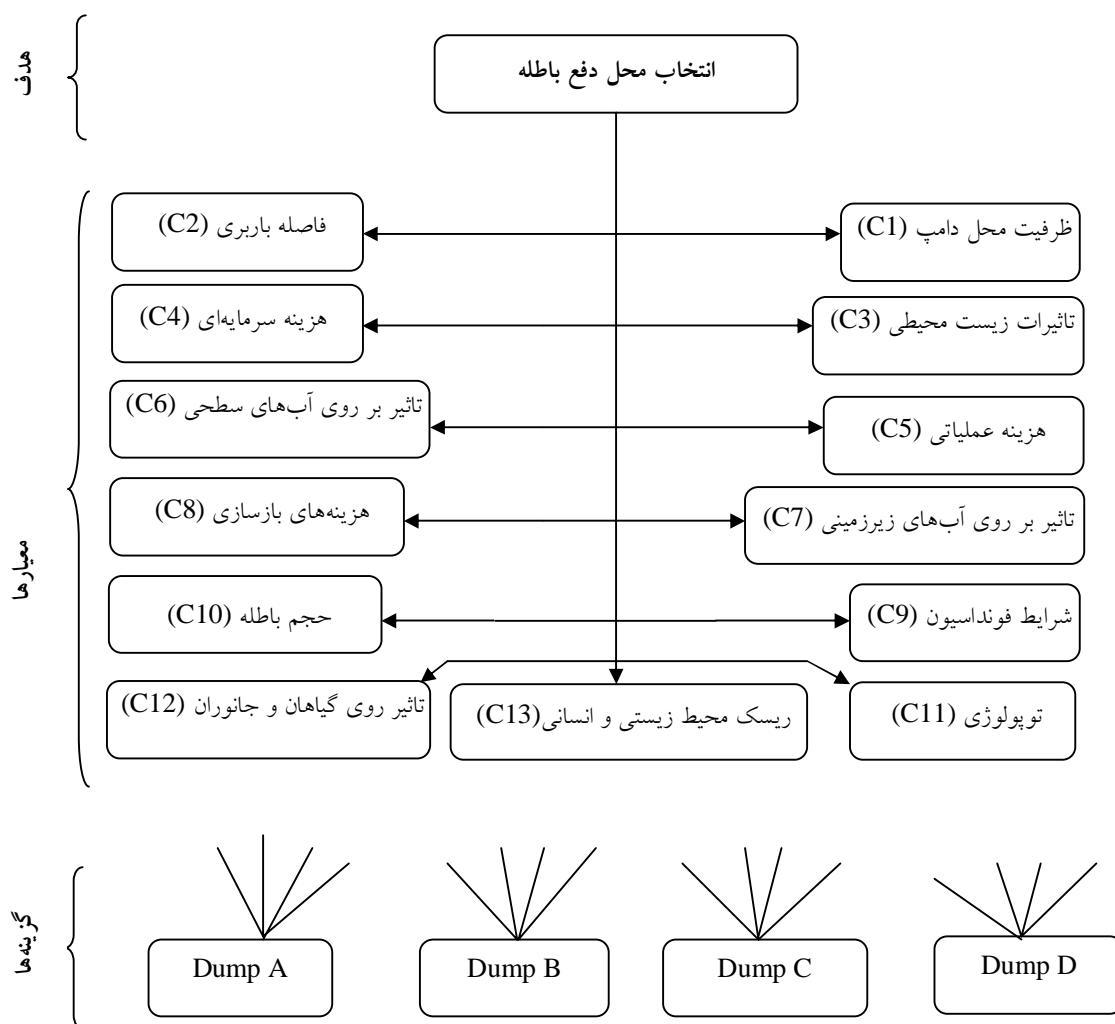
این کانسار در حدود 60 کیلومتری شمال غربی شهر همدان و در استان کردستان واقع شده است، (همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است). معدن روباز طراحی شده به صورت روش شاول-کامیون توسعه خواهد یافت و یک کانسار اکسیده که در نتیجه فرایند اپی ترمال مربوط به داسیت ها و آندزیت های پرفیری و توف های آتشفشانی دوره ی میوسن است، استخراج خواهد شد. عملیات برنامه ریزی شده برای استخراج حدود 7 میلیون تن مواد در هر سال که شامل 4 تن سنگ معدن و 3 تن باطله (برای 7 سال اول) طرحریزی شده است. پس از 7 سال به تدریج تولید به 4.7 میلیون تن در سال 12 کاهش خواهد یافت، در سال آخر، 13، تولید تنها 1.6 میلیون تن مواد را شامل می شود. پیت در تپه ی ساری گونای حفر خواهد شد. پیت در حدود 1150 متر در جهت شمال شرق-جنوب غرب و 350 متر در جهت شمال غربی- جنوب شرق گسترده خواهد شد.



