کاربرد روش های تصمیم گیری چند معیاره در انتخاب ماشین های بارگیری و باربری معدن مس سونگون

عباس آقاجانی بزازی[۱]; مرتضی اصانلو[۲]; حسین سلطان محمدی[۳]

۱- دانشجوی دکتری دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- استاد دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- شرکت مهندسی مشاور کاوشگران

چکیده

یکی از مراحل طراحی معادن روباز انتخاب ماشین آلات است که این انتخاب یک فرآیند پیچیده تصمیم گیری چند معیاری می‌باشد. روش اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل (TOPSIS) یکی از روشهای تصمیم گیری چند معیاره است که گزینه-های مختلف را بر اساس اولویت مرتب می کند.در این مقاله ابتدا معیارهای موثر در فرایند تصمیم گیری انتخاب ماشین آلات معادن روباز معرفی و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن این معیارها محاسبه گردید و سپس با استفاده از روش (TOPSIS) بهترین سیستم بارگیری و باربری معدن مس سونگون انتخاب گردید.هدف اصلی این تحقیق استفاده از داده های کیفی و کمی و همچنین ادغام روش تئوری فازی با TOPSIS می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با استفاده از این روش زمان محاسبات و تصمیم گیری کاهش قابل ملاحظه ای با روشهای موجود دارد.

کلمات کلیدی: ماشینهای بارگیری و باربری- تحلیل سلسله مراتبی – تئوری فازی –تصمیم گیری چند معیاری – روش اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل

Loading-Haulage Equipment Selection in Open Pit Mines Based on Fuzzy-Topsis Method

A.Aghajani Bazzazi, M.Osanloo and H.Soltanmohammadi

Abstract

Equipment selection in mining engineering is one of the most important decisions in open pit design and it is a complex multi-criteria decision problem. Technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) approach is one of the multi criteria decisions making methods and ranking alternative base on their preference. in this paper, analytical hierarchy process is used for attribute weighting and then TOPSIS method is applied to loading- haulage equipment system selection in Sungun copper mine of Iran. The aim of this paper is to extend the TOPSIS method to decision-making problems with fuzzy data. The result of this study show significant reduction of time consumption of calculation and decision compared to existence methods.

Keywords*:* loading-haulage equipment, Analytical Hierarchy Process (AHP), fuzzy theory, multiple attribute decision making (MADM), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

۱- مقدمه

انتخاب ماشین آلات یکی از پارامترهای اصلی طراحی معادن روباز می‌باشد. تعداد و ظرفیت ماشین آلات تاثیر زیادی بر روی هزینه‌های معدنکاری دارد. انتخاب ماشین آلات یکی از تصمیم گیریهای اصلی معادن روباز می‌باشد که بر روی اقتصادی بودن عملیات معدنکاری تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. پروسه انتخاب ماشین آلات معمولاً با شروع مرحله آماده‌سازی آغاز می‌شود. در بیشتر فعالیتهای معدنکاری، هزینه های بارگیری مواد یکی از اجزای اصلی هزینه های عملیاتی معدنکاری را شامل می‌شود و از این رو مساله انتخاب ماشین آلات یکی از چالشهای اساسی مدیران معدن می‌باشد [۲].

پروسه انتخاب ماشین آلات معادن فرآیند کاملاً تعریف شده‌ای نیست و دلیل این امر معیارهای بسیار متنوعی هستند که بر روی این انتخاب تاثیرگذار هستند و همین امر باعث می‌شود این تصمیم گیری یک تصمیم گیری پیچیده و چند معیاره باشد.

مدل‌ها و روش‌های گوناگونی برای انتخاب ماشین آلات ارائه گردیده‌اند که از آن جمله می توان به کاربرد روش سیستم‌های خبره در انتخاب ماشین آلات معادن روباز[۳و۱۰]، استفاده از روش ارزش خالص فعلی برای انتخاب دراگلاین و سیستم‌های بارگیری و باربری [۱۳و۱۷]، استفاده از تحلیل نقطه سر به سری برای بدست آوردن زمان بهینه تعویض ماشین آلات[۶]، روش‌های مبتنی بر کمینه کردن هزینه های باطله برداری و بیشینه کردن تولید[۷]، روشهای تحلیل قابلیت اعتماد دستگاه‌ها برای برنامه ریزی تعمیر و نگهداری و انتخاب ماشین آلات جدید [۱۱]، استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی [۴و۱۶]، استفاده از تصمیم گیری فازی در انتخاب ماشین آلات [۵] و استفاده از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل [۱] اشاره نمود.

