نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره هشتم، شماره نوزدهم، سال ۱۳۹۲، صفحه ۴۵ تا ۵۶
Vol. 8, No. 19, 2013, pp. 45-56

به‌کارگیری روش تحلیل تاکسونومی به‌منظور انتخاب سیستم نگهداری مناسب تونل انتقال آب بهشت آباد

محمد حیاتی[۱]، محمد عطایی*[۲]، رامین رفیعی[۳]، سید اسماعیل جلالی[۴]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود Mohammad_hayaty@yahoo.com
۲ - استاد گروه معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، Ataei@shahroodut.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود raminlamezi@gmail.com
۴- دانشیار گروه معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، Jalalism@shahroodut.ac.ir

(دریافت ۲۸ شهریور ۹۱،پذیرش ۱۳ اسفند ۹۱)

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل در طراحی و اجرای یک پروژه تونل‌سازی انتخاب سیستم نگهداری مناسب، به‌منظور پایداری توده-سنگ و کاهش گسترش ناحیه پلاستیسیته در اطراف تونل است. انتخاب سیستم نگهداری تونل‌ها نقش مهمی در وضعیت اقتصادی و ایمنی دارد. این انتخاب اغلب بر اساس تجربه مهندسان طراح انجام می‌گیرد، که از دقت کافی برخوردار نبوده و لزوماً بهترین انتخاب انجام نمی‌گیرد. این در حالی است که معیارها و پارامترهای زیادی در انتخاب یک سیستم نگهداری مناسب دخیل هستند. در این تحقیق از روش تحلیل تاکسونومی به‌عنوان یکی از مهمترین و رایج‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه برای انتخاب سیستم نگهداری مناسب تونل‌ها استفاده شده است. بدین منظور معیارهای هزینه، ضریب اطمینان، کارآیی، زمان نصب، جابه‌جایی و قابلیت مکانیزاسیون مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از روش عددی تفاضل محدود (FLAC 2D) سیستم‌های نگهداری گوناگون بر مبنای پارامترهای فنی و پایداری تونل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سپس بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده، سیستم نگهداری مناسب انتخاب شده است.

کلمات کلیدی

تصمیم گیری چند شاخصه، تاکسونومی، تونل انتقال آب، بهشت آباد، سیستم نگهداری.

*نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

با توجه به توسعه روز افزون سازه‌های زیرزمینی، کاربری‌های متعدد آن‌ها، هزینه‌های فراوانی که برای ساخت هر یک از این سازه‌ها صرف می‌شود، لازم است که مقاومت این سازه‌ها در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار گیرد. بخش نخست از طراحی یک سازه زیرزمینی طراحی استاتیکی است. پایدارسازی در برابر بارهای استاتیکی ناشی از روباره و نیروهای هیدرواستاتیکی آب مهم‌ترین فاکتور در بخش نخست طراحی است. طراحی استاتیکی سازه‌های زیرزمینی متناسب با شرایط محیطی در برخی موارد به خصوص در شرایط آب‌دار پیچیده و مشکل است. از جمله مشکلات می‌توان به سختی کار برای پرسنل و در برخی مواقع توقف کامل عملیات اشاره کرد. از طرفی طراحی یک سازه زیرزمینی باید به‌نحوی انجام شود که ضمن تأمین نیازهای کاربر، پایداری و ایمنی فضای زیرزمینی در طول دوره احداث و پس از آن تأمین شود و عملکرد سازه زیرزمینی همان گونه باشد که از آن انتظار می‌رود. طراحی و ساخت تونل در محیط‌های متفاوت به روش و رویکردی نیاز دارد که از خیلی جهات با طراحی و اجرای دیگر پروژه‌ها متفاوت است، چرا که به جای مصالح معمولی مهندسی، توده سنگ، خود از مصالح اصلی است. طبیعتاً نوعی عدم قطعیت در برخی خواص سنگ و آب زیرزمینی وجود دارد. به منظور مقابله با این عدم قطعیت‌ها، لازم است طراحی درست و انعطاف‌پذیری انجام شود و در اجرا نیز ایمنی کامل رعایت شود. از طرفی مهندسان بارها با موقعیت‌هایی برخورد کرده‌اند که باید از میان گزینه‌های موجود، گزینه مناسب را انتخاب کنند. گزینه مناسب می‌تواند توسط تجربیات مهندسان با توجه با قوانین موجود انتخاب شود. اما با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه[1] (MADM) می‌توان با درجه اطمینان بالاتری گزینه مناسب را انتخاب کرد.

در تحقیقات متعددی از برخی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در مسائل مربوط به معدن و تونل و فضاهای زیرزمینی استفاده شده است که برخی از مهمترین آن‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱ : برخی از مهمترین تحقیقات انجام شده در استفاده از روش‌های MADM در مسائل معدنی و تونلی

