

# انتخاب روش بهینه استخراج در فاز زیرزمینی معدن گهرزمین به کمک روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی ویکور

عمید مرشدلو، کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان  
حسام دهقانی، کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان

## چکیده

انتخاب روش معدنکاری (MMS)<sup>(۱)</sup> برای استخراج منابع معدنی، یکی از مهم‌ترین مراحل در مدیریت بهره‌برداری از معدن است. با توجه به هزینه‌های بالا و مشکلات زیست محیطی، معمولاً پس از برنامه‌ریزی و شروع عملیات، روش معدنکاری تغییر نمی‌کند اما در شرایطی که ادامه استخراج به روش روباز مقدور نباشد، به ناچار استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی توصیه می‌شود. انتخاب روش استخراج عمدتاً به ویژگی‌های زمین‌شناسی و هندسی منابع، آثار زیست محیطی اکتشاف و روش استفاده از زمین، بستگی دارد. این مقاله به دنبال ایجاد یک مدل جدید برای انتخاب روش معدنکاری به منظور دستیابی به نرخ تولید پایدار و کاهش مشکلات محیطی است. از این رو تحقیق به ارائه مدلی جدید با رویکرد استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)<sup>(۲)</sup> و مجموعه‌های فازی می‌پردازد. در این راستا پرسشنامه‌هایی طراحی شد که توسط متخصصان و با استفاده از مجموعه‌های فازی تکمیل شد. برای رتبه‌بندی و انتخاب بهترین روش معدنکاری زیرزمینی، از روش فازی ویکور<sup>(۳)</sup> استفاده شد. در نهایت با توجه به آنکه ادامه استخراج کانسار شماره سه معدن گل‌گهر به روش روباز ممکن نیست، بر اساس نتایج به دست آمده، روش استخراج از طبقات فرعی مناسب‌ترین گزینه برای استخراج زیرزمینی کانسار معرفی شد.  
واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، فازی ویکور، مجموعه‌های فازی، انتخاب روش معدنکاری.

## ۱- مقدمه

هستند، انجام می‌شود. این امر سبب می‌شود تا پیدا کردن راه حلی برای تحقق همه اهداف به صورت هم‌زمان بسیار سخت و یا غیر ممکن باشد. در این شرایط، مشخص ساختن مقدار دقیق معیارها بسیار مشکل است. بنابراین برای توصیف و شرح عناصر مبهم حاضر در تصمیم‌گیری، غالباً عبارات زبانی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳]. در تحقیقات، عبارات زبانی تصمیم‌گیری، عباراتی فرض می‌شوند که به وسیله تابع عضویت زبانی نامعلوم شناخته می‌شوند. با این حال در واقعیت، تصمیم‌گیری در مورد مشخص کردن تابع عضویت در محیط غیردقیق ساده نیست. در برخی موارد، استفاده از اعداد بازه، ممکن است به این هدف کمک کند

انتخاب روش استخراج، مستلزم بررسی مجموعه مختلفی از معیارها است. در صورت در نظر نگرفتن این معیارها در جنبه‌های مختلف تصمیم‌گیری، ابهامات بیشتری ایجاد شده و در نهایت، نتایج به دست آمده ممکن است غیرقابل استفاده باشد [۱]. تئوری مجموعه‌های فازی با ارائه یک چارچوب گسترده‌تر در مقایسه با تئوری‌های دیگر، می‌تواند نقش قابل توجهی در انعکاس واقعیت و کاهش این ابهامات ایفا کند [۲].

تصمیم‌گیری در رابطه با مسائل حساس و اساسی غالباً با در نظر گرفتن چندین معیار که گاهی ناهمگون و یا حتی متضاد

[۴]. به منظور اتخاذ تصمیم صحیح برای انتخاب روش استخراج، همه معیارهای اساسی مربوط به مسئله باید مورد بررسی و تحلیل قرار بگیرد. اگر چه با افزایش تعداد معیارهای مربوطه، مسئله پیچیده تر و دستیابی به راه حل دشوار می شود، اما صحت و درستی تصمیم گیری به علت وجود این معیارها بالا می رود [۵]. استفاده از عبارات زبانی برای تعیین معیارها و تئوری مجموعه های فازی می تواند در رفع ابهامات موجود در تعیین روش استخراج زیرزمینی تاثیر مثبتی داشته باشد. جدول یک به طور مختصر به تحقیقاتی که در زمینه انتخاب روش معدنکاری انجام شده است، اشاره می کند.