بسیاری از ابزارهای تصمیم گیری مورد استفاده در انتخاب ماشین آلات بر اساس داده های عینی و معیارهای کمّی قرار دارند و از معیارهای کیفی در تصمیم گیری‌ها استفاده نکرده اند و بعضی از روشها نیز، بر پایه تنها یک معیار سعی در انتخاب ماشین آلات داشته اند. همچنین بدلیل مشکلاتی که در تهیه و جمع آوری معیارها وجود دارد بایستی عدم قطعیت داده‌ها را در انتخاب مورد ملاحظه قرار داد و بنابراین بایستی از تئوری فازی نیز در تصمیم گیری استفاده نمود. روش‌های تصمیم گیری چند معیاه همچون روش تحلیل سلسله مراتبی و اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده‌آل دو روش بسیار سودمند در مسائل تصمیم گیری هستند که می توانند معیارهای کمّی و کیفی را ارزیابی کنند و گزینه‌های موجود را بر اساس اولویت مرتب نمایند. در این مقاله با تلفیق روشهای تحلیل سلسه مراتبی، اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل و استفاده از تئوری فازی، انتخاب بهینه سیستم بارگیری و باربری معادن روباز شرح داده شده است.

۲- روش تحلیل سلسله مراتبی

روش تحلیل سلسله مراتبی توسط آقای ساعتی[۱۵] پیشنهاد شد و در این روش هدف مساله در بالاترین مرحله قرار می گیرد و در مرحله بعد معیارها و در پایین آن زیر معیارها و در انتها نیز گزینه‌های تصمیم گیری قرار می گیرند. اساس روش تحلیل سلسله مراتبی را مقایسه زوجی بین معیارها تشکیل می دهد که در این تحقیق برای وزن‌دهی معیارها، از این روش استفاده شده است. در روش تحلیل سلسله مراتبی اگر اهمیت یک معیار (i) نسبت به معیار دیگر (j) برابر W_{ij} باشد در آن صورت اهمیت معیار (j) نسبت به معیار (i) برابر W_{ij} /۱ می‌باشد. همچنین اهمیت هر معیار نسبت به همان معیار در ماتریش تصمیم گیری برابر یک می‌باشد. برای وزن‌دهی معیارها ابتدا یک ماتریس n*n تشکیل می‌شود که معیارهای تصمیم گیری سطرها و ستونهای این ماتریس را تشکیل می دهند. قطر اصلی این ماتریس برابر یک می‌باشد و برای مقایسه معیارها با یکدیگر از جدول استفاده می‌شود[۱۵]. یکی از مزایای اصلی روش تحلیل سلسله مراتبی بدست آوردن نرخ ناسازگاری می‌باشد که این نرخ بایستی کمتر از ۰/۱ باشد.

علی رغم آسانی و رواج روش تحلیل سلسله مراتبی در میان افراد تصمیم گرنده، انتقاداتی بر این روش وجود دارد که می‌توان به عدم قابلیت محاسبه عدم قطعیت داده ها و همچنین عدم قطعیت وزن معیارها اشاره نمود. در روش تحلیل سلسه مراتبی قضاوتهای فرد خبره بصورت اعداد قطعی بیان می‌شود ولی در برخی از مقایسات زوجی نمی توان این مقایسه را بصورت یک عدد قطعی بیان نمود. استفاده از تئوری فازی این امکان را به فرد تصمیم گیرنده می‌دهد که علی رغم اطلاعات ناقص،

اطلاعاتی که قابل دسترسی نیستند و بصورت کیفی بیان می شوند و همچنین معیارهایی که قابل سنجش با یکدیگر نیستند بتواند تصمیم گیری را انجام دهد.

جدول۱- امتیاز دهی مقایسات زوجی[۱۵]

بیان کیفی	مقدار عددی
همانند یکدیگر	۱
به مقدار بسیار کمی ارجح تر	۳
کمی ارجح تر	۵
خیلی ارجح تر	۷
فوق العاده ارجح تر	۹
مقادیر حد واسط	۲و۴و۶و۸

۳- روش فازی- اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل

در بیشتر مواقع فرد تصمیم گیرنده نمی‌تواند گزینه‌های مختلف را با درنظر گرفتن معیار مشخصی، بطور دقیق امتیاز دهی کند و بنابراین فرد تصمیم گیرنده می تواند با استفاده از تئوری فازی، این امتیازدهی را بصورت فازی بیان نماید. در این قسمت، روش اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل در محیط فازی بیان می شود. قبل از بیان روش فازی - اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده‌آل در ابتدا اصول و قواعد تئوری فازی بیان می‌شوند[۱۹].

