پنجمین کنفرانس سیستمهای فازی ایران
هفدهم الی نوزدهم شهریورماه ۱۳۸۳

انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی براساس مدل تصمیم گیری چند شاخصه فازی

فرهاد صمیمی‌نمین[۱]، کورش شهریار[۲]، سعید کریمی‌نسب[۳]

چکیده

روشهائی که در گذشته برای انتخاب روش استخراج ارائه گردید ، بیشتر روشهای عددی بر مبنای امتیاز دهی به پارامترهائی است که بیان کنندهٔ شرایط ذخیره معدنی می‌باشد . در این روشها مسئله ابهام و تأثیر پارامترها به صورت همزمان با هم در پروسهٔ تصمیم‌گیری نادیده گرفته شده است. تئوری مجموعه‌های فازی ارائه شده توسط پروفسور لطفی‌زاده (سال۱۹۶۵) مسائل تصمیم‌گیری در شرایط مبهم را به آسانی پاسخگو است. در این مقاله سعی می‌شود، مسئله انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی بر پایه تصمیم‌گیری فازی بررسی گردیده و راهکار جدیدی برای آن ارائه گردد که مشکلات و نواقص روشهای گذشته را نداشته باشد. تصمیم گیری چند شاخصه فازی شاخه ای از علم ریاضیات فازی است که توسط آقای یاگر در سال ۱۹۸۱ توسعه داده شد. در این نوع تصمیم گیری، انتخاب بهترین آلترناتیو به صورت تقاطعی از پارامترهای موثر به صورت (و- یا) بر اساس قانون بیشینه- کمینه انجام می گیرد. در پایان، مطالعه موردی در معدن زغال سنگ چشمه پودنه استان کرمان واقع در محدوده حاشیه ای معادن پابدانا انجام گرفت و کارایی مدل، بررسی گردید.

مقدمه

وظیفه اصلی در بهره برداری معدن، انتخاب روشی است که بیشترین و بهترین انطباق را با مشخصات ذخیره داشته و با رعایت مسائل فنی و اقتصادی بیشترین سود را بدست دهد. عوامل زیادی در این انتخاب موثر هستند که از آن جمله می توان به خواص ژئومتری و ژئومکانیکی کانسار اشاره کرد. متدهای متفاوتی برای انتخاب روش استخراج وجود داردکه به دو گروه عددی و تحلیلی تقسیم بندی می شوند. در متدهای تحلیلی از مدلهای تصمیم گیری مدیریتی استفاده میشود. مدل تصمیم گیری چند شاخصه فازی (Fuzzy Multi Attribute Decision Making) در سال ۱۹۸۱ توسط آقای یاگر توسعه داده شده است. اساس این متد تصمیم گیری، ریاضیات فازی می باشد. در انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی می توان از این مدل به خوبی سود برد.

تئوری مدل

انتخاب روش استخراج معادن در واقع نوعی تصمیم‌گیری است، که بسیاری از پارامترهای مؤثر در آن با هم مرتبط هستند و تغییرات آنها بر روی هم تاثیر می‌گذارد و گاهی تغییرات برخی از پارامترها تاثیر معکوس بر روی پارامترهای دیگر

۱- دانشجوی کارشناس ارشد استخراج معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار دانشکده معدن و متالوژی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
۳- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

دارد. تصمیم‌گیری در اصل انتخاب بهترین آلترناتیو از میان مجموعه آلترناتیوهای یک هدف مشخص با توجه پارامترهایی است که می‌تواند در رسیدن به هدف تاثیر گذار باشد. روشهای متفاوتی برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب پروژه‌ها وجود دارد. در این مقاله روش یاگر که کاربرد یکی از خواص چندگانه تصمیم‌گیری فازی است بررسی می‌شود . این روش بر پایه عملیات تجزیه مرحله‌ای همزمان شاخص ها می‌باشد. عملیات تجزیه مرحله‌ای برای اولین بار توسط ساتی در سال ۱۹۷۸ ارائه گردید.
برای مثال فرض می شود، مجموعه آلترناتیوهای انتخاب به صورت $A=\{A_1, A_2, A_3\}$ باشد و مجموعه پارامترهای مؤثر در انتخاب به صورت $P=\{G, C_1, C_2\}$ تعریف شده باشد و همچنین G و C ها به صورت مجموعه‌های فازی از اعضاء A_3, A_2, A_1 طبق رابطه (۱) قابل تعریف باشد. معمولا درجه عضویت این اعضا با قضاوت کارشناسی و به صورت تجربی تعیین می شود. (در تحقیق حاضر بیشتر به امتیاز روشهای عددی توجه قرار گرفته است).

