

استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی در اولویت‌دهی بازسازی معادن با توجه به عوامل طبیعی و فرهنگی (مطالعه موردی: معدن بنتونیت شمال شرق سربیشه، جنوب شرق بیرجند)

مهدی حسین‌آبادی^{۱*} و سیدعلی سعدآبادی^۲

۱ و ۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد طبس، ایران

نویسنده مسئول: *mhsedi@iau-tabas.ac.ir

نوع مقاله: موردی-کاربردی

پذیرش: ۹۹/۴/۱۶

دریافت: ۹۸/۶/۱۴

چکیده

کاهش مخاطرات برجای مانده از عملیات معدن‌کاری، احیای زمین‌های تحت تأثیر و منابع آبی مصرف شده، کاهش آثار، اطمینان از حفظ منابع محیط‌زیست، ایجاد ثبات و پایداری در محیط اجتماعی اقتصادی منطقه بعد از پایان فعالیت‌های معدنی و ایجاد کاربری‌های جدید از جمله اهداف بازسازی معادن است. معدن مورد مطالعه در فاصله ۵۰ کیلومتری جنوب شرق بیرجند و در ۱۵ کیلومتری شمال شرق سربیشه واقع است. گزینه‌های مختلفی برای بازسازی نواحی معدن‌کاری شده پیشنهاد گردیده است که از آن جمله می‌توان به جنگل‌کاری و حیات‌وحش، جاذبه‌های توریستی، کشاورزی، واحدهای مسکونی، مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی اشاره کرد. معیارهایی همچون توپوگرافی، شیب، ارتفاع، فاضلاب (زه‌کشی)، نزولات، پوشان سنگ، خواص کشاورزی و خواص مهندسی به عنوان معیارهای طبیعی و معیارهایی از جمله موقعیت، دسترسی، اندازه و شکل سایت، شرایط اطراف معدن، مالکیت، نوع و شدت استفاده، خصوصیات مردم بومی، محدودیت‌های مقرراتی و برخورد شرکت با مورد استفاده به عنوان معیارهای فرهنگی جهت ارزیابی روش‌های بازسازی معادن در نظر گرفته می‌شوند. در این پژوهش، انتخاب بهترین روش بازسازی معادن با در نظر گرفتن تمام معیارهای مؤثر و اظهار نظرهای کارشناسان معدنی در خصوص وزن معیارها و عملکرد هر گزینه نسبت به هر معیار و همچنین با هدف احیای محیط‌زیست صورت گرفته است. مطابق نتایج پیاده‌سازی روش *TOPSIS* فازی بر مبنای معیارهای طبیعی و فرهنگی، ابتدا کشاورزی و سپس جاذبه‌های توریستی به عنوان گزینه‌های مطلوب برای بازسازی این معدن معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بازسازی معادن، اولویت‌بندی، معیارهای طبیعی، معیارهای فرهنگی، شباهت به گزینه ایده‌آل فازی

۱- پیشگفتار

(۱۳۹۳). موضوع بازسازی سایت به جا مانده از فعالیت معادن برای اولین بار در دهه ۷۰ میلادی با هدف مرمت محدوده عملیات معدنی از طریق حذف مخاطرات، محدود کردن تولید و احیای فیزیکی، شیمیایی و زیستی محدوده در امریکا مطرح شد (مکانینا، ۲۰۰۱). بازسازی به عملیاتی گفته می‌شود که موجب آماده‌سازی زمین‌های استخراج شده برای استفاده مجدد می‌شود. کاهش مخاطرات و افزایش ایمنی، احیای زمین‌های تحت تأثیر فعالیت‌های معدنی، کاهش آثار محیط‌زیستی، اطمینان از حفظ منابع محیط‌زیست و محیط اجتماعی-اقتصادی منطقه پس از پایان فعالیت‌های معدنی، ایجاد کاربری‌های جدید و ترغیب در استفاده مناسب از منابع انرژی و ضمانت بهره‌برداری پایدار از معادن از جمله اهداف بازسازی است (کاتو، ۲۰۰۷؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

به منظور دسترسی به ماده معدنی، انجام عملیات معدن‌کاری که شامل اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی می‌باشد، با برداشت قابل‌ملاحظه‌ای باطله، همراه است که موجب برهم خوردن شرایط زمین می‌گردد، به طوری که این فرآیند بر روی محیط‌زیست و همچنین عملیات بازسازی تأثیرگذار است. از این رو به منظور برنامه‌ریزی موفق برای بازسازی، با توجه به مواردی از جمله شرایط منطقه پیش از معدن‌کاری، ارزیابی نیازهای منطقه بعد از معدن‌کاری، تحلیل و مقایسه بین گزینه‌های مختلف برای بازسازی به منظور دسترسی به اهداف پس از بازسازی و انتخاب و اجرای بهترین روش بازسازی با توجه به شرایط فنی، اقتصادی و اجتماعی ضروری به نظر می‌رسد (عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵؛ اسماعیلی و سالاری، ۱۳۹۲؛ حاج‌کاظمی‌ها و همکاران،

مجموعه فازی \tilde{A} از مجموعه مرجع مورد بحث X را نرمال گویند اگر وجود داشته باشد $x_i \in X$ به طوری که $\mu_{\tilde{A}}(x_i) = 1$.

اعداد فازی حالت خاصی از مجموعه‌های فازی هستند که هم محدب و هم نرمال هستند. عدد فازی، مجموعه‌ای محدب است که بوسیله بازه‌ای از اعداد حقیقی داده شده، مشخص شده به طوری که هر یک از آن‌ها دارای درجه عضویتی بین صفر و یک هستند. تابع عضویت عدد فازی به طور قطعه‌وار پیوسته است و در شرایط زیر صدق می‌کند:

الف) $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ برای هر x که متعلق به بازه $[a, d]$ نباشد؛

ب) $\mu_{\tilde{A}}(x)$ روی بازه $[a, b]$ نازولی و روی بازه $[c, d]$ ناصعودی است؛

ج) $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ برای هر x که متعلق به بازه $[b, c]$ باشد، به طوری که $a \leq b \leq c \leq d$ اعداد حقیقی روی محور اعداد حقیقی $R = (-\infty, +\infty)$ هستند. شکل ۱ نشان‌دهنده یک عدد فازی است.

معمولاً از اعداد فازی مثلثی که توابع عضویت آن‌ها به صورت زیر معرفی می‌شود استفاده می‌کنند:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & , a \leq x \leq b. \\ (d-x)/(d-b) & , b \leq x \leq d. \\ 0 & , otherwise. \end{cases} \quad (2)$$

اغلب اعداد فازی مثلثی را به اختصار به صورت (a, b, d) نشان می‌دهند. شکل ۲ یک عدد فازی مثلثی را نشان می‌دهد.