مسئله و روش مورد مطالعه	نویسنده	
انتخاب پلان (طرح) بهینه معدن‌کاری در برنامه‌ریزی تولید یک معدن روباز با استفاده از روش AHP	Liquin, et al. (1995)	[۱]
انتخاب روش استخراج زیرزمینی یک معدن با استفاده از روش‌های Yager و AHP	Karadogan et al. (2001)	[۲]
خرید مناسب‌ترین سیستم پایش حفاری یک معدن روباز با استفاده از روشAHP	Dessureault and Scoble (2000)	[۳]
انتخاب مناسب‌ترین روش حمل و نقل زیرزمینی مواد معدنی با استفاده از روش PROMETHEE I	Elevli et al. (2002).	[۴]
انتخاب یک سیستم بهینه حمل و نقل در یک معدن زغال با استفاده از روش‌های Yager و AHP	Kesimal and Bascetin; (2002)	[۵]
انتخاب تجهیزات مناسب برای یک معدن روباز با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره	Samanta et al. (2002),	[۶]
انتخاب بهترین روش استخراج یک معدن طلا با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه	Vieira (2003)	[۷]
انتخاب تجهیزات مناسب برای یک معدن روباز با استفاده از روش AHP	Bascetin (2004)	[۸]
انتخاب مناسب‌ترین روش حمل و نقل زیرزمینی مواد معدنی با استفاده از روش PROMETHEE II	Elevli and Demirci (2004)	[۹]
انتخاب مناسب‌ترین روش استخراج آنومالی شماره سه معدن گل‌گهر با استفاده از روش AHP فازی	Bitarafan and Ataei (2004)	[۱۰]
انتخاب سیستم راک بولت نگهداری مناسب در یک معدن زیرزمینی با استفاده از روش AHP	Kazakidis et al. (2004)	[۱۱]
انتخاب بهترین روش استخراج یک معدن طلا با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه	Vieira (2004)	[۱۲]
انتخاب بهترین روش استخراج یک معدن طلا با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه	Vieira (2005)	[۱۳]
انتخاب بهترین موقعیت ساخت یک کارخانه سیمان با استفاده از روش AHP	Ataei (2005)	[۱۴]
انتخاب روش استخراج مناسب یک معدن روباز با استفاده از روش PROMETHEE II	De Almeida et al. (2005)	[۱۵]
انتخاب روش مناسب حفر یک تونل با استفاده از روش AHP	Bottero, Peila (2005)	[۱۶]
انتخاب مناسب‌ترین روش استخراج یک معدن زغال سنگ در ترکیه با استفاده از روش AHP	Uysal and Demirci (2006)	[۱۷]
انتخاب سیستم بهینه حمل و نقل در یک معدن روباز با استفاده از روش‌های Yager و AHP	Bascetin et al (2006)	[۱۸]
انتخاب ماشین حفار مناسب در عملیات تونل‌سازی با استفاده از روش AHP	Acaroglu et al (2006a)	[۱۹]
انتخاب ماشین حفار مناسب در عملیات تونل‌سازی با استفاده از روش Yager	Acaroglu et al (2006b)	[۲۰]
انتخاب نوع محصول در یک شرکت معدنی با استفاده از روش AHP	Wu et al. (2007)	[۲۱]
انتخاب سیستم بهینه بارگیری، باربری در معادن روباز با استفاده از روش‌های AHP و TOPSIS	Aghajani, Osanloo; (2007)	[۲۲]
انتخاب روش استخراج مناسب یک معدن پلاتین با استفاده از روش AHP	Musingwini and minnitt; (2008)	[۲۳]

[۲۴]	Ataei et al. (2008a)	انتخاب روش بهینه استخراج زیرزمینی با استفاده از روش TOPSIS
[۲۵]	Ataei et al. (2008b)	انتخاب روش بهینه استخراج زیرزمینی با استفاده از روش AHP
[۲۶]	Zare Naghadehi et al. (2008)	انتخاب روش بهینه استخراج زیرزمینی با استفاده از روش AHP فازی
[۲۷]	Yavuz et al. (2008)	انتخاب سیستم نگهداری مناسب در تونل اصلی باربری یک معدن زیرزمینی با استفاده از روش AHP
[۲۸]	Karadogan et al. (2008)	انتخاب بهینه‌ترین روش استخراج زیرزمینی یک معدن در ترکیه با استفاده از روش AHP فازی
[۲۹]	Alpay, Yavuz (2009)	انتخاب روش استخراج زیرزمینی مناسب با استفاده از روش‌های Yager و AHP
[۳۰]	Oraee et al. (2009)	انتخاب سیستم نگهداری مناسب در تونل‌های دسترسی یک معدن زیرزمینی با استفاده از روش AHP
[۳۱]	Azadeh et al. (2009)	انتخاب روش استخراج یک معدن با استفاده از روش AHP فازی
[۳۲]	Safari et al. (2009)	انتخاب محل کارخانه کانه‌آرایی با استفاده از روش AHP

بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که در تحقیقات انجام شده اغلب از روش‌هایی همچون AHP و TOPSIS به تنهایی و یا ترکیب با منطق فازی به منظور انتخاب گزینه مناسب (از قبیل: روش استخراج مناسب، سیستم حمل و نقل، بارگیری- باربری، حفاری مناسب، مکان مناسب، سیستم نگهداری مناسب و ....) بهره جسته‌اند اما تاکنون تحقیقات و مطالعات جدی در زمینه‌های مذکور خصوصاً انتخاب سیستم نگهداری تونل، با استفاده روش تحلیل تاکسونومی[۲] - به عنوان یکی از مهمترین و رایج‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در مسائل مهندسی - انجام نشده است. هدف از این تحقیق ارائه یک سیستم نگهداری مناسب با توجه به معیارهای مؤثر در انتخاب سیستم نگهداری برای تونل انتقال آب بهشت آباد، با استفاده از روش تحلیل تاکسونومی است، که در نهایت بتوان یک سیستم نگهداری ارائه کرد که هم از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد هم ایمنی لازم را تأمین کند.

۲- روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه

روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین m گزینه موجود به کار می‌روند و خصوصیت متمایز آن‌ها این است که اغلب تعداد معدود و قابل شمارشی از گزینه‌های از پیش تعیین شده وجود دارد. مناسب‌ترین گزینه در یک مدل چند شاخصه، گزینه‌ای خواهد بود که ارجح‌ترین ارزش از هر مشخصه موجود را تأمین می‌نماید. مبنای مدل‌سازی در این مسائل، ایجاد و تشکیل جدول توافقی[۳] است. از مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌های تصمیم-گیری چند شاخصه می‌توان به روش تحلیل تاکسونومی اشاره نمود [۳۳و۳۴].

۲-۱- روش تحلیل تاکسونومی

روش تحلیل تاکسونومی به‌طور گسترده در علم جغرافیا مطرح شده است که در این روش به درجه‌بندی مناطق از نظر توسعه یافتگی پرداخته می‌شود. این روش برای اولین بار در سال ۱۷۶۳ توسط آدنسون[۴] مطرح گردید و در سال ۱۹۵۰ توسط گروهی از ریاضی‌دانان بسط داده شد. در سال ۱۹۶۸ به عنوان وسیله‌ای مهم در طبقه‌بندی درجه توسعه یافتگی بین ملل مختلف توسط هولینگ[۵] در یونسکو مطرح گردید و امروزه در رشته‌های مختلف علوم مطرح شده است. آنالیز تاکسونومی برای طبقه‌بندی‌های مختلف در علوم به کار برده می‌شود که نوع خاص آن تاکسونومی عددی است. تاکسونومی عددی برای ارزیابی شباهت و نزدیکی‌های بین واحدهای تاکسونومیک و درجه‌بندی آن عناصر به گروه‌های تاکسونومیک به کار می‌رود. در این روش یک مجموعه به مجموعه‌های کم و بیش همگن تقسیم شده و مقیاس قابل قبول برای بررسی و سنجش میزان توسعه‌یافتگی نواحی در اختیار برنامه ریزان قرار می‌دهد. آنالیز تاکسونومی بر پایه تحلیل یک سری شاخص‌های از قبل تعیین شده است که در اولویت‌بندی یک سری گزینه‌ها به کار می‌رود و یک درجه‌بندی کامل برای ارزیابی گزینه‌ها ارائه می‌دهد و در زمینه‌های مختلف مهندسی به وفور استفاده می‌شود. از جمله مزایای مهم استفاده از این روش در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه این است که در این روش نیاز به تعیین اوزان اهمیت نسبی معیارها بر اساس نظرات خبرگان نیست در نتیجه قضاوت‌های کیفی خبرگان و کارشناسان امر در تحلیل نتایج دخالت کمتری داشته بنابراین می‌توان گفت نتایج عدم قطعیت کمتری دارند. مراحل مختلف تحلیل تاکسونومی در ۸ مرحله به شرح زیر ارائه شده است [۳۵]:

