

کاربرد مدل های ریاضی در ارزیابی عملیات آتشباری

فرهاد فرزانه*

ایران- دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران
Far_Fzn@yahoo.com

دکتر مسعود منجری

ایران- دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران

دکتر احمد اسدی

ایران- دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران

خلاصه مقاله

آتشباری یکی از مهمترین عملیات معدنکاری می باشد که نتایج حاصل از آن بر روی سایر فعالیت های معدنکاری تأثیر بسزایی می گذارد. در ارزیابی عملیات آتشباری، معیارهایی از قبیل خردایش، لرزش، پرتاب سنگ و ... مورد توجه است. جهت ارزیابی آتشباری، مدل های تحقیق در عملیات، کاربرد دارند. تکنیک تصمیم گیری چند شاخصه و مدل های مربوط به آن، از جمله مدل TOPSIS، در ارزیابی آتشباری و رتبه بندی بین الگوها قابل استفاده هستند. دیگر مدل کمی که در ارزیابی عملکرد سیستم ها و اندازه گیری کارایی کاربرد دارد، مدل تحلیل پوششی داده ها می باشد. در این مقاله ارزیابی عملکرد ۷۸ الگوی آتشباری اجرا شده در معدن سنگ آهن چادرمو، توسط مدل های تجربی و ریاضی انجام شده است. در این شیوه ارزیابی، ابتدا نتایج حاصل از اجرای الگوها از لحاظ کارایی توسط مدل تحلیل پوششی داده ها مقایسه و سپس الگوهای کارا توسط مدل TOPSIS رتبه بندی شدند. در نتیجه این رتبه بندی مشخص شد که استفاده از الگوهای باز، با در نظر گرفتن همه شاخصه های انتخاب شده برای عملیات آتشباری، نتایج بهتری را نسبت به الگوهای بسته ارائه می کنند.

Abstract

Blasting is one of the most important mining operations that its results have a great effect on the other mining operations. Some criteria as fragmentation, vibration, flyrock... etc, are considered in blasting operation assessment. In order to evaluate the blasting, operational research models are applicable. Multi Attribute Decision Making technique and its related methods as TOPSIS are useable in blasting assessment and pattern ranking. The other quantitative method which is applied in systems evaluation and efficiency measurement is Data Envelopment Analysis (DEA) model. In this paper, 78 blast pattern's performance evaluation has been done by empirical and mathematical models. In this assessment technique, initially, the results of blasting were compared based on efficiency by DEA and then the efficient patterns were ranked by TOPSIS. The conclusion of the ranking specified that with concerned to all the chosen blasting operation criteria, using wide patterns will produce better results to compare with close pattern.