جدول ۱- تحقیقات انجام شده در زمینه انتخاب روش معدنکاری

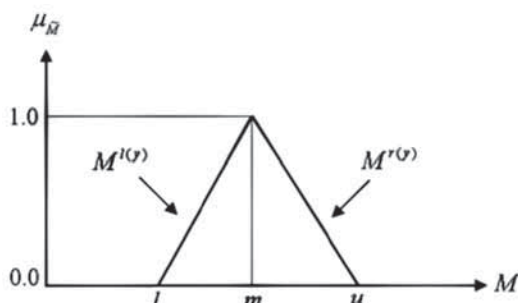
موضوع	سال	نویسنده
طبقه بندی روش های معدنکاری	۱۹۷۳	[۶] پوشکو و رایب
پیشنهاد یک جدول برای انتخاب روش معدنکاری	۱۹۷۶	[۷] موریسون
انتخاب معدنکاری زیرزمینی بر اساس سیستم طبقه بندی توده سنگ	۱۹۸۱	[۸] لایشر
پیشنهاد اولین سیستم دسته بندی کمی معدنکاری	۱۹۸۱	[۹] نیکولاس
طبقه بندی برای اساس عوامل هندسی و شرایط زمین	۱۹۸۷	[۱۰] هارتمن
اصلاح مدل نیکولاس و پیشنهاد مدلی جدید	۱۹۹۵	[۱۱] میلر و همکاران
استفاده از سیستم یاگر <sup>(۱)</sup> و PHA <sup>(۲)</sup>	۲۰۰۱	[۱۲] کارادوگان و همکاران
استفاده از سیستم یاگر و AHP و روش فازی	۲۰۰۴	[۱۳] بیطرفان و عطایی
استفاده از سیستم یاگر در طراحی یک نرم افزار	۲۰۰۶	[۱۴] باستین و همکاران
انتخاب روش معدنکاری بر اساس روش فازی تاپسیس <sup>(۳)</sup>	۲۰۰۸	[۱۵] صمیمی نمین و همکاران
انتخاب روش معدنکاری در بوکسیت جاجرم بر اساس روش FAHP	۲۰۰۹	[۱۶] نقدهی و همکاران
اصلاح مدل نیکولاس و ارائه مدلی جدید	۲۰۱۰	[۱۷] آزاده و همکاران
استفاده از روش مونت کارلو و AHP	۲۰۱۳	[۱۸] عطایی و همکاران

## ۲- روش بررسی

زبان انسان به راحتی قابل تبدیل به مقادیر مطلق و (زبان ماشین) نیست. به همین منظور باید از سیستم هایی استفاده کرد که به روش کارکرد مغز ما نزدیک تر بوده و توانایی تبدیل داده های مبهم دنیای ما را به زبان کامپیوتر داشته باشد. سیستم های منطقی فازی نسبت به سایر سیستم ها، در پاسخ به ورودی های ناقص و مبهم، خروجی قابل قبول و مشخصی ارائه می کند.

بررسی پیشینه تحقیقات نشان می دهد که با وجود مطالعات چشم گیری که در استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره وجود دارد، در زمینه انتخاب روش مطلوب و بهینه معدنکاری زیرزمینی، پژوهش زیادی انجام نشده است. روش استخراج در کانسار شماره سه معدن گل گهر، روباز است اما با توجه به محدودیت های پیت، دیگر امکان ادامه این روش وجود ندارد. بنابراین لزوم تعیین یک یا چند روش استخراج زیرزمینی به عنوان جایگزین روش فعلی، امری

(۲) پس از مشخص شدن و برطرف کردن ابهامات موجود در داده‌های ورودی، نوبت به اتخاذ تصمیم در مورد اولویت بندی و انتخاب بهترین گزینه در بین گزینه‌های موجود است، اما آنالیز و تصمیم‌گیری با وجود داده‌های متفاوت، بسیار دشوار است. این بخش یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در حوزه مدیریت و دانش نوین است. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در بین پرکاربردترین و موفق‌ترین رویکردها برای دستیابی به نتیجه مطلوب و صحیح قرار دارد و روش تصمیم‌گیری چند معیاره و یکسور، یکی از زیرمجموعه‌های قدرتمند آن در کمک به متخصصان برای اتخاذ تصمیم‌های پیچیده و سخت است.



شکل ۱- تابع عضویت عدد فازی مثلثی

### ۲-۱-۲- تعیین وزن‌ها به کمک منطق فازی

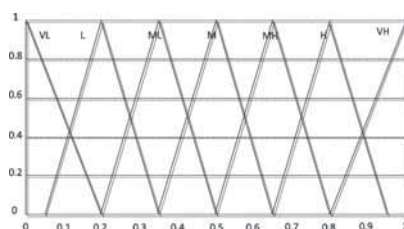
مراحل کار برای تعیین وزن‌ها به کمک منطق فازی، به شرح

زیر است:

- ۱- تهیه لیستی از پارامترهای مورد نظر برای ارزیابی
- ۲- تهیه جدول متغیرهای زبانی فازی برای تعیین امتیاز هر پارامتر (جدول ۲ و شکل ۲)
- ۳- تکمیل پرسشنامه‌ها توسط افراد متخصص و کارشناس

جدول ۲- متغیر زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها

علامت	اهمیت	عد فازی
VL	خیلی کم	(۰،۰،۰/۲)
L	کم	(۰/۰۵،۰/۲،۰/۳۵)
ML	کم متوسط	(۰/۲،۰/۳۵،۰/۵)
M	متوسط	(۰/۳۵،۰/۵،۰/۶۵)
MH	متوسط - زیاد	(۰/۵،۰/۶۵،۰/۸)
H	زیاد	(۰/۶۵،۰/۸،۰/۹۵)
VH	خیلی زیاد	(۰/۸،۱،۱)



شکل ۲- متغیر زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها

### ۲-۱-۲- مجموعه‌ها و اعداد فازی

پایه و اساس مجموعه‌ها و منطق فازی، اولین بار توسط "لطفی زاده" مطرح شد. دلیل اصلی استفاده از منطق فازی، ابهام در مسائل مربوط به تصمیم‌گیری بود. در مجموعه‌های فازی، عضویت بعضی یا تمام اعضا کاملاً روشن و مشخص نیست و عناصر آن به طور نسبی متعلق به آن مجموعه هستند و درجه عضویت این عناصر بین صفر تا یک متغیر است [۱۹].

