

ارائه مدلی برای انتخاب روش استخراج آنومالی شماره سه گل گهر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

فاطمه اسدی اوریاد^۱، سید رحمان ترابی^۲، مجتبی یاری^۳، راحب باقربور^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، استخراج معدن، تربیت مدرس، f.17.asadiooriad@gmail.com

۲- عضو هیأت علمی دانشکده معدن و نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشجوی دکتری، استخراج معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- عضو هیأت علمی دانشکده معدن دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت ۱۴ بهمن ۱۳۹۰، پذیرش ۱۰ آبان ۱۳۹۲)

چکیده

یکی از مهمترین مراحل در عملیات معدنکاری، انتخاب روش استخراج مناسب برای منبع معدنی است. فرایند انتخاب روش معدنکاری برای استخراج منابع معدنی، Mining Method Selection (MMS) نامیده می‌شود. بعد از انجام فرایند MMS و انتخاب روش معدنکاری معمولاً جایگزینی آن با روش دیگر امکان پذیر نیست، زیرا این کار ممکن است آنقدر هزینه بر باشد که کل پروژه را از لحاظ اقتصادی غیرممکن سازد. بنابراین MMS یک فرایند تقریباً برگشت ناپذیر در طراحی معدن است؛ انتخاب روش معدنکاری وایسته به خصوصیات نامشخص زمین شناسی و هندسی منبع است. هدف از این مقاله ارائه مدلی برای انتخاب روش استخراج در آنومالی شماره سه گل گهر می‌باشد. با توجه به کاستی‌هایی که در مدل‌های پیشین برای انتخاب روش استخراج با در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار وجود دارد، در این مطالعه مدل‌های پیشنهاد شده قبلی اصلاح گردیده و روشی جامع‌تر ارائه شده است. برای این منظور از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره Fuzzy TOPSIS استفاده گردیده است و آنومالی شماره سه گل گهر به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب گردیده است، پس از اجرای مدل، روش معدنکاری روباز به عنوان مناسب‌ترین روش استخراج معرفی گردیده است.

کلمات کلیدی

انتخاب روش استخراج، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، روش تصمیم‌گیری AHP، TOPSIS

۱- مقدمه

انتخاب روش معدنکاری یکی از پراهمیت ترین مراحل در عملیات معدنکاری است، زیرا این انتخاب صحیح روش معدنکاری از نقطه نظرات اقتصادی، تکنیکی و ایمنی بسیار حائز اهمیت می باشد. با توجه به پیچیدگی هایی که در مشخصه های زمین شناسی و ژئومتری منابع معدنی وجود دارد، نمی توان یک روش استخراج را برای همه منابع معدنی به کار برد، بنابراین با در نظر گرفتن این پیچیدگی ها، برای یک منبع خاص باید از روشی مناسب استفاده نمود. تاکنون مدل های زیادی برای انتخاب روش استخراج ارائه گردیده اند، اما تمامی آنها کاستی هایی داشته و هیچکدام یک مدل جامع برای انتخاب روش استخراج ارائه نداده اند.

اولین روش کمی برای تعیین روش استخراج در سال ۱۹۸۱ توسط نیکلاس ارائه گردید، این روش برای پروژه هایی مناسب بود که ذخیره معدنی کانی توسط حفاری اکتشافی مشخص شده است ولی آماده سازی زیرزمینی یا انجام نشده و یا کم صورت گرفته است [۱].

روش نیکلاس با اینکه اشکالات اساسی داشته و تقریباً همه محققین هم در پژوهش های خود به این اشکالات اشاره داشته اند؛ همچنان اساس کار بسیاری از این محققان می باشد و ایشان مدل پیشنهادی خود را بر آن مبنا طرح ریزی مینمایند.

میلیر و همکارانش در سال ۱۹۹۵، برای اصلاح روش نیکلاس، روش^۱ UBC را ارائه دادند. آنها با توجه معایب و کاستی های روش نیکلاس، همه مشخصات و امتیازهای این روش را بر اساس عملیات تجربی معدنکاری در کانادا اصلاح کردند. دامنه بین امتیازهای ماکزیمم و مینیمم در این روش گسترش داده شد [۲]. در روش UBC به روش های کارگاهی مورد استفاده در معدن کانادا نسبت به سایر روش ها توجه خاصی شده است، بنابراین UBC روش جامعی به نظر نمی رسد [۳]. از دیگر محدودیت های این روش آن است که اهمیت پارامترها را در نظر نگرفته و در مورد شرایط مرزی ابهام وجود دارد.