کلمات کلیدی: آتشباری، خردایش، پرتاب سنگ، TOPSIS، تحلیل پوششی داده ها

مقدمه

۱- مدل تحلیل پوششی داده ها

هدف از حفاری و آتشیاری، خردایش سنگ به منظور آماده سازی ماده معدنی جهت استخراج و بارگیری می باشد [۱]. خردایش به عنوان مهمترین جنبه آتشیاری، بدلیل تأثیرات مستقیم آن بر روی هزینه های عملیات حفاری، آتشیاری و سایر عملیات معدنکاری از قبیل بارگیری، باربری، و سنگ شکنی، مورد توجه است [۲]. در عملیات آتشیاری پدیده های نامطلوبی از قبیل لرزش زمین و هوا، پرتاب سنگ، عقب زدگی، ایجاد گرد غبار و... مشاهده می شوند [۳]. در یک ارزیابی جامع از عملیات آتشیاری لازم است تمامی این معیارها در نظر گرفته شود. در کتب و مقالات انتشار یافته در زمینه آتشیاری و بهینه سازی این عملیات [۱۰-۲]، اغلب به اصلاح و بهینه سازی یک شاخص (بطور مثال خردایش) پرداخته شده است، در حالیکه بررسی همزمان چند معیار در آتشیاری به طراح کمک می کند تا مناسب ترین الگوی آتشیاری متناسب با وضعیت جبهه کار را انتخاب کند. در آتشیاری لازم است پس از انجام هر انفجار، نتایج حاصله، اندازه گیری و ارزیابی شوند تا از مناسب ترین الگوی اجرا شده با نتایج مطلوب در نوبت های بعدی آتشیاری الگوبرداری شود. این شیوه یک اصل در بهینه سازی عملیات آتشیاری محسوب می شود [۴]. مدل های تجربی ارائه شده جهت ارزیابی هر یک از شاخصه های آتشیاری صرفاً در بررسی تک شاخصه کاربرد دارند. با مدل های تجربی و ابزارهای دقیق اندازه گیری و نرم افزارهای رایانه ای می توان وضعیت شاخصه های آتشیاری را بطور مجزا محاسبه کرد، اما به منظور ارزیابی جامع می بایست از شیوه ای استفاده کرد تا همه این شاخص ها را در کنار هم قرار داده و با توجه به اهمیت هر شاخص و تأثیر آن در عملیات آتشیاری، طراح را در انتخاب بهترین الگو راهنمایی کند. جهت رسیدن به این هدف در این مقاله از مدل های ریاضی تحقیق در عملیات استفاده شده است. تحقیق در عملیات یا علم مدیریت عبارتست از مجموع فنون کمی (ریاضی) که مدیران را در تصمیم گیری کمک می کند [۱۱]. تکنیک های تصمیم گیری هسته اصلی تحقیق در عملیات را تشکیل می دهند که به منظور بهینه سازی مسائل مختلف توسعه پیدا کرده اند. مدل های تصمیم گیری چند شاخصه از جمله زیرشاخه های علم تحقیق در عملیات می باشند که در حل مسائلی با تعداد شاخص های زیاد کاربرد دارند. در مدل های تصمیم گیری چند شاخصه، انتخاب یک گزینه از بین گزینه های موجود مد نظر است. در یک تعریف کلی تصمیم گیری چند شاخصه به تصمیمات خاصی (از نوع ترجیحی) مانند ارزیابی، اولویت گذاری و یا انتخاب از بین گزینه های موجود (که گاه باید بین چند شاخص متضاد انجام شود) اطلاق می شود. در رابطه با تصمیم گیری چند شاخصه، مدل های ریاضی زیادی ارائه شده است. معروفترین این مدل ها عبارتند از: TOPSIS, AHP, SAW, SMART, ELECTRE, ... که در مسائل مختلف تصمیم گیری و رتبه بندی قابل استفاده هستند [۱۱-۱۲]. از دیگر مدل های ریاضی که امروزه کاربرد وسیعی در ارزیابی کارایی سیستم ها پیدا کرده مدل تحلیل پوششی داده ها می باشد. این مدل که از زیر شاخه های مدل های تحقیق در عملیات است، روشی مبتنی بر برنامه ریزی خطی بوده که برای ارزیابی کارایی نسبی واحد های تصمیم گیری (DMU)، که در هر واحد تولیدی دارای وظایف یکسانی هستند، به کار می رود. مدل تحلیل پوششی داده ها بر مبنای دیدگاه نسبت خروجی ها به ورودی های اعمال شده به یک سیستم تولیدی و تعریف کارایی، طراحی شده است و واحد های تحت بررسی را به دو گروه "واحد های کارا" و "واحدهای غیر کارا" تقسیم می کند. [۱۳]. در این مقاله به منظور ارزیابی چند شاخصه عملیات آتشیاری معدن سنگ آهن چادملو و دست یابی به بهترین الگوی اجرا شده، ابتدا از مدل تحلیل پوششی داده ها جهت پیدا کردن کارا ترین الگوهای اجرا شده، استفاده شد و سپس با استفاده از مدل تصمیم گیری چند شاخصه TOPSIS (به عنوان متناسب ترین مدل با نوع مسئله)، رتبه بندی بین الگوهای کارا انجام شد. این رتبه بندی، بهترین الگوی اجرا شده را با توجه به در نظر گرفتن تعدادی از شاخصه های آتشیاری، مشخص کرد.

$$E_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad \text{فرمول شماره ۱:}$$

E_j : کارایی واحد j ام

x_{ij} : میزان ورودی i ام برای واحد j ام ($i=1, 2, \dots, m$)

y_{rj} : میزان خروجی r ام برای واحد j ام ($r=1, 2, \dots, s$)

u_r : وزن داده شده به خروجی r ام

v_i : وزن داده شده به ورودی i ام

با حداکثر کردن کسر فوق مدل CCR بدست می آید:

$$\max Z_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_i} \quad \text{فرمول شماره ۲:}$$

St:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1; (j = 0, 1, 2, \dots, n) \quad \text{برای هر واحد:}$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

یکی از ویژگی های مدل تحلیل پوششی داده ها ساختار بازده به مقیاس آن می باشد. بازده به مقیاس می تواند ثابت یا متغیر باشد. بازده به مقیاس ثابت بدان معناست که افزایش در مقدار ورودی منجر به افزایش خروجی به همان نسبت می شود. در بازده به مقیاس متغیر افزایش خروجی بیشتر یا کمتر از افزایش در ورودی است [۱۳]. مدل CCR از جمله مدل های بازده به مقیاس ثابت است. این مدل زمانی مناسب است که همه واحدها در مقیاس بهینه عمل کنند. بنکر Banker، چارنرز Charnes و کوپر Cooper در سال ۱۹۸۴ مدل جدیدی را، که با توجه به حروف اول نام آنها BCC نام گرفت، برای ارزیابی کارایی واحد هایی با بازده به مقیاس متغیر ابداع کردند. این مدل عبارت است از:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad \text{فرمول شماره ۴:}$$

n_{ij} : مقدار بی مقیاس شده گزینه i از نظر شاخص j

$$\max Z_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_r + w}{\sum_{i=1}^m v_i x_i} \quad \text{فرمول شماره ۳:}$$

