

انتخاب سامانه مناسب نگهداری از تونل‌های دسترسی معدن

گوشفیل با روش LINMAP

محمد حیاتی^{۱*}، محمد عطایی^۲، زینب رنجبر^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

Mohammad_hayaty@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۲۷

چکیده- از مهم‌ترین مراحل طراحی فضاهای زیرزمینی، انتخاب سامانه نگهداری مناسب برای آن فضا است. این انتخاب معمولاً بر پایه تجربه مهندسان طراح انجام می‌شود، که دقت کافی ندارد و بهترین گزینه نمی‌شود در حالی که پارامترهای بسیار اقتصادی و فنی در انتخاب سامانه نگهداری مناسب دخیل است. بنابراین انتخاب سامانه نگهداری برای فضاهای زیرزمینی یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاری است. در این پژوهش انتخاب سامانه نگهداری مناسب برای یکی از تونل‌های دسترسی به ماده معدنی معدن سرب و روی گوشفیل که در تراز ۱۵۶۵ قرار دارد بررسی شده است. این تونل مقطع مربع شکل و ابعاد ۴/۵×۴/۵ متر دارد و از دو تونل عمود بر هم تشکیل شده است؛ همچنین هر دو تونل از دو بازه‌ی دولومیت و دولومیت معرفی شده عبور می‌کنند. در این پژوهش ۸ نوع سامانه نگهداری برای ۴ ناحیه مختلف این تونل در نظر گرفته شده و مقادیر جابجایی و ضریب اطمینان نرم‌افزار UDEC محاسبه شده است. سپس با روش LINMAP و با توجه به معیارهای ضریب اطمینان، آسانی اجرای سامانه، جابه‌جایی و نیاز به نیروی انسانی، سامانه نگهداری مناسب برای هر بازه‌ی این تونل، انتخاب شده است. سامانه نگهداری انتخاب‌شده برای هر ۴ بازه‌ی معرفی شده در این تونل، پیچ‌سنگ به درازای ۴ متر و با فاصله ۱/۵ متر در سقف و دیواره-های تونل است.

کلیدواژه‌گان: تصمیم‌گیری چند شاخصی، LINMAP، تونل دسترسی، معدن گوشفیل، سامانه نگهداری

۱- مقدمه

(کمر پایین) قطع می‌شود، محیط پیرامون به حالت تعادل نخست باقی نخواهد ماند و فضای ایجادشده تمایل به تغییر شکل دارد و این تغییر شکل با توجه به مقاومت سنگ ایجاد می‌شود. پس کارهای لازم برای طراحی سامانه‌های تکیه‌گاهی و نگه‌دارنده برای جلوگیری از ریزش یا گسیختگی سقف، کف و دیواره‌ها با برقراری شرایط ایمنی

پیش از حفر یک فضای زیرزمینی، به هر نقطه از زمین تنش‌هایی وارد می‌شود که برآیند آن‌ها سبب ایجاد تعادل در آن نقاط می‌شود. پس از حفر فضای زیرزمینی، با توجه به این که توده سنگ کمر بالا (سقف)، تکیه‌گاه زیرین خود را از دست می‌دهد و همچنین بار وارد شده از بالا به کف

نگه‌داری برای تونل‌های دسترسی معدن گوشفیل، با روش LINMAP است تا سرانجام بتوان یک سامانه نگه‌داری ارائه کرد که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد هم ایمنی لازم را تأمین کند.

۲- روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصی

روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصی برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه از میان m گزینه موجود به کار می‌روند و ویژگی متمایز آن‌ها این است که معمولاً تعداد زیاد و قابل شمارشی از گزینه‌های از پیش تعیین شده وجود دارد. بهترین گزینه در یک مدل چند شاخصی، گزینه‌ای خواهد بود که بیشترین ارزش هر مشخصه را تأمین می‌کند. پایه‌ی مدل‌سازی، ایجاد و تشکیل جدول توافقی^۳ است. از مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصی می‌توان به روش LINMAP اشاره کرد [۳۳، ۳۴]. در این روش‌ها قبل از هر چیز باید کارکرد گزینه‌ها از دیدگاه شاخص‌ها ارزیابی شود؛ پس ماتریس تصمیم به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$R = \begin{matrix} & r_{11} & \dots & r_{1n} \\ & \vdots & \dots & \dots \\ r_{m1} & \dots & \dots & r_{mn} \end{matrix}$$

r_{ij} عملکرد گزینه i ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با شاخص j ($j=1,2,\dots,n$) است.

در استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصی، تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های موجود، گام مؤثری در فرایند حل مسئله است. برای رسیدن به این هدف می‌توان روش‌هایی همچون استفاده از نظر خبرگان، آنتروپی شانون^۴، روش بردار ویژه و میانگین هندسی استفاده کرد [۳۴].

به گونه‌ای اقتصادی، ضروری است. برای حل مشکل تنش ایجادشده‌ی ناشی از بر هم زدن تعادل تنش‌های قبل از حفر سازه، باید از وسایل تکیه‌گاهی پس از حفر کمک گرفت. بنابراین تعیین بهترین روش نگه‌داری از دیدگاه ایمنی و اقتصادی، موازی با سایر کارهای معدن‌کاری، با توجه به اصول مکانیک سنگ و مکانیک خاک بسیار اهمیت دارد. برای ایجاد فضای ایمن برای حفر گودال‌های زیرزمینی، انواع زیادی از وسایل نگه‌داری وجود دارد که هر کدام حالت ویژه‌ای از تعادل را برای سامانه ایجاد می‌کند و انتخاب آن‌ها به پارامترهای گوناگونی بستگی دارد. در بسیاری از موارد، سامانه‌های نگه‌داری برای تونل بر اساس تجربه مهندسين طراح انتخاب می‌شود. بنابراین به‌جای استفاده از معیارهای علمی، قضاوت‌های شخصی بیشترین نقش را در انتخاب سامانه نگه‌داری ایفا می‌کند. با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصی^۱ (MADM) می‌توان با اطمینان بیشتری گزینه مناسب را انتخاب کرد [۱]. در تحقیقات گوناگون از برخی روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصی در مسائل مربوط به معدن و تونل و فضاهای زیرزمینی استفاده شده است [۱ الی ۳۲].

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در پژوهش‌های انجام شده، بیشتر از روش‌هایی مانند AHP و TOPSIS به تنهایی و یا به صورت ترکیب با منطق فازی برای انتخاب گزینه مناسب (مانند: روش استخراج مناسب، سامانه حمل و نقل، بارگیری- باربری، حفاری مناسب، مکان مناسب، سامانه نگه‌داری مناسب و ...) استفاده شده است؛ اما تاکنون پژوهش و بررسی جدی در زمینه‌های گفته شده به ویژه انتخاب سامانه نگه‌داری تونل، با استفاده از روش LINMAP^۲ هدف این پژوهش، تعیین سامانه نگه‌داری مناسب با توجه به شاخص‌های مؤثر در انتخاب سامانه

3- Contingency table
4- Entropy Shannon

1- Multi Attribute Decision Making = MADM
2- Linear Programming for Multidimensional Analysis of Preferences

۳- روش LINMAP

$$(t_1 - t_k)^- = \begin{cases} 0 & \text{IF } t_k \leq t_1 \\ (t_k - t_1) & \text{IF } t_k > t_1 \end{cases} \quad (2)$$

$$= \max \{ 0, (t_k - t_1) \}$$

$(k, l) \in S$ ، نشان دهنده مقدار اشتباه برای زوج $(k, l) \in S$ می باشد و به طور کلی مجموع اشتباه روی مجموعه S عبارت است از:

$$P = \sum_{(k,l) \in S} (t_1 - t_k)^- \quad (3)$$

P غیرمنفی است زیرا $(t_1 - t_k)^-$ غیرمنفی است؛ پس برای مشخص کردن راه حل $(\underline{w}, \underline{r}^*)$ ، مقدار P باید کمینه شود. ج- در مقابل P ، ارزش جدیدی به نام G (درجه تناسب) به صورت زیر تعریف می شود:

$$G = \sum_{(k,l) \in S} (t_1 - t_k)^+ \quad \text{که به گونه ای که} \quad (4)$$

$$t_k^+ = \begin{cases} (t_1 - t_k) & \text{IF } t_k \leq t_1 \\ 0 & \text{IF } t_k > t_1 \end{cases}$$

بنابراین باید داشته باشیم: $G > P$ و یا $G - P = h$ (به گونه ای که h نیز یک مقدار ثابت دلخواه و مثبت است). د- با توجه به تعریف های بالا خواهیم داشت:

$$(t_1 - t_k)^+ - (t_1 - t_k)^- = t_1 - t_k \quad (5)$$

زیرا

$$(t_1 - t_k)^+ - (t_1 - t_k)^- = (t_1 - t_k) - 0 \stackrel{\text{IF}}{\Rightarrow} t_k \leq t_1$$