فرض کنید $\tilde{A} = (a_L, a_M, a_U)$ و $\tilde{B} = (b_L, b_M, b_U)$ دو عدد فازی مثلثی مثبت باشند، آنگاه اعمال حسابی فازی روی این اعداد به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\text{جمع: } \tilde{A} + \tilde{B} = (a_L + b_L, a_M + b_M, a_U + b_U);$$

$$\text{تفریق: } \tilde{A} - \tilde{B} = (a_L - b_U, a_M - b_M, a_U - b_L);$$

$$\text{ضرب: } \tilde{A} \times \tilde{B} \approx (a_L b_L, a_M b_M, a_U b_U);$$

$$\text{تقسیم: } \tilde{A} / \tilde{B} \approx \left(\frac{a_L}{b_U}, \frac{a_M}{b_M}, \frac{a_U}{b_L} \right), b_L > 0.$$

هم‌چنین فاصله بین دو عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (a_L, a_M, a_U)$ و $\tilde{B} = (b_L, b_M, b_U)$ با استفاده از روش رأسی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\frac{1}{3}((b_L - a_L)^2 + (b_M - a_M)^2 + (b_U - a_U)^2)}. \quad (3)$$

روش‌های مختلفی برای بازسازی معادن سطحی به کار گرفته می‌شوند اما با توجه به این نکته که هرکدام از روش‌های بازسازی دارای یک سری معایب و یک سری محاسن می‌باشند، لذا بدون انجام یک بررسی با استفاده از روش‌های چندمعیاره، نمی‌توان گفت که کدام روش مناسب‌تر است (صفری و همکاران، ۲۰۱۲). برای رسیدن به یک روش مناسب جهت بازسازی معادن، بر اساس معیارهای طبیعی و فرهنگی می‌بایست یک سری معیار از جمله توپوگرافی، شیب، ارتفاع، فاضلاب (زه‌کشی) و غیره را در نظر گرفت و هر یک از روش‌ها را نسبت به این معیارها ارزیابی نمود. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره رایج مانند SAW، TOPSIS و AHP نیاز به داده‌های دقیق است. با این وجود، در جهان واقعی امکان دسترسی به داده‌های دقیق همیشه میسر نیست، مخصوصاً هنگامی که مجموعه گزینه‌ها شامل داده‌های ناقص یا داده‌های مبهم باشند. مکالمات محاوره‌ای، اطلاعات نادقیق یا داده‌های مبهم را می‌توان با اعداد فازی مثلثی مشخص کرد.

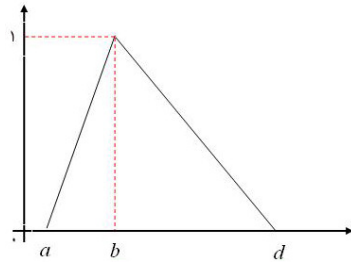
۲- مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های فازی، تعمیم یافته مجموعه‌های قطعی و دقیق هستند. اولین بار زاده در سال ۱۹۶۵ مفاهیم نادقیق و مبهم جهان واقعی را با استفاده از این روش نشان داد. هر مجموعه فازی بوسیله یک تابع عضویت مشخص می‌شود، به طوری که عضویت هر عنصر این مجموعه با یک درجه عضویت در بازه $[0, 1]$ مشخص می‌شود. اگر مقدار درجه عضویت برابر با صفر باشد، عنصر مورد نظر متعلق به مجموعه نمی‌باشد. اگر مقدار درجه عضویت برابر با یک باشد، عنصر داده شده کاملاً متعلق به مجموعه است. اگر مقدار درجه عضویت بین صفر و یک باشد، فقط قسمتی از عنصر داده شده متعلق به مجموعه می‌باشد. بنابراین، هر مجموعه فازی را می‌توان به طور منحصر بفرد با استفاده از تابع عضویت آن تعیین نمود.

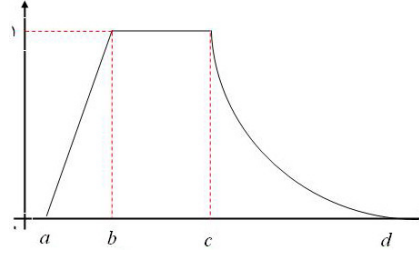
فرض کنید X مجموعه مرجع مورد بحث باشد. یک مجموعه فازی \tilde{A} از مجموعه مرجع مورد بحث X را محدب گوئیم اگر و فقط اگر برای هر x_1 و x_2 در X داشته باشیم:

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)), \quad (1)$$

به طوری که $\mu_{\tilde{A}}(x)$ درجه عضویت مجموعه فازی \tilde{A} و $\lambda \in [0, 1]$ است.



شکل ۲. عدد فازی مثلثی \tilde{A} (چن، ۲۰۰۰)



شکل ۱. عدد فازی \tilde{A} (چن، ۲۰۰۰)

۳-۲- روش $TOPSIS$ فازی

روش‌های تصمیم‌گیری متعددی بر اساس داده‌های فازی وجود دارند. یکی از این روش‌ها توسط چن در سال ۲۰۰۰ بر اساس روش $TOPSIS$ در محیط فازی ارائه شده است. او مقادیر هر گزینه و وزن هر معیار را که با جملات زبانی توصیف شده بودند را با اعداد فازی مثلثی بیان کرد. سپس برای محاسبه فاصله بین دو عدد فازی مثلثی، یک روش رأسی را ارائه داد. او بر اساس مفهوم $TOPSIS$ ، با استفاده از محاسبه همزمان فاصله هر گزینه از جواب ایده‌آل مثبت فازی ($FPIS$) و جواب ایده‌آل منفی فازی ($FNIS$)، شاخص $TOPSIS$ فازی را برای رتبه‌بندی هر

گزینه تعریف کرد. مراحل این روش به صورت زیر است:
گام ۱: تشکیل کمیته‌ای از K تصمیم‌گیرنده (کارشناس) برای ارزیابی معیارها.

گام ۲: انتخاب متغیرهای زبانی مناسب برای اهمیت وزنی معیارها از جدول ۱ و مقادیر زبانی برای گزینه‌ها نسبت به هر معیار از جدول ۲.

گام ۳: تعیین وزن هر معیار و مقادیر هر گزینه نسبت به هر معیار بر اساس نظر تصمیم‌گیرندگان.

فرض کنید گروه تصمیم‌گیری متشکل از K نفر باشند، آنگاه اهمیت وزنی هر معیار و مقادیر هر گزینه نسبت به هر معیار را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\bar{x}_{ij}^1 + \bar{x}_{ij}^2 + \dots + \bar{x}_{ij}^K], \quad (4)$$

$$\bar{w}_j = \frac{1}{K} [\bar{w}_j^1 + \bar{w}_j^2 + \dots + \bar{w}_j^K], \quad (5)$$

که در آن مقدار گزینه i ام تحت معیار j ام و \bar{w}_j^k اهمیت وزنی معیار j ام طبق نظر تصمیم‌گیرنده k ام است ($k = 1, 2, \dots, K$).

گام ۴: تشکیل بردار وزن فازی و ماتریس تصمیم فازی و نرمال‌سازی آن.