- **مرحله ۱: مشخص نمودن گزینه‌ها و تعیین شاخص‌های مختلف**

تحلیل‌گر و یا گروه کارشناسان (از طریق تشکیل پانل و یا روش دلفی) شاخص‌ها ($C_1,C_2,\ldots,C_n$) را انتخاب می‌کنند. در این مرحله m گزینه ($A_1, A_2,\ldots, A_m$) در نظر گرفته می‌شود که توسط n شاخص ارزیابی می‌شوند.

- **مرحله ۲: تشکیل ماتریس (تصمیم) و سپس محاسبه میانگین و انحراف معیار**

با توجه به تعداد شاخص‌ها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه

گزینه‌ها برای شاخص‌های مختلف، ماتریس تصمیم به صورت جدول ۲ تشکیل می‌شود. در این جدول r_{ij} توصیف کننده مطلوبیت گزینه iام از نظر شاخص jام به صورت کیفی یا کمّی است. در این مرحله باید توجه نمود که شاخص‌هایی که منفی هستند باید معکوس شده و یا به روش‌های دیگر منفی بودن آن در نظر گرفته شود. از دیگر روش‌های مرسوم و بهتری که می‌توان مثبت و منفی بودن شاخص‌ها را لحاظ کرد استفاده از رقم ایده‌آل مثبت و منفی است بدین معنی که برای شاخص‌های مثبت بزرگترین عدد مثبت و برای شاخص‌های منفی بزرگترین عدد منفی – برای هر ستون از ماتریس استاندارد – به عنوان ایده‌آل مثبت و منفی تعیین می‌شوند. از طرف دیگر بعضی شاخص‌ها کیفی می‌باشند که می‌توان آن‌ها را به شاخص‌های کمّی (شبه کاذب) تبدیل نمود. بعد از تشکیل ماتریس داده‌ها، میانگین و انحراف معیار هر شاخص محاسبه می‌شود.

- **مرحله ۳: تشکیل ماتریس استاندارد (نرمال شده) Z**

در ماتریس تصمیم، گزینه‌ها بر حسب شاخص‌هایی بیان شده‌اند که مقیاس‌های اندازه‌گیری مختلفی دارند و در این مرحله سعی در از بین بردن واحدهای مختلف آن‌ها است که برای این کار از رابطه Z استاندارد استفاده می‌شود یعنی میانگین مقادیر هر شاخص از مقدار هر خصوصیت کم شده و بر انحراف معیار آن تقسیم می‌شود:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} \quad \bar{x}_j}{\sigma_j} \qquad (۱)$$

$\bar{x}_j$: میانگین هر شاخص یا هر یک از ستون‌های ماتریس

σ_j : انحراف معیار هر شاخص یا هر یک از ستون‌های ماتریس

در انتهای ماتریس استاندارد برای هر کدام از شاخص‌های مثبت، بزرگترین عدد مثبت قابل مشاهده (ایده‌آل مثبت) و برای شاخص‌های منفی، بزرگترین عدد منفی (ایده‌آل منفی) تعیین می‌شود که با DO_j نمایش داده می‌شود.

جدول ۲ : ماتریس تصمیم

شاخص‌ها / گزینه‌ها	C_1	C_2	C_3	.	.	.	C_n
A_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}	.	.	.	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	.	.	.	r_{2n}
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
A_m	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}	.	.	.	r_{mm}
میانگین	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	.	.	.	.	$\bar{x}_n$
انحراف معیار	σ_1	σ_2	.	.	.	.	σ_n

- **مرحله ۴: تعیین فاصله مرکب بین گزینه‌ها**

در این مرحله با داشتن ماتریس استاندارد Z، فاصله هر گزینه از گزینه‌های دیگر نسبت به هر یک از شاخص‌ها از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$D_{ab} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \left(Z_{aj} - Z_{bj}\right)^2} \qquad (۲)$$

در اینجا a و b دو گزینه مورد ارزیابی هستند. این عملیات یک نوع محاسبه زوجی بین هر دو گزینه با هم است. مهمترین ویژگی‌های این عملیات به شرح زیر است:

۱) فاصله هر دو گزینه از خودش برابر صفر است $(D_{aa} = D_{bb} = 0)$.

۲) فاصله گزینه a و b مساوی با فاصله گزینه b از a است $(D_{ab} = D_{ba})$.

با توجه به موارد فوق ماتریس فواصل مرکب بین گزینه‌ها تشکیل می‌شود که قطر اصلی آن نشان دهنده فاصله هر گزینه با خودش است که برابر صفر خواهد بود.

- **مرحله ۵: تعیین کوتاه‌ترین فاصله**

در این مرحله پس از محاسبه فواصل مرکب، کمترین میزان فاصله هر سطر از ماتریس تعیین می‌شود. سپس میانگین هر کدام از فاصله گزینه‌ها و انحراف معیار آن‌ها به دست آمده و همین کار برای کوتاهترین فاصله نیز انجام می‌شود.

- **مرحله ۶: تحدید گزینه‌ها (همگن سازی گزینه‌ها)**

ممکن است واحدهایی وجود داشته باشند که دارای فاصله‌های بسیار بیشتر و یا کمتر از سایر گزینه‌ها باشد. بنابراین باید گزینه‌های ناهمگن از مجموعه حذف شوند، برای انجام این کار حد بالا و حد پایین با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$O_r = \bar{d}_r \pm 2\sigma_{dr} \qquad (۴)$$

$$O_r(+) = \bar{d}_r + 2\sigma_{dr} \qquad \text{حد بالا} \qquad (۵)$$

$$O_r(-) = \bar{d}_r - 2\sigma_{dr} \qquad \text{حد پایین} \qquad (۶)$$

در این صورت dr های بین حد بالا و حد پایین هماهنگ بوده و گزینه‌هایی که خارج از این محدوده تعیین شده قرار بگیرند، باید حذف شوند. مجدداً ماتریس تصمیم بدون گزینه‌های حذف شده تشکیل شده، مراحل تکرار می‌شوند.