و

$$(t_1 - t_k)^+ - (t_1 - t_k)^- = 0 - (t_k - t_1) \stackrel{\text{IF}}{\Rightarrow} t_k > t_1$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$G - P = \sum_{(k,l) \in S} (t_1 - t_k) = h \quad (6)$$

ت- راه حل $(\underline{w}, \underline{r}^*)$ ، از حل مسئله زیر به دست می آید:

$$\text{Min : } P = \sum_{(k,l) \in S} (t_1 - t_k)^- \quad (7)$$

$$= \sum_{(k,l) \in S} \max \{ 0, (t_k - t_1) \}$$

در این روش m گزینه و n شاخص از یک مسئله مفروض به صورت m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفته می شود؛ سپس نقطه دلخواه تشخیص داده شده و گزینه ای که کمترین فاصله از نقطه دلخواه را داشته باشد، انتخاب می شود. فرض بر آن است که تصمیم گیرنده، از دو گزینه مفروض نیز نزدیک ترین به دلخواه را انتخاب خواهد کرد و فاصله از دلخواه به صورت فاصله اقلیدسی وزین (d_i) برای گزینه A_i خواهد بود. همچنین اوزان W_j برای تبدیل مقیاس های موجود به مقیاس های یکسان است که درجه اهمیت از هر شاخص را هم نشان می دهد [۳۴]. فاصله گزینه A_i از دلخواه بدین صورت است:

$$t_i = d_i^2 = \sum_{j=1}^n W_j (r_{ij} - r_j^*)^2 \quad ; i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1)$$

r_j^* نقطه ی دلخواه از شاخص j ام است.

با توجه به فرض های بالا و تعریف موجود از فاصله، واقعیت های زیر، پایه ی این روش را تشکیل می دهد:

الف- فرض کنیم مجموعه $S = \{(k, l)\}$ نشان دهنده زوج های A_k و A_l است به گونه ای که گزینه A_k ارجح بر A_l است و مجموعه S به طور نرمال $\frac{m(m-1)}{2}$ عنصر خواهد داشت. راه حل $(\underline{w}, \underline{r}^*)$ برای هر زوج مرتب شده $(k, l) \in S$ ، با مدل فاصله وزین سازگار است، اگر: $t_k \leq t_l$ باشد. مشخص کردن راه حل $(\underline{w}, \underline{r}^*)$ باید چنان باشد که تجاوز از شرط $t_k \leq t_l$ در کمینه ممکن واقع شود. در واقع مجموعه S نشان دهنده مقایسه های زوجی گزینه های مختلف بر اساس نظر خبرگان است.

ب- اگر داشته باشیم $t_k > t_l$ ، آنگاه مقدار $(t_k - t_l)$ گویای مقدار اشتباهی است که شرط گفته شده در بند الف را مورد تجاوز قرار می دهد. از این رو به طور کلی تعریف زیر را در نظر می گیریم:

$$\emptyset_{k,l} \geq 0; \quad W_j \geq 0; \quad V_j \text{ آزاد در علامت} \quad (19)$$

ث- از حل برنامه خطی بالا، می‌توان حالات زیر را استخراج کرد:

$$\text{حالت ۱} \quad \text{اگر } W_j^* > 0 \quad r_j^* = \frac{V_j^*}{W_j^*} \quad (20)$$

$$\text{حالت ۲} \quad \text{اگر } W_j^* = 0 \text{ و } V_j^* = 0 \quad r_j^* = 0 \quad (21)$$

$$\text{حالت ۳} \quad \text{اگر } W_j^* = 0 \text{ و } V_j^* > 0 \quad r_j^* = +\infty \quad (22)$$

$$\text{حالت ۴} \quad \text{اگر } W_j^* = 0 \text{ و } V_j^* < 0 \quad r_j^* = -\infty \quad (23)$$

برای حالات ۱ و ۲ داریم:

$$t_i = \sum_j W_j^* (r_{ij'} - r_j^*)^2; \quad j' = \{j | W_j^* \geq 0\} \quad (24)$$

و برای حالات ۳ و ۴ داریم:

$$t_i = -2 \sum_j V_j^* \cdot r_{ij}''; \quad j'' = \{j | W_j^* = 0, V_j \neq 0\} \quad (25)$$

پ- رتبه‌بندی بر اساس تنظیم صعودی (از کم به زیاد) t_i به دست می‌آید.

۴- بررسی موردی: تونل‌های دسترسی

معدن گوسفیل

۴-۱- ویژگی‌های ژئومکانیکی منطقه

منطقه‌ی ایرانکوه در رشته‌کوه ایرانکوه، در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان واقع شده است. متوسط درازا و پهنای این منطقه به ترتیب ۲۵ کیلومتر و ۳ کیلومتر است. کمینه بلندای منطقه از سطح دریا ۱۶۶۰ متر و بیشینه آن ۲۷۵۰ متر است. معدن گوسفیل یکی از سه معدن فعال در منطقه‌ی معدنی ایرانکوه است. در

$$\text{s.t:} \quad G - P = \sum_{(k,l) \in S} (t_l - t_k) = h \quad (8)$$

این مسئله را با استفاده از توابع هدف جدید $\emptyset_{k,l}$ و الگوریتم «Min-Max» به شکل زیر تبدیل می‌کنیم:

$$\text{Min: } \sum_{(k,l) \in S} \emptyset_{k,l} \quad (9)$$

$$\text{s.t:} \quad \emptyset_{k,l} \geq t_k - t_l \quad (10)$$

$$\sum_{(k,l) \in S} (t_l - t_k) = h \quad (11)$$

$$\emptyset_{k,l} \geq 0 \quad (12)$$

از سوی دیگر داریم:

$$t_i - t_k = \sum_j W_j (r_{ij} - r_j^*)^2 - \sum_j W_j (r_{kj} - r_j^*)^2 \quad (13)$$

$$= \sum_j W_j (r_{ij}^2 - r_{kj}^2) - 2 \sum_j W_j \cdot r_j^* (r_{ij} - r_{kj}) \quad (14)$$

چون r_j^* یک ثابت نامعلوم است، قرار می‌دهیم:

$$W_j \cdot r_j^* = V_j \quad (15)$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$\text{Min: } \sum_{(k,l) \in S} \emptyset_{k,l} \quad (16)$$

$$\text{s.t:} \quad \sum_j W_j (r_{ij}^2 - r_{kj}^2) - 2 \sum_j V_j (r_{ij} - r_{kj}) + \emptyset_{k,l} \geq 0 \quad (17)$$

$$\sum_j W_j \sum_{(k,l) \in S} (r_{ij}^2 - r_{kj}^2) - 2 \sum_j V_j \sum_{(k,l) \in S} (r_{ij} - r_{kj}) = h \quad (18)$$

این اساس، تونل مورد نظر به دو بازه دولومیت و دولومیت معدنی شده تقسیم شد [۳۶]. پس انتخاب سامانه نگه‌داری برای چهار ناحیه (ناحیه ۱: تونل اول در بازه دولومیت، ناحیه ۲: تونل دوم در بازه دولومیت، ناحیه ۳: تونل اول در بازه دولومیت معدنی شده و ناحیه ۴: تونل دوم در بازه دولومیت معدنی شده) لازم است. آزمایش روی ماده‌سنگ (دولومیت و دولومیت معدنی شده) نتایج زیر را داشته است (جدول ۱):

جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ماده‌سنگ

زاویه اصطکاک (درجه)	چسبندگی (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	نسبت پواسون (درصد)	وزن ویژه سنگ (KN/m ³)	نوع سنگ
۶۰	۱۵	۱۵۲	۰/۲۵	۲۸/۳	دولومیت
۳۵	۲۰	۷۶	۰/۲۵	۲۸/۵	دولومیت معدنی شده

۴-۲- ترمیم هندسه تونل

با توجه به بررسی‌های انجام شده، آنچه به وضوح دیده می‌شود، غالب بودن سطوح درزه‌داری منطقه است. به عبارتی، ناپیوستگی‌ها نقش اساسی در تعیین پایداری تونل دارند. روش‌های پیوسته عددی در مدل‌سازی محیط‌های ناپیوسته، هنگام تعریف ناپیوستگی‌ها و بیان رفتار معرف سنگ درزه‌دار، محدودیت‌هایی مانند تعداد درزه‌ها، گستره درزه‌های متقاطع، میزان جابه‌جایی و کارا نبودن محاسباتی ناشی از فرض رفتار پیوسته دارد. روش‌های ناپیوسته، روش‌هایی عددی است، که به‌ویژه برای ارزیابی رفتار ناپیوستگی‌ها فرمول‌بندی شده است. معروف‌ترین و پیشرفته‌ترین روش ناپیوسته، روش اجزای جداگانه است. روش اجزای جداگانه یکی از روش‌های عددی است که برای ارزیابی پایداری و بررسی تغییر شکل و شکست محیط‌های ناپیوسته به کار