۳- روش تحقیق

۳-۱- تصمیم‌گیری چند معیاره ($MCDM$)

یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره به دنبال پیدا کردن بهترین گزینه، از بین گزینه‌های موجود، تحت چندین معیار است. یک مسئله $MCDM$ را می‌توان به طور مختصر به صورت زیر بیان کرد:

$$X = \begin{matrix} A_1 & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \\ A_m \end{matrix},$$

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n),$$

که در آن مجموعه گزینه‌ها و A_1, A_2, \dots, A_m مجموعه معیارها را تشکیل می‌دهند. x_{ij} عملکرد گزینه i ام ($i = 1, \dots, m$) تحت معیار j ام ($j = 1, \dots, n$) را نشان می‌دهد. اهمیت معیار j ام ($j = 1, \dots, n$) را با w_j نشان می‌دهند و آن را وزن معیار j ام می‌نامند. به ماتریس X ، ماتریس تصمیم می‌گویند. معمولاً معیارها به دو مجموعه معیارهای مثبت (سود) و معیارهای منفی (هزینه) افراز می‌شوند. مجموعه معیارهای مثبت (سود) را با B و مجموعه معیارهای منفی (هزینه) را با C نشان می‌دهند. معیار مثبت، معیاری است که عملکرد هر گزینه روی آن معیار هرچه بیشتر باشد بهتر است، برعکس، معیار منفی، معیاری است که عملکرد هر گزینه روی آن معیار هرچه کمتر باشد بهتر است. معمولاً برای اینکه معیارها قابل مقایسه باشند آن‌ها را بی‌مقیاس (نرمال) می‌کنند و سپس یکی از روش‌های رایج مانند SAW ، $TOPSIS$ ، AHP و غیره را بکار می‌گیرند (سعدآبادی و همکاران، ۲۰۲۰). در روش‌های کلاسیک مقدار x_{ij} ها و w_j ها، دقیق و قطعی هستند ولی در جهان واقعی بدست آوردن داده‌های دقیق، کمی مشکل یا ناممکن است. در ادامه روشی ارائه شده که با این داده‌ها سروکار دارد.

فاصله هر گزینه از جواب ایده‌آل مثبت فازی $FPIS$ و جواب ایده‌آل منفی فازی $FNIS$ به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (9)$$

و

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (10)$$

که در آن $d(\cdot, \cdot)$ نشان دهنده فاصله بین دو عدد فازی با استفاده از رابطه (۳) است.

گام ۸: محاسبه شاخص $TOPSIS$ فازی برای هر گزینه. شاخص $TOPSIS$ فازی را برای هر گزینه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (11)$$

گام ۹: رتبه‌بندی و مرتب کردن گزینه‌ها بر طبق شاخص $TOPSIS$ فازی.

با توجه به اینکه شاخص $TOPSIS$ فازی عددی بین صفر و یک است، هر چه شاخص $TOPSIS$ فازی گزینه مورد نظر به یک نزدیک‌تر باشد آن گزینه در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد.

۴- مشخصات معدن مورد مطالعه

معدن بنتونیت مورد مطالعه در فاصله ۵۰ کیلومتری جنوب‌شرق بیرجند و در ۱۵ کیلومتری شمال‌شرق سربیشه (حسین‌آبادی و بنی‌اسدی، ۱۳۹۶) واقع است (شکل ۳). بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه (نظری و سلامتی، ۱۹۹۹) واحدهای سنگی منطقه در سه گروه سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و رسوبات عهد حاضر تقسیم می‌شوند. فعالیت زمین‌ساختی پهنه گسلی سربیشه و سرشاخه‌های آن در واحدهای آتشفشانی اسیدی و حدواسط، سبب ایجاد پهنه‌های بنتونیتی لایه‌ای و عدسی شکل با گستردگی و پتانسیل اقتصادی بالا در منطقه شده است (نخعی و همکاران، ۱۳۹۸).

۵- روش کار

۵-۱- گزینه‌های معمول در بازسازی معادن سطحی به منظور انجام عملیات بازسازی در معادن پس از اتمام عملیات معدن‌کاری روش‌های متفاوتی وجود دارد. از جمله روش‌های معمول در بازسازی معادن سطحی: جنگل‌کاری و حیات‌وحش، جاذبه‌های توریستی، کشاورزی، واحدهای مسکونی، مؤسسات آموزشی، تجاری

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} A_1 & \begin{matrix} c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \end{matrix} \\ A_2 & \begin{matrix} \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{matrix} \\ \vdots & \vdots \\ A_m & \begin{matrix} \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{matrix} \end{pmatrix},$$

$$\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n).$$

که در آن \tilde{x}_{ij} و $\forall i, j$ و $\tilde{w}_j = j = 1, 2, \dots, n$ متغیرهای زبانی هستند. این متغیرهای زبانی می‌توانند بوسیله اعداد فازی مثلثی، $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ و $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ توصیف شوند. بدون کاسته شدن از کلیت، فرض کنید همه عملکردهای \tilde{x}_{ij} دقیق نیستند، عملکردهای دقیق و قطعی می‌توانند به عنوان یک حالت خاص از عملکردهای فازی مثلثی \tilde{x}_{ij} به صورت $a_{ij} = b_{ij} = c_{ij}$ در نظر گرفته شوند. برای نرمال‌سازی ماتریس \tilde{X} به صورت زیر عمل می‌شود و آن را به صورت $\tilde{Y} = (\tilde{y}_{ij})_{m \times n}$ نشان می‌دهند.

$$\tilde{y}_{ij} = ((a_{ij})_N, (b_{ij})_N, (c_{ij})_N) = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^{Max}}, \frac{b_{ij}}{c_j^{Max}}, \frac{c_{ij}}{c_j^{Max}} \right),$$

$$i = 1, \dots, m; \quad j \in B \quad (6)$$

$$\tilde{y}_{ij} = ((a_{ij})_N, (b_{ij})_N, (c_{ij})_N) = \left(\frac{a_j^{Min}}{c_{ij}}, \frac{a_j^{Min}}{b_{ij}}, \frac{a_j^{Min}}{a_{ij}} \right),$$

$$i = 1, \dots, m; \quad j \in C \quad (7)$$

$$a_j^{Min} = \min_i a_{ij}, \quad c_j^{Max} = \max_i c_{ij}.$$

به طوری که B و C به ترتیب مجموعه‌های معیارهای مثبت (سود) و معیارهای منفی (هزینه) هستند.

$$\tilde{Y} = \begin{pmatrix} A_1 & \begin{matrix} c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ \tilde{y}_{11} & \tilde{y}_{12} & \dots & \tilde{y}_{1n} \end{matrix} \\ A_2 & \begin{matrix} \tilde{y}_{21} & \tilde{y}_{22} & \dots & \tilde{y}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{matrix} \\ \vdots & \vdots \\ A_m & \begin{matrix} \tilde{y}_{m1} & \tilde{y}_{m2} & \dots & \tilde{y}_{mn} \end{matrix} \end{pmatrix}$$

گام ۵: ساخت ماتریس تصمیم فازی نرمال شده موزون. ماتریس تصمیم فازی نرمال شده موزون را با $\tilde{V} = (\tilde{v}_{ij})_{m \times n}$ نشان می‌دهیم، به طوری که در آن:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{y}_{ij} \cdot \tilde{w}_j, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

گام ۶: تعیین جواب ایده‌آل مثبت فازی $FPIS$ و جواب ایده‌آل منفی فازی $FNIS$.

جواب ایده‌آل مثبت فازی $FPIS$ به صورت $A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*)$ و جواب ایده‌آل منفی فازی $FNIS$ به صورت $A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-)$ نشان داده می‌شوند که در آن‌ها $\tilde{v}_j^* = (1, 1, 1)$ و $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$ ، $j = 1, 2, \dots, n$ هستند.