Guaray و همکارانش در سال ۲۰۰۳، روشی ترکیبی بر اساس سیستم های خبره و دانش پایه ارائه دادند که برای روش های معدنکاری زیرزمینی قابل استفاده بود [۴]. افرادی مانند Alpaya و Yavuz و Almedia و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۳، در این باره تحقیقاتی انجام داده و نتایج و مدل هایی ارائه دادند که همانند سایر مدل های پیشین کاستی هایی داشتند، و مدلی جامع و قابل کاربرد برای تمامی منابع معدنی نبودند، بعضی از آنها نیز تنها برای گروه خاصی از روش های معدنکاری قابل استفاده بودند. همچنین در سال ۲۰۰۳ اصائلو و همکارانش، از AHP معمولی برای آنومالی شماره سه گل گهر استفاده نمودند.

در این مطالعه ۲ مدل سلسله مراتبی شامل بعضی از پارامترهای تکنیکی و اقتصادی (به ترتیب) استفاده شد. این روش از اعداد crisp برای به کارگیری قضاوت ها استفاده کرد. به علاوه چون روش محدود به معدن مزبور بود پارامترهای انتخاب شده برای تعمیم مدل به سایر معادن کافی نبود [۵].

بیطرفان و عطایی در سال ۲۰۰۴ از MCDM فازی در مدل پیشنهادی خود برای انتخاب روش، استفاده نمودند روش آنها بر اساس روش Yager بود. در مدل ایشان آنومالی شماره ۳ گل گهر مورد بررسی قرار گرفت، در این بررسی ۱۵ پارامتر را با توجه به هندسه کنسار و کیفیت و مقاومت سنگ در نظر گرفتند. اولویت بندی نهایی روش ها تنها بر اساس ملاحظات عملیاتی - تکنیکی بدون در نظر گرفتن دیدگاه اقتصادی بود [۳]. بنابراین ممکن بود مدل پیشنهادی مقرون به صرفه نباشد.

در سال ۲۰۰۸، نقدهی و عطایی از FAHP استفاده نموده و ۱۳ پارامتر را در نظر گرفتند، از محدودیت های مدل آنها این بود که تنها روش های زیرزمینی را مورد مطالعه قرار داده بودند و این مدل برای معدن بوکسیت جاجرم ارائه گردید و قابلیت تعمیم مدل برای سایر معادن وجود نداشت [۶].

همینطور در سال ۲۰۰۸، صمیمی نسیان و شهریار مدلی جدید برای انتخاب روش معدنکاری کنسارهای معدنی بر اساس روش های تصمیم گیری فازی ارائه دادند که در این مدل از Fuzzy TOPSIS استفاده کردند.

امیرآزاده و عطایی در سال ۲۰۱۰ برای انتخاب روش استخراج روشی بر مبنای اصلاح تکنیک نیکلاس ارائه دادند که در این مدل، تنها از ۵ روش استخراجی استفاده شده است که در این صورت دامنه کاربرد مدل محدود می شود [۷].

در این مطالعه سعی بر آن است که مشکلات مدل هایی که تا کنون ارائه گردیده اند تا حدودی برطرف گردیده و مدلی تا حد امکان جامع برای انتخاب روش استخراج معادن ارائه گردد. در این مدل از روش تصمیم گیری چند معیاره Fuzzy TOPSIS استفاده گردیده است. روش بردار ویژه نیز برای وزن دهی به پارامترها به کار برده شده است. با توجه به اینکه پارامترهای اثرگذار بر انتخاب روش استخراج هم به صورت عددی و هم به صورت غیر عددی می باشند، برای انجام محاسبات باید پارامترهای غیر عددی را فازی نماییم؛ برای این منظور از اعداد فازی مثلثی استفاده شد، در انجام محاسبات، ابتدا همه پارامترهای غیر عددی، فازی و سپس غیرفازی شدند؛ بدین ترتیب در طی انجام مراحل مدل با اعداد سروکار داشتیم. سپس مدل با به کارگیری روش تصمیم گیری چندمعیاره TOPSIS اجرا گردید.