St:

برای هر واحد:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + w}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1; (j = 0, 1, 2, \dots, n)$$

w آزاد در علامت

$$u_r, v_i \geq 0$$

گام ۲: بدست آوردن ماتریس بی مقیاس موزون. در این مرحله اوزان شاخص ها (اهمیت هر معیار) را در ماتریس بی مقیاس شده ضرب می کنیم. اوزان هر شاخص یا با نظر تصمیم گیرنده اعمال می شود، یا از تکنیک هایی مانند بردار ویژه (AHP) و روش آنترپی بدست می آید.

گام ۳: تعیین راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی، که به صورت زیر تعریف می شوند:

گزینه ایده آل مثبت $V_j^+ =$ بردار بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس تصمیم V

گزینه ایده آل منفی $V_j^- =$ بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس تصمیم V در مورد معیار های نامطلوب تعاریف فوق معکوس می شود.

گام ۴: بدست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده آل های مثبت و منفی

فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده آل مثبت (d_i^+) و فاصله هر گزینه تا ایده آل منفی (d_i^-) براساس فرمول های زیر محاسبه می شود. فرمول شماره ۵:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

فرمول شماره ۶:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

گام ۵: تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه حل ایده آل فرمول شماره ۷:

$$cli^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

بطور کلی مدل های تحلیل پوششی داده ها به دو گروه ورودی محور و خروجی محور تقسیم می شوند. مدل های ورودی محور، مدل هایی هستند که با ثابت نگه داشتن خروجی ها، ورودی ها را کاهش می دهند و مدل های خروجی محور بصورت معکوس عمل می کنند. نگرش کلی در ارزیابی عملکرد واحد ها آن است که کاهش میزان ورودی و افزایش خروجی موجب بهبود عملکرد و بهترین کارکرد می شود. اما در عمل واحد های تولیدی و سازمانها همواره دنبال حداکثر کردن خروجی و حداقل کردن ورودی ها نیستند. برخی از ورودی ها و خروجی ها می توانند مطلوب یا نامطلوب باشند. در این صورت می بایست عدد کمی مربوط به موارد نامطلوب به صورت معکوس یا کسر شده از یک عدد ثابت (بزرگتر از بزرگترین عدد مربوط به آن ورودی یا خروجی) وارد مدل گردند [۱۴]. در مجموع با توجه به آنکه مدل تحلیل پوششی داده ها توانایی بکارگیری ورودی ها و خروجی ها با مقیاس های متفاوت را دارد و همزمان چند ورودی و خروجی را با هم در نظر می گیرد، به عنوان یک مدل غیر پارامتری جایگاه ویژه ای در بین محققین پیدا کرده و امروزه شاهد کاربرد وسیع آن در صنعت و اقتصاد هستیم.

۲- مدل تصمیم گیری TOPSIS

این مدل توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ارائه شد. این مدل در رتبه بندی بین گزینه ها و راه کارهای موجود در مسائل مختلف کاربرد دارد و از جمله مدل های مطرح تصمیم گیری چند شاخصه می باشد [۱۲]. در این روش m گزینه توسط n شاخص مورد ارزیابی قرار می گیرند. این تکنیک بر این مفهوم بنا شده است، که گزینه های انتخابی باید کمترین فاصله را با راه حل ایده آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد [۱۳]. حل مسئله با این روش مستلزم طی شش گام زیر است [۱۲]:

گام ۱: کمی کردن و بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم. در این مرحله در صورت وجود شاخصه های کیفی، ابتدا این شاخصه ها توسط تکنیک های کمی سازی مانند مقیاس دو قطبی فاصله ای، بصورت اعداد کمی در می آیند و سپس توسط نرم اقلیدسی به ماتریس بی مقیاس تبدیل می شوند.

$$i = 1, 2, \dots, n$$

از معادله رزین-راملر برای مشخص کردن توزیع ابعادی مواد استفاده می شود که پروسه خردایش مواد معدنی نیز بسیار منطبق با این فرمول است [۲]. این معادله به شرح زیر است:

$$R = e^{-(X/X_c)^n}$$

فرمول شماره ۹:

که در آن:

R: قسمتی از مواد باقی مانده بر روی سرنده به ابعاد X (در این مطالعه موردی میزان $X=25$ cm در نظر گرفته شده است).