گام ۷: محاسبه فاصله هر گزینه به ترتیب از $FPIS$ و $FNIS$.

گزینه‌های مختلف در بازسازی معدن بنتونیت شمال شرقی سربیشه استفاده می‌شود.

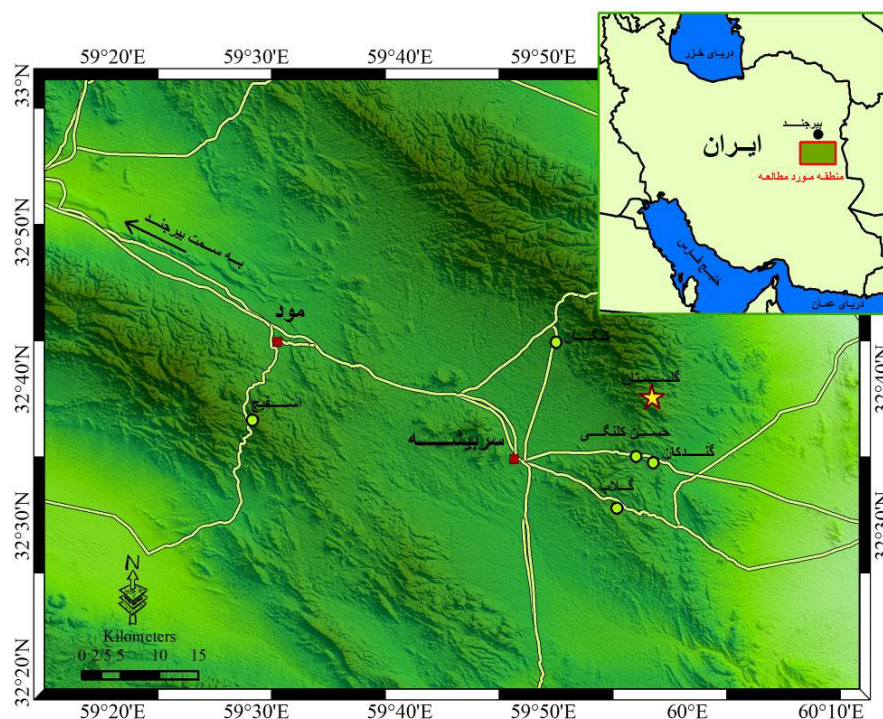
و صنعتی را می‌توان نام برد (اصانلو، ۱۳۸۰؛ عطایی، ۱۳۸۹؛ حسین‌آبادی و آریافر، ۱۳۹۲؛ حسین‌آبادی و سعدآبادی، ۱۳۹۷). در این تحقیق از روش‌های فوق به عنوان

جدول ۲. متغیرهای زبانی برای نرخ‌گذاری

Linguistic variable	متغیرهای زبانی	Fuzzy number (اعداد فازی)
Very poor (VP)	بسیار ضعیف	(0.00, 0.00, 1.00)
Poor (P)	ضعیف	(0.00, 1.00, 3.00)
Medium poor (MP)	کمی ضعیف	(1.00, 3.00, 5.00)
Fair (F)	متوسط	(3.00, 5.00, 7.00)
Medium good (MG)	کمی خوب	(5.00, 7.00, 9.00)
Good (G)	خوب	(7.00, 9.00, 10.00)
Very good (VG)	بسیار خوب	(9.00, 10.00, 10.00)

جدول ۱. متغیرهای زبانی برای اهمیت وزنی هر معیار

Linguistic variable	متغیرهای زبانی	Fuzzy number (اعداد فازی)
Very low (VL)	بسیار کم	(0.00, 0.00, 0.10)
Low (L)	کم	(0.00, 0.10, 0.30)
Medium low (ML)	متوسط رو به پایین	(0.10, 0.30, 0.50)
Medium (M)	متوسط	(0.30, 0.50, 0.70)
Medium high (MH)	متوسط رو به بالا	(0.50, 0.70, 0.90)
High (H)	زیاد	(0.70, 0.90, 1.00)
Very high (VH)	بسیار زیاد	(0.90, 1.00, 1.00)



شکل ۳. موقعیت محدوده معدنی بنتونیت که با علامت ستاره مشخص شده است (ترسیم، نگارندگان)

۵-۳- معیارهای فرهنگی مؤثر در انتخاب روش بازسازی

معیارهایی از قبیل موقعیت، دسترسی، اندازه و شکل سایت، شرایط اطراف معدن، مالکیت، نوع و شدت استفاده، خصوصیات مردم بومی، محدودیت‌های مقرراتی و برخورد شرکت با مورد استفاده در مجموعه عوامل فرهنگی قرار دارند که در انتخاب روش بازسازی معادن سطحی تأثیر به‌سزایی را دارا می‌باشند (اصانلو، ۱۳۸۰). جدول ۴ نشان‌دهنده تأثیرات مثبت و منفی هر یک از این معیارها است. به عنوان مثال، تأثیر خصوصیات مردم بومی برای انتخاب روش مناسب، منفی، و تأثیر موقعیت بر انتخاب روش مناسب، مثبت، است.

۵-۲- معیارهای طبیعی مؤثر در انتخاب روش بازسازی

معیارهایی همچون توپوگرافی، شیب، ارتفاع، فاضلاب (زه‌کشی)، نزولات، پوشان سنگ، خواص کشاورزی و خواص مهندسی جزو دسته معیارهای طبیعی هستند که در انتخاب روش بازسازی معادن سطحی مؤثر می‌باشند (اصانلو، ۱۳۸۰). برخی از این معیارها در انتخاب روش دارای تأثیر منفی و برخی دیگر دارای تأثیر مثبت هستند. به عنوان مثال، تأثیر ارتفاع برای انتخاب روش مناسب دارای تأثیر منفی و تأثیر نزولات بر انتخاب روش مناسب دارای تأثیر مثبت می‌باشد. مشخصات هر یک از این معیارها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. معیارهای طبیعی مؤثر در انتخاب روش بازسازی با توجه به تأثیرات مثبت و منفی‌شان

معیارها	توپوگرافی	شیب	ارتفاع	فاضلاب	نزولات	پوشان سنگ	خواص کشاورزی	خواص مهندسی
تأثیر هر معیار	منفی	منفی	منفی	منفی	مثبت	منفی	مثبت	مثبت

جدول ۴. معیارهای فرهنگی مؤثر در انتخاب روش بازسازی با توجه به تأثیرات مثبت و منفی‌شان

معیارها	موقعیت	دسترسی	اندازه و	شرایط اطراف	مالکیت	نوع و شدت	خصوصیات	محدودیت‌های	برخورد شرکت
تأثیر هر معیار	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	مقرراتی	با مورد استفاده

از جواب ایده‌آل مثبت فازی و جواب ایده‌آل منفی فازی با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند و در نهایت شاخص *TOPSIS* فازی با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. جداول ۱۱ و ۱۲ نشان‌دهنده این اطلاعات می‌باشند.