۳- مشخص نمودن راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی

برای گزینه ایده آل مثبت (A^+) و ایده آل منفی (A^-)

تعریف می‌شود:

$$v^+ = \left\{ \left(\max_i v_{ij} | j \in J' \right), \left(\min_i v_{ij} | j \in J' \right) | i = 1, 2, \dots, n \right\}$$

$$= \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\}$$

$$v^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} | j \in J' \right), \left(\max_i v_{ij} | j \in J' \right) | i = 1, 2, \dots, m \right\}$$

$$= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}$$

۴- محاسبه اندازه‌ی جدایی (فاصله)

فاصله گزینه i ام با ایده آل با استفاده از روش اقلیدسی

بدین قرار است :

d_{i+} = فاصله گزینه i ام از ایده آل مثبت =

$$\left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{0.5}; i = 1, 2, \dots, m$$

d_{i-} = فاصله گزینه i ام از ایده آل منفی =

$$\left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{0.5}; i = 1, 2, \dots, m$$

۵- محاسبه نزدیکی نسبی v_i به راه حل ایده آل: این

نزدیکی نسبی را به صورت زیر تعریف می‌کنیم :

$$Cl_{i+} = \frac{d_{i-}}{(d_{i+} + d_{i-})}; 0 \leq Cl_{i+} \leq 1; i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

ملاحظه می‌شود که چنان چه $v_i = v^+$ گردد آنگاه

$d_{i+} = 0$ بوده و خواهیم داشت: $Cl_{i+} = 1$ و در صورتی که

$v_i = v^-$ شود آنگاه $d_{i-} = 0$ بوده و $Cl_{i+} = 0$ می‌شود. بنابراین

هر اندازه گزینه‌ی v_i به راه حل ایده آل v^+ نزدیکتر باشد،

ارزش Cl_{i+} به واحد نزدیکتر می‌باشد.

۶- رتبه بندی گزینه‌ها بر اساس ترتیب نزولی Cl_{i+}

می‌توان گزینه‌های موجود از مسأله مفروض را رتبه بندی نمود.

نکات زیر را در این فرایند باید مد نظر قرار داد:

۱- در TOPSIS فرض بر این است که مطلوبیت

برای هر یک از شاخص‌ها به طور یکنواخت افزایشی (یا کاهش) است، که این فرض برای اکثر موارد نیز، فرضی معتبر است.

۲- اطلاعات ورودی به روش TOPSIS شامل بردار

اوزان (W) برای شاخص‌ها می‌باشد و خروجی آن رتبه بندی

گزینه‌هاست.

در نهایت پس از به کار گیری الگوریتم مدل پیشنهادی، گزینه های استخراجی رتبه بندی شده و گزینه با بالاترین رتبه به عنوان مناسب ترین روش استخراج پیشنهاد گردید.

۲- روش تصمیم گیری چندمعیاره - TOPSIS

تصمیم گیری چند شاخصه به تصمیماتی مانند ارزیابی، اولویت گذاری و یا انتخاب از بین گزینه‌های موجود (که گاه باید بین چند شاخص متضاد انجام شود) اطلاق می‌گردد.

در مسائل تصمیم گیری چند شاخصه، تعدادی گزینه^۱ وجود دارد که باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند؛ همین‌طور هر مسئله، چندین شاخص دارد که این شاخص‌ها در ارتباط با هر یک از گزینه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند و تصمیم گیرنده باید آن‌ها را به دقت در مسائل مشخص نماید [۹].

از جمله روش های تصمیم گیری چند معیاره، می توان به روش TOPSIS اشاره نمود. مدل TOPSIS در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون^۱ پیشنهاد گردید [۱۰]. این مدل از جمله بهترین مدل های تصمیم گیری چند شاخصه است و کاربردی وسیع دارد. در این روش نیز m گزینه به وسیله n شاخص، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و هر مسئله را می‌توان به عنوان یک سیستم هندسی^۲ شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت.

در تکنیک TOPSIS باید گزینه انتخابی با راه حل ایده آل مثبت (بهترین راه حل ممکن)، کم ترین فاصله و با ایده آل منفی (بدترین راه حل ممکن)، بیشترین فاصله را داشته باشد [۹].