- **مرحله ۷: تعیین الگو یا سرمشق گزینه‌ها**

در این مرحله فاصله هر یک از گزینه‌ها از مقدار ایده‌آل (مشخص شده در مرحله ۴) را به دست آورده، فاصله کم از ایده‌آل نمایانگر وضعیت مناسب آن است و فاصله زیاد بیان کننده وضعیت نا مناسب آن گزینه است. الگو یا سرمشق گزینه‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Cio = \sqrt{\sum_{j=1}^{M}\left(Z_{ij} - Z_{bj}\right)^2} \qquad (۷)$$

- **مرحله ۸: درجه‌بندی یا رتبه‌بندی میزان توسعه یافتگی گزینه‌ها (F_i)**

در این مرحله به درجه‌بندی توسعه یافتگی و وضعیت گزینه‌ها پرداخته می‌شود. اگر F_i میزان توسعه یافتگی یک گزینه (وضعیت مناسب یک گزینه) باشد در این صورت:

$$F_i = \frac{Cio}{Co} \qquad (۸)$$

دراین رابطه، Cio: سرمشق توسعه هر گزینه و Co: حد بالای توسعه است. برای محاسبه Co باید میانگین و انحراف Coها مشخص شود که این‌کار در انتهای مرحله هفت انجام می‌گیرد و محاسبه آن به صورت زیر است:

$$\mathrm{Co} = \overline{\mathrm{Cio}} + 2\sigma_{\mathrm{Cio}} \qquad (۹)$$

F_i بین صفر و یک قرار می‌گیرد و هر قدر به صفر نزدیک باشد نشان دهنده توسعه یافتگی بهتر گزینه (وضعیت بهتر آن) و هر چه به یک نزدیکتر می‌گردد بیانگر وضعیت بد آن (عدم توسعه یافتگی آن) است. در این صورت مسأله تاکسونومی پایان یافته و درجه‌بندی گرینه‌های آن مشخص شده است.

۳- مطالعه موردی تونل انتقال آب بهشت آباد

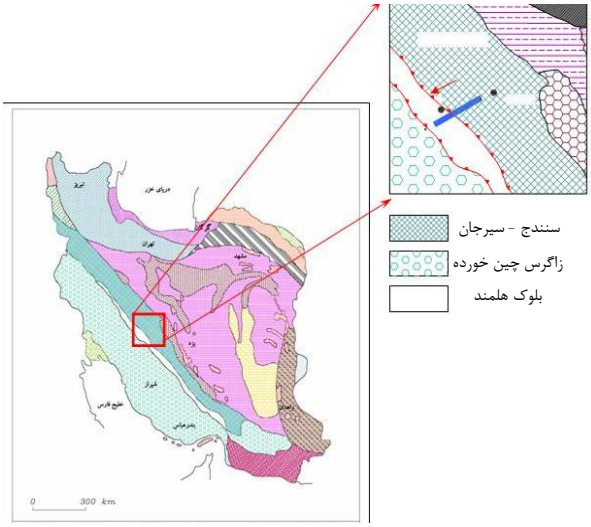
۳-۱- خصوصیات ژئومکانیکی منطقه

تونل انتقال آب بهشت آباد به طول تقریبی ۶۵ کیلومتر و قطر ۶ متر با مقطع نعل اسبی یکی از بزرگترین پروژه¬های آب رسانی است که با هدف انتقال آب به فلات مرکزی ایران در حال احداث می¬باشد. این تونل با راستای شمال شرقی- جنوب غربی در نزدیکی شهر اردل (شهرستان اردل در ۹۰کیلومتری مرکز چهارمحال وبختیاری می¬باشد) واقع شده است (شکل ۱). هدف از این طرح انتقال آب بهشت آباد با آورد سالانه ۱۰۷۰ میلیون متر مکعب برای رفع کمبودهای آبی در بخش¬های شرب، صنعتی و کشاورزی در فلات مرکزی ایران می¬باشد [۳۶]. گستره ساختگاه تونل انتقال آب به فلات مرکزی ایران در پهنه¬بندی زمین شناسی ایران در بخش کوه¬زاد زاگرس واقع است. تراست اصلی زاگرس در اغلب پهنه¬بندی¬های انجام شده در زمین شناسی ایران به عنوان مرز بین پهنه سنندج- سیرجان و زاگرس رورانده معرفی شده است. بدین ترتیب از ورودی تونل تا حوالی کیلومتر ۱۷، مسیر تونل در پهنه زاگرس رورانده و از آن پس تا خروجی تونل در پهنهٔ سنندج- سیرجان قرار می¬گیرد [۳۶]. در شکل (۲) ساختگاه تونل انتقال بر روی نقشه پهنه¬بندی زمین شناسی ایران نمایش داده شده است. همچنین خصوصیات ژئومکانیکی منطقه در جدول (۳) درج شده است.

جدول ۳ : خصوصیات ژئومکانیکی ساختگاه تونل[۲۵]

دانسیته $\rho(^{kg}/_{cm^3})$	2720
مدول الاسیسیته $E(Pa)$	1×10^9
مدول برشی $G_m(Pa)$	4.038×10^8
زاویه اصطکاک داخلی $\phi(\circ)$	30
چسبندگی $C(Pa)$	1.5×10^6
ضریب پوسان ν	0.3

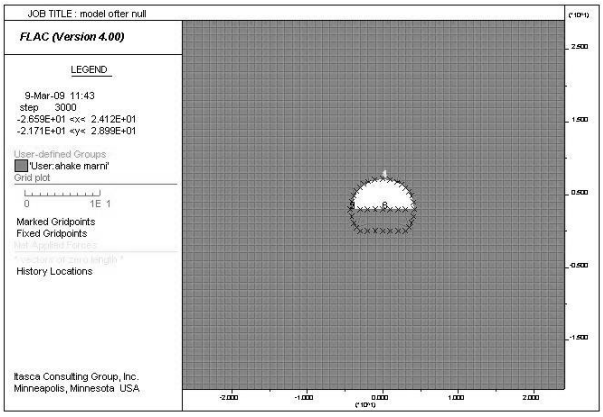
شکل ۱ : موقعیت جغرافیای رودخانه بهشت آباد [۳۶]