جداول ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهند که گزینه کشاورزی هم با در نظر گرفتن معیارهای طبیعی و هم با توجه به عوامل فرهنگی در رتبه اول قرار می‌گیرد. این نتایج نشان می‌دهند که گزینه مناسب برای بازسازی معدن بنتونیت مورد مطالعه ابتدا کشاورزی و سپس جاذبه‌های توریستی می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

انتخاب کاربردی مناسب برای بازسازی زمین‌های استخراج شده معدنی یک مسأله چندمعیاره می‌باشد. روش‌های مختلفی برای بازسازی معادن به کار گرفته می‌شود که از آن جمله می‌توان به جنگل‌کاری و حیات‌وحش، جاذبه‌های توریستی، کشاورزی، واحدهای مسکونی، مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی اشاره کرد. معیارهایی همچون توپوگرافی، شیب، ارتفاع، فاضلاب (زه‌کشی)، نزولات، پوشان سنگ، خواص کشاورزی و خواص مهندسی به عنوان معیارهای طبیعی و معیارهای از جمله موقعیت، دسترسی، اندازه و شکل سایت، شرایط اطراف معدن، مالکیت، نوع و شدت استفاده، خصوصیات مردم بومی، محدودیت‌های مقرراتی و برخورد شرکت با مورد استفاده به عنوان معیارهای فرهنگی جهت ارزیابی روش‌های بازسازی معادن در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به نادقیق و زبانی بودن داده‌ها، با انتخاب روش *TOPSIS* فازی و انجام الگوریتم این روش از بین گزینه‌های موجود برای بازسازی معدن بنتونیت شمال‌شرق سربیشه، گزینه کشاورزی به عنوان گزینه مطلوب بر اساس معیارهای فرهنگی و طبیعی به دست آمد.

۵-۴- انتخاب گزینه مناسب برای بازسازی معدن با

استفاده از روش *TOPSIS* فازی

گزینه‌های بازسازی معدن بنتونیت مورد مطالعه، یعنی: جنگل‌کاری و حیات‌وحش، جاذبه‌های توریستی، کشاورزی، واحدهای مسکونی و مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی را یک‌بار با استفاده از معیارهای طبیعی و بار دیگر با استفاده از معیارهای فرهنگی ذکر شده در قسمت قبل، مورد ارزیابی قرار داده می‌شوند. با توجه به نادقیق بودن داده‌های مسأله، از شش کارشناس و صاحب‌نظر که در خصوص مسائل معدنی، زمین‌شناسی، محیط‌زیست، منابع طبیعی، بومی و فرهنگی منطقه اطلاع لازم را دارند، خواسته می‌شود تا در خصوص وزن معیارها و عملکرد هر گزینه نسبت به هر معیار، عقیده خود را با توجه به جداول ۱ و ۲ در برگه‌های ارزیابی، به طور مجزا بیان کنند. جداول ۵ و ۷ به ترتیب ارزیابی کارشناسان را در خصوص وزن معیارهای طبیعی و فرهنگی نشان می‌دهند. ستون آخر جدول‌های ۵ و ۷ نشان‌دهنده تلفیق شده این نظرات هستند. جداول ۶ و ۸ به ترتیب عملکرد هر گزینه نسبت به معیارهای طبیعی و فرهنگی بر اساس نظر کارشناسان را نمایان می‌کنند. پس از جمع‌آوری برگه‌های ارزیابی نشان داده شده در جداول ۶ و ۸ نظرات تلفیق شده شش کارشناس را با توجه به روابط (۴) و (۵) در ستون ماقبل آخر جداول ۶ و ۸ خلاصه نموده و در نهایت ماتریس تصمیم فازی بدست می‌آید. سپس با استفاده از روابط (۶) و (۷) ماتریس تصمیم فازی بدست آمده نرمال می‌شود. ماتریس تصمیم فازی نرمال شده در ستون آخر جدول‌های ۶ و ۸ نشان داده شده است. سپس در گام بعدی، ماتریس تصمیم فازی نرمال شده موزون، با استفاده از رابطه (۸) بدست می‌آید. جدول‌های ۹ و ۱۰ نشان‌دهنده ماتریس نرمال شده موزون هستند. در این مرحله، جواب ایده‌آل مثبت فازی *FPIS* یعنی A^+ و جواب ایده‌آل منفی فازی *FNIS* یعنی A^- در نظر گرفته می‌شوند. سپس فاصله هر گزینه

جدول ۵. وزن معیارهای طبیعی که توسط کارشناسان (ک۱...۶) ارزیابی شده‌اند.

معیارها	کارشناسان						تلفیق نظر کارشناسان
	ک۱	ک۲	ک۳	ک۴	ک۵	ک۶	
توپوگرافی	H	MH	H	MH	MH	VH	(0.63, 0.82, 0.95)
شیب	VH	H	H	MH	VH	VH	(0.77, 0.92, 0.98)
ارتفاع	H	MH	VH	VH	H	MH	(0.70, 0.87, 0.97)
فاضلاب	M	M	ML	M	ML	M	(0.23, 0.43, 0.63)
نزولات	M	MH	MH	MH	M	MH	(0.43, 0.63, 0.83)
پوشان سنگ	M	MH	MH	M	M	H	(0.43, 0.63, 0.82)
خواص کشاورزی	ML	ML	M	M	M	L	(0.18, 0.37, 0.57)
خواص مهندسی	MH	MH	M	M	H	M	(0.47, 0.63, 0.82)

جدول ۶. امتیاز هر گزینه که توسط کارشناسان (ک۱...۶) ارزیابی شده و نرمال شده اعداد فازی با توجه به معیارهای طبیعی