الگوریتم TOPSIS برای حل مسأله تصمیم گیری دارای شش مرحله به شرح زیر می باشد [۱۱]:

۱- بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم با استفاده از فرمول:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}} \quad (1)$$

۲- ایجاد ماتریس بی مقیاس وزین با مفروض بودن بردار

W ، که از نظرات خبرگان به دست می‌آید به عنوان ورودی الگوریتم. یعنی :

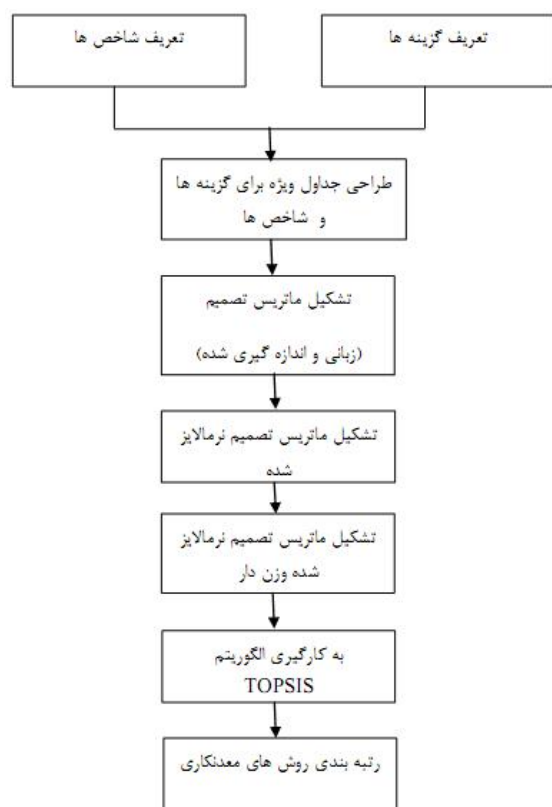
$$N_D \cdot W_{n \times n} = \text{ماتریس بی مقیاس وزین} \quad (2)$$

به طوری که N_D ماتریسی است که امتیازات شاخص‌ها

در آن بی مقیاس و قابل مقایسه شده است، و $W_{n \times n}$ ماتریسی

است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر می‌باشد (وزن

نسبی شاخص‌ها نسبت به بر روی قطر اصلی قرار دارد).



شکل ۱- فلوجارت مدل پیشنهادی برای انتخاب روش استخراج معادن با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره

۴- مورد مطالعاتی: آنومالی شماره سه معدن سنگ آهن گل گهر

۴-۱- موقعیت جغرافیایی آنومالی شماره سه معدن سنگ آهن گل گهر

معدن سنگ آهن گل گهر که یکی از ذخایر عمده سنگ آهن ایران است، در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب سیرجان در استان کرمان واقع شده است. آنومالی شماره سه این ناحیه دو کیلومتری غرب معدن شماره ۱ که در حال استخراج می باشد، قرار دارد. طول جغرافیایی توده " ۱۷° ۵۵ و عرض جغرافیایی توده " ۶° ۲۹ می باشد.

ناحیه معدنی گل گهر در لبه شمال شرقی زون سنندج - سیرجان قرار گرفته است. مشخصات آنومالی شماره سه معدن سنگ آهن گل گهر در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات آنومالی شماره سه معدن سنگ آهن گل گهر [۸]

توضیحات	شاخص	
لایه ای	شکل کانسار	ماده معدنی

۳- برای محاسبه فاصله گزینه v_i از ایده آل ها می توان از فواصل بلوکی استفاده نمود به طوری که برای فاصله مثلاً بین دو گزینه v_k و v_i :

$$d_{ik} = \sum_{j=1}^n |v_{ij} - v_{kj}|; i, k = 1, 2, \dots, m; i \neq k$$

با استفاده از فواصل بلوکی می توان نشان داد که:

$$d_{i+} + d_{i-} = k; i = 1, 2, \dots, m$$

به طوری که K یک ثابت مثبت و معلوم است. این رابطه نشان می دهد که گزینه ای که کوتاه ترین فاصله را از ایده آل منفی دارد دارای بیشترین فاصله از ایده آل مثبت می باشد.

۳- مدل پیشنهادی برای انتخاب روش استخراج

در تمامی مدل های ارائه شده قبلی، مدل نیکلاس، با وجود اشکالات و محدودیت هایی که دارد، به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است. و نیز تعداد شاخص ها و گزینه ها در مدل های قبلی محدود می باشند.