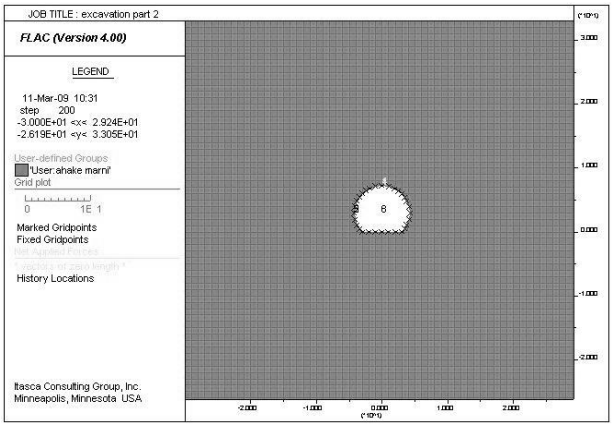
شکل ۲ : پهنه بندی زمین‌شناسی ایران و موقعیت تونل

۳-۲- ترسیم هندسه تونل

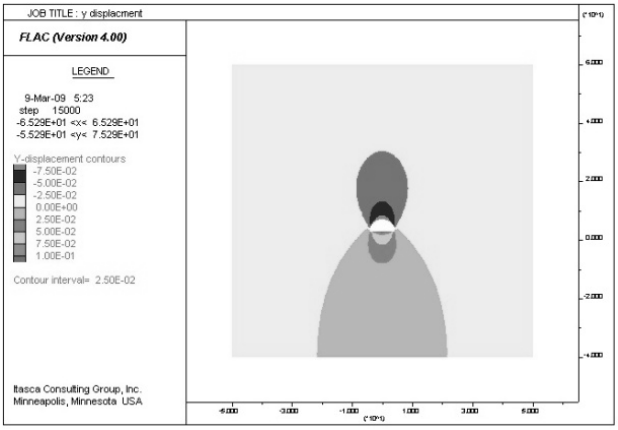
حفاری تونل بهشت آباد به دلیل سستی ساختگاه آن در چند مرحله و به صورت آتشباری انجام می‌شود. که هدف از این طرح حفاری کاهش گسترش منطقه پلاستیک و بالا بردن توان اجرائی عملیات است. در این طرح ابتدا تاج تونل که دارای عرض ۶ متر و ارتفاع ۳ متر است برداشته شده و پس از نصب سیستم نگهداری اولیه، حفاری قسمت زیرین تاج آغاز می‌شود. به‌منظور تحلیل پایداری تونل مذکور از نرم‌افزار عددی Flac2D به دلیل پیوسته بودن محیط استفاده شده است. که در شکل‌های (۳) و (۴) مراحل ساختن مدل در نرم‌افزار مذکور طبق مراحل حفاری نشان داده شده است. شکل‌های (۵) و (۶) تنش قائم (Syy) و جابه‌جایی قائم در اطراف تونل پس از حفاری را نشان می‌دهند. برای مدل ساخته شده در ابتدای کار سیستم نگهداری‌های مختلفی به صورت ترکیبی از مواد و مصالح مختلف (از قبیل بولت‌ها، شاتکریت و نگهداری فولادی) بر اساس تجارب، سوابق عملیاتی و نظرات فنی خبرگان و طراحان پروژه و بر اساس ویژگی‌های ژئومکانیکی و توده سنگ تونل پیشنهاد شد در ادامه کمترین مقدار ضریب ایمنی سیستم نگهداری، به وسیله تیم مهندسی و خبرگان و طراحان پروژه و بر پایه نتایج تحلیل عددی دقیق و استفاده از نرم افزار پیشنهاد شد (کوچکترین عدد ضریب ایمنی برای تونل مورد مطالعه۱/۲ پیشنهاد شده است) سپس با محاسبه ضریب ایمنی سیستم‌های مختلف، سیستم‌هایی که ضریب ایمنی آن‌ها کمتر از عدد پیشنهاد شده بود، از لیست تصمیم‌گیری حذف شدند. بنابراین در نهایت شش نوع سیستم نگهداری با ضریب اینمی بیش از ۱/۲ در نظر گرفته شده که در جدول (۴) نشان داده شده است[۳۷].



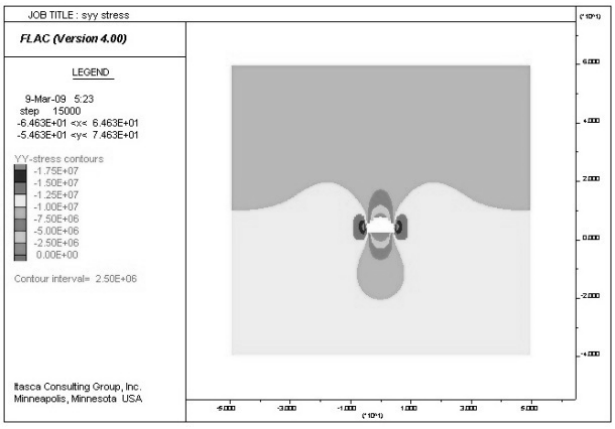
شکل ۳ : مرحله اول حفاری تونل



شکل ۴: مرحله دوم حفاری تونل



شکل ۵ : تنش و جابجایی اطراف تونل در مرحله اول حفاری



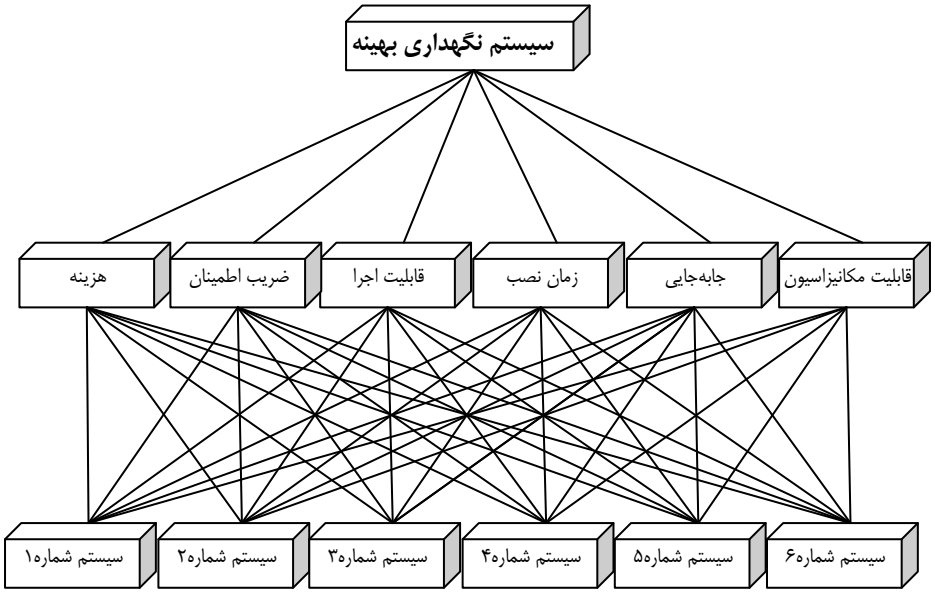
شکل ۶ : تنش و جابجایی اطراف تونل در مرحله دوم حفاری