قاعده اول: عدد فازی $\widetilde{a}$ توسط تابع عضویت $\mu_{\widetilde{a}}(x)$ در بازه [۱و۰] قرار می‌گیرد. در این مقاله، اعداد فازی بصورت مثلثی در نظر گرفته شده‌اند. یک عدد فازی مثلثی بصورت (a_1, a_2, a_3) در نظر گرفته می‌شود. تابع فازی مثلثی بصورت زیر تعریف می-شود[۸و۹].

$$\mu_{\widetilde{a}}(x)=\begin{cases}0 & x \le a_1\\ \dfrac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 < x \le a_2\\ \dfrac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 < x \le a_3\\ 0 & x > a_3\end{cases} \qquad (۱)$$

قاعده دوم: اگر $\widetilde{a}=(a_1,a_2,a_3)$ و $\widetilde{b}=(b_1,b_2,b_3)$ دو عدد فازی باشند در اینصورت فاصله بین این دو عدد فازی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$d(\widetilde{a},\widetilde{b})=\sqrt{\frac{1}{3}[(a_1-b_1)^2+(a_2-b_2)^2+(a_3-b_3)^2]} \qquad (۲)$$

همچنین اگر $\widetilde{a}$ و$\widetilde{b}$ و $\widetilde{c}$ سه عدد فازی مثلثی باشند در اینصورت عدد فازی $\widetilde{b}$ به عدد فازی $\widetilde{a}$ نسبت به عدد فازی $\widetilde{c}$ نزدیک‌تر است اگر و فقط اگر شرط زیر برقرار باشد.

$$d(\widetilde{a},\widetilde{b})<d(\widetilde{a},\widetilde{c}) \qquad (۳)$$

همچنین جمع و ضرب دو عدد فازی مثلثی از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\widetilde{a}\times\widetilde{b}=(a_1\times b_1, a_2\times b_2, a_3\times b_3) \quad for\ multiplication \qquad (۴)$$

$$\widetilde{a}+\widetilde{b}=(a_1+b_1, a_2+b_2, a_3+b_3) \quad for\ addition \qquad (۵)$$

شکل ماتریسی مسایل تصمیم گیری چند معیاره فازی بصورت زیر است:

$$\widetilde{D}=\begin{array}{c} \\ A_1\\ A_2\\ A_3\\ \vdots\\ A_m\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccccc} C_1 & C_2 & C_3 & \cdots & C_n\end{array}\\ \begin{bmatrix} \widetilde{x}_{11} & \widetilde{x}_{12} & \widetilde{x}_{13} & \cdots & \widetilde{x}_{1n}\\ \widetilde{x}_{21} & \widetilde{x}_{22} & \widetilde{x}_{23} & \cdots & \widetilde{x}_{2n}\\ \widetilde{x}_{31} & \widetilde{x}_{32} & \widetilde{x}_{33} & \cdots & \widetilde{x}_{3n}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \widetilde{x}_{m1} & x_{m22} & \widetilde{x}_{m3} & \cdots & \widetilde{x}_{mn}\end{bmatrix}\end{array} \qquad (۶)$$

$$\widetilde{W} = [\widetilde{w}_1, \widetilde{w}_2, \widetilde{w}_3, \ldots, \widetilde{w}_n] \quad (۷)$$

در روابط بالا $\widetilde{x}_{ij}$ اهمیت گزینه i ام نسبت به معیار j ام است که بصورت عدد فازی مثلثی بیان می‌شود و همچنین $\widetilde{w}_j$ عدد فازی است که بیانگر وزن معیار j ام است. ماتریس نرمال فازی با $\widetilde{R}$ نشان داده می‌شود و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\widetilde{R} = [r_{ij}]_{m\times n} \quad (۸)$$

ماتریس نرمال فازی وزن‌دهی شده نیز از رابطه ۹حاصل می‌شود :

$$\widetilde{v} = [\widetilde{v}_{ij}] = [\widetilde{w}_j \widetilde{r}_{ij}] \qquad i = 1,2,....,m \quad ; \; j = 1,2,...,n \quad (۹)$$

با توجه به روابطی که در مورد اعداد فازی بیان شد، مراحل روش تصمیم گیری اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل - فازی بصورت زیر می‌باشد[۱۸]:

مرحله اول: در ابتدا بایستی گزینه‌های مورد نظر را با توجه به معیارهای گوناگون امتیاز دهی کرده و همچنین از عبارات کیفی برای وزن‌دهی معیارها استفاده کرده و وزن‌دهی معیارها انجام گیرد.