X: اندازه قطر ذرات خرد شده (cm)

X_c : دهانه سرنده که ۶۳٫۲٪ قطعات از آن عبور می کنند.

n: شاخص یکنواختی است که به پارامترهای مختلف طراحی آتشباری همچون قطر چال، بارسنگ، فاصله ردیفی چالها، طول خرج، دقت چالزنی و ارتفاع پله بستگی دارد. مقدار عددی n معمولاً بین ۰٫۸ الی ۱٫۵ است [۲] و برای آرایش مستطیلی چالها ۱۰٪ باید به آن افزود [۴].

کوزنتسوف رابطه تجربی و ساده ای را برای پیش بینی متوسط ابعاد سنگ خرد شده ارائه کرد. در شرایطی که مقدار $X=X_m$ در نظر گرفته شود و میزان عبور کرده از سرنده ۵۰ درصد، خواهیم داشت:

$$X_c = \frac{X_m}{(0.693)^n}$$

فرمول شماره ۱۰:

کونینگهام برای محاسبه n در توزیع روزین-راملر رابطه زیر را ارائه داده است:

فرمول شماره ۱۱:

$$n = (2.2 - 14 \frac{B}{D}) \left[\frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right]^{0.5} \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left(\frac{L}{H} \right)$$

که در آن:

B: ضخامت بارسنگ (m)

D: قطر چال (mm)

S: فاصله ردیفی چالها (m)

W: انحراف چال (m)

L: طول خرج (m)

H: ارتفاع پله (m)

با توجه به فرمول ارائه شده توسط کوزنتسوف و معادله رزین-راملر و استفاده از فرمول های تجربی فوق می توان ضمن محاسبه کمی خردایش به یک ارزیابی نسبی مناسب در مورد خردایش الگوهای آتشباری متفاوت دست پیدا کرد.

لرزش زمین و هوا

لرزش زمین و هوا قسمت قابل اجتناب عملیات آتشباری می باشند [۹]. لرزش پدیده ای است که علاوه بر تأثیرات تخریبی بر روی ساختمانها و تاسیسات مجاور، اثرات نامطلوب زیست محیطی نیز دارد. پیش بینی میزان لرزش می تواند در کاهش این

بنابراین هر گزینه V_i که به راه حل ایده آل نزدیک تر باشد، مقدار CL_i آن به عدد یک نزدیک تر خواهد بود.

گام ۶: رتبه بندی گزینه ها: هر گزینه ای که نزدیکی نسبی (CL_i) آن به راه حل ایده آل بیشتر باشد (نزدیک تر به عدد یک)، راجح تر است.

۳- استفاده از مدل های تجربی در محاسبه کمی شاخصه های آتشباری

در مورد محاسبه کمی شاخصه های انفجار از قبیل لرزش هوا و زمین، پرتاب سنگ و خردایش، مدل های تجربی مختلفی ارائه شده است [۱۵ و ۴]. در این مقاله نیز از مدل های تجربی جهت محاسبه کمی شاخصه های آتشباری استفاده شده است. در خصوص انفجار های صورت گرفته شاخصه های مهمی از قبیل لرزش زمین و هوا، پرتاب سنگ و خردایش که عوارض و نتایج آنها می تواند بر عملکرد معدن از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی تأثیر بگذارد، مد نظر قرار گرفت. در ادامه به شرح فرمول های تجربی بکارگرفته شده در محاسبه کمی هر شاخص می پردازیم.

خردایش

خردایش نقش کلیدی در ارزیابی تولید و کارایی معادن روباز ایفاء می کند. در صورت عدم کنترل خردایش هزینه های تولید افزایش یافته و روند تولید بدلیل نیاز به آتشباری ثانویه و سنگ شکنی با تأخیر مواجه می شود [۸]. بنابر این طراحی الگوی آتشباری باید به نحوی انجام شود تا ضمن کاهش هزینه های باربری، بارگیری و خردایش، سرعت عمل مراحل معدنکاری افزایش یابد [۸ و ۲]. خردایش سنگ به متغیر های زیادی از قبیل مشخصات توده سنگ، زمین شناسی و پارامترهای طراحی بستگی دارد. در این خصوص مدل های تجربی تخمین توزیع ابعادی توده سنگ پس از خردایش بسط داده شده اند [۲]. در این مطالعه موردی بعلاوه نتایج واقعی با پیش بینی مدل تجربی کوز-رم، از این مدل جهت محاسبه کمی میزان خردایش استفاده شده است. مدل کوز-رم یک مدل تجربی خردایش می باشد که بر مبنای مطالعات کوزنتسوف و روزین-راملر توسط کانینگهام در سال ۱۹۸۳ ارائه شد [۸-۵]. معادله کوزنتسوف عبارت است:

فرمول شماره ۸:

$$X_m = A(K^{-0.8})Q_e^{1/6} \left(\frac{115}{S_{ANFO}} \right)^{19/30}$$

که در این رابطه:

X_m : میانگین اندازه قطعه های خرد شده (cm)

A: فاکتور سنگ (۱۲-۸) [۲]

K: خرج ویژه (Kg/m^3)

Q_e : جرم ماده منفجره استفاده شده (Kg)

E: قدرت وزنی نسبی ماده منفجره استفاده شده که برای آنفو ۱۰۰ است.