معیارها	گزینه‌ها	کارشناسان						تلفیق اعداد فازی	اعداد فازی نرمال شده
		ک۱	ک۲	ک۳	ک۴	ک۵	ک۶		
توپوگرافی	جنگل کاری و حیات وحش	G	MG	G	G	G	G	(6.67, 8.67, 9.83)	(0.48, 0.54, 0.70)
	جاذبه‌های توریستی	G	G	G	G	VG	G	(7.33, 9.17, 10.00)	(0.47, 0.51, 0.64)
	کشاورزی	F	G	MG	G	F	F	(4.67, 6.67, 8.33)	(0.56, 0.70, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	G	G	VG	VG	G	VG	(8.00, 9.50, 10.00)	(0.47, 0.49, 0.58)
شیب	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(9.00, 10.00, 10.00)	(0.47, 0.47, 0.52)
	جنگل کاری و حیات وحش	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(9.00, 10.00, 10.00)	(0.47, 0.47, 0.52)
	جاذبه‌های توریستی	G	VG	G	VG	G	G	(8.00, 9.50, 10.00)	(0.47, 0.49, 0.58)
	کشاورزی	F	G	MG	G	F	F	(4.67, 6.67, 8.33)	(0.56, 0.70, 1.00)
ارتفاع	واحد‌های مسکونی	VG	G	VG	G	VG	VG	(8.33, 9.67, 10.00)	(0.47, 0.48, 0.56)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	VG	VG	G	VG	G	VG	(8.33, 9.67, 10.00)	(0.47, 0.48, 0.56)
	جنگل کاری و حیات وحش	G	VG	G	VG	G	G	(7.67, 9.33, 10.00)	(0.33, 0.36, 0.44)
	جاذبه‌های توریستی	G	F	G	MG	G	G	(5.67, 7.67, 9.17)	(0.36, 0.44, 0.59)
فاضلاب	کشاورزی	F	G	MP	F	F	F	(3.33, 5.33, 7.17)	(0.46, 0.62, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	VG	G	VG	F	VG	G	(6.33, 8.00, 9.00)	(0.37, 0.42, 0.53)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	VG	VG	VG	VG	VG	G	(8.33, 9.67, 10.00)	(0.33, 0.34, 0.40)
	جنگل کاری و حیات وحش	VG	G	G	G	G	VG	(8.00, 9.50, 10.00)	(0.47, 0.49, 0.58)
نزولات	جاذبه‌های توریستی	VG	G	G	G	G	VG	(8.00, 9.50, 10.00)	(0.47, 0.49, 0.58)
	کشاورزی	G	G	MG	G	G	G	(4.33, 8.00, 9.50)	(0.43, 0.80, 0.95)
	واحد‌های مسکونی	G	G	MP	MP	G	G	(5.67, 7.33, 8.33)	(0.57, 0.73, 0.83)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	F	F	F	F	F	F	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.30, 0.50, 0.70)
پوشان سنگ	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	G	VG	G	VG	VG	VG	(8.33, 9.67, 10.00)	(0.83, 0.97, 1.00)
	جنگل کاری و حیات وحش	G	G	G	G	G	G	(7.33, 9.17, 10.00)	(0.37, 0.40, 0.50)
	جاذبه‌های توریستی	F	G	G	G	F	F	(5.00, 7.00, 8.50)	(0.43, 0.52, 0.73)
	کشاورزی	G	G	F	F	G	G	(5.67, 7.67, 9.00)	(0.41, 0.48, 0.65)
خواص کشاورزی	واحد‌های مسکونی	VG	G	MG	F	F	F	(3.67, 5.67, 7.67)	(0.48, 0.65, 1.00)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	VG	VG	G	G	G	VG	(8.00, 9.50, 10.00)	(0.37, 0.39, 0.46)
	جنگل کاری و حیات وحش	G	G	G	G	G	G	(7.00, 9.00, 10.00)	(0.70, 0.90, 1.00)
	جاذبه‌های توریستی	F	MG	MG	MG	F	F	(5.00, 7.00, 8.50)	(0.50, 0.70, 0.85)
خواص مهندسی	کشاورزی	VG	G	VG	G	G	G	(7.67, 9.33, 10.00)	(0.77, 0.93, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	F	F	F	F	F	F	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.30, 0.50, 0.70)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	VG	VG	G	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	جنگل کاری و حیات وحش	F	G	MG	MG	G	F	(5.00, 7.00, 8.67)	(0.52, 0.72, 0.90)
خواص مهندسی	جاذبه‌های توریستی	G	MG	G	G	G	MG	(6.33, 8.33, 9.67)	(0.65, 0.86, 1.00)
	کشاورزی	F	G	MG	MG	G	F	(5.00, 7.00, 8.67)	(0.52, 0.72, 0.90)
	واحد‌های مسکونی	G	G	MG	MG	G	G	(6.33, 8.33, 9.67)	(0.65, 0.86, 1.00)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	MG	G	MG	MG	MG	G	(5.67, 7.67, 9.33)	(0.59, 0.79, 0.96)

جدول ۷. وزن معیارهای فرهنگی که توسط کارشناسان (ک۱...ک۶) ارزیابی شده‌اند

معیارها	کارشناسان						تلفیق اعداد فازی
	ک۱	ک۲	ک۳	ک۴	ک۵	ک۶	
موقعیت	VH	VH	VH	VH	VH	VH	(0.90, 1.00, 1.00)
دسترسی	H	H	VH	VH	VH	H	(0.80, 0.95, 1.00)
اندازه و شکل سایت	H	H	MH	H	H	H	(0.70, 0.88, 0.98)
شرایط اطراف معدن	M	M	MH	MH	M	M	(0.37, 0.40, 0.77)
مالکیت	H	H	H	H	H	H	(0.70, 0.88, 0.98)
نوع و شدت استفاده	MH	M	H	M	H	MH	(0.50, 0.70, 0.87)
خصوصیات مردم بومی	ML	M	M	ML	ML	MH	(0.17, 0.37, 0.57)
محدودیت‌های مقرراتی	MH	MH	MH	MH	MH	MH	(0.50, 0.70, 0.90)
برخورد شرکت با مورد استفاده	H	H	H	VH	VH	VH	(0.77, 0.92, 0.98)

جدول ۸. امتیاز هر گزینه که توسط کارشناسان (ک۱...ک۶) ارزیابی شده و نرمال شده اعداد فازی با توجه به معیارهای فرهنگی

معیارها	گزینه‌ها	کارشناسان						تلفیق اعداد فازی	اعداد فازی نرمال شده
		ک۱	ک۲	ک۳	ک۴	ک۵	ک۶		
موقعیت	جنگل کاری و حیات وحش	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	جاذبه‌های توریستی	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	کشاورزی	VG	G	VG	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
دسترسی	واحد‌های مسکونی	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(8.33, 9.67, 10.00)	(0.83, 0.97, 1.00)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	G	VG	VG	VG	VG	VG	(8.33, 9.67, 10.00)	(0.83, 0.97, 1.00)
	جنگل کاری و حیات وحش	MG	G	VG	G	MG	VG	(7.00, 8.67, 9.67)	(0.70, 0.87, 0.97)
اندازه و شکل سایت	جاذبه‌های توریستی	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	کشاورزی	G	G	VG	VG	G	G	(8.00, 9.50, 10.00)	(0.80, 0.95, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
شرایط اطراف معدن	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	VG	VG	G	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	جنگل کاری و حیات وحش	F	F	MP	MP	F	F	(2.00, 4.00, 6.00)	(0.20, 0.40, 0.60)
	جاذبه‌های توریستی	G	G	G	G	G	G	(6.67, 8.67, 9.83)	(0.67, 0.87, 0.98)
مالکیت	کشاورزی	G	G	G	G	G	G	(7.33, 9.17, 10.00)	(0.73, 0.92, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	VG	VG	G	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	G	G	VG	VG	G	G	(7.67, 9.33, 10.00)	(0.77, 0.93, 1.00)
نوع و شدت استفاده	جنگل کاری و حیات وحش	F	F	MG	MG	MG	F	(4.67, 6.67, 8.67)	(0.47, 0.67, 0.87)
	جاذبه‌های توریستی	F	F	F	F	MG	F	(3.33, 5.33, 7.33)	(0.33, 0.53, 0.73)
	کشاورزی	G	G	VG	VG	G	G	(8.00, 9.50, 10.00)	(0.80, 0.95, 1.00)
خصوصیات مردم بومی	واحد‌های مسکونی	F	F	F	MG	MP	F	(2.67, 4.67, 6.67)	(0.27, 0.47, 0.67)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	F	F	MP	MG	MG	F	(3.33, 5.33, 7.33)	(0.33, 0.53, 0.73)
	جنگل کاری و حیات وحش	F	F	MG	F	MG	F	(4.33, 6.33, 8.17)	(0.43, 0.63, 0.82)
محدودیت‌های مقرراتی	جاذبه‌های توریستی	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	کشاورزی	G	G	VG	G	G	G	(7.33, 9.17, 10.00)	(0.73, 0.92, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	G	VG	VG	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
برخورد شرکت با مورد استفاده	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	VG	VG	G	VG	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	جنگل کاری و حیات وحش	G	G	MG	MG	G	G	(6.33, 8.33, 9.67)	(0.63, 0.83, 0.97)
	جاذبه‌های توریستی	F	F	F	F	F	F	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.30, 0.50, 0.70)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	کشاورزی	VG	VG	VG	G	VG	VG	(8.67, 9.83, 10.00)	(0.87, 0.98, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	F	F	F	F	F	F	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.30, 0.50, 0.70)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	F	F	F	F	F	F	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.30, 0.50, 0.70)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	جنگل کاری و حیات وحش	G	G	G	G	G	G	(5.67, 7.67, 9.17)	(0.56, 0.76, 0.96)
	جاذبه‌های توریستی	F	F	MG	MG	F	P	(3.17, 5.00, 7.00)	(0.45, 0.63, 1.00)
	کشاورزی	G	G	G	VG	VG	VG	(8.00, 9.50, 10.00)	(0.80, 0.95, 1.00)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	واحد‌های مسکونی	MG	G	VG	MG	G	G	(6.67, 8.50, 9.67)	(0.63, 0.37, 0.48)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	G	G	MG	MG	G	G	(6.33, 8.33, 9.67)	(0.63, 0.38, 0.50)
	جنگل کاری و حیات وحش	G	VG	MG	MG	MG	MG	(6.00, 7.83, 9.33)	(0.36, 0.43, 0.56)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	جاذبه‌های توریستی	VG	VG	VG	VG	VG	VG	(9.00, 10.00, 10.00)	(0.33, 0.33, 0.37)
	کشاورزی	F	F	F	F	MG	F	(3.33, 5.33, 7.33)	(0.45, 0.62, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	G	G	VG	G	G	G	(7.33, 9.17, 10.00)	(0.33, 0.36, 0.45)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	VG	G	G	G	G	G	(7.33, 9.17, 10.00)	(0.33, 0.36, 0.45)
	جنگل کاری و حیات وحش	G	G	G	G	G	G	(7.00, 9.00, 10.00)	(0.70, 0.90, 1.00)
	جاذبه‌های توریستی	G	G	VG	VG	G	G	(7.67, 9.33, 10.00)	(0.77, 0.93, 1.00)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	کشاورزی	G	G	VG	G	G	G	(7.33, 9.17, 10.00)	(0.73, 0.92, 1.00)
	واحد‌های مسکونی	G	G	VG	VG	G	G	(7.67, 9.33, 10.00)	(0.77, 0.93, 1.00)
	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	G	G	VG	VG	G	G	(7.67, 9.33, 10.00)	(0.77, 0.93, 1.00)