مرحله دوم : در این مرحله ماتریس نرمال فازی وزن‌دهی شده توسط رابطه ۹ ایجاد می شود.

مرحله سوم: جواب ایده آل منفی (A^-) و جواب ایده ال مثبت(A^+) توسط روابط ۱۰ و ۱۱ بدست آورده می شوند:

$$A^* = (\widetilde{v}_1^*, \widetilde{v}_2^*, \widetilde{v}_3^*, ..., \widetilde{v}_n^*) = \left\{ \max_i \; v_{ij} \middle| \, (i = 1,2,...,m, j = 1,2,...,n) \right\} \quad (۱۰)$$

$$A^- = (\widetilde{v}_1^-, \widetilde{v}_2^-, \widetilde{v}_3^-, ..., \widetilde{v}_n^-) = \left\{ \min_i v_{ij} \middle| \, (i = 1,2,..., m, \; j = 1,2,..., n) \right\} \quad (۱۱)$$

مرحله چهارم: فواصل مورد نظر در این مرحله محاسبه می شوند. فاصله از جواب ایده ال مثبت و منفی از روابط ۱۲ و۱۳ حاصل می شود.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^{n} d(\widetilde{v}_{ij}, \widetilde{v}_j^*), i = 1,2,..., m \quad (۱۲)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^{n} d(\widetilde{v}_{ij}, \widetilde{v}_j^-), i = 1,2,..., m \quad (۱۳)$$

مرحله پنجم: در این مرحله میزان نزدیکی به جواب ایده ال محاسبه می شود:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (۱۴)$$

مرحله ششم: در این مرحله جوابهای بدست آمده از مرحله پنجم به ترتیب از بیشترین مقدار به کمترین مقدار مرتب می شوند. بهترین گزینه، گزینه ای است که بیشترین مقدار را در این مرحله داشته باشد.

تابع عضویت فازی

همانطور که ذکر شد در مرحله اول روش تصمیم گیری اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل – فازی فرد تصمیم گیرنده بایستی گزینه ها را نسبت به معیارها و همچنین معیارها را بایکدیگر مقایسه کرده و امتیاز دهی کند بدین منظور فرد می تواند از واژه های زبانی استفاده کند که در این مقاله برای امتیاز دهی از پنج واژه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد استفاده شده است. بدین منظور و برای تبدیل این واژه های زبانی به اعداد فازی از جدول استفاده می شود[۱۴].

جدول۲- تابع عضویت فازی واژه های زبانی [۱۴]

رتبه	تابع عضویت
خیلی کم	(۰,۰و۰,۱و۰,۲۵)
کم	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)
متوسط	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)
زیاد	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)
خیلی زیاد	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱,۰۰)

۴- کاربرد روش تصمیم گیری اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل – فازی در معدن مس