مجموعه‌ها و منطق فازی، ابزاری قدرتمند برای مدل‌سازی ریاضی در مسائل مختلفی مانند سیستم‌های نامشخص در صنعت، طبیعت و انسان هستند که استدلال در تصمیم‌گیری در صورت عدم وجود اطلاعات کامل و دقیق را برای انسان تسهیل می‌کنند [۲۰].

### ۲-۱-۲-۱- عدد فازی

علامت " ~ " که در بالای نمادها قرار می‌گیرد، نشان دهنده اعداد فازی است. یک عدد فازی مثلثی  $\tilde{M}(l, m, u)$  در شکل (۱) نشان داده شده است که به صورت رابطه (۲)، و تابع عضویت آن به شکل رابطه (۱)، نمایش داده می‌شود [۲۱].

(۱)

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)} & \text{if } l \leq x \leq m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)} & \text{if } m \leq x \leq u \\ \cdot & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\tilde{M} = (M^l(y), M^r(y)) = (l+(m-l)y, u+(m-u)y), y \in [0, 1]$$



شکل ۳- فرآیند تجزیه و تحلیل داده‌ها

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_x \\ \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{X}_{m1} & \tilde{X}_{m2} & \dots & \tilde{X}_{mn} \end{bmatrix} \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix}$$

$$i=1,2, \dots, m; \quad j=1,2, \dots, n \quad (6)$$

$$\tilde{W}_i = [\tilde{W}_1, \tilde{W}_2, \tilde{W}_3]; \quad j=1,2, \dots, n \quad (7)$$

$A_m, \dots, A_2, A_1$ ، گزینه‌های احتمالی هستند که گزینه

نهایی باید از بین آنها انتخاب شود.  $C_1, C_2, \dots, C_n$ ، معیارها

هستند که به واسطه آنها، عملکرد گزینه ارزیابی می‌شود.  $X_{ij}$  امتیاز

۴- محاسبه وزن پارامترها در ماتریس فازی تشکیل شده با

توجه به پاسخ‌های متخصصان

تعیین امتیاز هر گزینه بر اساس مجموع نظرات فازی داده شده،

با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$X_{ij} = \frac{1}{K} [X_{ij1} \oplus X_{ij2} \oplus \dots \oplus X_{ijK}] \quad (3)$$

و در نهایت ماتریس امتیازدهی به صورت رابطه (۴) به دست

خواهد آمد:

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

که در آن  $n$  تعداد معیارها و  $m$  تعداد گزینه‌ها است.

۵- در نهایت باید ماتریس را از حالت فازی در آورده و برای

اینکار از رابطه (۵)،  $BNP^{(1)}$  استفاده می‌شود که براساس روش

غیرفازی کردن  $COA^{(2)}$  است [۲۱، ۲۲]. روش‌های مختلفی برای

غیرفازی کردن وجود دارد که روش  $COA$ ، تقریباً میانگینی از همه

آنها بوده و دقت بالاتری نسبت به بقیه دارد.

$$BNP_i = \frac{[(u-l)+(m-l)]}{4} + l, \quad \forall_i \quad (5)$$

## ۲-۲- روش فازی ویکور

در بسیاری از مواقع، تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه است

و این عدم قطعیت در نتایج حاصل از تصمیم‌گیری، تاثیر زیادی

دارد. در این‌گونه موارد، بهتر است از روش‌های تصمیم‌گیری چند

معیاره فازی استفاده شود. روش "ویکور" فازی یکی از روش‌های

کاربردی در تصمیم‌گیری است. در این حالت عناصر ماتریس

تصمیم‌گیری توسط متغیرهای زبانی که توسط اعداد فازی ارائه

شده‌اند، ارزیابی می‌شوند. فرآیند تجزیه و تحلیل داده‌ها در شکل

(۳)، نشان داده شده است. مراحل استفاده از روش فازی ویکور در

یک مسئله با  $n$  معیار و  $m$  گزینه به شرح زیر است:

۲-۲-۱- ماتریس تصمیم‌گیری با توجه به تعداد معیارها،

تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه آنها برای معیارهای مختلف، به صورت

زیر تشکیل می‌شود:

$$= \{f_1^-, f_2^-, f_3^-, \dots, f_n^-\} f^- \quad (19)$$

$$\tilde{f}_i^- = \min \tilde{X}_{ij}, \quad \tilde{f}_i^+ = \max \tilde{X}_{ij}$$

۲-۲-۶- محاسبه مقدار  $\tilde{R}$  و  $S_j$  [۳۰]:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n (\tilde{W}_j) \left[ \frac{(\tilde{f}^+_{ij} - \tilde{X}_{ij})}{(\tilde{f}^+_{ij} - \tilde{f}^-_{ij})} \right] \quad (21)$$

$$\tilde{R}_i = \max(\tilde{W}_j) \left[ \frac{(\tilde{f}^+_{ij} - \tilde{X}_{ij})}{(\tilde{f}^+_{ij} - \tilde{f}^-_{ij})} \right] \quad (22)$$