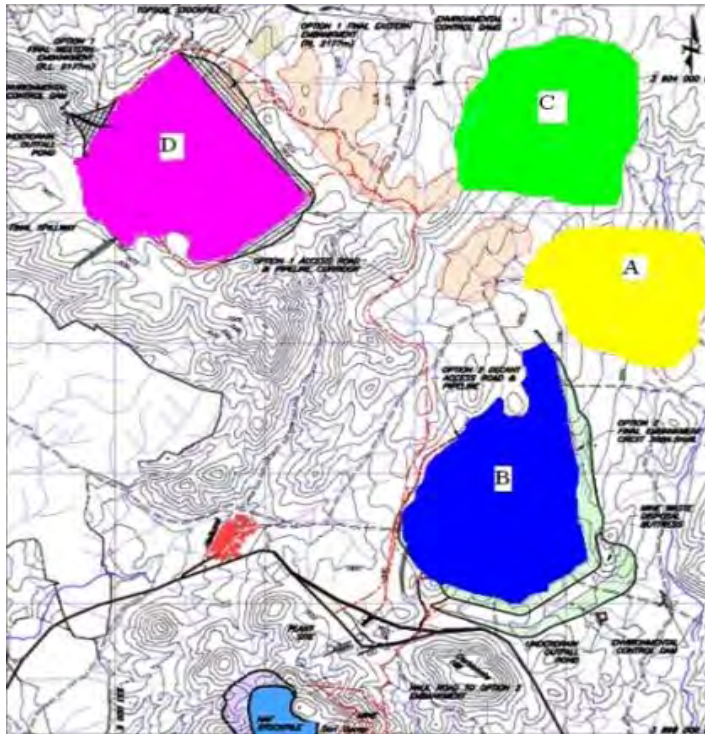
شکل 2: موقعیت معدن ساری گونای

6- سلسله مراتب انتخاب محل دپوی باطله

سلسله مراتب انتخاب محل دپوی مواد، همانطور که در شکل 3 نشان داده است، می توان به سه سطح تقسیم کرد: سطح 1 شامل هدف اصلی از سلسله مراتب است که انتخاب مناسب ترین محل برای دفع مواد باطله می باشد؛ سطح 2 شامل معیارهای مؤثر بر تصمیم در مورد انتخاب محل دپوی مواد است، معیارهای اصلی ظرفیت دپو (C1)، فاصله باربری (C2)، اثرات زیست محیطی (C3)، هزینه سرمایه ای (C4)، هزینه عملیات (C5)، اثرات آن بر آبهای سطحی (C6)، اثرات آن بر آبهای زیرزمینی (C7)، هزینه ی بازسازی (C8)، وضعیت فنداسیون (C9)، حجم باطله (C10)، توپوگرافی (C11)، گیاهان و جانوران (C12)، و خطرات انسانی و زیست محیطی (C13)، سطح 3 شامل گزینه های تصمیم گیری است. چهار مکان مختلف (A, B, C, D) برای دفع باطله در معدن طلای ساری گونا می (شکل 4) پیشنهاد شد.