در این مطالعه، جداولی طراحی گردید که روش های مختلف استخراج را با در نظر گرفتن عوامل و پارامترهای مختلف امتیازبندی می کرد.

شاخص های اثر گذار بر انتخاب روش استخراج به دو دسته تقسیم می شوند:

شاخص هایی که تابعی از روش استخراج هستند.

۱. شاخص هایی که روش استخراج تابعی از آنهاست.

شاخص های گروه دوم که در جداول UBC مد نظر قرار نگرفته اند نیز در این مدل وارد گردیده اند. در جداول UBC، تعداد شاخص ها و روش های استخراج در نظر گرفته شده محدود می باشند و توجه خاصی به روش های کارگاهی شده است، لذا در جداولی که تنظیم گردید، تعداد شاخص ها و گزینه ها بیشتر شدند.

در این مدل از چهارده روش استخراج به عنوان گزینه های ورودی مدل استفاده گردیده که این روش ها با توجه به مطالعاتی که صورت گرفت و با توجه به کاربرد و اهمیت و سهولت استخراج و سایر معیارها انتخاب گردیده اند. تعداد بیست و چهار شاخص اثر گذار بر انتخاب روش استخراج با توجه به مطالعات انجام شده به عنوان شاخص های ورودی به مدل در نظر گرفته شدند؛ در وزن دهی به شاخص های به کار گرفته شده از روش بردار ویژه استفاده شده و بعد از فازی و غیر فازی سازی شاخص ها، از روش تصمیم گیری چند معیاره Fuzzy TOPSIS برای انجام تصمیم گیری و رتبه بندی روش های استخراج معادن استفاده می گردد. فلوجارت مدل پیشنهادی مطابق شکل ۱ می باشد.

ادامه جدول ۲- داده های ورودی به مدل پیشنهاد شده

Attribute Name	Ore dip	Ore thickness	Depth
Attribute Data Type	Linguistic	Linguistic	Linguistic
Attribute Weight	1	1	1
Open-pit mining	7	8.67	1.33
Block caving	5	7	7
Sublevel stoping	3	8.67	8.67
Sublevel caving	3	8.67	5
Long wall mining	1.33	0.33	5
Room & pillar	1.33	0.33	7
Shrinkage stoping	1.33	0.33	7
Cut & fill	7	3	7
Top slicing	5	5	3
Squire set mining	7	1.33	3
VCR	1.33	0.33	8.67
Stull stoping	1.33	0.33	8.67
Short wall mining	1.33	0.33	8.67
Shield mining	8.67	0.33	5

به طور متوسط ۴۰ متر ۲۰ درجه تدریجی ۹۵ تا ۶۰۰ متر ٪۷۵ ۸/۹ خوب (۶۰-۸۰) ۶۴۳ میلیون تن پوشده (مقاومت کم)	ضخامت شیب توزیع عیار عمق RQD RSS RMR میزان ذخیره وضعیت درزه ها	
٪۳۸ ۶ خوب (۶۰-۸۰) تمیز با سطحی صاف	RQD RSS RMR وضعیت درزه ها	کمربالا
٪۱۵ ۶/۵ خوب (۶۰-۸۰) تمیز با سطحی دنداندار	RQD RSS RMR وضعیت درزه ها	کمرباين

۲-۴- مراحل حل مسأله انتخاب روش استخراج با استفاده از مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی طبق فلوچارت ارائه شده در شکل ۱، برای اطلاعات آنومالی شماره سه گل گهر به کار گرفته شد و مراحل به ترتیب فلوچارت انجام گردید و در نهایت و با به کارگیری الگوریتم TOPSIS، گزینه های استخراجی رتبه بندی گردید. داده های ورودی به مدل طبق جدول شماره ۲ می باشند.