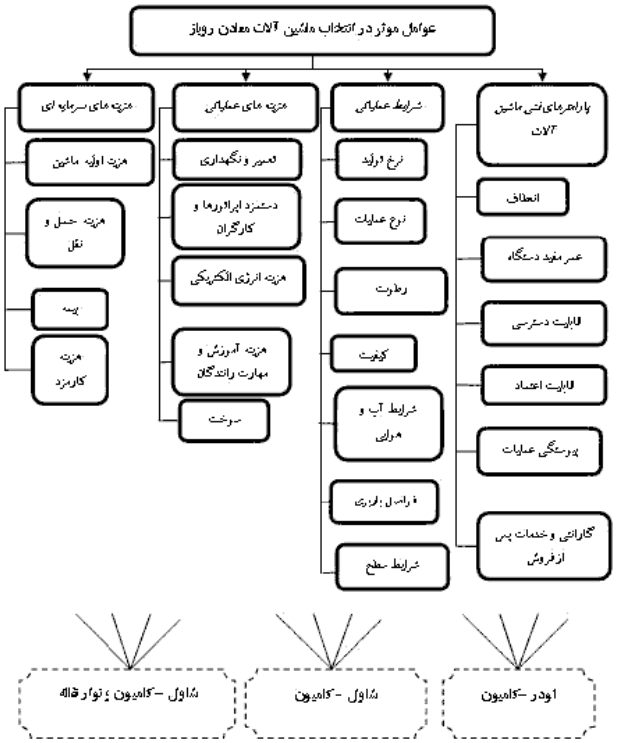
سونگون

معدن مس سونگون

معدن مس سونگون یکی از بزرگترین معادن مس کشور است که در شمالغربی کشور و در ۱۳۰ کیلومتری شمال تبریز واقع شده است. این معدن بصورت روباز استخراج می‌شود و ذخیره معدن ۳۸۴ میلیون تن مس با عیار متوسط ۰,۶۶۵ می‌باشد و مجموع باطله های برداشتی از این معدن ۶۸۰ میلیون تن است (نسبت باطله برداری ۱: ۱,۸)[۱۲]. سه سیستم بارگیری و باربری برای این معدن می توان پیشنهاد داد که این سه سیستم عبارتند از : الف) لودر –کامیون ب) شاول – کامیون ج) شاول کامیون و نوار نقاله .

۵- امتیاز دهی معیارهای موثر در انتخاب روش بارگیری و باربری توسط روش تحلیل سلسله مراتبی

ساختار سلسله مراتبی برای انتخاب سیستم بارگیری و باربری در شکل ۱ نشان داده شده است. در این ساختار هدف انتخاب بهترین سیستم بارگیری و باربری می‌باشد. معیارهای اصلی این تصمیم گیری عبارتند از هزینه های عملیاتی، هزیه های سرمایه ای، شرایط عملیاتی و پارامترهای ماشین آلات. هر یک از این معیارها به زیرمعیارهایی تقسیم می شوند (شکل۱).



شکل۱- مدل تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب سیستم بارگیری- باربری

مراحل تصمیم گیری توسط روش اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل – فازی

در این تصمیم گیری بیست و دو معیار در انتخاب سیستم بارگیری و باربری در نظر گرفته شدند و وزن‌دهی معیارها توسط روش تحلیل سلسله مراتبی صورت پذیرفت. سپس گزینه ها نسبت به معیارها امتیازدهی شدند. بایستی به این نکته اشاره داشت که ۱۳ معیار در این تصمیم گیری معیار هزینه ای بودند و ۹ معیار دیگر معیار سود بودند. برای نرمال کردن امتیازهای گزینه ها نسبت به معیارها از روابط ۱۵ و ۱۶ استفاده می شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{[\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}]} \qquad \textit{the laregr the better type} \qquad (۱۵)$$

$$r_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{[\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}]} \qquad \textit{the smaller the better type} \qquad (۱۶)$$

با استفاده از تابع عضویت فازی، اعداد مطلق بدست آمده به اعداد فازی تبدیل می شوند. در جدول ۳ امتیاز نرمال شده و همچنین وزن مطلق معیارها دیده می شود. همچنین در ماتریس تصمیم گیری فازی نشان داده شده است.