۲-۲-۷- محاسبه ارزش (مقدار)  $\tilde{S}_i^+$ ,  $\tilde{S}_i^-$ ,  $\tilde{R}_i^+$ ,  $\tilde{R}_i^-$ ,  $\tilde{Q}_i$  [۳۱]:

$$(23)$$

$$S^+ = \max_{i=1, \dots, n} \{S_i\}, \quad S^- = \min_{i=1, \dots, n} \{S_i\}, \quad R^+ = \max_{i=1, \dots, n} \{R_i\}, \quad R^- = \min_{i=1, \dots, n} \{R_i\},$$

$$(24)$$

$$\tilde{Q}_i = \vartheta ((S_i - S^-) / (S^+ - S^-)) + (-\vartheta) ((R_i - R^-) / (R^+ - R^-))$$

که در آن  $S$  شاخص مطلوبیت،  $R$  شاخص نارضایتی و  $Q$  شاخص ویکور و مقادیر مثبت و منفی، نشان دهنده بیشینه و کمینه مقدار آنها است.  $\vartheta$  معیار سنجش استراتژی اکثریت است که بین ۰/۵ تا ۱ در نظر گرفته می شود.

۲-۲-۸- رتبه بندی گزینه ها و مرتب کردن آنها بر اساس

شاخص  $Q_i$ :

گزینه ها به ترتیب نزولی مطابق با مقادیر شاخص های  $Q_i$ ,  $S_i$  و  $R_i$  به صورت مجزا مرتب می شوند و بدین ترتیب، سه فهرست رتبه بندی به دست می آید. بهترین گزینه از نظر شاخص  $Q_i$ ، گزینه ای با حداقل مقدار است.

۲-۲-۹- سنجش معیارهای ارائه شده:

گزینه  $A_1$  که بر اساس شاخص  $Q$  بهترین گزینه است، اگر دو شرط زیر را داشته باشد به عنوان بهترین گزینه، پیشنهاد می شود: شرط ۱: اگر  $A_2$  بهترین گزینه بعد از  $A_1$  در رتبه بندی بر اساس شاخص  $Q$  باشد، آنگاه باید:

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq (1/(N-1)) \quad (25)$$

شرط ۲: ثبات قابل قبول در تصمیم گیری:

گزینه  $A_1$  نیز باید از نظر شاخص  $R$  در بهترین گزینه رتبه بندی واقع شود.

گزینه  $A_i$  با توجه به معیار  $C_j$  و  $\tilde{W}_j$  وزن معیار  $j^{\text{th}}$  است.

اگر کمیته تصمیم گیرنده دارای  $K$  عضو باشد، درایه های ماتریس به کمک روابط زیر محاسبه می شوند [۲۳]:

$$x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (8)$$

$$a_{ij} = \text{Min}\{a_{ijk}\} \quad (9)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^k b_{ijk}}{k} \quad (10)$$

$$c_{ij} = \text{Max}\{c_{ijk}\} \quad (11)$$

۲-۲-۲- در مرحله دوم، ضریب اهمیت معیارهای مختلف

در تصمیم گیری محاسبه می شود و در جمع بندی نتایج، تاثیر داده می شوند که در فرمول های زیر نشان داده شده است [۲۴]:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (12)$$

$$W_{jk} = (w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3}) \quad (13)$$

$$w_{j2} = \frac{\sum_{k=1}^k w_{jk2}}{k} \quad (14)$$

$$w_{j3} = \text{Max}\{w_{jk3}\} \quad (15)$$

۲-۲-۳- در مرحله بعدی ماتریس تصمیم گیری به کمک

رابطه های زیر، بی مقیاس می شود [۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸]:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \quad (16) \quad \text{معیار مثبت}$$

$$r_{ij} = \frac{\max\{X_{ij}\} - X_{ij}}{\min\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \quad (17) \quad \text{معیار منفی}$$

برای تعیین مثبت یا منفی بودن معیارها، به تاثیر محیطی آنها

در فضای مورد مطالعه توجه می شود.

۲-۲-۴- ماتریس فازی بی مقیاس، در قدم بعدی با ضرب

وزن ها در درایه های ماتریس، وزن دار می شود.

۲-۲-۵- تعیین بیشترین مقدار فازی ( $\tilde{f}$ ) و کمترین مقدار

فازی ( $\tilde{f}_i$ ) [۲۹]:

بعد از تعیین بیشترین و کمترین مقدار فازی، راه حل ایده آل

مثبت و راه حل ایده آل منفی از روابط زیر کمک گرفته می شود:

$$= \{f_1^+, f_2^+, f_3^+, \dots, f_n^+\} f^+ \quad (18)$$





شکل ۴- موقعیت جغرافیایی معدن گل‌گهر



شکل ۵- نمایی از معدن گل‌گهر

شاخص‌های متعددی بر انتخاب روش معدنکاری زیرزمینی تاثیر می‌گذارند که از بین آنها ۱۹ پارامتر اصلی انتخاب شده در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. پس از بررسی‌های انجام شده، ۱۱ روش استخراج زیرزمینی مشخص شد تا توسط پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط ۴۰ متخصص با تجربه و اختصاص امتیاز به هر یک از آنها بر اساس پارامترهای نوزده‌گانه، روش مطلوب و بهینه معدنکاری در معدن گل‌گهر تعیین شود (جدول ۴). در مرحله اول برای تشکیل ماتریس نظرات باید میانگین نظرات داده شده را به دست آورد. سپس ماتریس به دست آمده باید بی‌مقیاس شود که مثبت یا منفی بودن یک پارامتر نسبت به روش استخراج سنجیده شود. به عنوان مثال، هزینه‌های عملیاتی برای تمامی روش‌ها، یک پارامتر منفی به حساب می‌آید. وزن پارامترها نیز به همین رویه، از پرسشنامه‌ها استخراج می‌شود (جدول ۵). از ضرب وزن‌ها در درایه‌های ماتریس بی‌مقیاس، ماتریس بی‌مقیاس وزن دار به دست می‌آید (جدول ۶).