اثرات مخرب نقش بسزایی داشته باشد [۹-۱۰]. میزان ماده منفجره استفاده شده در هر نوبت آتشباری یکی از عوامل مهم در میزان لرزش محسوب می شود. در شرایطی که مجموع خرج مصرفی با بکارگیری تأخیرهای مناسب بکار رود از میزان لرزش و خسارات ناشی از آن کاسته می شود [۱۰]. پارامترهای مختلفی از قبیل نوع سنگ، چگالی سنگ، حضور یا عدم حضور لایه های مختلف و شیب آنها و وجود آب در منطقه بر روی شدت لرزش تأثیر گذارند. از دو طریق فاصله و وزن ماده منفجره می توان لرزش های ناشی از انفجار در معادن روباز را کنترل نمود. بطور کلی هرچه فاصله از محل انفجار دورتر و وزن مواد منفجره مصرفی کمتر باشد، ایمنی بیشتر و تأثیر امواج انفجاری و لرزش ها نیز کمتر خواهد بود. در این مقاله به منظور ارزیابی لرزش های ناشی از هر نوبت آتشباری از رابطه مقیاس فاصله استفاده شده است. مقیاس فاصله طبق تعریف برابر است با [۹ و ۱۶]:

$$SD = R/W_d^{0.5} \quad \text{فرمول شماره ۱۲:}$$

SD: مقیاس فاصله

R: فاصله بین محل انفجار تا تأسیسات مورد نظر (m)

W: حداکثر خرج مصرفی در هر تأخیر (Kg)

عدد کمی بدست آمده از مقیاس فاصله هرچه بزرگتر باشد نشانگر لرزش کمتر زمین و ایمنی بیشتر برای تأسیسات مجاور و عواقب کمتر زیست محیطی می باشد. رابطه تجربی مقیاس فاصله می تواند یک تخمین مناسب از میزان لرزش را ارائه دهد [۱۷].

از دیگر عوارض نامطلوب عملیات آتشباری لرزش هوا می باشد. شدت لرزش هوا در هر انفجار به پارامترهایی از قبیل طراحی الگوها و شرایط آب و هوایی وابسته است [۳]. به منظور تخمین میزان لرزش و بدست آوردن عدد کمی لرزش هوا با استفاده از مدل های تجربی رابطه زیر پیشنهاد می شود:

$$P = 3.3 \left(\frac{R}{W^{1/3}} \right)^{-1.2} \quad \text{فرمول شماره ۱۳:}$$

که در آن:

P: فشار حاصل از لرزش هوا (KPa)

با استفاده از روابط تجربی فوق می توان الگوهای اجرا شده در معادن را از لحاظ پدیده لرزش با یکدیگر مقایسه کرد.

پرتاب سنگ

یکی دیگر از جنبه های منفی عملیات آتشباری، پرتاب سنگ است. پرتاب سنگ تحت شرایط وجود ناپیوستگی ها در ساختار سنگ، کم بودن میزان بارسنگ و فاصله ردیفی چالها و توزیع بیش از حد ماده منفجره رخ می دهد [۴ و ۱۸]. در خصوص پیش بینی پرتاب سنگ مدل های مختلفی از جمله مدل سوندی و مدل آمریکایی ارائه شده اند [۴]. در این میان فرمول ارائه شده توسط آقای لاند بورگ (۱۹۷۵) یکی از فرمولهای کاربردی در زمینه تخمین پرتاب سنگ محسوب می شود [۱۵].

$$L = 143d(q - 0.2) \quad \text{فرمول شماره ۱۴:}$$

که در آن:

L: حداکثر پرتاب (m)

d: قطر چال (inch)

q: خرج ویژه (Kg/m³)