منطقه‌ی معدنی ایرانکوه، شرکت باما از معادن کلاه دروازه، تپه سرخ و گوشفیل، کانسارهای اکسید، کربناته و سولفور سرب و روی استخراج می‌کند. کمر بالای ماده معدنی در معدن گوشفیل، شیل و کمر پایین آن دولومیت و آهک است. بخش بالای ذخیره معدنی معدن گوشفیل با روش روباز بهره برداری شده و اکنون عمق معدن روباز ۲۲۰ متر است؛ در حالی که مزر بالای معدن زیرزمینی، در تراز ۱۵۳۰+ متر و مرز پایینی تعیین ذخیره معدن زیر زمینی، تراز ۱۴۰۰+ متر در نظر گرفته شده است. ظرفیت کمینه استخراجی روزانه معدن زیرزمینی، ۶۰۰ تن است و کار استخراجی در ۱۲ سال انجام خواهد شد [۳۵].

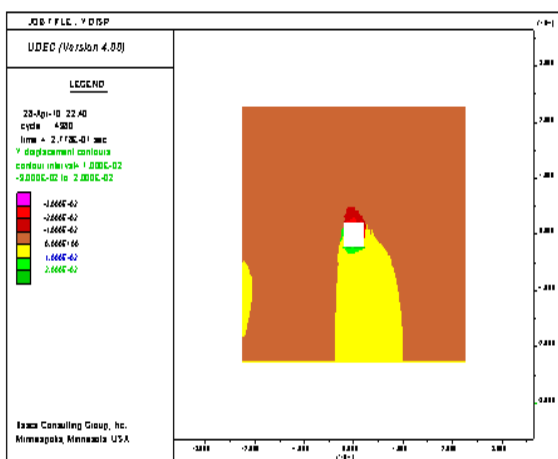
بر اساس محاسبات و طراحی انجام شده رمپ اصلی در تراز ۱۷۱۰ قرار دارد و با ساخت دهانه ورودی و در پی آن، آغاز عملیات ساخت تونل اصلی (راه دسترسی اصلی) در راستای جنوب غربی، ساخت آن نیز شروع شده است. شیب تونل اصلی ۱۲/۵ درصد و سطح مقطع آن ۴/۵×۴/۵ مترمربع است [۳۵]. در این پژوهش، انتخاب سامانه نگه‌داری مناسب برای یکی از تونل‌های دسترسی به ماده معدنی معدن سرب و روی گوشفیل که در تراز ۱۵۶۵ قرار دارد، بررسی شده است. این تونل مقطع مربع شکل به ابعاد ۴/۵×۴/۵ متر دارد و از دو تونل عمود بر هم تشکیل شده است. بر اساس گزارش زمین‌شناسی منطقه و نتایج آزمایش‌های مکانیک سنگی انجام شده روی نمونه‌های برداشت شده، داده‌های اصلی و اولیه طراحی سامانه نگه‌داری، به دست آمده نخستین قدم برای طراحی سامانه نگه‌داری تونل، تقسیم‌بندی تونل به بازه‌های مناسب مختلف است که این تقسیم‌بندی با توجه به شرایط زمین‌شناسی، ناپیوستگی‌ها و ویژگی‌های مکانیک سنگی توده‌سنگ انجام می‌شود. بر

مدل ساخته شده در تونل شماره ۲ از دیدگاه ابعاد همانند مدل تونل شماره ۱ است و تفاوت آن ناشی از شیب ظاهری ناپیوستگی‌ها در رابطه با جهت‌گیری آن‌ها نسبت به جهت‌گیری تونل است. شکل‌های ۲ و ۳ تنش و جابه‌جایی در پیرامون تونل شماره ۱ را در دو بازه‌ی مورد نظر، پس از حفاری نشان می‌دهد. شکل‌های ۴ و ۵ نیز مربوط به تونل شماره ۲ است [۳۶].

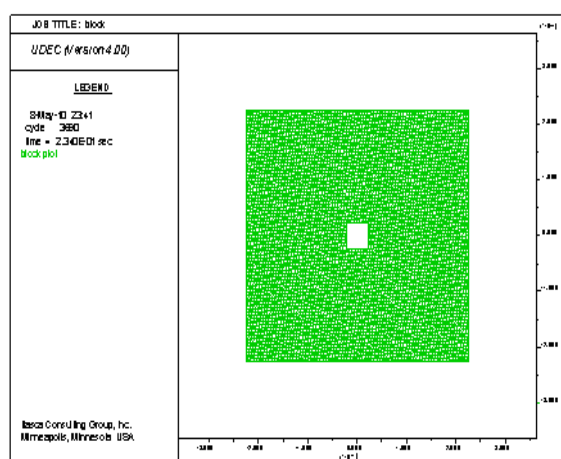
برای مدل‌های ساخته‌شده، هشت نوع سامانه نگه‌داری بر اساس تجارب و نظرات کارشناسان و بر پایه نتایج تحلیل عددی دقیق، در نظر گرفته شده که شامل شاتکریت با ضخامت‌های مختلف، توری سیمی و پیچ‌سنگ است و در جدول ۲ نشان داده شده است [۳۶].

نتایج این ارزیابی مدل بدون نصب سامانه نگه‌داری، نشان داد که در صورت نصب نکردن سامانه نگه‌داری در بازه دولومیت و دولومیت معدنی شده در تونل شماره ۱، به ترتیب جابه‌جایی‌هایی حدود ۵/۱۹ و ۵/۴۹ سانتی‌متر و در محدوده دولومیت و دولومیت معدنی شده در تونل شماره ۲ حدود ۴/۵۸ و ۳/۴ سانتی‌متر پیرامون تونل اتفاق خواهد افتاد.

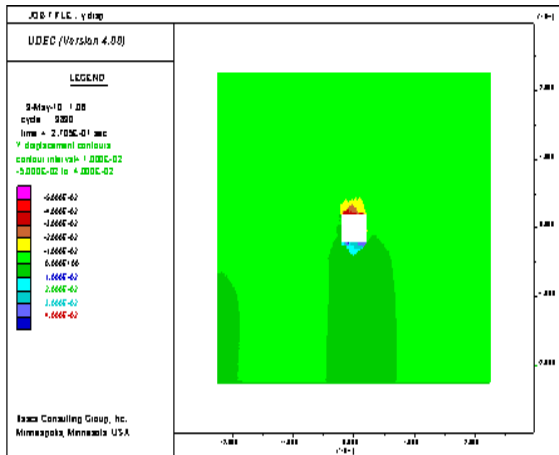
می‌رود و امروزه به کاربرد آن در محیط‌های ناپیوسته به طور گسترده توجه می‌شود [۳۶]. برای ارزیابی پایداری، نرم‌افزار UDEC با توانایی بسیار زیاد در مدل‌سازی سطوح ناپیوستگی و بررسی تأثیر این سطوح در پایداری استفاده شده است. برخی از فرضیاتی که در مدل‌سازی و رسم تونل در نظر گرفته شده به صورت کوتاه در ادامه آمده است: ۱- مدل‌سازی در حالت دو بعدی در یک مقطع عرضی عمود بر محور تونل انجام شده و در فرمول‌های حل مدل، فرض وجود شرایط کرنش صفحه‌ای گرفته شده است. ۲- ابعاد مدل به گونه‌ای انتخاب شده که فاصله مرز مدل از دیوار تونل بیش از ۵ برابر ابعاد تونل باشد. ۳- شرایط تنش‌های اولیه به صورت گرانشی و بر اساس ارتفاع روباره در نظر گرفته شده است. ۴- مدل رفتاری توده‌سنگ، موهر کولمب است. ۵- سامانه نگه‌داری مرکب از شاتکریت، توری سیمی و پیچ‌سنگ برای مدل‌سازی شاتکریت از المان تیر و برای پیچ‌سنگ‌ها از المان کابل استفاده شده است. در شکل ۱ مراحل ساخت مدل در نرم‌افزار گفته شده برای ارزیابی بازه‌ی دولومیت و دولومیت معدنی شده در تونل شماره ۱ و ۲، طبق مراحل حفاری نشان داده شده است.