جدول۳- امتیاز نرمال شده و همچنین وزن مطلق معیارها

معیار	وزن معیار	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳	معیار	وزن معیار	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳
هزینه اولیه	۰,۱۶۷	۰,۳۳۳	۰,۲۸۶	۰,۲۷۳	رطوبت	۰,۰۱۹	۰,۶۶۷	۰,۷۱۴	۰,۵۴۵
هزینه کارمزد	۰,۰۱۵	۰,۶۶۷	۰,۷۱۴	۰,۷۲۷	فاصله باربری	۰,۰۶۰	۰,۵۰۰	۰,۸۵۷	۰,۸۱۸
هزینه حمل و نقل	۰,۰۵۲	۰,۳۳۳	۰,۲۸۶	۰,۲۷۳	شرایط آب و هوایی	۰,۰۱۸	۰,۰۰۰	۰,۵۷۱	۰,۶۳۶
بیمه	۰,۰۴۷	۰,۶۶۷	۰,۷۱۴	۰,۷۲۷	شرایط سطح	۰,۰۴۶	۱,۰۰۰	۰,۴۲۹	۰,۱۸۲
تعمیر و نگهداری	۰,۰۹۱	۰,۵۰۰	۰,۵۷۱	۰,۶۳۶	نوع عملیات	۰,۰۱۶	۰,۶۶۷	۰,۲۸۶	۰,۱۸۲
دستمزد اپراتورها	۰,۰۵۱	۰,۵۰۰	۰,۷۱۴	۰,۷۲۷	عمر مفید	۰,۰۱۰	۰,۶۶۷	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰
هزینه انرژی الکتریکی	۰,۰۷۴	۱,۰۰۰	۰,۵۷۱	۰,۳۶۴	انعطاف پذیری	۰,۰۲۸	۰,۸۳۳	۰,۲۸۶	۰,۰۰۰
هزینه آموزش و مهارت	۰,۰۲۹	۰,۸۳۳	۰,۸۵۷	۰,۹۰۹	قابلیت دسترسی	۰,۰۱۰	۰,۶۶۷	۰,۵۷۱	۰,۴۵۵
سوخت	۰,۱۳۱	۰,۱۶۷	۰,۸۵۷	۰,۷۲۷	قابلیت اعتماد	۰,۰۳۶	۰,۵۰۰	۰,۸۵۷	۰,۶۳۶
نرخ تولید	۰,۰۲۶	۰,۵۰۰	۰,۸۵۷	۰,۷۲۷	گارانتی	۰,۰۲۵	۰,۶۶۷	۰,۵۷۱	۰,۴۵۵
کیفیت مواد	۰,۰۲۴	۰,۶۶۷	۰,۰۰۰	۰,۵۴۵	پیوستگی عملیات	۰,۰۱۷	۰,۳۳۳	۰,۴۲۹	۰,۷۲۷

جدول۴- ماتریس تصمیم گیری فازی

معیار	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳	وزن معیار
هزینه اولیه	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)
هزینه کارمزد	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)
هزینه حمل و نقل	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)
بیمه	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)
تعمیر و نگهداری	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)
دستمزد اپراتورها	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)
هزینه انرژی الکتریکی	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)
هزینه آموزش و مهارت	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)
سوخت	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)
نرخ تولید	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)
کیفیت مواد	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)
رطوبت	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)
فاصله باربری	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)
شرایط آب و هوایی	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)
شرایط سطح	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)
نوع عملیات	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)
عمر مفید	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)
انعطاف پذیری	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۰و۰,۱۰و۰,۲۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)
قابلیت دسترسی	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)
قابلیت اعتماد	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۷۵و۰,۹۰و۱)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)
گارانتی	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)
پیوستگی عملیات	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)	(۰,۳۵و۰,۵۰و۰,۶۵)	(۰,۵۵و۰,۷۰و۰,۸۵)	(۰,۱۵و۰,۳۰و۰,۴۵)

همچنین در ماتریس وزن‌دهی فازی دیده می‌شود که از این ماتریس برای محاسبه فاصله از ایده آل مثبت و منفی استفاده می شود.