$$
\begin{aligned}
G &= \left[\frac{0\cdot5}{A_1}, \frac{0\cdot8}{A_2}, \frac{0\cdot3}{A_3}\right] \\
C_1 &= \left[\frac{0\cdot7}{A_1}, \frac{0\cdot9}{A_2}, \frac{0\cdot5}{A_3}\right] \\
C_2 &= \left[\frac{0\cdot4}{A_1}, \frac{0\cdot2}{A_2}, \frac{0\cdot9}{A_3}\right]
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

قدم بعدی در این پروسه محاسبهٔ نسبت وزنی پارامترها می‌باشد. در این مرحله درجه اهمیت پارامترها نسبت به یکدیگر به صورت ماتریس مربعی تعریف می‌شود. برای تعریف اعضاء این ماتریس به صورت قراردادی از امتیازات زوج و یا فرد مطابق امتیازات جدول (۱) استفاده می شود.

جدول ۱، امتیاز قراردادی برای تعیین ارتباط پارامترهای مؤثر در پروسه انتخاب [۶]

حالت	امتیاز
اهمیت برابر داشته باشند.	۱
به طور ضعیف اهمیت بیشتر داشته باشد.	۳
به طور متوسط اهمیت بیشتر داشته باشد.	۵
به طور زیاد اهمیت بیشتر داشته باشد.	۷
کاملاً مهمتر باشد.	۹
به‌طورقراردادی‌می‌توان‌ازاعدادزوج استفاده کرد.(ویا حد واسط اعداد بالا)	۸ و۶ و۴

در روشی که توسط یاگر پیشنهاد شد از روش ساتی برای مقایسه دو به دو پارامترهای مؤثر در انتخاب استفاده شده است. مقایسه دو به دو پارامترها ارزیابی اهمیت آنها را تسهیل و اصلاح می‌کند. ساتی روشی را برای بدست آوردن ارزش نسبی پارامترها بسط داد. تصمیم گیرنده برای بدست آوردن اهمیت نسبی پارامترها سوالاتی را برای مقایسه دو به دو آنها انجام می‌دهد. ارزشهای تعیین شده به صورت $wij=\frac{1}{wji}$ می‌باشد. با داشتن ارزشهای نسبی پارامترها ماتریس مربعی مقایسه پارامترها ایجاد می‌شود اعضاء آن در رابطه (۲) صدق می کنند.

$b_{ii}=1$ ،$b_{ij}=w_{ij}$ و $b_{ji}=w_{ji}$ (۲)

اساس روشی که توسط یاگر ارائه شد همان قانون بیشینه ـ کمینه ارائه شده توسط لطفی‌زاده و بلمان است. تصمیم‌گیری مجموعه فازی در این روش تقاطعی از تأثیر پارامترها به صورت (و ـ یا) برای بدست آوردن آلترناتیو بهینه است. طبق نظر یاگر تابع تصمیم گیری را می توان به صورت رابطه (۳) تعریف کرد.

$$\mu_p(A) = \min\{\mu_G Z(A), \mu_{C1}(A), ..., \mu_{CM}(A)\} \qquad A_i \in A \qquad (۳)$$

A^* تصمیم بهینه است به شرط آنکه در رابطه (۴) صدق کند.

$$\mu_D(A^*) = \max_A \mu_D(A) \qquad (۴)$$

در روشی پیشنهادی یاگر مقدار ویژهٔ ماتریس مربعی مقایسه پارامترها در بیان اهمیت ارزیابی توسط تصمیم گیرنده به کار می‌رود. اگر به مثال بیان شده باز گردیم و فرض کنیم، پارامترهای C_1 و C_2 به طور ضعیف اهمیت بیشتری از پارامتر G داشته باشند، با توجه به جدول (۱) ماتریس متقابل مقایسه دو به دو برای مثال فوق طبق ماتریس مندرج در جدول (۲) بدست خواهد آمد.