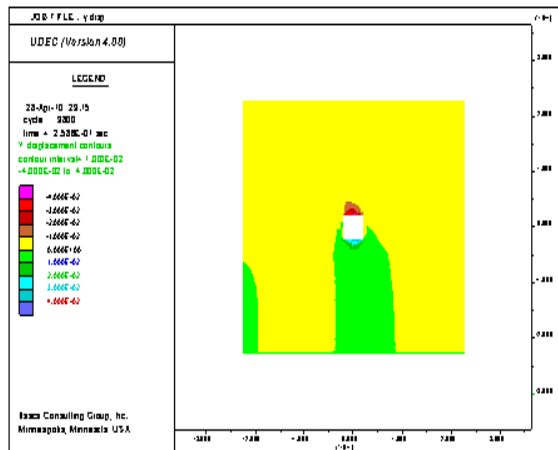
شکل (۲) نمودار جابه‌جایی پیرامون ناحیه ۱



شکل (۱) مدل ساخته‌شده برای نواحی ۱ و ۲ و ۳ و ۴



شکل (۴) نمودار جابه‌جایی‌ها پیرامون ناحیه ۲



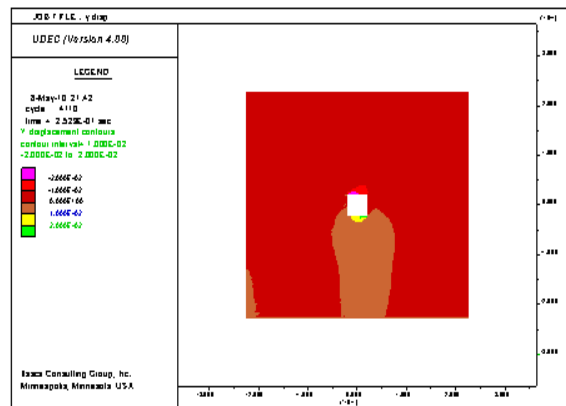
شکل (۳) نمودار جابه‌جایی‌ها پیرامون ناحیه ۳

۵- بررسی سامانه‌های نگهداری مختلف

اولین مرحله در کاربرد سامانه‌های گوناگون نگهداری، تعیین میزان همگرایی و انتخاب فاصله مناسب سامانه نگهداری از جبهه کار تونل است. برای تعیین میزان جابه‌جایی‌ها و همگرایی در جبهه کار تونل از پروفیل تغییر شکل طولی زمین^۱ (LDP) با توجه به رابطه کارانزا تورس^۲ رابطه ۲۶ استفاده شده است که در شکل (۶) ملاحظه می‌شود:

$$\frac{u_r}{u_{max}} = \left[1 + \exp\left(-\frac{x/R}{1.10}\right) \right]^{-1.7} \quad (26)$$

u_r جابه‌جایی در فاصله x از جبهه کار، u_{max} مقدار جابه‌جایی پیشینه، x فاصله از جبهه کار تونل و R شعاع تونل است. جابه‌جایی‌های نرمال‌شده در فاصله‌ی حدود ۳ برابر شعاع تونل در جلوی جبهه کار، به صفر می‌رسد و در فاصله‌ی حدود ۵ برابر شعاع تونل در پشت جبهه کار به مقدار پیشینه خود می‌رسد. همچنین جابه‌جایی که در جبهه کار ایجاد می‌شود، حدود ۳۰ درصد مقدار پیشینه جابه‌جایی‌ها است (شکل ۷).



شکل (۵) نمودار جابه‌جایی‌ها پیرامون ناحیه ۴

جدول (۲) سامانه‌های معرفی شده برای نگهداری تونل تراز ۱۵۶۵

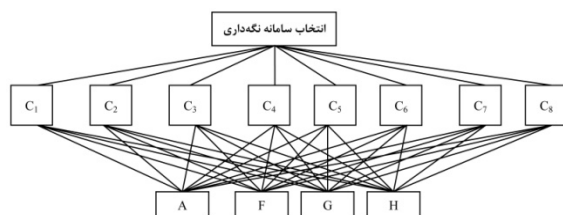
مدل	توضیحات
A	پیچ‌سنگ به‌درازای ۴ متر و فاصله ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها
B	پیچ‌سنگ به‌درازای ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۳۰ میلی‌متر در دیواره‌ها
C	پیچ‌سنگ به‌درازای ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر در سقف و شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلی‌متر در دیواره‌ها
D	شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلی‌متر در سقف و ۳۰ میلی‌متر در دیواره‌ها
E	شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر در سقف و ۳۰ میلی‌متر در دیواره‌ها
F	توری فلزی و شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر در سقف و دیواره‌ها
G	پیچ‌سنگ به‌درازای ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر به همراه ۵۰ میلی‌متر شاتکریت در سقف و ۳۰ میلی‌متر در دیواره‌ها
H	پیچ‌سنگ به‌درازای ۴ متر و فاصله‌داری ۱/۵ متر به همراه ۱۰۰ میلی‌متر شاتکریت در سقف و ۳۰ میلی‌متر در دیواره‌ها

1- Longitudinal Deformation Profile
2- Carranza Torres

در کف گالری (C_2)، جابه‌جایی افقی در گوشه دیواره جانبی گالری (C_3)، جابه‌جایی قائم در گوشه دیواره جانبی گالری (C_4)، ضریب ایمنی (C_5)، هزینه نگه‌داری (C_6)، نیاز به نیروی انسانی (C_7) و آسانی اجرای روش (C_8).

با توجه به این‌که تونل دسترسی از دو تونل عمود بر هم ساخته شده و هر کدام از دو تونل به دو بازه دولومیت و دولومیت معدنی شده تقسیم می‌شوند انتخاب سامانه نگه‌داری برای چهار ناحیه لازم است. در مرحله نخست تصمیم‌گیری، کمترین مقدار ضریب ایمنی سامانه نگه‌داری، به وسیله گروه متخصصان پیشنهاد می‌شود؛ سپس بر اساس این نتیجه، چندین گزینه که مقادیر کمتر از عدد پیشنهاد شده دارند، از فهرست تصمیم‌گیری پاک می‌شوند.

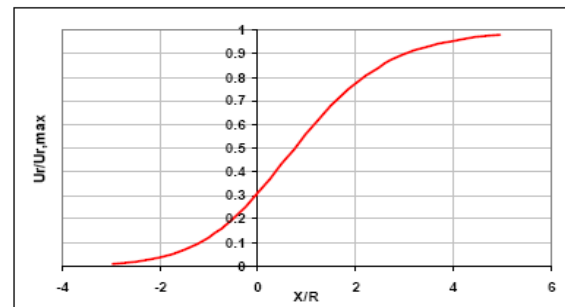
(کوچک‌ترین عدد ضریب ایمنی برای تونل‌های موقت معدنی، $1/2$ پیشنهاد شده است. بنابراین گزینه‌های D ، C ، E برای بازه دولومیت و دولومیت معدنی شده معدن گوشفیل پاک می‌شوند). پس انتخاب سامانه نگه‌داری در این بررسی، 8 شاخص و 4 گزینه (سامانه‌های A ، F ، G و H) دارد که ساختار سلسله مراتبی آن در شکل 8 نشان داده شده است.



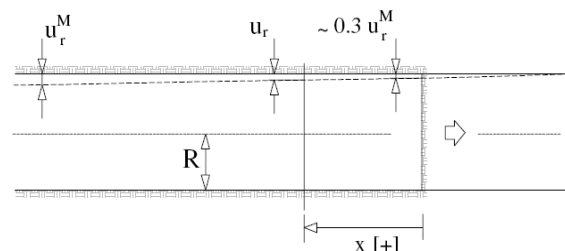
شکل (۸) نمودار سلسله مراتبی انتخاب سامانه نگه‌داری مناسب

شاخص‌های میزان جابه‌جایی در نقاط گوناگون دیواره، کف و تاج تونل، ضریب ایمنی و هزینه نگه‌داری سامانه، شاخص‌های کمی است و با توجه به ارزیابی‌های اقتصادی و مدل‌سازی عددی به دست آمده است. بنابراین در ماتریس تصمیم به‌طور مستقیم این اعداد در درایه‌های

با توجه به نتایج به دست آمده از سامانه طبقه‌بندی Q برای برآورد بیشینه دهانه بدون نگه‌داری برای بازه‌های دولومیت و دولومیت معدنی شده، اعداد 4 و $3/6$ متر به عنوان فاصله نخستین سامانه نگه‌داری از جبهه کار تونل در نظر گرفته شد. در نتیجه، میزان همگرایی در این نقاط از تونل برای بازه‌های دولومیت و دولومیت معدنی شده به ترتیب $73/48$ درصد و 70 درصد به دست آمد.