ادامه جدول ۲- داده های ورودی به مدل پیشنهاد شده

Attribute Name	Hangwall RMR	Ore RMR	Footwall RMR
Attribute Data Type	Linguistic	Linguistic	Linguistic
Attribute Weight	1	1	1
Open-pit mining	8.67	7	8.67
Block caving	5	1.33	5
Sublevel stoping	8.67	8.67	7
Sublevel caving	5	3	7
Long wall mining	7	5	8.67
Room & pillar	9.67	9.67	7
Shrinkage stoping	8.67	7	7
Cut & fill	7	7	5
Top slicing	7	3	5
Squire set mining	1.33	1.33	1.33
VCR	8.67	7	7
Stull stoping	7	7	7
Short wall mining	7	5	8.67
Shield mining	0.33	8.67	5

جدول ۲- داده های ورودی به مدل پیشنهاد شده

Attribute Name	Deposit shape	Grade distribution
Attribute Data Type	Linguistic	Linguistic
Attribute Weight	1	1
Open-pit mining	5	7
Block caving	5	5
Sublevel stoping	8.67	8.67
Sublevel caving	8.67	5
Long wall mining	8.67	3
Room & pillar	8.67	5
Shrinkage stoping	8.67	5
Cut & fill	8.67	7
Top slicing	5	3
Squire set mining	3	3
VCR	8.67	7
Stull stoping	8.67	5
Short wall mining	8.67	3
Shield mining	8.67	5

ادامه جدول ۲- داده های ورودی به مدل پیشنهاد شده

Attribute Name	Hangwall RSS	Ore RSS	Footwall RSS
Attribute Data Type	Linguistic	Linguistic	Linguistic
Attribute Weight	1	1	1
Open-pit mining	7	7	7
Block caving	7	5	7
Sublevel stoping	3	5	3

Top slicing	1.33	0.33	1.33
Square set mining	1.33	8.67	8.67
VCR	5	0.33	5
Stull stoping	1.33	8.67	8.67
Short wall mining	7	1.33	5
Shield mining	5	3	1.33

Sublevel caving	7	7	5
Long wall mining	9.67	9.67	5
Room & pillar	1.33	1.33	3
Shrinkage stoping	3	3	5
Cut & fill	9.67	3	7
Top slicing	5	5	5
Square set mining	5	7	5
VCR	3	3	5
Stull stoping	5	3	5
Short wall mining	9.67	9.67	5
Shield mining	7	7	5

ادامه جدول ۲- داده های ورودی به مدل پیشنهاد شده

Attribute Name	Development rate	Mechanization	safety	Capital costs
Attribute Data Type	Linguistic	Linguistic	Linguistic	Linguistic
Attribute Weight	1	1	1	1
Open-pit mining	8.67	7	8.67	8.67
Block caving	1.33	1.33	7	8.67
Sublevel stoping	5	8.67	7	5
Sublevel caving	5	8.67	7	5
Long wall mining	5	9.67	7	8.67
Room & pillar	8.67	9.67	7	8.67
Shrinkage stoping	8.67	1.33	8.67	1.33
Cut & fill	5	8.67	5	5
Top slicing	1.33	0.33	8.67	8.67
Square set mining	1.33	0.33	1.33	1.33
VCR	1.33	5	8.67	3
Stull stoping	8.67	1.33	5	1.33
Short wall mining	5	9.67	8.67	7
Shield mining	1.33	5	8.67	7

ادامه جدول ۲- داده های ورودی به مدل پیشنهاد شده

Attribute Name	Recovery	Skilled man power	Production per man shift
Attribute Data Type	Linguistic	Linguistic	Linguistic
Attribute Weight	1	1	1
Open-pit mining	9.67	9.67	9.67
Block caving	8.67	0.33	8.67
Sublevel stoping	7	7	8.67
Sublevel caving	8.67	3	5
Long wall mining	8.67	5	8.67
Room & pillar	5	7	7
Shrinkage stoping	8.67	7	1.33
Cut & fill	9.67	5	5
Top slicing	9.67	5	5
Square set mining	9.67	0.33	1.33
VCR	8.67	7	1.33
Stull stoping	8.67	0.33	1.33
Short wall mining	7	5	8.67
Shield mining	8.67	1.33	5

ادامه جدول ۲- داده های ورودی به مدل پیشنهاد شده

Attribute Name	Operating costs	subsidence	Blending
Attribute Data Type	Linguistic	Linguistic	Linguistic
Attribute Weight	1	1	1
Open-pit mining	10	0.33	5
Block caving	10	8.67	1.33
Sublevel stoping	20	1.33	7
Sublevel caving	15	8.67	7
Long wall mining	15	1.33	1.33
Room & pillar	20	1.33	7
Shrinkage stoping	45	1.33	1.33
Cut & fill	55	1.33	1.33
Top slicing	25	8.67	1.33