۴- مطالعه موردی

معدن سنگ آهن چادر ملو در قلب کویر مرکزی ایران در فاصله ۱۸۰ کیلومتری شمال شرقی شهر یزد واقع شده است. این معدن با بیش از ۳۰۰ میلیون تن ذخیره قابل استخراج از معادن پر تولید سنگ آهن محسوب می شود. در معدن چادر ملو چالها بصورت قائم حفر می شوند. در این معدن حفر چال قائم توسط دستگاه DMH به قطر ۲۵۰ میلی متر و طول ۱۷/۲۵ متر انجام می گیرد. ارتفاع چالها در باطله و آهن، با در نظر گرفتن ارتفاع پله ۱۵ متری و اضافه حفاری ۲/۵ متری و ناصاف بودن محل دهانه چال روی پله، معمولاً ۱۸ متر است که ۱۲ متر از چالها در آهن با ماده ناریه و ۶ متر دیگر آن بوسیله گل گذاری پر می شود. عملیات آتشباری در این معدن روزانه در یک یا دو نوبت انجام می شود. در این مقاله ضمن ارزیابی روند عملیات آتشباری در معدن چادرملو توسط مدل تحلیل پوششی داده ها، با استفاده از مدل تصمیم گیری چند شاخصه TOPSIS بهترین الگوی اجرا شده مشخص شده است تا بتوان با الگو برداری از آن، عملیات آتشباری در معدن را بهینه سازی کرد.

۴-۱- ارزیابی کارایی عملیات آتشباری

جهت ارزیابی روند عملیات آتشباری در معدن سنگ آهن چادر ملو، اطلاعات مربوط به ۷۸ نمونه از انفجارهای صورت گرفته در بخش ماده معدنی جمع آوری شد. این اطلاعات شامل کلیه مشخصات پارامترهای طراحی حفاری و آتشباری و میزان ماده منفجره مصرفی در هر چال بود. جهت ارزیابی از مدل تحلیل پوششی داده ها استفاده شد. اعداد خرج ویژه و حفاری ویژه به عنوان ورودی در مدل انتخاب شدند. با استفاده از مدل های تجربی، اعداد کمی شاخص های آتشباری از قبیل اندازه متوسط ابعاد سنگ خرد شده، توزیع ابعادی، مقیاس فاصله، لرزش هوا و پرتاب سنگ محاسبه شد و این اعداد به عنوان خروجی به ترتیب در جدول حل مدل منظور شدند. مدل BCC خروجی محور به عنوان مدل متناسب با نوع مسئله برای حل انتخاب شد. در حل مدل از نرم افزار DEA Solver استفاده شد. به منظور آماده سازی داده جهت پردازش اطلاعات جدول زیر تشکیل شد.

| SAMPLE | (I) Powder factor | (I) Specific Drilling | (O) 100-X | (O) (100-R)% | (O) Scale Distance | (O) 0,01-Airblast | (O) 2000-Fly rock |
|--------|-------------------|-----------------------|-----------|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| a | | | | | | | |
| b | | | | | | | |
| - | | | | | | | |
| - | | | | | | | |
| n | | | | | | | |

جدول شماره ۱: جدول اطلاعات مربوط به ورودی ها و خروجی های الگوها

کلیه اعداد نامطلوب از یک عدد ثابت کسر شد (بزرگتر از بیشترین عدد کمی هر شاخص) و نتیجه در جداول منعکس شد. سپس با تکمیل شدن جداول و حل مسئله در نرم افزار تحلیل پوششی داده ها، موارد و الگوهای کارا (با راندمان ۱۰۰٪) در مقایسه با دیگر الگوها (به عنوان خروجی نرم افزار ارائه شد) جدول شماره ۲).

به این ترتیب ۱۴ الگوی اجرا شده از بین ۷۸ الگو به عنوان نمونه های کارا مشخص شدند. این الگوها تشکیل شده از الگوهای حفاری متفاوتی بودند که در پارامترهای

قابل کنترل طراحی نیز تفاوت داشتند. جهت پیدا کردن بهترین الگو از بین الگوهای کارا از مدل TOPSIS استفاده شد.

۲-۴- رتبه بندی الگوها توسط مدل TOPSIS

نتایج خروجی مدل تحلیل پوششی داده ها به عنوان ورودی مدل TOPSIS انتخاب شدند. کلیه ورودی ها و خروجی های مدل تحلیل پوششی داده ها در اینجا به عنوان شاخصه های آتشیاری مد نظر گرفته شد تا یک ماتریس تصمیم با هفت شاخص مهم در عملیات آتشیاری تشکیل شود. هر شاخص نیز دارای وزن و ارجحیت متفاوتی بود. در پیدا کردن اوزان از تلفیق نظرات خبرگان بوسیله روش مقایسات زوجی استفاده شد و سپس بوسیله روش ریاضی بردار ویژه و با استفاده از نرم افزار مدل AHP، اوزان حاصل شد (جدول شماره ۳).

پس از حل مسئله با مدل TOPSIS نتایج رتبه بندی به شرح جدول شماره ۴ ارائه شد. در این نتایج ضمن رتبه بندی الگوهای مختلف اجرا شده در معدن، شاهد بهترین الگوی اجرا شده و مشخصات طراحی آن بودیم.