جدول ۲ـ ماتریس مقایسه دو به دو پارامترهای مثال ذکر شده [۶]

	G	C^1	C^2
G	1	0/3	0/3
C^1	3	1	0/3
C^2	3	1	1

قدم بعدی نرمالیزه کردن این ماتریس و بدست آوردن بردار ویژه آن است، این بردار به صورت بردار بیان شده در رابطه (۵) است.

$$V = \begin{bmatrix} 0 \cdot 299 \\ 0 \cdot 688 \\ 0 \cdot 688 \end{bmatrix} \qquad (۵)$$

این بردار بیان کننده وزن پارامترها و یا به عبارتی نشان دهنده اهمیت تاثیر پارامترها در پروسهٔ انتخاب می‌باشد و از سه روش میانگین حسابی، میانگین هندسی و محاسبه بردار ویژه ماتریس میتوان آنرا بدست آورد. پس از بدست آوردن این بردار انتخاب فوق را می‌توان به صورت روابط (6) بیان شود.

$$\mu_D(A) = \min(G^{0.299}, C_1^{0.688}, C_2^{0.688})$$

$$G = \left[\frac{0\cdot5}{A_1}, \frac{0\cdot8}{A_2}, \frac{0\cdot3}{A_3}\right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{0\cdot79}{A_1}, \frac{0\cdot92}{A_2}, \frac{0\cdot66}{A_3}\right] \qquad (۶)$$

$$C_1 = \left[\frac{0\cdot7}{A_1}, \frac{0\cdot9}{A_2}, \frac{0\cdot5}{A_3}\right]^{\frac{2}{3}} = \left[\frac{0\cdot78}{A_1}, \frac{0\cdot93}{A_2}, \frac{0\cdot63}{A_3}\right]$$

$$C_2 = \left[\frac{0\cdot4}{A_1}, \frac{0\cdot2}{A_2}, \frac{0\cdot9}{A_3}\right]^{\frac{2}{3}} = \left[\frac{0\cdot54}{A_1}, \frac{0\cdot34}{A_2}, \frac{0\cdot93}{A_3}\right]$$

انتخاب بهینه از میان آلترناتیوهای A_1، A_2 و A_3 متناظر با بیشترین درجه عضویت یعنی ۰.۶۳ است که مطابق رابطه (۷) A_3 می‌باشد.

$$\mu_D(A^*) = \frac{0/63}{A_3} \qquad (۷)$$

مطالعه موردی

معدن زغال سنگ چشمه پودنه در منتهی الیه جنوبی معدن پابدانای اصلی در شمال غربی استان کرمان واقع شده است. این کانسار در حقیقت بخشی از زغالسنگ منطقه پابدانا محسوب می گردد. که در حد واسط بین معادن در حال بهره برداری پابدانا و پابدانای جنوبی می باشد. طول محدوده 8/1 کیلومتر و عرض آن 55/0 کیلومتر و مساحتی معادل 99/0 کیلومتر مربع را شامل می شود. ناحیه زغال چشمه پودنه شامل زون d است. زون زغال d از 14لایه و لایچه تشکیل یافته است. منطقه شامل سه لایه اقتصادی زغال d_2، d_4 و d_6 است که لایه d_2 در سرتاسر منطقه بطور پیوسته و ثابت گسترش یافته است. این لایه به علت گستردگی و خاکستر کم و ثابت بودن وضعیت و مشخصات ژئومتری و ژئومکانیکی، هدف اصلی استخراج محسوب می گردد و لایه های d_6 و بخشهایی از d_4 ذخایر ثانویه و اهداف فرعی استخراج به شمار می روند زیرا تغییرات ضخامت و نحوه گسترش و توزیع آنها در مقایسه با لایه d_2 نا مطلوبتر است. از این رو روش استخراج برای لایه d_2 بررسی و انتخاب شده است. ناحیه زغال چشمه پودنه بین دو گسل چشمه پودنه در جنوب و گسل شماره 2-2 در شمال قرار دارد. علاوه بر این گسلهای کوچکتری نیز در درون محدوده معدن وجود دارد. مهمترین مشکل معدن نزدیکی به چشمه ای به نام پودنه است که گسلهای مذکور می توانند باعث جاری شدن آب به داخل کارگاه استخراج شوند ولی با انتخاب روش مناسب استخراج که هدف این تحقیق است، بر این مشکل می توان غلبه کرد. مشخصات این ذخیره زغال سنگ مطابق جدول (۲) است.