شکل 3: سلسله مراتب تصمیم برای انتخاب سایت باطله



شکل 4: مکان‌های احتمالی برای دفع باطله

هدف اصلی از فرایند انتخاب محل این است که اطمینان حاصل کنیم که امکانات جدید در محل‌های ذاتاً برتر قرار گرفته اند، به موجب ویژگی‌های طبیعی آنها و تنظیم استفاده از زمین، درجه بالایی از حمایت از بهداشت عمومی و محیط زیست فراهم می‌آید.

7- انتخاب محل دپوی باطله بوسیله روش فازی VIKOR

پس از توسعه سلسله مراتب انتخاب محل دپوی باطله و تبدیل متغیرهای زبانی به TFNs، بردارهای وزن برای متغیرهای تصمیم‌گیری مختلف باید محاسبه می‌شود.

مراحل محل دپوی باطله توسط روش فازی VIKOR به صورت زیر می‌باشد:

مرحله 1: تعیین معیارهای ارزیابی، و تشکیل تصمیم‌گیرندگان. 4 گزینه، 13 معیارهای ارزیابی و 5 تصمیم‌گیرنده وجود دارد.

مرحله 2: شناسایی متغیرهای زبانی مناسب برای وزن معیارها و امتیازدهی به گزینه‌ها با توجه به هر یک از معیارها (همانطور که در جدول 1 و جدول 2 نشان داده شده است).

مرحله 3: یکپارچه کردن اولویت‌ها و نظرات تصمیم‌گیرندگان.

جدول شماره 3 نشان دهنده ماتریس متغیرهای زبانی معیارها، با توجه به نظر 5 متخصص، با توجه به هدف نهایی است، هدف نهایی انتخاب مناسب ترین محل دپوی باطله در معدن طلای ساری گونای ایران است. همچنین جدول 4 نشان دهنده ماتریس متغیرهای زبانی امتیاز گزینه ها، با توجه به نظر 5 کارشناس، با توجه به هر معیار می باشد.

جدول 3: متغیرهای زبانی خبرگان درباره وزن معیارها

	D1	D2	D3	D4	D5
C1	H	VH	H	H	M
C2	VH	VH	H	VH	H
C3	H	VH	H	H	H
C4	H	H	VH	M	H
C5	VH	H	VH	H	VH
C6	M	H	L	M	M
C7	M	VH	H	H	H
C8	L	M	H	M	M
C9	VL	M	M	L	M
C10	H	M	VH	H	H
C11	L	L	M	M	H
C12	M	H	M	H	M
C13	M	H	M	H	H

جدول 4: وزن اهمیت هر گزینه نسبت به معیارها

	A					B					C					D				
	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D2	D3	D4	D5
C1	B	G	B	B	G	G	F	F	G	G	W	P	P	W	N	F	P	F	P	F
C2	P	P	F	F	G	G	B	B	G	F	B	F	G	F	G	F	G	B	B	G
C3	W	W	F	P	W	G	G	B	B	B	P	G	F	P	F	G	F	P	G	G
C4	P	W	P	W	W	F	F	P	G	F	B	G	G	B	B	G	B	B	G	G
C5	F	P	P	F	F	G	B	B	G	B	P	P	F	F	F	G	G	F	G	F
C6	F	P	F	W	W	G	G	B	B	G	F	F	G	G	G	F	F	G	F	F
C7	B	G	G	B	G	W	W	P	P	F	B	G	B	B	G	F	B	F	G	F
C8	G	B	B	B	G	P	P	F	W	P	G	B	G	B	G	G	F	F	P	P
C9	F	P	P	W	F	B	G	G	B	B	F	P	P	F	P	G	F	F	P	F
C10	G	F	G	F	F	F	P	P	F	P	G	G	F	F	G	B	B	G	G	B
C11	P	W	P	P	F	G	B	B	G	F	F	F	P	G	F	G	B	G	G	F
C12	B	B	G	G	B	W	P	F	P	F	B	B	G	B	B	F	G	F	F	G
C13	G	G	B	G	F	P	P	F	F	P	B	B	G	G	B	G	F	F	P	F

مرحله 4: محاسبه متوسط وزن فازی و ساخت ماتریس تصمیم فازی.