سپاسگذاری

با تشکر از جناب آقای مهندس آرش افشاریان از معدن سنگ آهن چادرملو و جناب آقای مهندس جواد غضنفری که در امر تهیه این مقاله ما را یاری کردند.

نتیجه گیری

در این مطالعه ۷۸ الگوی آتشیاری متفاوت در قسمت سنگ آهن معدن چادر ملو با مدل تحلیل پوششی داده ها از لحاظ کارایی با یکدیگر مقایسه شدند که ۱۴ الگو بعنوان الگوهای کارا توسط مدل انتخاب شد. در میان الگوهای انتخاب شده انواع مختلفی از الگوهای با نسبت بار سنگ در فاصله ردیفی چال (B×S) وجود داشت. این الگو های اجرا شده در پارامترهای دیگر طراحی نیز اختلافاتی داشتند که این اختلافات باعث تغییر در نتایج پس از انفجار می شد. لذا از مدل تصمیم گیری چند شاخصه TOPSIS استفاده شد تا با در نظر گرفتن شاخصه های مختلفی از عملیات آتشیاری، بتوان الگوی مناسب را جهت طراحی آتشیاری معدن بدست آورد. با توجه به نتایج حاصله، الگو های باز (B×S=7×8) نتایج مناسبتری را با در نظر گرفتن جمع جوانب و تعداد ۷ شاخص مهم در عملیات آتشیاری در بر داشتند. هر چند در بررسی تک شاخصه، الگوهای بسته نتایج مطلوبی در خردایش داشتند، اما با توجه به اهمیت شاخصه های دیگر در عملیات آتشیاری نمی توان صرفاً به یک شاخص بسنده کرد. از دیگر نتایج قابل تأمل مدل می توان به دست یابی به یک بازه عددی مناسب برای عدد خرج ویژه اشاره کرد. این بازه عددی بین 0.7 Kg/m^3 الی 0.8 Kg/m^3 بدست آمد. با توجه به مشاهدات کیفی، خردایش حاصل از الگو های باز، مناسب و ارتفاع و نحوه قرارگیری توده سنگ پس از انفجار نیز مطلوب بود.

مراجع

1-Bozich, Branko, 1998, Control of Fragmentation by Blasting: Geotechnical magazine, Zagreb, vol10, page 49-57.

5- Chakraborty, A.K., 2004, Parametric study to develop guidelines for blast fragmentation improvement in jointed and massive formations: Engineering Geology 73, 105- 116.

16-Erarslan, K., 2008, Barrier holes and trench application to reduce blast induced vibration in Seyitomer coal mine: Environ Geol, 54:1325-1331.

12-Fülöp, János, Introduction to Decision Making Methods: Laboratory of Operations Research and Decision Systems, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences

17-Hakan, A.K, Adnan Konuk, 2008, the effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28, 686-694.

10-Hakan, A.K, et al, 2009, Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine: Soil Dynamics and Earthquake Engineering 29 669-676.

15-Hustrulid, W., 1999, Blasting Principles for Open Pit Mining : Vol1, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield

9-Kahriman, A., 2004, Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry: Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24 887-892.

18-Kecojevic, Vladislav , Radomsky, 2005, Flyrock phenomena and area security in blasting-related accidents : Safety Science 43 739-750

3-Kuzu, C. Fisne, A. Ercelebi, S., 2009, Operational and geological induced air blast overpressure in quarries :Applied Acoustics 70 404-411.

4-Lopez, J., Carlos, 1995, Drilling & Blasting of Rocks: A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield

7-Latham, P. Van Meulen, J. 2006, Prediction of fragmentation and yield curves with reference to Armourstone production : Engineering Geology 87 60-74

2-Morin, A. Mario, Ficarazzo, F. 2006, " Monte Carlo simulation as a tool to predict blasting fragmentation based on the Kuz-Ram model ", Computers & Geosciences 32, 352-359

6-Ozkahraman, H.T., 2005, Fragmentation assessment and design of blast pattern at Goltas Limestone Quarry, Turkey: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43 628-633.

13-Ray, Subhash, 2004, Data Envelopment Analysis, Theory and Techniques for Economics and Operation Research: Published by the Press Syndicate of the university Cambridge.

8-Shim, J., Hyun, 2008, Optimized blasting design for large-scale quarrying based on a 3-D spatial distribution of rock factor: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences

11-Triantaphyllou, E. Shu, B. ,Nieto Sanchez, S., Ray, T. 1998, Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering:(J.G. Webster, Ed.), John Wiley & Sons, New York, NY, Vol. 15, pp. 175-186.