جدول۵- ماتریس تصمیم گیری وزن‌دهی - فازی

معیار	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳
هزینه اولیه	(۰,۱۱و۰,۲۷و۰,۴۵)	(۰,۱۱و۰,۲۷و۰,۴۵)	(۰,۱۱و۰,۲۷و۰,۴۵)
هزینه کارمزد	(۰,۰۰و۰,۰۷و۰,۲۱)	(۰,۰۰و۰,۰۷و۰,۲۱)	(۰,۰۰و۰,۰۷و۰,۲۱)
هزینه حمل و نقل	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)
بیمه	(۰,۳۰و۰,۴۹و۰,۷۲)	(۰,۳۰و۰,۴۹و۰,۷۲)	(۰,۳۰و۰,۴۹و۰,۷۲)
تعمیر و نگهداری	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)	(۰,۴۱و۰,۶۳و۰,۸۵)
دستمزد اپراتورها	(۰,۱۹و۰,۳۵و۰,۵۵)	(۰,۳۰و۰,۴۹و۰,۷۲)	(۰,۳۰و۰,۴۹و۰,۷۲)
هزینه انرژی الکتریکی	(۰,۶۳و۰,۷۱و۰,۸۵)	(۰,۱۹و۰,۳۵و۰,۵۵)	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)
هزینه آموزش و مهارت	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)
سوخت	(۰,۰و۰,۰۹و۰,۲۵)	(۰,۵۶و۰,۸۱و۱)	(۰,۴۱و۰,۶۳و۰,۸۵)
نرخ تولید	(۰,۱۲و۰,۲۵و۰,۴۲)	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)	(۰,۱۹و۰,۳۵و۰,۵۵)
کیفیت مواد	(۰,۱۹و۰,۳۵و۰,۵۵)	(۰,۰و۰,۰۵و۰,۱۶)	(۰,۱۲و۰,۲۵و۰,۴۲)
رطوبت	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)	(۰,۰۵و۰,۱۵و۰,۲۹)
فاصله باربری	(۰,۱۹و۰,۳۵و۰,۵۵)	(۰,۴۱و۰,۶۳و۰,۸۵)	(۰,۴۱و۰,۶۳و۰,۸۵)
شرایط آب و هوایی	(۰,۰و۰,۰۷و۰,۲۱)	(۰,۰و۰,۰۳و۰,۱۱)	(۰,۰و۰,۰۱و۰,۰۶)
شرایط سطح	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)	(۰,۱۲و۰,۲۵و۰,۴۲)	(۰,۰و۰,۰۵و۰,۱۶)
نوع عملیات	(۰,۰و۰,۰۳و۰,۱۱)	(۰,۰۵و۰,۱۵و۰,۲۹)	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)
عمر مفید	(۰,۰و۰,۰۷و۰,۲۱)	(۰,۰و۰,۰۹و۰,۲۵)	(۰,۰و۰,۰۹و۰,۲۵)
انعطاف پذیری	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)	(۰,۰۵و۰,۱۵و۰,۲۹)	(۰,۰و۰,۰۵و۰,۱۶)
قابلیت دسترسی	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)	(۰,۰۵و۰,۱۵و۰,۲۹)	(۰,۰۵و۰,۱۵و۰,۲۹)
قابلیت اعتماد	(۰,۱۲و۰,۲۵و۰,۴۲)	(۰,۲۶و۰,۴۵و۰,۶۵)	(۰,۱۹و۰,۳۵و۰,۵۵)
گارانتی	(۰,۱۹و۰,۳۵و۰,۵۵)	(۰,۱۲و۰,۲۵و۰,۴۲)	(۰,۱۲و۰,۲۵و۰,۴۲)
پیوستگی عملیات	(۰,۰۲و۰,۰۹و۰,۲۰)	(۰,۰۵و۰,۱۵و۰,۲۹)	(۰,۰۸و۰,۲۱و۰,۳۸)

جواب ایده آل مثبت فازی بصورت $\tilde{v}_j^* = (1,1,1)$ و جواب ایده آل منفی فازی $\tilde{v}_j^- = (0,0,0)$ می‌باشد(مرحله سوم). در مرحله چهارم فاصله از ایده آل مثبت و منفی بایستی محاسبه شود که در این مرحله با ذکر تنها یک مثال این مرحله توضیح داده می شود. در مرحله آخر میزان نزدیکی به جواب ایده آل از رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود (جدول).

$$d_1^* = \sqrt{\frac{1}{3}[(1-0.11)^2 + (1-0.27)^2 + (1-0.45)^2]} + \sqrt{\frac{1}{3}[(1-0)^2 + (1-0.07)^2 + (1-0.21)^2]} + \sqrt{\frac{1}{3}[(1-0.08)^2 + (1-0.21)^2 + (1-0.38)^2]} + \ldots + \sqrt{\frac{1}{3}[(1-0.02)^2 + (1-0.09)^2 + (1-0.20)^2]} = 15.770 \quad (۱۷)$$

$$d_1^* = \sqrt{\frac{1}{3}[(0-0.11)^2 + (0-0.27)^2 + (0-0.45)^2]} + \sqrt{\frac{1}{3}[(0-0)^2 + (0-0.07)^2 + (0-0.21)^2]} + \sqrt{\frac{1}{3}[(0-0.08)^2 + (0-0.21)^2 + (0-0.38)^2]} + \ldots + \sqrt{\frac{1}{3}[(0-0.02)^2 + (0-0.09)^2 + (0-0.20)^2]} = 7.143 \quad (۱۸)$$

از جدول مشاهده می‌گردد که مناسب‌ترین سیستم بارگیری و باربری، سیستم شاول کامیون می باشد و گزینه لودر-کامیون و گزینه شاول- کامیون - نوارنقاله به ترتیب اولویت دوم و سوم را در این تصمیم گیری دارند.