جدول ۹. ماتریس تصمیم‌فازی نرمال شده موزون با توجه به معیارهای طبیعی

معیارها	توپوگرافی	شیب	ارتفاع	فاضلاب
گزینه‌ها				
جنگل کاری و حیات وحش	(0.30, 0.44, 0.66)	(0.36, 0.43, 0.51)	(0.23, 0.31, 0.43)	(0.11, 0.21, 0.37)
جاذبه‌های توریستی	(0.30, 0.42, 0.61)	(0.36, 0.45, 0.57)	(0.25, 0.38, 0.57)	(0.11, 0.21, 0.37)
کشاورزی	(0.35, 0.57, 0.95)	(0.43, 0.64, 0.98)	(0.32, 0.54, 0.97)	(0.13, 0.28, 0.63)
واحدهای مسکونی	(0.30, 0.40, 0.55)	(0.36, 0.44, 0.55)	(0.26, 0.37, 0.51)	(0.11, 0.21, 0.34)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	(0.30, 0.39, 0.49)	(0.36, 0.44, 0.55)	(0.23, 0.30, 0.39)	(0.11, 0.21, 0.35)

ادامه جدول ۹. ماتریس تصمیم‌فازی نرمال شده موزون با توجه به معیارهای طبیعی

معیارها	نزولات	پوشان سنگ	خواص کشاورزی	خواص مهندسی
گزینه‌ها				
جنگل کاری و حیات وحش	(0.34, 0.60, 0.83)	(0.16, 0.25, 0.41)	(0.13, 0.33, 0.57)	(0.24, 0.45, 0.74)
جاذبه‌های توریستی	(0.18, 0.50, 0.79)	(0.18, 0.33, 0.60)	(0.09, 0.26, 0.48)	(0.31, 0.54, 0.82)
کشاورزی	(0.25, 0.46, 0.69)	(0.18, 0.30, 0.53)	(0.14, 0.34, 0.57)	(0.24, 0.45, 0.74)
واحدهای مسکونی	(0.13, 0.32, 0.58)	(0.21, 0.41, 0.82)	(0.05, 0.19, 0.40)	(0.31, 0.54, 0.82)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	(0.36, 0.61, 0.83)	(0.16, 0.25, 0.38)	(0.16, 0.36, 0.57)	(0.28, 0.50, 0.79)

جدول ۱۰. ماتریس تصمیم‌فازی نرمال شده موزون با توجه به معیارهای فرهنگی

معیارها	موقعیت	دسترسی	اندازه و شکل سایت	شرایط اطراف معدن	مالکیت
گزینه‌ها					
جنگل کاری و حیات وحش	(0.78, 0.98, 1.00)	(0.56, 0.83, 0.97)	(0.14, 0.35, 0.59)	(0.17, 0.27, 0.67)	(0.30, 0.55, 0.80)
جاذبه‌های توریستی	(0.78, 0.98, 1.00)	(0.70, 0.93, 1.00)	(0.47, 0.77, 0.96)	(0.12, 0.21, 0.56)	(0.61, 0.86, 0.98)
کشاورزی	(0.78, 0.98, 1.00)	(0.64, 0.90, 1.00)	(0.51, 0.81, 0.98)	(0.30, 0.38, 0.77)	(0.51, 0.81, 0.98)
واحدهای مسکونی	(0.75, 0.97, 1.00)	(0.70, 0.93, 1.00)	(0.61, 0.86, 0.98)	(0.10, 0.19, 0.52)	(0.61, 0.86, 0.98)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	(0.75, 0.97, 1.00)	(0.70, 0.93, 1.00)	(0.54, 0.82, 0.98)	(0.12, 0.21, 0.56)	(0.61, 0.86, 0.98)

ادامه جدول ۱۰. ماتریس تصمیم‌فازی نرمال شده موزون با توجه به معیارهای فرهنگی

معیارها	نوع و شدت استفاده	خصوصیات مردم بومی	محدودیت‌های مقرراتی	برخورد شرکت با مورد استفاده
گزینه‌ها				
جنگل کاری و حیات وحش	(0.32, 0.58, 0.84)	(0.06, 0.15, 0.32)	(0.18, 0.30, 0.50)	(0.54, 0.83, 0.98)
جاذبه‌های توریستی	(0.15, 0.35, 0.61)	(0.08, 0.23, 0.57)	(0.17, 0.23, 0.33)	(0.59, 0.86, 0.98)
کشاورزی	(0.44, 0.69, 0.87)	(0.05, 0.12, 0.23)	(0.23, 0.43, 0.90)	(0.56, 0.85, 0.98)
واحدهای مسکونی	(0.15, 0.35, 0.61)	(0.06, 0.14, 0.27)	(0.17, 0.25, 0.41)	(0.59, 0.86, 0.98)
مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی	(0.15, 0.35, 0.61)	(0.06, 0.14, 0.28)	(0.17, 0.25, 0.41)	(0.59, 0.86, 0.98)