14-William, W. Cooper, Lawrence, M. Seiford and Joe Zhu, 2000, DATA ENVELOPMENT ANALYSIS History, Models and Interpretations.

| No. | Sample | Powder Factor | Specific Drilling | X(mean) | (100-R)% | scale distance | Air Blast(Kp) | Fly rock |
|-----|--------|---------------|-------------------|---------|----------|----------------|---------------|----------|
| ۱ | ۱۳۲۸ | ۰.۵۸ | ۰.۰۱۸ | ۴۷.۶ | ۲۵.۷ | ۹۳ | ۰.۰۰۷۸ | ۵۳۷ |
| ۲ | ۱۳۰۴ | ۰.۷ | ۰.۰۲۱ | ۴۱.۲ | ۳۰.۷ | ۸۶ | ۰.۰۰۸۴ | ۶۹۹ |

| No. | Sample | Powder Factor | Specific Drilling | X(mean) | (100-R)% | scale distance | Air Blast(Kp) | Fly rock |
|-----|--------|---------------|-------------------|---------|----------|----------------|---------------|----------|
| ۳ | ۱۳۰۲ | ۰.۵۶ | ۰.۰۱۸ | ۴۹.۳ | ۲۵.۳ | ۹۶ | ۰.۰۰۷۷ | ۵۰.۳ |
| ۴ | ۱۳۰۰ | ۱.۲۲ | ۰.۰۳۸ | ۲۶ | ۴۸.۲ | ۹۱ | ۰.۰۰۸ | ۱۴۳۵ |
| ۵ | ۱۳۸۷ | ۱.۱۵ | ۰.۰۳۴ | ۲۷.۹ | ۴۴.۶ | ۹۲ | ۰.۰۰۷۹ | ۱۳۳۵ |
| ۶ | ۱۳۵۸ | ۰.۹۱ | ۰.۰۲۹ | ۳۰.۹ | ۴۱.۶ | ۱۰۲ | ۰.۰۰۷۳ | ۱۰۰۷ |
| ۷ | ۱۳۴۸ | ۰.۷۳ | ۰.۰۲۹ | ۳۴.۳ | ۴۱.۱ | ۱۲۴ | ۰.۰۰۶۲ | ۷۵۰ |
| ۸ | ۱۳۲۷ | ۰.۹۳ | ۰.۰۲۸ | ۳۰.۹ | ۴۲ | ۹۵ | ۰.۰۰۷۷ | ۱۰۲۸ |
| ۹ | ۱۳۲۴ | ۱.۱۹ | ۰.۰۳۷ | ۲۶.۵ | ۴۷.۳ | ۹۱ | ۰.۰۰۸ | ۱۴۰۴ |
| ۱۰ | ۱۳۲۰ | ۰.۷۳ | ۰.۰۲۴ | ۳۶.۹ | ۳۶.۸ | ۹۶ | ۰.۰۰۷۷ | ۷۴۲ |
| ۱۱ | ۱۳۰۴ | ۰.۹ | ۰.۰۲۹ | ۳۰.۶ | ۴۱.۲ | ۹۷ | ۰.۰۰۷۶ | ۹۸۸ |
| ۱۲ | ۱۱۹۲ | ۱.۲۷ | ۰.۰۳۸ | ۲۶ | ۴۸.۱ | ۸۴ | ۰.۰۰۸۵ | ۱۰۵۵ |
| ۱۳ | ۱۱۹۰ | ۰.۸۳ | ۰.۰۲۴ | ۳۶.۷ | ۳۳.۶ | ۸۱ | ۰.۰۰۸۸ | ۸۹۰ |
| ۱۴ | ۱۳۹۸ | ۰.۹۲ | ۰.۰۲۶ | ۳۳.۸ | ۳۵.۹ | ۸۴ | ۰.۰۰۸۵ | ۱۰۱۷ |

جدول شماره ۲: جدول موارد کارا از دیدگاه تحلیل پوششی داده ها

| شاخص | خرج ویژه | حفاری ویژه | متوسط خردایش | درصد عبوری از سرنده | مقیاس فاصله | لرزش هوا | پرتاب سنگ |
|------|----------|------------|--------------|---------------------|-------------|----------|-----------|
| وزن | %۲۵.۵ | %۲۱.۸ | %۲۴.۶ | %۶.۶ | %۹.۱ | %۶.۲ | %۶.۲ |

جدول شماره ۳: جدول اوزان شاخص ها

| Rank | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Sample | ۱۳۲۰ | ۱۳۴۸ | ۱۳۰۴ | ۱۳۲۸ | ۱۳۰۲ | ۱۱۹۰ | ۱۳۰۴ | ۱۳۵۸ | ۱۳۲۷ | ۱۳۹۸ | ۱۳۸۷ | ۱۳۲۴ | ۱۳۰۰ | ۱۱۹۲ |

جدول شماره ۴: موارد برتر از دیدگاه مدل TOPSIS