جدول ۴ : سیستم‌های نگهداری پیشنهادی برای تونل بهشت آباد

شماره سیستم نگهداری	توضیحات
A (سیستم شماره ۱)	ترکیبی از شاتکریت به ضخامت ۲۵ سانتی‌متر و IP_{180}
B (سیستم شماره ۲)	ترکیبی از شاتکریت به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر و IP_{160}
C (سیستم شماره ۳)	ترکیبی از مش فولادی به قطر ۵ میلیمتر و شاتکریت به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر
D (سیستم شماره ۴)	ترکیبی از شاتکریت و الیاف فولادی به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر
E (سیستم شماره ۵)	پیچ سنگ‌های تزریقی به طول ۳ متر و به فواصل ۱/۵×۱/۵ متر و شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر
F (سیستم شماره ۶)	پیچ سنگ‌های تزریقی به طول ۳ متر و به فواصل ۲×۲ متر و شاتکریت به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر

٤ - انتخاب سیستم نگهداری مناسب

انتخاب بر اساس نتایج مطالعات عددی و همچنین تخمین بخشی از شاخص‌ها بر اساس مصاحبه‌های انجام شده با مهندسین طراح، خبرگان و کارشناسانی که در امر تونل‌سازی تجربه کافی داشته‌اند انجام شده است. در این تحقیق شش شاخص در نظر گرفته شده است که عبارتند از: هزینه (C_1)، ضریب اطمینان (C_2)، کارآیی سیستم نگهداری (C_3)، زمان نصب سیستم نگهداری (C_4)، جابجایی (C_5) و قابلیت مکانیزاسیون (C_6). بنابراین انتخاب سیستم نگهداری در این مطالعه شامل ۶ شاخص و ۶ گزینه خواهد بود که ساختار سلسله مراتبی آن در شکل (۷) نشان داده شده است. شاخص‌های هزینه، ضریب اطمینان و جابه‌جایی شاخص‌های کمّی هستند و با توجه به تحلیل‌های اقتصادی و مدل‌سازی عددی به دست آمده‌اند. بنابراین در ماتریس تصمیم به‌طور مستقیم این اعداد در درایه‌های مربوطه قرار خواهند گرفت. شاخص‌های کارآیی، زمان نصب و قابلیت مکانیزاسیون شاخص‌های کیفی هستند که با واژه‌های کیفی همچون خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد ارزیابی شده‌اند. در جدول (۵) ماتریس تصمیم اولیه شامل درایه‌های کیفی و کمّی درج شده است. برای کمّی کردن شاخص‌های کیفی از مقیاس دوقطبی[۶] استفاده شده است. بدین منظور 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 اساس ماتریس تصمیم نهایی به صورت جدول (۶) خواهد بود. در این ماتریس، شاخص‌های هزینه، زمان نصب سیستم نگهداری و جابجایی دارای جنبه منفی و شاخص‌های ضریب اطمینان، کارآیی سیستم نگهداری و قابلیت مکانیزاسیون دارای جنبه مثبت می‌باشند. همان گونه که اشاره شد برای انتخاب سیستم نگهداری مناسب، از روش تحلیل تاکسونومی به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، استفاده شده است که در ادامه محاسبات مربوط به استفاده از این روش آمده است.



شکل ۷ : نمودار تحلیل سلسله مراتبی انتخاب سیستم نگهداری مناسب

جدول ۵. ماتریس تصمیم اولیه (کمّی و کیفی)

	هزینه (ریال)	ضریب اطمینان	کارآیی	زمان	جابه‌جایی(متر)	مکانیزاسیون
سیستم شماره ۱ (A)	۱۵۱۰۰۹۰۰	۱/۵۷۲	کم	زیاد	۰/۰۱۹۷	کم
سیستم شماره ۲ (B)	۱۳۹۲۶۰۰۰	۱/۶۴	خیلی کم	خیلی زیاد	۰/۰۱۸۷	کم
سیستم شماره ۳ (C)	۱۱۵۹۸۶۱۰	۱/۵۱	زیاد	کم	۰/۰۲۰۸	کم
سیستم شماره ۴ (D)	۱۰۷۶۰۰۰۰	۱/۷۱	زیاد	خیلی کم	۰/۰۲۰۱	خیلی زیاد
سیستم شماره ۵ (E)	۵۹۳۹۸۲۰	۲/۰۳۷	خیلی زیاد	متوسط	۰/۰۲۲۴	زیاد
سیستم شماره ۶ (F)	۶۳۰۴۹۰۰	۱/۳	خیلی زیاد	متوسط	۰/۰۲۲۰	متوسط

جدول ۶. ماتریس تصمیم نهایی (کمّی) و محاسبه میانگین و انحراف معیار هر ستون

	هزینه	ضریب اطمینان	کارآیی	زمان	جابه‌جایی	مکانیزاسیون
سیستم شماره ۱ (A)	۱۵۱۰۰۹۰۰	۱/۵۷۲	۳	۷	۰/۰۱۹۷	۳
سیستم شماره ۲ (B)	۱۳۹۲۶۰۰۰	۱/۶۴	۱	۹	۰/۰۱۸۷	۳
سیستم شماره ۳ (C)	۱۱۵۹۸۶۱۰	۱/۵۱	۷	۳	۰/۰۲۰۸	۳
سیستم شماره ۴ (D)	۱۰۷۶۰۰۰۰	۱/۷۱	۷	۱	۰/۰۲۰۱	۹
سیستم شماره ۵ (E)	۵۹۳۹۸۲۰	۲/۰۳۷	۹	۵	۰/۰۲۲۴	۷
سیستم شماره ۶ (F)	۶۳۰۴۹۰۰	۱/۳	۹	۵	۰/۰۲۲۰	۵
میانگین	۱۰۶۰۵۰۳۸.۳۳	۱.۶۲۸۲	۶	۵	۰.۰۲۰۶	۵
انحراف معیار	۳۸۰۸۱۰۲.۱۰۱	۰.۲۴۴۵	۳.۲۸۶۳	۲.۸۲۸۴	۰.۰۰۱۴	۲.۵۲۹۸