اگر شرایط بالا احراز نشود، مجموعه‌ای از گزینه‌ها به عنوان بهترین گزینه، به شکل زیر پیشنهاد می‌شود:

- گزینه‌های  $A_1$  و  $A_7$ ، اگر فقط شرط ۱۲ احراز نشود.

- گزینه‌های  $A_1$ ،  $A_7$  و  $A_m$ ، ...، اگر شرط ۱ احراز نشود [۳۲].

$$Q(A_m) - Q(A_i) < (1/(N-1)) \quad (26)$$

### ۳- مطالعه موردی: معدن گل‌گهر

مجموعه ذخایر منطقه چهارگنبد، یکی از بزرگ‌ترین ذخایر سنگ آهن کشور است. این ذخایر در ۵۵ کیلومتری جنوب-غربی شهرستان سیرجان قرار دارند (شکل ۴) و در دشت مرتفعی به ارتفاع متوسط ۱۷۵۰ متر از سطح دریا واقع شده‌اند. از لحاظ زمین‌شناسی، منطقه حاوی سنگ‌های دگرگونی مانند شیست، فیلیت، گنایس و آمفیبولیت است. از نظر زمین‌شناسی ساختمانی، منطقه چهارگنبد در حاشیه شرقی زون سندج-سیرجان، یکی از پرتکاپوترین زون‌های زمین‌ساختی در فلات ایران قرار گرفته است. تمام واحدهای سنگی منطقه، به شدت چین‌خورده هستند. مجموعه ذخایر فوق، شامل شش آنومالی می‌باشد. در حال حاضر ذخیره شماره یک به روش روباز استخراج می‌شود (شکل ۵).

در ادامه استخراج سنگ آهن در چهارگنبد، بهره‌برداری از کانسار شماره سه مورد توجه قرار گرفته است. کانسار شماره سه در غرب معدن شماره یک در زیر دشت نسبتاً همواری قرار دارد. ماده معدنی اصلی، مگنتیت با سه نوع سنگ معدن متفاوت بر اساس ترکیبات کانی‌شناسی است. این سه تیپ سنگ عبارت است از: مگنتیت کم گوگرد (مگنتیت بالایی) مگنتیت پرگوگرد (مگنتیت پایینی) و مگنتیت اکسید شده (اکسید) می‌باشد. مگنتیت پرگوگرد، ۹۷ درصد این ذخیره را شامل می‌شود. شکل این ذخیره به صورت ناودیس گسل خورده با امتداد محور شرقی-غربی است. طول آن، ۲۴۰۰ متر در راستای تقریباً شمالی-جنوبی با عرض متوسط، ۲۲۰۰ متر محاسبه شده است. ضخامت متوسط کانسار شماره سه چهارگنبد، ۴۰ متر و عمق متوسط ذخیره، حدود ۳۵۰ متر محاسبه شده است. شیب غالب به دست آمده برای یال شمالی ذخیره که قسمت عمده کانسار با عیار مطلوب‌تر استخراجی را شامل می‌شود، ۲۰ درجه است [۳۳].

جدول ۳- پارامترهای تاثیرگذار بر روش استخراج

پارامتر	نماد
تکنولوژی	C1
هزینه‌های عملیاتی	C2
نیروی ماهر انسانی	C3
تولید بر اساس نفر شیفت	C4
RQD کمر بالا	C5
RMR کمر بالا	C6
RSS کمر بالا	C7
RQD کانسار	C8
RSS کانسار	C9
RMR کانسار	C10
RQD کمر پایین	C11
RSS کمر پایین	C12
RMR کمر پایین	C13
شکل ذخیره	C14
ضخامت کانسار	C15
شیب کانسار	C16
عمق	C17
توزیع عیار	C18
بازایی	C19

جدول ۴- روش‌های استخراج زیرزمینی

ردیف	نام روش
۱	استخراج پسروری قیفی قائم (VCR)
۲	اتاق و پایه
۳	کارگاه و پایه
۴	جبهه‌کار طولانی
۵	کندن و پرکردن
۶	استخراج انباره‌ای
۷	استخراج از طبقات فرعی
۸	تخریب در طبقات فرعی
۹	کرسی چینی
۱۰	تخریب بلوکی
۱۱	برش از بالا به پایین

جدول ۵- وزن پارامترها

پارامتر	وزن
C1	۰/۲۶۳۲
C2	۰/۲۶۳۲
C3	۰/۲۶۳۲
C4	۰/۲۶۳۲
C5	۰/۱۰۵۳
C6	۰/۱۰۵۳
C7	۰/۱۰۵۳
C8	۰/۲۱۰۵
C9	۰/۲۱۰۵
C10	۰/۲۱۰۵
C11	۰/۱۵۷۹
C12	۰/۱۵۷۹
C13	۰/۱۵۷۹
C14	۰/۲۶۳۲
C15	۰/۲۶۳۲
C16	۰/۲۶۳۲
C17	۰/۲۶۳۲
C18	۰/۲۶۳۲
C19	۰/۲۶۳۲