جدول ۱۱. فاصله هر گزینه از جواب ایده‌آل مثبت و منفی فازی و شاخص TOPSIS فازی و رتبه هر گزینه با توجه به معیارهای طبیعی

رتبه	شاخص TOPSIS فازی	فاصله از جواب ایده‌آل منفی فازی	فاصله از جواب ایده‌آل مثبت فازی	گزینه‌ها
3	0.400	3.340	5.009	جنگل کاری و حیات وحش
2	0.412	3.476	4.959	جاذبه‌های توریستی
1	0.487	4.245	4.473	کشاورزی
5	0.392	3.299	5.120	واحدهای مسکونی
4	0.395	3.280	5.021	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی

جدول ۱۲. فاصله هر گزینه از جواب ایده‌آل مثبت و منفی فازی و شاخص TOPSIS فازی و رتبه هر گزینه با توجه به معیارهای فرهنگی

رتبه	شاخص TOPSIS فازی	فاصله از جواب ایده‌آل منفی فازی	فاصله از جواب ایده‌آل مثبت فازی	گزینه‌ها
5	0.533	5.136	4.494	جنگل کاری و حیات وحش
2	0.583	5.607	4.012	جاذبه‌های توریستی
1	0.632	6.140	3.579	کشاورزی
3	0.576	5.495	4.049	واحدهای مسکونی
4	0.575	5.502	4.064	مؤسسات آموزشی، تجاری و صنعتی

Mchanina (2001) *Environmental planning considerations for the decommissioning, closure and reclamation of a mine site. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 15: 163-176.

Cao, X (2007) *Regulating mine land reclamation in developing countries: The case of China. Land Use Policy*, 24: 472-483.

Wang, S., Liu, C., Zhang, H (2011) *Suitability evaluation for land reclamation in mining area: A case study of Gaoqiao bauxite mine. Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21: 506-515.

Safari, M., Kakaei, R., Ataei, M (2012) *Using fuzzy TOPSIS method for mineral processing plant site selection. Arabian Journal of Geosciences*, 5: 1011-1019.

Zadeh, L. A (1965) *Fuzzy sets. Information and Control*, 8: 338-353.

Sadabadi, S. A., Hadi-Vencheh A., Jamshidi A., Jalali, M (2020) *A new index for TOPSIS based on relative distance to best and worst points. International Journal Information Technology & Decision Making*, 19 (3): 695-719.

Chen, C. T (2000) *Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems*, 114: 1-9.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از کارشناسان و صاحب‌نظران محترم در حوزه معدن، زمین‌شناسی، محیط‌زیست و منابع طبیعی که نویسندگان را در پر کردن فرم‌های نظرسنجی و ارزشیابی معیارها کمک نمودند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

منابع

عباس‌زاده شهری، ع.، گودرزی، م.، شیخ‌انصاری، م (۱۳۸۵)

بررسی امکان استفاده از کشاورزی در بازسازی معادن به عنوان عامل پالاینده محیط‌زیست. بیست و پنجمین گردهمایی علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

اسماعیلی، ر.، سالاری، ا (۱۳۹۲) بازسازی معادن جهت کاهش آلودگی زیست‌محیطی و استفاده در راستای امور گردشگری. نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، ۶-۸ آبان، دانشگاه بیرجند.

حاج کاظمی‌ها، ن.، شریعت، م.، منوری، م.، عطایی، م (۱۳۹۳) اولویت‌دهی معیارهای بازسازی درخاتمه فعالیت معادن (مطالعه موردی معادن سنگ‌آهن). فصلنامه محیط‌شناسی، دوره ۴۰، ص ۱۰۲۳-۱۰۳۳.

حسین‌آبادی، م.، بنی‌اسدی، م (۱۳۹۶) مطالعه ترکیب شیمیایی و خصوصیات بنتونیت شمال‌شرقی سربیشه با هدف بررسی کاربرد صنعتی آن. نهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند.

نظری، م.، سلامتی، م (۱۹۹۹) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نخعی، م.، محمدی، س.، رسا، ا. و سمیعی، س (۱۳۹۸) بررسی کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و رفتار عناصر در فرآیند تشکیل بنتونیت‌های منطقه سربیشه (خراسان جنوبی، شرق ایران). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی، شماره اول، دوره ۲۷، ص ۲۰۷-۲۲۰.

اصانلو، م (۱۳۸۰) بازسازی در معادن، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول، ۲۲۸ ص.

عطایی، م (۱۳۸۹) تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، چاپ اول، ۳۳۳ ص.

حسین‌آبادی، م.، آریافر، ا (۱۳۹۲) انتخاب گزینه مناسب برای بازسازی معادن با توجه به عوامل طبیعی با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم‌زمین، ۲۷-۳۰ بهمن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسین‌آبادی، م.، سعدآبادی، س. ع (۱۳۹۷) کاربرد روش TOPSIS فازی در انتخاب گزینه مناسب برای بازسازی معادن با توجه به عوامل طبیعی. دهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان، ص ۳۹۸-۳۹۱.

Employing the fuzzy TOPSIS method to prioritize the rehabilitation of mines with according to natural and cultural factors (case study: Northeastern of Sarbisheh bentonite mine, south east of Birjand)

M. Hoseinabadi^{1*} and S. A. Sadabadi²

1, 2- Dept., of Geology, Islamic Azad University, Tabas Branch, Iran

** mhseidi@iau-tabas.ac.ir*

Recieved: 2019/9/5 Accepted: 2020/7/6

Abstract

Mining restoration operations follow the goals including reduction of the hazards from mining operations, restoring affected lands and consumed water resources, reducing the impacts raised from mining operations, ensuring environmental resources conservation, stabilizing the socioeconomic environment of the area after mining activities, and creating new mining opportunities. This paper aims to provide an appropriate recommendation for the reconstruction of Sarbisheh bentonite mine considering natural and cultural criteria using fuzzy TOPSIS linguistic variables. The mine under study is located 50 km southeast of Birjand and 15 km northeast of Sarbisheh. Recently, different scenarios have been proposed for the refurbishment of the mining area among which are the forestry and wildlife, tourist attractions, agriculture, housing, educational, commercial and industrial establishments. Criteria like topography, slope, elevation, drainage, descents, rock coverage, agricultural and engineering are considered as natural criteria and location, accessibility, site size and shape, conditions of the mine, ownership, type, and intensity of use, behavior of indigenous peoples, regulatory constraints, and the way corporations use them are considered as the cultural criteria for evaluating mining reconstruction scenarios. This study aims at selecting the best mine reconstruction method by considering all effective criteria and comments from mining experts regarding the parameters' weight and the performance of each parameter against each criterion and also with the purpose of environmental protection. Based on the fuzzy TOPSIS method and considering the natural and cultural criteria, first agriculture and then tourist attraction were suggested as the preferred alternatives for the reconstruction of this mine.

Keywords: *Restoration of mines, prioritize, natural criteria, cultural criteria, fuzzy TOPSIS*