بعد از تشکیل ماتریس تصمیم، میانگین و انحراف معیار خصوصیت‌های گزینه‌های مختلف نسبت به هر شاخص (اعداد هر ستون) محاسبه شده (دو ردیف آخر جدول ۶) و به‌منظور بی‌مقیاس کردن ماتریس داده‌ها از رابطه Z نرمال استاندارد (رابطه ۱) استفاده شده است و بدین ترتیب ماتریس استاندارد به‌دست می‌آید. نتایج این محاسبات در جدول (۷) نشان داده شده است. همان‌گونه‌که ذکر شد در انتهای ماتریس استاندارد بزرگترین عدد مثبت/ منفی هرستون برای شاخص‌های با جنبه مثبت/ منفی به عنوان ایده‌آل (DO_j) تعیین می‌شود. در ادامه به‌منظور تعیین فاصله مرکب بین گزینه‌ها نسبت هر کدام از شاخص‌ها، با داشتن ماتریس استاندارد از روابط (۲ و۳) استفاده کرده و نتایج در جدول(۸) درج شده است. پس از محاسبه فواصل مرکب، کمترین میزان فاصله هر سطر از ماتریس تعیین می‌شود. سپس میانگین و انحراف معیار هر کدام از فاصله

گزینه‌ها و همچنین کوتاه‌ترین فاصله نیز انجام می‌شود.

جدول ۷ : ماتریس استاندارد و تعیین اعداد ایده‌آل مثبت و منفی

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A	۱.۱۸۰۶	-۰.۲۲۹۸	-۰.۹۱۲۹	۰.۷۰۷۱	-۰.۶۵۱۲	-۰.۷۹۰۶
B	۰.۸۷۲۱	۰.۰۴۸۴	-۱.۵۲۱۵	۱.۴۱۴۲	-۱.۳۶۱۵	-۰.۷۹۰۶
C	۰.۲۶۰۹	-۰.۴۸۳۴	۰.۳۰۴۳	-۰.۷۰۷۱	۰.۱۳۰۲	-۰.۷۹۰۶
D	۰.۰۴۰۷	۰.۳۳۴۸	۰.۳۰۴۳	-۱.۴۱۴۲	-۰.۳۶۷۰	۱.۵۸۱۱
E	-۱.۲۲۵۱	۱.۶۷۲۴	۰.۹۱۲۹	۰.۰۰۰۰	۱.۲۶۶۸	۰.۷۹۰۶
F	-۱.۱۲۹۲	-۱.۳۴۲۴	۰.۹۱۲۹	۰.۰۰۰۰	۰.۹۸۲۷	۰.۰۰۰۰
DO_j	-۱.۲۲۵۱	۱.۶۷۲۴	۰.۹۱۲۹	-۱.۴۱۴۲	-۱.۳۶۱۵	۱.۵۸۱۱

جدول ۸ : فاصله مرکب بین گزینه‌ها و تعیین کمترین فاصله

	A	B	C	D	E	F	کوتاه‌ترین فاصله
A	۰.۰۰۰۰	۱.۲۴۴۰	۲.۲۳۶۶	۳.۶۴۷۶	۴.۴۰۶۵	۳.۷۰۱۵	۱.۲۴۴۰
B	۱.۲۴۴۰	۰.۰۰۰۰	۳.۲۷۳۴	۴.۳۲۶۷	۴.۹۳۶۶	۴.۴۷۰۶	۱.۲۴۴۰
C	۲.۲۳۶۶	۳.۲۷۳۴	۰.۰۰۰۰	۲.۶۶۲۷	۳.۳۹۳۸	۲.۲۱۱۹	۲.۲۱۱۹
D	۳.۶۴۷۶	۴.۳۲۶۷	۲.۶۶۲۷	۰.۰۰۰۰	۳.۰۰۹۴	۳.۲۹۷۵	۲.۶۶۲۷
E	۴.۴۰۶۵	۴.۹۳۶۶	۳.۳۹۳۸	۳.۰۰۹۴	۰.۰۰۰۰	۳.۱۳۱۲	۳.۰۰۹۴
F	۳.۷۰۱۵	۴.۴۷۰۶	۲.۲۱۱۹	۳.۲۹۷۵	۳.۱۳۱۲	۰.۰۰۰۰	۲.۲۱۱۹
جمع کوتاه‌ترین فواصل: **۱۲.۵۸۳۹**			میانگین کوتاه‌ترین فواصل: **۲.۰۹۷۳**			انحراف معیار کوتاه‌ترین فواصل: **۰.۷۲۵۸**	

در ادامه به‌منظور همگن سازی گزینه‌ها از روابط (۵ و ۶) استفاده کرده و حد بالا ($O_r(+)=$۳.۵۴۸۹) و حد پایین ($O_r(-)=$۰.۶۴۵۶) به دست می‌آیند. در این صورت، dr های بین ۳.۵۴۸۹ و ۰.۶۴۵۶ هماهنگ بوده و گزینه‌هایی که خارج ازاین محدوده تعیین شده قرار می‌گیرند، حذف می‌شوند. جهت تعیین الگوی گزینه‌ها (Cio) در این مرحله فاصله هر یک از گزینه‌ها از مقدار ایده‌آل (DO_j) را به‌دست آورده (جدول ۹) و همان‌گونه‌که اشاره شد فاصله کم از ایده‌آل بیانگر وضعیت مناسب آن گزینه است. در آخرین مرحله ابتدا حد بالای توسعه یافتگی (Co = ۶.۱۷۱۸۱) را با توجه به رابطه (۹) محاسبه کرده سپس به‌منظور رتبه‌بندی میزان توسعه یافتگی گزینه‌ها، شاخص (F_i) را مطابق رابطه (۸) محاسبه کرده و با توجه به اینکه این شاخص بین صفر و یک است، هر چه قدر که به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده توسعه یافتگی بهتر گزینه (وضعیت بهتر آن) و قرار گرفتن در رتبه بالاتر است. نتایج این محاسبات در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۹ : تعیین فاصله گزینه‌ها از مقدار ایده‌آل