جدول ۶- ماتریس بی مقیاس وزن دار

استخراج بلوکی	۰/۰۱۲	۰	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۲۰۱	۰/۰۶۵	۰/۰۴	۰/۱۵۸	۰/۱۲۶	۰/۲۶۳	۰/۰۱	۰/۱۲۶	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۰۱	
جبهه‌کار طولانی	۰	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲	۰	۰/۰۷	۰/۰۱۸	۰/۰۷۴	۰/۱۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۹	۰/۱۵۸	۰/۱۲۷	۰/۰۶	۰/۲۴۱	۰/۲۶۳	۰/۱۲۷	۰/۰۶	۰/۲۴۱	۰/۲۶۳
تخریب طبقات فرعی	۰/۰۲۴	۰/۰۶۶	۰/۰۱۲	۰/۰۳۶	۰/۰۱۲	۰/۱۰۵	۰	۰/۲۱۱	۰	۰	۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	۰/۱۲۱	۰	۰/۰۱	۰/۱۵۸	۰/۱۲۱	۰	۰/۰۱
اتاق و پایه	۰/۰۶۳	۰/۱۳۶	۰	۰/۱۰۳	۰/۱۰۵	۰/۰۸۸	۰/۱۰۵	۰/۰۲۲	۰/۲۱۱	۰/۱۵۸	۰	۰/۰۵	۰	۰/۲۴۱	۰/۲۵۳	۰/۰۵	۰	۰/۲۴۱	۰/۲۵۳
کارگاه و پایه	۰/۰۷۶	۰/۱۶۴	۰/۰۱۲	۰/۱۱۷	۰/۰۴۷	۰/۰۷	۰/۰۷۴	۰	۰/۲۱۱	۰/۱۱۸	۰	۰	۰/۰۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰	۰/۰۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳
کرسی چینی	۰/۲۵۱	۰/۲۶۳	۰/۰۷۵	۰/۲۳۸	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۹۸	۰/۰۹	۰/۰۳۱	۰/۲	۰/۰۴۷	۰/۰۲	۰/۰۳۱	۰/۲	۰/۰۴۷	۰/۰۲
انباره‌ای	۰/۲۶۳	۰/۰۶۶	۰/۲۳۶	۰/۲۶۳	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۲۱	۰	۰/۱۴۶	۰/۱۴۸	۰/۰۹	۰/۰۹۵	۰/۱۶۸	۰	۰/۰۴۳	۰/۰۹۵	۰/۱۶۸	۰	۰/۰۴۳
استخراج طبقات فرعی	۰/۰۹	۰/۰۶۶	۰/۲۰۹	۰/۰۶۳	۰/۰۲۳	۰/۰۳۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱	۰/۱۴۶	۰/۱۰۸	۰/۰۶۸	۰/۰۶۳	۰/۱۳۷	۰/۰۱۱	۰/۰۲	۰/۰۶۳	۰/۱۳۷	۰/۰۱۱	۰/۰۲
VCR	۰/۰۳۶	۰/۱۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۷۶	۰/۰۴۷	۰/۰۳۵	۰/۰۴۲	۰	۰/۱۴۶	۰/۱۰۸	۰/۰۴۵	۰/۰۷۹	۰/۱۳۷	۰/۰۱۱	۰	۰/۰۷۹	۰/۱۳۷	۰/۰۱۱	۰
کندن و پرکردن	۰/۰۱۲	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۲۳	۰/۰۷	۰/۰۶۳	۰/۰۲	۰/۰۹۷	۰/۱۱۸	۰/۰۶۸	۰/۰۹۵	۰/۱۳۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲	۰/۰۹۵	۰/۱۳۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲
برش از بالا به پایین	۰/۰۳۶	۰/۱۳۶	۰/۲۰۹	۰/۰۱۲	۰	۰	۰/۰۴۲	۰	۰/۱۴۶	۰/۱۱۸	۰/۰۶۸	۰/۰۶۳	۰/۱۳۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲	۰/۰۶۳	۰/۱۳۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲

در مرحله بعد بیشترین و کمترین مقدار فازی، حل ایده‌آل مثبت و منفی را تعیین می‌کند تا شاخص‌های S و R برای هر روش به دست آید. با توجه تعداد افراد و میزان تخصص آنها در تکمیل پرسشنامه‌ها، معیار سنجش استراتژی اکثریت (9)،  $0/5$  در نظر گرفته شد. در نهایت شاخص Q برای هر روش با توجه به رابطه ۲۴ به دست آمد. رتبه‌بندی روش‌های استخراج بر مبنای هر سه شاخص در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- رتبه‌بندی روش‌های استخراج بر اساس پارامترهای نوزده‌گانه