شکل (۶) نمودار پروفیل تغییر شکل طولی زمین با توجه به رابطه کارانزا تورس



شکل (۷) پروفیل جابه‌جایی‌های شعاعی برای تونل بدون سامانه نگه‌داری در مجاورت جبهه کار تونل

۶- انتخاب سامانه نگه‌داری بهینه

انتخاب بر اساس نتایج بررسی عددی و برآیند بخشی از شاخص‌ها بر اساس مصاحبه‌های انجام‌شده با کارشناسانی که در تونل‌سازی تجربه کافی داشته‌اند انجام شده است. در این پژوهش، هشت شاخص در نظر گرفته شده است:

جابه‌جایی قائم در سقف گالری (C_1)، جابه‌جایی قائم

مربوط به خود قرار خواهند گرفت.

شاخص‌های نیاز به نیروی انسانی و آسانی اجرای روش، شاخص‌های کیفی است که با واژه‌های کیفی همچون خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد ارزیابی شده است.

برای کمی کردن شاخص‌های کیفی از مقیاس دوقطبی^۱ استفاده شده است؛ به جای واژه‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب از اعداد ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ استفاده می‌شود. بر این پایه، ماتریس تصمیم نهایی (کمی) مربوط به تونل‌های شماره ۱ و ۲ در دو بازه دولومیت و دولومیت معدنی شده به ترتیب در جدول ۳ نشان داده شده است. در این ماتریس، شاخص‌های میزان جابه‌جایی در نقاط گوناگون دیواره، کف و تاج تونل، هزینه نگهداری سامانه و نیاز به نیروی انسانی جنبه منفی و شاخص‌های ضریب ایمنی و آسانی اجرای روش، جنبه مثبت دارند.

برای تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها، ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها تشکیل شده (یک ماتریس ۶×۶) و بر اساس نظر خبرگان و با استفاده از روش میانگین هندسی، وزن هر شاخص به دست آمده و نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است. لازم است گفته شود که وزن‌ها در انتخاب سامانه نگهداری برای هر دو تونل در هر دو بازه، یکسان است.

همان‌گونه که اشاره شد، برای انتخاب سامانه نگهداری بهینه، از روش LINMAP به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصی، استفاده شده است؛ که در ادامه، محاسبات مربوط به استفاده از این روش آمده است.

پس از تشکیل ماتریس‌های تصمیم، بر اساس نظر خبرگان، مجموعه $S = \{(k, l)\}$ ، برای هر چهار ناحیه

تشکیل می‌شود (جدول ۵). همان‌گونه که اشاره شد، مجموعه S نشان‌دهنده زوج‌های A_k و A_l به گونه‌ای که گزینه A_k بر گزینه A_l برتری دارد.

جدول (۳) وزن نهایی شاخص‌ها

شاخص‌ها	مقیاس	وزن نهایی
جابه‌جایی قائم در سقف گالری	میلی‌متر	۰/۱۱
جابه‌جایی قائم در کف گالری	میلی‌متر	۰/۰۸۳
جابه‌جایی افقی گوشه دیواره جانبی گالری	میلی‌متر	۰/۰۵۶
جابه‌جایی قائم گوشه دیواره جانبی گالری	میلی‌متر	۰/۰۲۸
ضریب ایمنی	بدون بعد	۰/۱۹
هزینه نگهداری	ریال	۰/۲۵
نیاز به نیروی انسانی	بدون بعد	۰/۱۴
سهولت اجرای روش	بدون بعد	۰/۱۴

در ادامه با توجه به ماتریس‌های تصمیم، وزن شاخص‌ها و مجموعه‌های S (بر اساس مقایسه‌های زوجی)، با استفاده از روابط ۱ تا ۱۹، مدل برنامه‌ریزی خطی برای هر چهار ناحیه گفته شده به دست آمد (جدول ۶). همان‌گونه که دیده می‌شود، هر کدام از این مدل‌ها یک تابع هدف، هجده متغیر تصمیم و هشت محدودیت دارند.

با حل این مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار LINDO، مقادیر متغیرهای تصمیم (W_j ها و V_j ها) به دست می‌آید که با توجه به این مقدار و با استفاده از روابط ۲۴ و ۲۵، می‌توان مقادیر t_i را به دست آورد و در نتیجه، رتبه‌بندی را بر اساس t_i انجام داد. نتایج در جدول ۷ آمده است.

همان‌گونه که در جدول ۷ و شکل ۹ مشاهده می‌شود، در هر چهار ناحیه، t_1 که مربوط به سامانه نگهداری A است کمترین مقدار را کسب کرده است؛ و یعنی سامانه نگهداری A (کاربرد پیچ‌سنگ به درازای ۴ متر و فاصله ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها) گزینه‌ای است که کمترین فاصله از گزینه دلخواه را دارد و رتبه اول را کسب می‌کند و به عنوان گزینه مناسب و بهینه انتخاب می‌شود.

1- Bipolar scale

جدول (۴) ماتریس‌های تصمیم مربوط به نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴

			C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
ماتریس اول	تونل یک در بازه دولومیت	A	۳۱	۲۲	۴.۳	۱.۲۷	۱۷	۹۰۷۲۰۰	۲	۹
		F	۲۹.۵	۲۲	۴	۱.۶۲	۱۶.۸	۱۷۳۵۲۹۰	۹	۲
		G	۲۷	۲۱.۲	۶.۵	۱.۷۵	۱۶.۷	۱۴۶۳۸۵۰	۷	۵
		H	۲۶	۲۳	۳.۵	۱.۹۲	۱۶.۷	۱۶۱۴۱۵۰	۹	۴
ماتریس دوم	تونل دو در بازه دولومیت	A	۵۰	۲۷.۱	۴.۱	۱۷.۲۵	۱۸۹	۹۰۷۲۰۰	۲	۹
		F	۴۷	۲۷.۲	۴	۱۷	۱.۹۳	۱۷۳۵۲۹۰	۹	۲
		G	۴۴.۵	۲۷.۲	۴	۱۶.۷۵	۲.۰۷	۱۴۶۳۸۵۰	۷	۵
		H	۴۳.۵	۲۷.۵	۴.۲	۱۶.۷۵	۲.۲۱	۱۶۱۴۱۵۰	۹	۴
ماتریس سوم	تونل یک در محدوده دولومیت معدنی شده	A	۳۸	۳۷	۴.۵	۱۶.۲	۱.۲۱	۹۰۷۲۰۰	۲	۹
		F	۳۳.۹	۳۴.۵	۳.۵	۱۶.۱	۱.۴۳	۱۷۳۵۲۹۰	۹	۲
		G	۳۴	۳۴.۵	۳.۵	۱۶	۱.۳۷	۱۴۶۳۸۵۰	۷	۵
		H	۲۸.۵	۲۱	۴.۱۵	۱۶.۹	۱.۶۱	۱۶۱۴۱۵۰	۹	۴
ماتریس چهارم	تونل دو در محدوده دولومیت معدنی شده	A	۲۴.۳	۱۷.۸	۴.۲	۱۲.۵	۱.۵۴	۹۰۷۲۰۰	۲	۹
		F	۲۱	۱۷.۸	۴.۱۵	۱۲.۲	۱.۶۶	۱۷۳۵۲۹۰	۹	۲
		G	۱۵.۹۵	۱۱.۵	۳.۵۵	۱۱.۱۵	۱.۶۳	۱۴۶۳۸۵۰	۷	۵
		H	۱۵.۷	۱۵.۵	۳.۵	۱۱.۱	۱.۹۹	۱۶۱۴۱۵۰	۹	۴

آزمایش سامانه‌های گوناگون نگهداری برای یک تونل است. در یک روند تصمیم‌گیری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصی می‌توان ارزیابی‌ها را به صورت علمی‌تری انجام داد. در این پژوهش، ۸ نوع مختلف سامانه نگهداری اولیه برای ۴ ناحیه مختلف تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ معدن گوشفیل در نظر گرفته شد؛ سپس با در نظر گرفتن ضریب ایمنی کمینه ۱/۲ برای تونل‌های دسترسی، سامانه‌های نگهداری ۲ تا ۵ به خاطر ضریب ایمنی کمتر از ۱/۲ در تصمیم‌گیری حذف شدند. در ادامه با توجه به معیارهای جابه‌جایی، ضریب ایمنی، هزینه، نیاز به کارگر و آسانی اجرای روش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره LINMAP، سامانه‌های نگهداری ۱، ۶، ۷ و ۸ بررسی شد. سرانجام، گزینه شماره ۱ یعنی "کاربرد پیچ‌سنگ به درازای ۴ متر و فاصله دارای ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها" به عنوان بهترین روش برای نگهداری بازه‌های مختلف تونل دسترسی تراز ۱۵۶۵ گوشفیل انتخاب شد.