وزن هر معیار فازی که با معادله (2) محاسبه می شود در جدول 5 ارائه شده است.

جدول 5: وزن فازی هر معیار

C1	0.5	0.75	0.95
C2	0.65	0.9	1
C3	0.55	0.8	1
C4	0.5	0.75	0.95
C5	0.65	0.9	1
C6	0.25	0.5	0.75
C7	0.5	0.75	0.95
C8	0.25	0.5	0.75
C9	0.15	0.35	0.6
C10	0.5	0.75	0.95
C11	0.2	0.45	0.7
C12	0.35	0.6	0.85
C13	0.4	0.65	0.9

امتیاز اوزان فازی برای گزینه ها با توجه به هر یک از معیارها در جدول 6 ارائه شده است. وزن ها توسط معادله (3) محاسبه شده اند.

جدول 6: وزن فازی هر گزینه نسبت به معیارها

	A			B			C			D		
C1	6.5	9	10	4	6.5	9	0	1	3.5	1.5	4	6.5
C2	2	4.5	7	5.5	8	9.5	4.5	7	9	5.5	8	9.5
C3	0.5	1.5	4	6.5	9	10	2	4.5	7	3.5	6	8.5
C4	0	1	3.5	2.5	5	7.5	6.5	9	10	6	8.5	10
C5	1.5	4	6.5	6.5	9	10	1.5	4	6.5	4	6.5	9
C6	1	2.5	5	6	8.5	10	4	6.5	9	3	5.5	8
C7	6.5	8.5	10	0.5	2	4.5	6.5	9	10	4	6.5	8.5
C8	6.5	9	10	0.5	2.5	5	6	8.5	10	2	4.5	7
C9	1	3	5.5	6.5	9	10	1	3.5	6	2.5	5	7.5
C10	4	6.5	8.5	1	3.5	6	4	6.5	9	6.5	9	10
C11	0.5	2.5	5	5.5	8	9.5	2.5	5	7.5	5	7.5	9.5
C12	7	9.5	10	1	3	5.5	7	9.5	10	3.5	6	8.5
C13	5.5	8	9.5	1	3.5	6	6.5	9	10	2.5	5	7.5

مرحله 5: تعیین بهترین مقدار فازی (FBV) و بدترین مقدار فازی (FWV): مقادیر \tilde{f}_i^* و \tilde{f}_i^- در جدول 7 و جدول 8 به ترتیب نشان داده شده است.

جدول 7: مقادیر \tilde{f}_i^*

6.5	9	10
5.5	8	9.5
6.5	9	10
6.5	9	10
6.5	9	10
6	8.5	10
6.5	9	10
6.5	9	10
6.5	9	10
6.5	9	10
5.5	8	9.5
7	9.5	10
6.5	9	10

جدول 8: مقادیر \tilde{f}_i^-

6.5	9	10
5.5	8	9.5
6.5	9	10
6.5	9	10
6.5	9	10
6	8.5	10
6.5	9	10
6.5	9	10
6.5	9	10
6.5	9	10
6.5	9	10
5.5	8	9.5
7	9.5	10
6.5	9	10

گام 6: محاسبه مقادیر \tilde{R}_i ، \tilde{S}_i

جدول 9 نتایج \tilde{S}_i و \tilde{R}_i را که توسط معادله (6) و (7) به دست آمده را نشان می دهد.