	DO_j	-۱.۲۲۵۱	۱.۶۷۲۴	۰.۹۱۲۹	-۱.۴۱۴۲	-۱.۳۶۱۵	۱.۵۸۱۱	Cio
A		۵.۷۸۷۳	۳.۶۱۸۳	۳.۳۳۳۳	۴.۵۰۰۰	۰.۵۰۴۶	۵.۶۲۵۰	۴.۸۳۴۱
B		۴.۳۹۸۱	۲.۶۳۷۴	۵.۹۲۵۹	۸.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۵.۶۲۵۰	۵.۱۵۶۲
C		۲.۲۰۸۲	۴.۶۴۷۵	۰.۳۷۰۴	۰.۵۰۰۰	۲.۲۲۵۴	۵.۶۲۵۰	۳.۹۴۶۷
D		۱.۶۰۲۲	۱.۷۸۹۴	۰.۳۷۰۴	۰.۰۰۰۰	۰.۹۸۹۱	۰.۰۰۰۰	۲.۱۷۹۷
E		۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۲.۰۰۰۰	۶.۹۰۸۳	۰.۶۲۵۰	۳.۰۸۷۶
F		۰.۰۰۹۲	۹.۰۸۹۴	۰.۰۰۰۰	۲.۰۰۰۰	۵.۴۹۵۴	۲.۵۰۰۰	۴.۳۶۹۷
جمع Cio: **۲۳.۵۷۳۹**				میانگین Cio: **۳.۹۲۹۰**		انحراف معیار Cio: **۱.۱۲۱۴**		

همان‌طورکه از جدول (۱۰) مشاهده می‌شودکمترین مقدار شاخص (F_i) مربوط به گزینه E (سیستم نگهداری شماره ۵) است که رتبه اول را به خود اختصاص داده است و سیستم های شماره ۴، ۳، ۶، ۱ و۲ به ترتیب رتبه‌های دوم تا ششم را به‌دست آورده‌اند، به این ترتیب سیستم نگهداری شماره پنج به عنوان سیستم مناسب پیشنهاد می‌گردد سایر مشخصات مربوط به این سیستم نگهداری در جدول (۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۱۰ : تعیین میزان توسعه یافتگی و رتبه‌بندی گزینه‌ها

گزینه	*Cio*	*Fio*	رتبه
سیستم شماره ۱ (A)	۴.۸۳۴۱	۰.۷۸۳۳	۵
سیستم شماره ۲ (B)	۵.۱۵۶۲	۰.۸۳۵۴	۶
سیستم شماره ۳ (C)	۳.۹۴۶۷	۰.۶۳۹۵	۳
سیستم شماره ۴ (D)	۳.۰۸۷۶	۰.۵۰۰۳۰	۲
سیستم شماره ۵ (E)	۲.۱۷۹۷	۰.۳۵۳۲	۱
سیستم شماره ۶ (F)	۴.۳۶۹۷	۰.۷۰۸۰	۴

جدول ۱۱ : سایر مشخصات سیستم نگهداری شماره ۵

نوع سیستم نگهداری: پیچ سنگ تزریقی + شاتکریت	
ضریب اطمینان پیچ سنگ	۳/۹۵
ضریب اطمینان شاتکریت در مقابل نیروی برش	۴/۲۷
ضریب اطمینان شاتکریت در مقابل نیروی محوری	۲/۰۳۷
جابه‌جایی شاتکریت (m)	۰/۰۲۴۳۰
جابه‌جایی پیچ سنگ (m)	۰/۰۲۲۵۴

۵- نتیجه گیری

انتخاب یک سیستم نگهداری مناسب برای تونل، تامل و توجه به چندین معیار را شامل می‌شود. راه‌های بسیار زیادی از جمله روش‌های عددی برای معین کردن سیستم نگهداری، مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه معیارهای زیادی در انتخاب سیستم نگهداری مؤثر هستند ولی یک آنالیز عددی نمی‌تواند همه این معیارها را دربر داشته باشد، اگرچه یکی از راه‌کارهای مفید، بررسی رفتار تونل با اعمال گزینه‌های مختلف سیستم نگهداری برای یک تونل است. در یک روند تصمیم‌گیری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌توان ارزیابی‌ها را به صورت علمی‌تری انجام داد. در این تحقیق برای انتخاب سیستم نگهداری در تونل انتقال آب بهشت آباد از روش تحلیل تاکسونومی به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شده است. بدین منظور شش معیار هزینه، ضریب اطمینان، زمان، جابه‌جایی، قابلیت اجرا و قابلیت مکانیزاسیون مورد استفاده قرار گرفت. از میان شش سیستم نگهداری، سیستم نگهداری شماره پنج (E) یعنی پیچ سنگ‌های تزریقی به طول ۳ متر و به فواصل ۱.۵× ۱.۵ متر همراه با ۱۰ سانتیمتر شاتکریت، با توجه به اولویت معیارهای موجود به عنوان سیستم نگهداری مناسب انتخاب شد. بر خلاف روش‌های قدیمی انتخاب سیستم نگهداری، روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه امکان یک انتخاب علمی‌تر را در رویارویی با مسائل مهندسی به ما می‌دهند.

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.

[2]. Karadogan, A. , Bascetin, A. , Kahriman, 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.

[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]. Elevli, 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]. Elevli, 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.

[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.

[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 efficieny 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.

[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 1)*, 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.

[34]. Hwang, C. and Yoon, K.; 1981; *Multiple attribute decision making methods and applications: a state of the art survey*, Verlag, New York.

[35]. Azar, A., Rajab Zadeh, A., (1387) .; *Operational decisions*, Publications of Neghahe Danesh, Tehran.

[36]. Hashemi, M.; 1386; *Rock mechanic's reports, water supply project of the Central Plateau*, Zayandehab Consulting.

[37]. Rafiee, R., (1388) .; *Select the appropriate storage system Beheshtabad water tunnel using multi-criteria decision-making (MADM)*, MS Thesis, Department of Mining Engineering, Shahrood University of Technology.(In persion)

زیرنویس‌ها

[1] Multi Attribute Decision Making
[2] Taxonomy
[3]. Contingency table
[4] . Adenson
[5] . Holling
[6] . Bipolar scale