جدول (۵) مجموعه S مربوط به نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴

مجموعه S برای ناحیه ۱ (تونل یک در بازه دولومیت)	$S_1 = \{(1,2)(1,3)(1,4)(3,2)(4,2)(3,4)\}$
مجموعه S برای ناحیه ۲ (تونل دو در بازه دولومیت)	$S_2 = \{(1,2)(1,3)(1,4)(3,2)(4,2)(4,3)\}$
مجموعه S برای ناحیه ۳ (تونل یک در بازه دولومیت معدنی شده)	$S_3 = \{(1,2)(1,3)(1,4)(3,2)(4,2)(4,3)\}$
مجموعه S برای ناحیه ۴ (تونل دو در بازه دولومیت معدنی)	$S_4 = \{(1,2)(1,3)(1,4)(3,2)(4,2)(4,3)\}$

۷- نتیجه‌گیری

در انتخاب یک سامانه نگهداری مناسب برای تونل، به شاخص‌های گوناگونی توجه می‌شود. از روش‌های بسیاری مانند روش‌های عددی، برای تعیین سامانه نگهداری، استفاده می‌شود. چون شاخص‌های زیادی بر انتخاب سامانه نگهداری اثر دارد، یک ارزیابی عددی نمی‌تواند همه این شاخص‌ها را در برداشته باشد، هر چند یکی از راه‌کارهای مفید، بررسی رفتار تونل با

جدول (۶) مدل‌های برنامه‌ریزی خطی مربوط به نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴

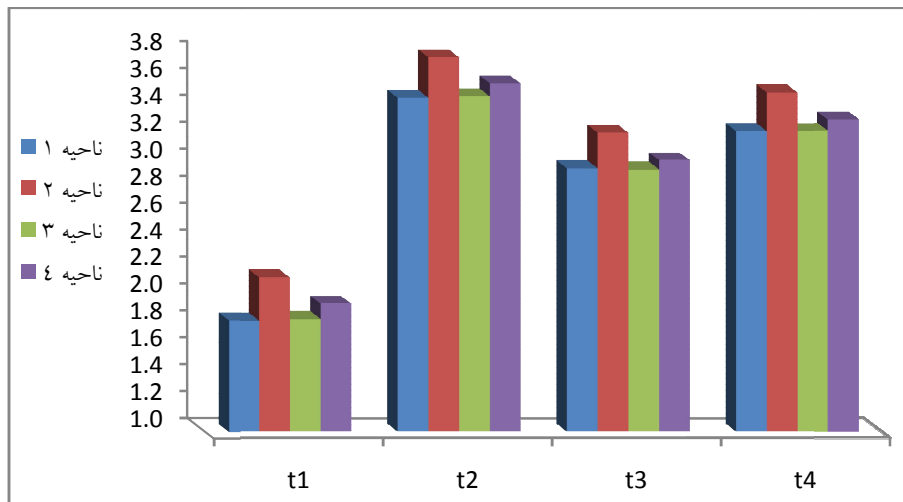
<p>تقلیل نیکی در بازه دورلمیت</p>	<p> $Min \emptyset_{1,2} + \emptyset_{1,3} + \emptyset_{1,4} + \emptyset_{3,2} + \emptyset_{4,2} + \emptyset_{3,4}$ Subject To: $-90.75 W_1 - 2.49 W_3 - 6.75 W_4 + 1.01 W_5 + 218 \times 10^{10} W_6 + 77 W_7 - 77 W_8 + 3 V_1 + 0.6 V_3 + 0.39 V_4 - 0.7 V_5 - 16 \times 10^4 V_6 - 14 V_7 + 14 V_8 + \emptyset_{12} \geq 0$ $-232 W_1 - 34.5 W_2 + 23.7 W_3 - 10.1 W_4 + 1.4 W_5 + 131 \times 10^{10} W_6 + 45 W_7 - 56 W_8 + 8 V_1 + 1.6 V_2 - 4.4 V_3 + 0.6 V_4 - 0.9 V_5 - 11 \times 10^4 V_6 - 10 V_7 + 8 V_8 + \emptyset_{13} \geq 0$ $-285 W_1 + 45 W_2 - 6.2 W_3 - 10.11 W_4 + 2.07 W_5 + 178 \times 10^{10} W_6 + 77 W_7 - 65 W_8 + 10 V_1 - 2 V_2 + 1.6 V_3 + 0.6 V_4 - 1.3 V_5 - 14 \times 10^4 V_6 - 14 V_7 + 10 V_8 + \emptyset_{14} \geq 0$ $141.25 W_1 + 34.5 W_2 - 26.25 W_3 + 3.3 W_4 - 0.43 W_5 + 868 \times 10^{10} W_6 + 32 W_7 - 21 W_8 - 5 V_1 - 1.6 V_2 + 5 V_3 - 0.2 V_4 + 0.2 V_5 - 54 \times 10^4 V_6 - 4 V_7 + 6 V_8 + \emptyset_{32} \geq 0$ $194.25 W_1 - 45 W_2 + 3.75 W_3 + 3.35 W_4 - 1.06 W_5 + 405 \times 10^{10} W_6 - 12 W_7 - 7 V_1 + 2 V_2 - 1 V_3 - 0.2 V_4 + 0.6 V_5 - 24 \times 10^4 V_6 + 4 V_8 + \emptyset_{42} \geq 0$ $-53 W_1 + 79.56 W_2 - 30 W_3 + 0.6239 W_5 + 462 \times 10^{10} W_6 + 32 W_7 - 9 W_8 + 2 V_1 - 3.6 V_2 + 6 V_3 - 0.34 V_5 - 30 \times 10^4 V_6 - 4 V_7 + 2 V_8 + \emptyset_{34} \geq 0$ $-325.25 W_1 + 79.5 W_2 - 37.4 W_3 - 20.28 W_4 + 3.6 W_5 + 702 \times 10^{10} W_6 + 263 W_7 - 240 W_8 + 11 V_1 - 3.6 V_2 + 7.8 V_3 + 1.2 V_4 - 2.4 V_5 - 52 \times 10^4 V_6 - 46 V_7 + 44 V_8 = 1$ End </p>
<p>تقلیل دو بازه دورلمیت</p>	<p> $Min \emptyset_{1,2} + \emptyset_{1,3} + \emptyset_{1,4} + \emptyset_{3,2} + \emptyset_{4,2} + \emptyset_{4,3}$ Subject To: $-291 W_1 + 5.4 W_2 - 0.8 W_3 - 8.5 W_4 + 0.15 W_5 + 218 \times 10^{10} W_6 + 77 W_7 - 77 W_8 + 6 V_1 - 0.1 V_2 + 0.1 V_3 + 0.5 V_4 - 0.008 V_5 - 165 \times 10^4 V_6 - 14 V_7 + 14 V_8 + \emptyset_{12} \geq 0$ $-519.75 W_1 + 5.4 W_2 - 0.8 W_3 - 17 W_4 + 0.71 W_5 + 131 \times 10^{10} W_6 + 45 W_7 - 56 W_8 + 11 V_1 - 0.19 V_2 + 0.19 V_3 + V_4 - 0.3 V_5 - 111 \times 10^4 V_6 - 10 V_7 + 8 V_8 + \emptyset_{13} \geq 0$ $-607.7 W_1 + 21.8 W_2 + 0.8 W_3 - 17 W_4 + 1.31 W_5 + 178 \times 10^{10} W_6 + 77 W_7 - 65 W_8 + 13 V_1 - 0.7 V_2 - 0.2 V_3 + V_4 - 0.64 V_5 - 141 \times 10^4 V_6 - 14 V_7 + 10 V_8 + \emptyset_{14} \geq 0$ $228.75 W_1 + 8.437 W_2 - 0.56 W_3 + 868 \times 10^{10} W_6 + 32 W_7 - 21 W_8 - 5 V_1 - 0.5 V_4 + 0.28 V_5 - 54 \times 10^4 V_6 - 4 V_7 + 6 V_8 + \emptyset_{32} \geq 0$ $316.75 W_1 - 16.4 W_2 - 1.6 W_3 + 8.4 W_4 - 1.15 W_5 + 405 \times 10^{10} W_6 - 12 W_7 - 7 V_1 + 0.6 V_2 + 0.4 V_3 - 0.5 V_4 + 0.56 V_5 - 24 \times 10^4 V_6 + 4 V_8 + \emptyset_{42} \geq 0$ $88 W_1 - 16.41 W_2 - 1.64 W_3 - 0.599 W_5 - 462 \times 10^{10} W_6 - 32 W_7 + 9 W_8 - 2 V_1 + 0.6 V_2 + 0.4 V_3 + 0.28 V_5 + 30 \times 10^4 V_6 + 4 V_7 - 2 V_8 + \emptyset_{43} \geq 0$ $-785 W_1 - 0.12 W_2 - 4.07 W_3 - 25.6 W_4 - 0.14 W_5 + 610 \times 10^{10} W_6 + 199 W_7 - 222 W_8 + 16 V_1 + 1.421 V_2 + 0.9 V_3 + 1.5 V_4 + 0.04 V_5 - 466 \times 10^4 V_6 - 38 V_7 + 40 V_8 = 1$ End </p>
<p>تقلیل یک بازه دورلمیت معینی شده</p>	<p> $Min \emptyset_{1,2} + \emptyset_{1,3} + \emptyset_{1,4} + \emptyset_{3,2} + \emptyset_{4,2} + \emptyset_{4,3}$ Subject To: $-294.7 W_1 - 178.7 W_2 - 8 W_3 - 3.2 W_4 + 0.5 W_5 + 218 \times 10^{10} W_6 + 77 W_7 - 77 W_8 + 8.2 V_1 + 5 V_2 + 2 V_3 + 0.19 V_4 - 0.4 V_5 - 165 \times 10^4 V_6 - 14 V_7 + 14 V_8 + \emptyset_{12} \geq 0$ $-288 W_1 - 178.7 W_2 - 8 W_3 - 6.4 W_4 + 0.412 W_5 + 131 \times 10^{10} W_6 + 45 W_7 - 56 W_8 + 8 V_1 + 5 V_2 + 2 V_3 + 0.399 V_4 - 0.32 V_5 - 111 \times 10^4 V_6 - 10 V_7 + 8 V_8 + \emptyset_{13} \geq 0$ $-631.7 W_1 - 928 W_2 - 3 W_3 + 23 W_4 + 1.1 W_5 + 178 \times 10^{10} W_6 + 77 W_7 - 65 W_8 + 19 V_1 + 32 V_2 + 0.69 V_3 - 1.4 V_4 - 0.8 V_5 - 141 \times 10^4 V_6 - 14 V_7 + 10 V_8 + \emptyset_{14} \geq 0$ $-6.79 W_1 + 3.21 W_4 + 0.16 W_5 + 868 \times 10^{10} W_6 + 32 W_7 - 21 W_8 + 0.2 V_1 - 0.2 V_4 - 0.12 V_5 - 54 \times 10^4 V_6 - 4 V_7 + 6 V_8 + \emptyset_{32} \geq 0$ $336.9 W_1 + 749.25 W_2 - 4.97 W_3 - 26.3 W_4 - 0.547 W_5 + 405 \times 10^{10} W_6 - 12 W_7 - 10.8 V_1 - 27 V_2 + 1.3 V_3 + 1.59 V_4 + 0.36 V_5 - 24 \times 10^4 V_6 + 4 V_8 + \emptyset_{42} \geq 0$ $343.7 W_1 + 749.2 W_2 - 4.9 W_3 - 29.6 W_4 - 0.7 W_5 - 462 \times 10^{10} W_6 - 32 W_7 + 9 W_8 - 11 V_1 - 27 V_2 + 1.3 V_3 + 1.8 V_4 + 0.4 V_5 + 30 \times 10^4 V_6 + 4 V_7 - 2 V_8 + \emptyset_{43} \geq 0$ $-540.6 W_1 + 213 W_2 - 28.9 W_3 - 39.2 W_4 + 1.2 W_5 + 610 \times 10^{10} W_6 + 199 W_7 - 222 W_8 + 13.6 V_1 - 12 V_2 + 7.3 V_3 + 2.3 V_4 - 0.84 V_5 - 466 \times 10^4 V_6 - 38 V_7 + 40 V_8 = 1$ End </p>
<p>تقلیل دو بازه دورلمیت معینی شده</p>	<p> $Min \emptyset_{1,2} + \emptyset_{1,3} + \emptyset_{1,4} + \emptyset_{3,2} + \emptyset_{4,2} + \emptyset_{4,3}$ Subject To: $-149.4 W_1 - 0.4 W_3 - 7.41 W_4 + 0.3 W_5 + 218 \times 10^{10} W_6 + 77 W_7 - 77 W_8 + 6.6 V_1 + 0.009 V_3 + 0.6 V_4 - 0.24 V_5 - 165 \times 10^4 V_6 - 14 V_7 + 14 V_8 + \emptyset_{12} \geq 0$ $-336.08 W_1 - 184 W_2 - 5 W_3 - 32 W_4 + 0.2 W_5 + 131 \times 10^{10} W_6 + 45 W_7 - 56 W_8 + 16 V_1 + 12 V_2 + 1.3 V_3 + 2.7 V_4 - 0.1 V_5 - 111 \times 10^4 V_6 - 10 V_7 + 8 V_8 + \emptyset_{13} \geq 0$ $-344 W_1 - 76.6 W_2 - 5.4 W_3 - 33 W_4 + 1.5 W_5 + 178 \times 10^{10} W_6 + 77 W_7 - 65 W_8 + 17 V_1 + 4.6 V_2 + 1.4 V_3 + 2.8 V_4 - 0.9 V_5 - 141 \times 10^4 V_6 - 14 V_7 + 10 V_8 + \emptyset_{14} \geq 0$ $186 W_1 + 184 W_2 + 4.6 W_3 + 24 W_4 + 0.09 W_5 + 868 \times 10^{10} W_6 + 32 W_7 - 21 W_8 - 10 V_1 - 12.6 V_2 - 1.2 V_3 - 2.1 V_4 - 0.006 V_5 - 54 \times 10^4 V_6 - 4 V_7 + 6 V_8 + \emptyset_{32} \geq 0$ $194.5 W_1 + 76.6 W_2 + 4.9 W_3 + 25.63 W_4 - 1.2 W_5 + 405 \times 10^{10} W_6 - 12 W_7 - 10.6 V_1 - 4.6 V_2 - 1.3 V_3 - 2.2 V_4 + 0.66 V_5 - 24 \times 10^4 V_6 + 4 V_8 + \emptyset_{42} \geq 0$ $7.9 W_1 - 108 W_2 + 0.3 W_3 + 1.1 W_4 - 1.3 W_5 - 462 \times 10^{10} W_6 - 32 W_7 + 9 W_8 - 0.5 V_1 + 8 V_2 - 0.009 V_3 - 0.1 V_4 + 0.72 V_5 + 30 \times 10^4 V_6 + 4 V_7 - 2 V_8 + \emptyset_{43} \geq 0$ $-440.5 W_1 - 108 W_2 - 0.8 W_3 - 21.1 W_4 - 0.1 W_5 + 610 \times 10^{10} W_6 + 199 W_7 - 222 W_8 + 19.3 V_1 + 8 V_2 + 0.1 V_3 + 1.7 V_4 + 8.88 V_5 - 466 \times 10^4 V_6 - 38 V_7 + 40 V_8 = 1$ End </p>