S	R	Q
تخریب در طبقات فرعی	استخراج از طبقات فرعی	استخراج از طبقات فرعی
کندن و پرکردن	تخریب در طبقات فرعی	تخریب در طبقات فرعی
VCR	کندن و پرکردن	کندن و پرکردن
استخراج از طبقات فرعی	VCR	VCR
برش از بالا به پایین	برش از بالا به پایین	برش از بالا به پایین
تخریب بلوکی	تخریب بلوکی	تخریب بلوکی
کارگاه و پایه	کارگاه و پایه	کارگاه و پایه
جبهه کار طولانی	جبهه کار طولانی	جبهه کار طولانی
کرسی چینی	کرسی چینی	کرسی چینی
اتاق و پایه	اتاق و پایه	اتاق و پایه
استخراج انباره‌ای	استخراج انباره‌ای	استخراج انباره‌ای

#### ۴- بحث و بررسی

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، روش‌های استخراج در نظر گرفته شده در معدن گل‌گهر، بر اساس سه شاخص S، R و Q رتبه‌بندی شده‌اند. بعد از بررسی محاسبات، مشخص شد که نتایج به دست آمده در رتبه‌بندی Q، شروط لازم برای تایید نهایی را دارند. با توجه به نتایج به دست آمده از مجموع نظرات ۴۰ متخصصی که ۱۹ پارامتر اصلی در طراحی استخراج زیرزمینی و همچنین خصوصیات ماده معدنی در کانسار شماره سه معدن گل‌گهر را در نظر گرفتند، دوروش اول را می‌توان به عنوان بهترین روش‌های استخراج کانسار مورد بررسی، پیشنهاد کرد. نظر به نیاز مبرم معدن به تغییر روش استخراج روباز به زیرزمینی، مناسب‌ترین روش برای استخراج این کانسار، روش استخراج از طبقات فرعی است. با توجه به عدم احراز شروط روابط ۲۵ و ۲۶، روش تخریب در طبقات فرعی، روش مناسبی برای جایگزینی روش استخراج از

طبقات فرعی نمی‌باشد. اما از نتایج ارائه شده در جدول بالا، می‌توان نتیجه گرفت روش‌هایی مانند اتاق و پایه و جبهه کار طولانی که برای انجام عملیات استخراج نیاز به کانساری با شیب کم و ضخامت تقریباً یکنواخت دارند، قابلیت اجرا در این معدن را ندارند. روش کرسی چینی نیز به علت هزینه‌های عملیاتی بسیار بالا، گزینه مناسبی نیست. روش استخراج انباره‌ای، هم با توجه به شیب کم کانسار که از  $50^\circ$  درجه بسیار کمتر است، قابل اجرا نمی‌باشد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

انتخاب روش مطلوب و بهینه معدنکاری، مسئله‌ای استراتژیک و بسیار مهم است زیرا که نیازمند بررسی عوامل متعددی از لحاظ فنی، اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و تاریخی است. از آنجا که روش مناسب برای استخراج در یک معدن همیشه ثابت نیست و با تغییر مشخصات کانسار، روش استخراج آن نیز عوض می‌شود، بنابراین اهمیت انتخاب روش استخراج و جایگزین آن، بیش از پیش نمایان می‌شود. همیشه رویکرد ثابت و منحصر به فردی برای معدنکاری وجود ندارد و احتمال به‌کارگیری دو روش استخراج یا بیشتر وجود دارد زیرا که هر روش مشکلات خاص خودش را به دنبال دارد. در نتیجه، روش مطلوب، روشی است که کمترین مشکلات را در زمان عملیات استخراج داشته باشد. روش‌های بسیار متعددی برای انتخاب روش مناسب معدنکاری وجود دارد. استفاده از ماتریس‌ها، کمک گرفتن از نظرات متخصصان و ترکیب آن با مجموعه‌های فازی، روش تصمیم‌گیری چند معیاره، از قابل اعتمادترین روش‌ها هستند زیرا که نتایج منطقی و دقیقی را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. در این تحقیق، به منظور تعیین روش مطلوب و بهینه معدنکاری زیرزمینی در کانسار شماره ۳ معدن گل‌گهر از مجموعه‌های فازی و متغیرهای زبانی فازی و ترکیب آن با روش ویکور استفاده شد. با توجه به نیاز مبرم معدن به تغییر رویکرد استخراج از روش‌های روباز به روش‌های زیرزمینی، مناسب‌ترین روش برای استخراج کانسار مورد نظر، روش استخراج از طبقات فرعی است. روش‌هایی مانند اتاق و پایه، جبهه کار طولانی، کرسی چینی و استخراج انباره‌ای برای استخراج کانسار مورد نظر، توصیه نمی‌شوند.