جدول 9: مقادیر \tilde{R}_i ، \tilde{S}_i

	A	B	C	D
\tilde{S}_i	(3.25, 5.1, 6.59)	(2.39, 3.84, 5.15)	(2.2, 3.43, 4.42)	(1.88, 3.09, 4.2)
\tilde{R}_i	(0.65, 0.9, 1.00)	(0.50, 0.75, 0.95)	(0.65, 0.90, 1.00)	(0.32, 0.48, 0.63)

مرحله 7: محاسبه مقادیر \tilde{S}^* ، \tilde{Q}_i ، \tilde{R}^- ، \tilde{R}^* ، \tilde{S}^- ،

براساس معادلات (8) و (9) جدول 10 بدست می آید.

جدول 10: مقادیر \tilde{S}^* ، \tilde{Q}_i ، \tilde{R}^- ، \tilde{R}^* ، \tilde{S}^-

\tilde{S}_i^*	(1.88, 3.09, 4.2)
\tilde{S}_i^-	(3.25, 5.1, 6.59)
\tilde{R}_i^*	(0.32, 0.48, 0.63)
\tilde{R}_i^-	(0.65, 0.90, 1.00)

مرحله 8: دیفازی کردن تعداد فازی مثلثی \tilde{Q}_i و رتبه گزینه ها، دسته بندی بر اساس مقدار Q_i در جدول 11 این مقادیر آورده شده است.

جدول 11: مقادیر مربوط به \tilde{Q}_i و Q_i

	\tilde{Q}_i	Q_i	Rank
A	(0.77, 1.06, 1.09)	0.978	4
B	(0.36, 0.54, 0.66)	0.519	2
C	(0.50, 0.62, 0.53)	0.554	3
D	(0.00, 0.00, 0.00)	0	1

مرحله 9: تعیین راه حل توافقی. فرض کنیم که دو شرط در زیر آورده شده قابل قبول است.

شرط 1: مزیت قابل قبول:

$$Q(a'') - Q(a') = 0.554 \geq 0.25 \quad Q(a'') - Q(a') = 0.519 \geq 0.25$$

شرط 2: ثبات قابل قبول در تصمیم گیری، همانطور که در جدول 12 نشان داده شده است.

جدول 12: رتبه بندی بر اساس سه پارامتر S_i ، R_i و Q_i

Rank by Q_i	D>B>C>A
Rank by S_i	D>C>B>A
Rank by R_i	D>B>B=A

مرحله 10: انتخاب بهترین گزینه. گزینه ی D بهترین راه حل است.

8- نتیجه گیری

سنگ باطله حاصل از عملیات معدنی در طول توسعه و تولید به عنوان وسیله ای برای دسترسی به سنگ معدن برداشته خواهند شد. انتخاب محل دپوی باطله مشکل پیچیده مهندسی است که شامل ملاحظات مالی، زیست محیطی و ملاحظات ایمنی می شود. روش MCDM را می توان برای تعیین راه حل مطلوب از میان گزینه های متعدد با معیارهای متضاد بکار گرفت. فازی VIKOR یکی از بهترین روش های تصمیم گیری فازی است که قادر به حل مسائل پیچیده است. فازی VIKOR در برخورد با موقعیت هایی که بیش از حد پیچیده می شود بسیار مناسب است. گزینه انتخاب شده به علت بهره وری ماکزیمم گروه خود از اکثریت، و همچنین انصراف حداقل مخالف پذیرفته می شود. در این مقاله از روش فازی VIKOR برای امتیازدهی به محل های دپوی باطله استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می دهد که محل D بهترین محل برای دپوی باطله در معدن طلای ساری گونای است. این گزینه پایین ترین مقدار سه شاخص S، Q و R را دارد.