$W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8 \geq 0$

آزاد در علامت $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8$

جدول (۷) نتایج حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی مربوط به نواحی چهارگانه و به دست آوردن شاخص رتبه‌بندی

ناحیه ۱ (تونل یک در بازه دولومیت)	V ₁	۰	V ₅	۰	W ₁	۰	W ₅	۰	t ₁	۱.۸۲۷۵۴۶
	V ₂	۰	V ₆	-۰.۰۰۰۰۰۰۱	W ₂	۰	W ₆	۰	t ₂	۳.۴۸۱۹۵۶
	V ₃	۰	V ₇	۰	W ₃	۰.۰۰۰۰۷۱۱	W ₇	۰	t ₃	۲.۹۵۷۷۳۹
	V ₄	۰	V ₈	۰	W ₄	۰	W ₈	۰	t ₄	۳.۲۳۷۰۰۹
ناحیه ۲ (تونل دو در بازه دولومیت)	V ₁	-۰.۰۰۳۳۵۱	V ₅	۰	W ₁	۰	W ₅	۰	t ₁	۲.۱۴۹۵۰۰
	V ₂	۰	V ₆	-۰.۰۰۰۰۰۰۱	W ₂	۰	W ₆	۰	t ₂	۳.۲۲۵۹۳۹
	V ₃	۰	V ₇	۰	W ₃	۰	W ₇	۰	t ₃	۳.۵۱۹۸۳۷
	V ₄	۰	V ₈	۰	W ₄	۰	W ₈	۰	t ₄	۳.۷۸۵۵۷۴
ناحیه ۳ (تونل یک در بازه دولومیت مینرالیزه)	V ₁	۰	V ₅	۰	W ₁	۰	W ₅	۰	t ₁	۱.۸۳۹۰۴۲
	V ₂	۰	V ₆	-۰.۰۰۰۰۰۰۱	W ₂	۰.۰۰۰۰۰۱۸	W ₆	۰	t ₂	۳.۴۹۲۰۰۴
	V ₃	۰	V ₇	۰	W ₃	۰	W ₇	۰	t ₃	۲.۹۴۹۱۲۴
	V ₄	۰	V ₈	۰	W ₄	۰	W ₈	۰	t ₄	۳.۲۳۶۲۳۸
ناحیه ۴ (تونل دو در بازه دولومیت معدنی شده)	V ₁	-۰.۰۰۲۸۵۳	V ₅	۰	W ₁	۰	W ₅	۰	t ₁	۱.۹۵۳۰۵۵
	V ₂	۰	V ₆	-۰.۰۰۰۰۰۰۱	W ₂	۰	W ₆	۰	t ₂	۳.۵۹۰۴۰۶
	V ₃	۰	V ₇	۰	W ₃	۰	W ₇	۰	t ₃	۳.۰۱۸۷۱۰
	V ₄	۰	V ₈	۰	W ₄	۰	W ₈	۰	t ₄	۳.۳۱۷۸۸۴