جدول ۲ـ مشخصات مؤثر در انتخاب روش استخراج کانسار

شکل کانسار	لایه‌ای
ضخامت کانسار	به طور متوسط 1.2 متر
شیب کانسار	۴۵ تا ۵۰ درجه
عمق کانسار	به طور متوسط ۱۰۰ متر
مقاومت کانسار	نامقاوم
سطح تماس کانسار یا کمرها	نامشخص
مقاومت کمر بالا	کمر بالا تناوبی از ماسه و آرژیلیت بوده و نامقاوم است.
مقاومت کمر پائین	کمر پایین رس و نامقاوم
اثر نشست	محدودیتی ندارد.

انتخاب روش بهینه از میان روشهائی که در جدول شماره (۳) بیان شده است صورت می‌گیرد. این روشها با یک استدلال مهندس با توجه به ضخامت لایه ۱,۲ متر و وضعیت کمرها و سایر شرایط از میان سایر روشهای استخراج زیر زمینی انتخاب شده‌اند. دلیل این گزینش اولیه ساده کردن محاسبات می‌باشد.

جدول ۳ـ آلترناتیوهای مختلف برای تعیین روش استخراج ذخیرهٔ معدنی

آلترناتیوهای انتخاب	
M_1	جبهه کار طولانی تمام مکانیزه(رنده) با تخریب فضای استخراجی
M_2	جبهه کار طولانی مکانیزه (رنده) با پر کردن فضای پشت کارگاه
M_3	جبهه کار طولانی سنتی (قطری) با تخریب فضای استخراجی
M_4	پلکانی معکوس
M_5	روش استخراج ستونی (گزنگی)
M_6	روش استخراج اتاق و پایه

هر یک از این آلترناتیوها مزایای مربوط به خود را دارند. به طوریکه می‌توان گفت:

- ✓ با توجه به شرایط آب زیرزمینی روشهائی که فضای استخراجی پر خواهد شد در اولویت هستند.
- ✓ با توجه به هزینه پرسنلی روش M_1 و M_2 مناسبترین روش استخراج هستند.
- ✓ با توجه به شیب لایه روش M_4 از بقیه روشها مناسبت‌تر است.

پارامترهای مؤثر در انتخاب را که بیان کنندهٔ شرایط کانسار می‌باشد طبق جدول شمارهٔ (۴) نامگذاری شده است.

جدول شماره ۴ ـ نامگذاری پارامترهای مؤثر در انتخاب روش استخراج

پارامترها موثر در تصمیم گیری	
P_1	شیب کانسار
P_2	ضخامت قابل استخراج
P_3	عمق
P_4	میزان تولید
P_5	شرایط آب زیرزمینی
P_6	تجربه فن و دسترسی به پرسنل ماهر
P_7	شرایط ژئومکانیکی کمر پائین
P_8	سرمیه گذاری مورد نیاز
P_9	هزینه ها ی پرسنلی
P_{10}	شرایط ژئومکانیکی کمر بالا
P_{11}	نشت گاز متان
P_{12}	جدایش مرزی کانسار با کمر ها

طبق تئوری بیان شده ابتدا ماتریس مقایسه پارامترها با توجه به جدول ساتی (جدول ۱) مشخص شده و نرمالیزه می شود. نتیجه این مرحله در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵ نرمالیزه شده ماتریس مقایسه پارامترهای موثر در انتخاب روش استخراج

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}
P_1	0/0538	0/05376	0/0538	0/051	0/0647	0/051	0/0862	0/0531	0/051	0/0546	0/0862	0/0862
P_2	0/0538	0/05376	0/0538	0/051	0/0647	0/051	0/0862	0/0531	0/051	0/0546	0/0862	0/0862
P_3	0/0538	0/05376	0/0538	0/051	0/0647	0/051	0/0862	0/0531	0/051	0/0546	0/0862	0/0862
P_4	0/2151	0/21505	0/2151	0/2041	0/1942	0/2041	0/1552	0/2123	0/2041	0/1639	0/1552	0/1552
P_5	0/0269	0/02688	0/0269	0/0327	0/0324	0/0327	0/0517	0/0265	0/0327	0/0273	0/0517	0/0517
P_6	0/2151	0/21505	0/2151	0/2041	0/1942	0/2041	0/1552	0/2123	0/2041	0/1639	0/1552	0/1552
P_7	0/0108	0/01075	0/0108	0/0224	0/0097	0/0224	0/0172	0/0149	0/0224	0/1639	0/0172	0/0172
P_8	0/1075	0/10753	0/1075	0/102	0/1294	0/102	0/1207	0/1062	0/102	0/1093	0/1207	0/1207
P_9	0/2151	0/21505	0/2151	0/2041	0/1942	0/2041	0/1552	0/2123	0/2041	0/1639	0/1552	0/1552
P_{10}	0/0269	0/02688	0/0269	0/0327	0/0324	0/0327	0/0517	0/0265	0/0327	0/0273	0/0517	0/0517
P_{11}	0/0108	0/01075	0/0108	0/0224	0/0097	0/0224	0/0172	0/0149	0/0224	0/0082	0/0172	0/0172
P_{12}	0/0108	0/01075	0/0108	0/0224	0/0097	0/0224	0/0172	0/0149	0/0224	0/0082	0/0172	0/0172