منابع

- [1] Kumral, M., Dimitrakopoulos, R., (2008). Selection of waste dump sites using a tabu search algorithm. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 108, pp. 9-13.
- [2] Bell, F. G., Donnelly, L. J., (2006). Mining and its Impact on the Environment, chapter 7, page 342.
- [3] Zahl, E. G., Boldt, C.M.K., Biggs, F., Connolly, R. E., Gertsch, L., Lambeth, R. H., Stewart, B. M., Vickery, J. D., (1992). Waste disposal and contaminant control, MINING ENGINEERING HANDBOOK, SME, Chapter 12.2, pp.1170.
- [4] O'Leary, P. R., Tchobanoglous, G., (2002). Handbook of solid waste management, Chapter 14.
- [5] Morrissey, A.J., Browne, J., (2004). Waste management models and their application to sustainable waste management. Waste Management 24, pp. 297-308.
- [6] Hekmat, A., Osanloo, M., Shirazi, M. A., (2008). New approach for selection of waste dump sites in open pit mines. Mining Technology, Vol. 117, NO. 1, 24-31.
- [7] Golestanifar, M., Bazazi, A. A., (2009). Group selection of waste dump site in open pit mines by using WDL algorithm in uncertainly condition. Proceeding of the Seventh Iranian Students' Conference of Mining Engineering, pp. 185-194.
- [8] Yesilnacar, M. I., Cetin, H., (2005). Site selection for hazardous wastes: A case study from the GAP area, Turkey. Engineering Geology 81, pp. 371-388.
- [9] Ekmekçioğlu, M., Kaya, T., Kahraman, G., (2010). Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. Waste Management, in press.
- [10] Oraee, K., Goodarzi, A., (2007). General approach to distribute waste rocks between dump sites in open cast mines, MPES, pp.701-712.

- [11] Galante, G., Aiello, G., Enea, M., Panascia, E., (2010). A multi-objective approach to solid waste management. *Waste Management*, in press.
- [12] Musee, N., Aldrich, C., Lorenzen, L., (2008). New methodology for hazardous waste classification using fuzzy set theory Part II. Intelligent decision support system. *Journal of Hazardous Materials* 157, pp. 94–105.
- [13] Zadeh, A.L., (1965). Fuzzy sets. *Info. Cont.* 8, 338–353.
- [14] Wang, J., Jing, Y., Zhang, C., Zhao, J., (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 2263–2278.
- [15] Dursu, M., Karsak, E. E., (2010). A fuzzy MCDM approach for personnel selection. *Expert Systems with Applications* 37, 4324–4330
- [16] Opricovic, S., Tzeng, G. H., (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, *European Journal of Operational Research* 178, 514–529.
- [17] Wang, T. Ch., Liang, J. L., Ho, Ch. Y., 2006. Multi-Criteria Decision Analysis by Using Fuzzy VIKOR. *IEEE*.
- [18] Opricovic, S., Tzeng, G. H., (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research* 156, 445–455.
- [19] Opricovic, S., (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- [20] Huang, Y., Yan, Y., Qiu, Zh., (2009). Research on Supply-Chain-Based Logistics Service Capability by Combination Weighting Method and Fuzzy VIKOR Algorithm, *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, IEEE, 574-577.
- [21] Yu, P. L., (1973). A class of solutions for group decision problems. *Management Science* 19 (8), pp.936-946.
- [22] Zeleny, M., (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. I sted, NY: McGraw-Hill.
- [23] Wang, T. Ch., Liang, J. L., Ho, Ch. Y., 2006. Multi-Criteria Decision Analysis by Using Fuzzy VIKOR. *IEEE*.
- [24] Chen, L.Y., Wang, T. Ch., (2009). Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR. *Int. J. Production Economics* 120, 233–242.
- [25] Chiang, Z., (2009). Developing an Online Financial Decision Support Module Based on Fuzzy MCDM Method and Open Source Tools. *International Conference on Information and Financial Engineering*, IEEE, pp. 22-26.
- [26] Tong, L. I., Chen, Ch. Ch., Wang, Ch. H., (2007). Optimization of multi-response processes using the VIKOR method, *Int J Adv Manuf Technol* 31, 1049–1057.