شکل (۸) نتایج رتبه‌بندی سامانه‌های نگهداری با توجه به مقدار t_i

[2] Karadogan, A. , Bascetin, A. , Kahrman, A. and Gorgun, S.; 2001; "A new approach in selection of underground mining method"; Proceedings of the International Conference Modern Management of Mine Producing, Geology and Environment Protection, pp. 171– 183.

۸- مراجع

[1] Liqun, Z. , Shihui, L. , Lianfu, Z. and Lianming, J.; 1995; "The analysis and practice of multi objective decision making technique for selecting a mining plan"; Proceedings APCOM XXV Conference, Brisbane, 9–14 July 1995, pp. 255–259.

- [12] Vieira, F.M.C.C.; 2004; *Rock engineering-based evaluation of mining layouts applicable to ultra-deep, gold bearing; tabular deposits*. PhD Thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- [13] Vieira, F.M.C.C.; 2005; “*An integrated, multi-disciplinary evaluation of ultra-deep layouts*”; Proceedings Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM), Tucson, USA, 30 March-1 April, pp. 655-665.
- [14] Ataei, M.; 2005; “*Multicriteria selection for an alumina-cement plant location in East Azerbaijan province of Iran*”; The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 105, No. 8, pp. 507-513.
- [15] De Almeida, A.T. , Alencar, L.H. and De Miranda, C.M.G.; 2005; “*Mining methods selection based on multi criteria models*” Proceedings of the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, Dessureault, Ganguli, Kecojevic and Dwyer (eds), Taylor and Francis Group, London, ISBN 04 1537 449 9, pp. 19-24.
- [16] Bottero, M. and Peila, D.; 2005; “*The use of the Analytic Hierarchy Process for the comparison between micro tunneling and trench excavation*”. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 20, No. 6, pp. 501-513.
- [17] Uysal, Ö. and Demirci, A.; 2006; “*Shortwall stoping versus sub-level longwall caving-retreat in Eli coal Fields*”; The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 106, No. 6, pp. 425-432.
- [18] Bascetin, A. , Oztas, O. and Kanli A. I.; 2006; “*EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering*”. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 106, pp. 63-70.
- [19] Acaroglu, O. , Ergin, H. and Eskikaya, S.; 2006a; “*Analytical hierarchy process for selection of road headers*”; The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 106, pp. 569-575.
- [20] Acaroglu, O. , Feridunoglu, C. , Tumac, D.; 2006b; “*Selection of road headers by fuzzy multiple attribute decision making method*”; Trans. Inst. Min. Metall. A 115, A91-A98.
- [3] Dessureault, S. and Scoble, M.J.; 2000; “*Capital investment appraisal for the integration of new technology into mining systems*”; Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section A: Mining Technology), January-April 2000, Vol. 109, pp. A30-A40.
- [4] Eleveli, B. , Demirci, A. and Dayi, O.; 2002; “*Underground haulage selection: shaft or ramp for a small-scale underground mine*”; The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. Vol.102, pp. 255- 260.
- [5] Kesimal, A. and Bascetin, A.; 2002; “*Application of fuzzy multiple attribute decision making in mining operations*”; Mineral Resource Engineering. Vol. 11, pp. 59-72
- [6] Samanta, B. , Sarkar, B. and Murherjee, S. K.; 2002; “*Selection of opencast mining equipment by a multi criteria decision-making process*”. Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A). Vol. 111, pp. 136-142.
- [7] Vieira, F.M.C.C.; 2003; “*Utility-based framework for optimal mine layout selection, subject to multiple attribute decision criteria*”; Proceedings of the 31st International Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries, Cape Town, 14-16 May 2003, pp. 133-149.
- [8] 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, pp. A192-A199.
- [9] Eleveli, B. and Demirci, A.; 2004; “*Multi criteria choice of ore transport system for an underground mine: application of PROMETHEE methods*”; The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. pp. 251-256.
- [10] Bitarafan, M.R. and Ataei, M.; 2004; “*Mining method selection by multiple criteria decision making tools*”; The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. Vol. 104, No. 9, pp. 493-498.
- [11] Kazakidis, V.N. , Mayer, Z. and Scoble, M.J.; 2004; “*Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering*”; Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy: Mining Technology, Vol. 113, pp. A30-A42.

- [29] Alpay, S. and Yavuz, M.; 2009; " *Underground mining method selection by decision making tools*"; Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 24, No. 1, pp. 173–184.
- [30] Oraee, K. , Hosseini, N. and Gholinejad, M.; 2009; " *A New Approach for Determination of Tunnel Supporting System Using Analytical Hierarchy Process (AHP)* "; Proceeding of 2009 Coal Operators' Conference, The AusIMM Illawarra Branch. University of Wollongong, pp. 78- 89.
- [31] Azadeh A., Osanloo M., Ataei M., *A new approach to mining method selection based on modifying the Nicholas technique*, Applied Soft Computing, Volume 110, Issue 8, December 2009, PP.481-490.
- [32] Safari M., Ataei M., Khalokakaei R., Karamozian M. 2010, *Mineral processing plant location using the analytic hierarchy process- a case study: The Sangan iron ore mine (Phase I)*, Mining Science and Technology (China), Vol.20, No.5, September 2010, PP.691-695.
- [33] Saaty, T.L. and Vargas L.G.; 2006; *Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*, Springer, New York.
- [۳۴] اصغرپور، محمدجواد؛ (۱۳۷۷). *تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، دانشگاه تهران؛ تهران؛ ۱۳۷۷*
- [۳۵] شرکت تته البرز. *طرح استخراجی معدن زیرزمینی گوشفیل. گزارش طرح پایه؛ ۱۳۸۷*
- [۳۶] زینب رنجبر، . " *تعیین سامانه نگه‌داری مناسب برای تونل‌های دسترسی معدن گوشفیل با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM)* ". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود ۱۳۸۸.
- [21] Wu, H. , Yuan, J. ,Zhang, Y. and Song, S.; 2007; " *The evaluation of the core competition of the Wugang Mining Cooperation using the Analytic Hierarchy Process*"; The International Journal of Mineral Resources Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 119–126.
- [22] Aghajani, A. and Osanloo, M.; 2007; " *Application of AHP-TOPSIS Method for Loading-Haulage Equipment Selection in Open pit Mines*"; XXVII international Mining Convention, Mexico.
- [23] Musingwini, C. and Minnitt, R.C.A.; 2008; " *Ranking the efficiency of selected platinum mining methods using the analytic hierarchy process (AHP)* "; Third International Platinum Conference 'Platinum in Transformation', The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Pp. 319-326.
- [24] Ataei M., Sereshki F., Jamshidi M., Jalali S.M.E. 2008, " *Suitable mining method for the Golbini No.8 deposit in Jajarm (Iran) by using TOPSIS method*", Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining & Metallurgy, Section A, Mar2008, Vol. 117 Issue 1, PP.1-5.
- [25] Ataei M., Sereshki F., Jamshidi M., Jalali S.M.E. 2008, " *Mining method selection by AHP approach*", Journal of the south African institute of mining and metallurgy (SAIMM), Vol. 108, December 2008, PP.741-749.
- [26] Zare Naghadehi, M. , Mikaeil, R. and Ataei, M.; 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
- [27] Yavuz, M. , Iphar, M and Once, G.; 2008; " *The optimum support design selection by using AHP method for the main haulage road in WLC Tuncbilek colliery*"; Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 23, No. 1, pp. 111–119.
- [28] Karadogan, A. , Kahriman, A. and Ozer, U.; 2008; " *Application of fuzzy set theory in the selection of underground mining method*"; The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 108, No. 2, pp. 73–79.