سپس وزن تاثیر هر یک از پارامترها به صورت میانگین هندسی مشخص می شود. نسبت وزنی پارامترهای موثر در انتخاب روش استخراج به صورت برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.

$$V = \begin{vmatrix} 0/0621 \\ 0/0621 \\ 0/0621 \\ 0/194 \\ 0/0346 \\ 0/194 \\ 0/019 \\ 0/1137 \\ 0/194 \\ 0/0346 \\ 0/0148 \\ 0/0148 \end{vmatrix}$$

شکل ۱ـ بردار ویژه مشخص کننده نسبت وزنی هر یک از پارامتررهای موثر در انتخاب

نتایج نهایی این مدل در جدول (۶) ارائه شده است. طبق این جدول مناسبترین روش استخراج از نظر فنی جبهه کار طولانی تمام مکانیزه، استخراج توسط رنده و کنترل زمین با تخریب فضای استخراج شده می باشد.

جدول ۶ـ امتیازات بدست آمده روشهای استخراجی در معدن چشمه پودنه

M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
0/92	0/90	0/87	0/87	0/84	0/84

نتیجه‌گیری

در این مقاله بر پایه منطق فازی و تصمیم‌گیری فازی راهکاری برای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی بسط داده شد که نسبت به متدهای عددی قبلی از جمله متد نیکلاس و روش UBC دارای مزیتهای زیر می‌باشد.

- داشتن مبانی تئوریک قوی بر پایه تئوری مجموعه‌های فازی.
- امکان فرموله کردن مساله و تجدید نظر در آن.
- در نظر گرفتن قضاوتهای کارشناسان مختلف در مورد آلترناتیوها و پارامترهای انتخاب.
- از نظر تعداد آلترناتیوهای مورد بررسی برای انتخاب روش استخراج محدودیتی ندارد.
- از نظر تعداد پارامترهای مؤثر در انتخاب روش استخراج محدودیتی ندارد.
- و از همه مهمتر امکان در نظر گرفتن تاثیر پارامترهای مختلف نسبت به هم در پروسه انتخاب.

این مزایا بیشتر به این دلیل می‌باشد که شیوهٔ ارائه شده بر خلاف شیوه‌های که قبلی که روشهایی بر پایه امتیاز دهی به پارامترها بدون در نظر گرفتن تاثیر آنها نسبت به هم در پروسه انتخاب بودند ، یک شیوه تحلیلی بر پایه منطق فازی است. از مشکلات این روش نسبت به روشهای عددی می توان به پیچیده بودن و زمان بر بودن محاسبات اشاره کرد.

مراجع

[۱] ماشینچی، ماشاءالله ؛مجموعه‌های مشکک ،انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان ، ۱۳۷۹

[۲] صمیمی‌نمین، فرهاد؛ کاربرد منطق فازی در انتخاب روش استخراج، سمینار کارشناسی ارشد ، دانشگاه شهید باهنر کرمان، بخش مهندسی معدن ۱۳۸۱

[۳] طاهری، محمود ؛ آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد ، ۱۳۷۸

[4] Bascetin, A;kesimal, A;1988"The Application of fuzzy Boolean Programming Technique to solving the problems of selection mining" National open pit mining conference, Varna, Bulgaria

[5] Bascetin, A;kesimal, A;1999"Fyzzy Logic Application in mining" Engineering Faculty's Earth sciences Review

[6] Karadogan, A 2001 "A New Approach in selection of underground mining method" Istanbul University mining Engineering Department , 34850, Avcilar- Istanbul.

[7] Yager, R.R;1981A New Methodology for ordinal multi objective Decisions Based on Fuzzy sets"