جدول۶- جدول رتبه بندی روش اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل - فازی

گزینه	d_i^+	d_i^-	CC_i	رتبه بندی
لودر - کامیون	۱۵,۷۷۷	۷,۱۴۳	۰,۳۱۱	۲
شاول -کامیون	۱۵,۵۳۳	۷,۴۵۰	۰,۳۲۴	۱
شاول -کامیون و نوار نقاله	۱۵,۹۳۹	۷,۰۵۶	۰,۳۰۶	۳

نتیجه گیری

انتخاب ماشین آلات معدنی یکی از تصمیم گیریهای اساسی معادن روباز است که تاثیر زیادی بر روی طراحی و برنامه ریزی تولید دارد. اکثر روش‌های انتخاب ماشین آلات بر اساس داده های قطعی استوار هستند و در این روشها توجهی به داده‌های با عدم قطعیت و واژه های زبانی نشده است. در این مقاله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، روش اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل و تئوری فازی انتخاب بهینه سیستم بارگیری و باربری معادن روباز صورت پذیرفت. نتایج حاصل از بکارگیری این روش در معدن مس سونگون نشان می دهد که از این روش می توان در سایر معادن روباز نیز بهره گرفت.

مراجع

[1] Aghajani,A & Osanloo,M, 2007. " *Application of AHP-TOPSIS Method for Loading-Haulage Equipment Selection in Open pit Mines*", XXVII international Mining Convention, Mexico.

[2] Aghajani,A. M,Osanloo, M. Akbarpour, 2007." *Optimizing loading system of Gol-e-Gohar iron ore mine of Iran by genetic algorithm* ", Iron ore conference, Australia.

[3] Bandopadhyay & S. Venkatasubramanian, P. 1987. " *Expert systems as decision aid in surface mine equipment selection*". international Journal of Mining, Reclamation and Environment, Vol 1:2, 159–165.

[4] Bascetin, A. 2004." *An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine*". Mining Technology (Trans. inst. Min. Metall. A) ,Vol. 113, A192-A199.

[5] Bascetin, A. Oztas, A. Kanli, A. 2006. "*EQS: computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering*". The Journal of the South African institute of Mining and Metallurgy, Vol 106, 63-70.

[6] Cebesoy, T. 1997." *Surface mining equipment cost analysis with a developed linear break even model*". international Journal of Mining, Reclamation and Environment, Vol 11:2, 53-58.

[7] Celebi N. 1998." *An equipment selection and cost analysis system for open pit coal mines*". international Journal of Mining, Reclamation and Environment, vol 12:4,181-187.

[8] Chan, F & Kumar,N, 2007. "*Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach*", Omega, vol 35:4, 417-431

[9] Cheng CH. 1999. " *Evaluating weapon systems using ranking fuzzy numbers*", Fuzzy Set System, vol 107:25–35.

[10] Denby & B. Schofield, D. 1990. "*Application of expert systems in equipment selection for surface design*". international Journal of Mining, Reclamation and Environment, Vol 4:4, 165–171.

[11] Hall, R. Daneshmand,K. 2003. "*Reliability Modelling of Surface Mining Equipment: Data Gathering and Analysis Methodologies*", international Journal of Mining, Reclamation and Environment, vol 17:3,139-155.

[12] Hoseinie, S.H., Pourrahimian,Y.,and Aghababae,H.,2006,"*Application of rock mass index (RMi) to determine of blasting index (BI) - A case study sungun copper mine – iran*" :MPES ,p.1013-1018.

[13] Hrebar M. J., 1990. "*Preliminary dragline selection for surface coal mining operation*". in Proc. 2nd international conference on mine planning and equipment selection, Canada, 133–43.

[14] Kaufmann, A & Gupta MM.1985. "*introduction to fuzzy arithmetic: theory and applications*". New York, Van Nostrand Reinhold.

[15] Saaty, T.L., Vargas, L.G., 1994, " *Decision making in economic, political, social, and technological environments with the analytic hierarchy process*", Pittsburgh, RWS Publications.

[16] Samanta,B. Sarkar,B. Mukherjee,S.2002." *Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision-making process*". Mining Technology (Trans. inst. Min. Metall. A) ,Vol. 111.A136-A142.

[17] Sevim & H. Sharma, G. 1991. " *Comparative economic analysis of transportation systems in surface coal mines*". international Journal of Mining, Reclamation and Environment, Vol 5:1, 17-23

[18]Yang,T. Chen,M-Ch. Hung, Ch. 2007. "*Multiple attribute decision-making methods for the dynamic operator allocation problem*", Mathematics and Computers in Simulation, Vol 73, pp 285-299.

[19] Zadeh, L.A., 1965. "*Fuzzy sets*". information and Control. Vol 8, 338–353.