ادامه جدول ۲- داده های ورودی به مدل پیشنهاد شده

Attribute Name	Production rate	Selective mining	Flexibility
Attribute Data Type	Linguistic	Linguistic	Linguistic
Attribute Weight	1	1	1
Open-pit mining	8.67	1.33	5
Block caving	8.67	1.33	1.33
Sublevel stoping	8.67	1.33	1.33
Sublevel caving	8.67	1.33	5
Long wall mining	8.67	1.33	1.33
Room & pillar	8.67	1.33	5
Shrinkage stoping	5	3	5
Cut & fill	5	8.67	5

- making tools", The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 493-498.
- [4] C. Guray, C. Nes'e, V. Atalaya, H.E. Gunhan Pasam, A. Metoglu, (2003), "Ore-age: a hybrid system for assisting and teaching MMS", Expert Systems with Applications 24, 261-271
- [5] M. Osanloo, M. Ataei, M. Heidari, (2003), "Selection of mining method for anomaly No 3 of Gol-Gohar iron mine of Iran", Mine Planning and Equipment Selection 105-108.
- [6] M.Z. Naghadehi, R. Mikaeil, M. Ataei, (2008), "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, doi:10.1016/j.eswa.2008.10.006.
- [7] Amir Azade, M. Osanloo, M. Ataei, (2010), "A new approach to mining method selection based on modifying the Nicholas technique", Applied Soft Computing 10, 1040-1061.
- [8] Samimi namian, K. Shahriar, M. Ataei-pour, H. Dehghani, (2008), "A new model for mining method selection of mineral deposit based on fuzzy decision making", The journal of the southern african institute of mining and metallurgy, 385-395.
- [9] اصغرپور، م. "تصمیم گیری گروهی و نظریه بازی‌ها با نگرش تحقیق در عملیات"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۲.
- [10] مؤمنی، م.، ۱۳۸۵، "مباحث نوین تحقیق در عملیات"، انتشارات دانشکده.
- [11] رجب زاده، ع.، ۱۳۸۱، "تصمیم گیری کاربردی"، انتشارات نگاه دانش.
- [12] گزارشات اکتشافی گروه زمین شناسی معدن گل گهر.

Square set mining	100	1.33	0.33
VCR	40	1.33	1.33
Stull stoping	70	5	1.33
Short wall mining	40	1.33	1.33
Shield mining	30	5	0.33

نتایج رتبه بندی گزینه های استخراج مطابق جدول ۳ می باشد. طبق این جدول روش معدنکاری روباز بیشترین رتبه را دارا می باشد.

جدول ۳- نتایج رتبه بندی با استفاده از مدل پیشنهادی

Open-pit mining	0.737511033
Sublevel stoping	0.660919779
Sublevel caving	0.648447333
Block caving	0.628622498
Top slicing	0.503631497
Cut & fill	0.492376126
Shield mining	0.417273256
Square set mining	0.393503293
Shrinkage stoping	0.274953436
VCR	0.267512691
Stull stoping	0.262896756
Long wall mining	0.236451523
Room & pillar	0.235689734
Short wall mining	0.222922846

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه سعی شد که مشکلات مربوط به مدل های قبلی رفع گردیده و مدلی جامع تر نسبت به آن مدل ها ارائه گردد. در این مدل نظر خبرگان با روش بردار ویژه در فرآیند وزن دهی به شاخص های اثرگذار بر انتخاب روش استخراج وارد شد و با طراحی جداول ویژه و به کار گیری روش تصمیم گیری چندمعیاره Fuzzy TOPSIS و رتبه بندی انجام شده نهایی، روش معدنکاری روباز، به عنوان مناسب ترین روش استخراج برای آنومالی شماره سه معدن سنگ آهن گل گهر پیشنهاد گردید.

مراجع

- [1] Nicholas D.E. (1981), "Method Selection- A Numerical approach, Design and operation of Caving and sublevel stoping mines", chapt. 4, D, Stewart, ed. , SME-AIME, New York pp. 39-53.
- [2] L.Miller – Tait, R. Pakalnis, R. Poulin, (1995), "UBC mining method selection", mine planning and Equipment selection 163-168.
- [3] M.R. Bitarafan, M. Ataei, (2004), "Mining method selection by multiple criteria decision

1- University of British Colombia
2- Hwang & Yoon
3- Geometric system