- [1] Namin, F., Shahriar, K., Karimi, NS. 2003. "Mining method selection in third anomaly of Gol-E-Gohar iron ore deposit [C] ". *International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET Turkey*, April, pp. 29-34.
- [2] Bascetin, A. and Kesimal, A. 1999. "The study of a fuzzy set theory for the selection of an optimum coal transportation system from pit to the power plant". *International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment*, 13, pp. 97-101.
- [3] Mikaeil, R., Naghadehi, MZ., Ataei, M., KhaloKakaie, R. 2009. "A decision support system using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and TOPSIS approaches for selection of the optimum underground mining method". *Archives of Mining Sciences*, 54, pp. 341-368.
- [4] Büyükoçkan, G., & Ruan, D. (۲۰۰۸). "Evaluation of software development projects using a fuzzy multi-criteria decision approach". *Mathematics and Computers in Simulation*, ۷۷, pp. ۴۶۴-۴۷۵.
- [5] Lashgari, A., Yazdani-Chamzini, A., Fouladgar, M. M., Zavadskas, EK., Shafiee, S., Abbate, N. 2012. "Equipment Selection Using Fuzzy Multi Criteria Decision Making Model: Key Study of Gole Gohar Iron Mine". *Engineering Economics*, 23, pp. 125-136.
- [6] Boshkov, S., Wright, F. 1973. "Basic and parametric criteria in the selection, design and development of underground mining systems". *SME mining engineering handbook*, American Institute Of Mining .
- [7] Morrison, R. 1976. "A philosophy of ground control: a bridge between theory and practice". rev. edn Montreal: Dept Mining and Metal Engineering, McGill University.
- [8] Laubscher, D. 1981. "Selection of mass underground mining methods Design and operation of caving and sublevel stoping mines, *SME-AIME*, New York.
- [9] Nicholas, DE. 1981. "Methods Selection-A Numerical Approach. Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Methods", *AIME-SME*, New York, pp. 330-340.
- [10] Hartman, HL. 1987. "introductory mining engineering". First edn. John Wiley, New York.
- [11] Miller-Tait, L., Pakalnis, R., Poulin, R. 1995. "UBC mining method selection Mine Planning and Equipment Selection", *Mine planning and equipment*, pp. 163-168.
- [12] Karadogan, A., Bascetin, A., Kahriman, A., Gorgun, S. 2001. "A new approach in selection of underground mining method". In: *1st International Scientific Conference-SGEM2001*, SGEM Scientific Geo Conference, pp 171-184.
- [13] Bitarafan, M., Ataei, M. 2004. "Mining method selection by multiple criteria decision making tools". *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104, pp. 493-498.
- [14] Bascetin, A., Oztas, O., Kanli, A. 2006. "EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering". *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 106, pp. 63-70.
- [15] Namin, FS., Shahriar, K., Atae-pour, M., Dehghani, H. 2008. "A new model for mining method selection of mineral deposit based on fuzzy decision making". *JS African Inst Mining and Metall*, 108, pp. 385-396.

- [16] Naghadehi, MZ., Mikaeil, R., Ataei, M. 2009. "The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm Bauxite Mine". *Iran Expert Systems with Applications*, 36, pp. 8218-8226.
- [17] Azadeh, A., Osanloo, M. and Ataei, M. 2010. "A new approach to mining method selection based on modifying the Nicholas technique". *Applied Soft Computing*, 10, pp. 1040-1061.
- [18] Ataie, M., Shahsavany, H. and Mikaeil, R. 2013. "Monte Carlo Analytic Hierarchy Process (MAHP) approach to selection of optimum mining method", *International Journal of Mining Science and Technology*, 23(4), pp. 573-578.
- [19] Yari, M., Bagherpour, R., Almasi, N. 2016. "An Approach to the Evaluation and Classification of Dimensional Stone Quarries with an Emphasis on Safety Parameters". *The Mining, Geology and Petroleum Engineering Bulletin*, 31(3), pp. 15-26.
- [20] Zadeh, L. A. 1965. "Fuzzy sets, Information and Control, 8, 338-353.
- [۲۱] عطایی، محمد، "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۸۹.
- [22] Samantra SH., Datta. S, Sankar Mahapatra. S, 2012. "Application of Fuzzy Based VIKOR Approach for Multi-Attribute Group Decision Making (MAGDM) :A Case Study in Supplier Selection", *Decision Making in Manufacturing and Services*, 6(1) , pp. 25-39.
- [23] Jiang, W.Q., Shang, J., 2015 "Multi-criteria group decision making with fuzzy data: an extension of the VIKOR method", *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 26, pp. 764-773.
- [24] Opricovic, S., 2011. "Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning", *Expert Systems with Applications*, 38, pp. 12983-12990.
- [25] Allahviranloo ,T., Saneifard, R., 2012. "Defuzzification method for ranking fuzzy numbers based on center of gravity". *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 9, pp. 57-67.
- [26] Rouhparvar, H., Panahi, A., 2015. "A new definition for defuzzification of generalized fuzzy numbers and its application", *Applied Soft Computing*, 30, pp. 577-584.
- [27] Yager, R.R., 1981. "A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval". *Information Sciences*, 24, pp. 143-161.
- [28] Yager, R.R., Filev, D.P., 2006. "On the issue of defuzzification and selection based on a fuzzy set", *Fuzzy Sets and Systems*, 55, pp. 255-272.
- [29] Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., Tarokh, M.J., 2011. "A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting", *Expert System with Application*, 38, pp.12160-12167.
- [30] Liu, H.C., You, J.X., You, X.Y., Shan, M.M., 2015. "A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method", *Applied Soft Computing*, 28, pp. 579-588.
- [31] Chiang, Z. .۲۰۰۹ "Developing an online financial decision support module based on fuzzy MCDM method and open source tools", *In Information and Financial Engineering*, pp. ۲۲-۲۶.
- [32] Wu, Z., Ahmad, J., Xu, J., 2016. "A group decision making framework based on fuzzy VIKOR approach for machine tool selection with linguistic information", *Applied soft computing*, 42, pp. 314-324.
- [33] Rouhani, A. K., & Hojat, A. 2004. "Determination of Groundwater and Geological Factors Using Geoelectrical Methods to Design a Suitable Drainage System in Gol-e-Gohar iron ore Mine", *Iran. International Mine Water Association Symposium*.