

## ارزیابی و انتخاب سیستم نگهداری تونل با استفاده از روش تخصیص خطی

- رامین رفیعی<sup>1</sup>، محمد عطایی<sup>2</sup>، سیدمحمد اسماعیل جلالی<sup>3</sup>، محمد حیاتی<sup>4\*</sup>
- 1- دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شهروود  
2- استاد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شهروود  
3- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شهروود  
4- اسنادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان

(دریافت: مرداد 1391، پذیرش: اسفند 1393)

### چکیده

از مهم‌ترین فاکتورهایی که نقش اساسی در توجیه فنی، اقتصادی و ایمنی سازه‌های زیرزمینی و خصوصاً تونل‌ها دارد انتخاب سیستم نگهداری مناسب است. پارامترها و معیارهای متعددی در انتخاب سیستم نگهداری برای یک فضای زیرزمینی دخیل هستند اما غالباً این انتخاب بر اساس قضاوت‌های مهندسی و تجربه طراحان انجام می‌گیرد که امکان بروز خطا و در نتیجه عدم انتخاب سیستم نگهداری مناسب را در پی خواهد داشت. لذا در این تحقیق از روش تخصیص خطی که از جمله مهم‌ترین و قوی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است برای انتخاب سیستم نگهداری بهینه تونل انتقال آب بهشت‌آباد استفاده شده است برای این منظور ابتدا، ضمن شناسایی سیستم‌های نگهداری گوناگون (گزینه‌ها) بر اساس پارامترهای فنی، با استفاده از روش عددی تفاضل محدود (FLAC2D) پایداری تونل برای هر کدام از گزینه‌ها بررسی شده است. در ادامه با محاسبه و تخمین هر کدام از معیارهای هزینه، ضریب اطمینان، کارایی، زمان نصب، جابه‌جایی و قابلیت مکانیزاسیون، برای گزینه‌های مورد نظر، با استفاده از روش تخصیص خطی از میان شش سیستم نگهداری، پیچ سنگ‌های تزریقی به طول 3 متر و به فواصل  $1/5 \times 1/5$  متر همراه با 10 سانتی‌متر شاتکریت، به‌عنوان سیستم نگهداری مناسب انتخاب شده است.

### کلمات کلیدی

تصمیم‌گیری چند شاخصه، تخصیص خطی، سیستم نگهداری، تونل انتقال آب بهشت‌آباد

## 1- مقدمه

نظر فنی و هم از نظر اقتصادی مؤثر هستند و از طرف دیگر روش‌هایی که برای طراحی نگهداری مورد استفاده قرار می‌گیرد عموماً بر اساس سلیقه طراحان و تجربه کاری آن‌ها است و در نتیجه امکان اینکه بتوان یک سیستم نگهداری با شرایط مناسب و بهینه را طراحی کرد وجود ندارد. در نتیجه ارائه روشی که بتواند یک سیستم نگهداری که دارای شرایط بهینه (فنی، اقتصادی و ایمنی) باشد ضروری به نظر می‌رسد. لذا استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در این راستا کاملاً جدید بوده و از این منظر این تحقیق دارای نوآوری است و به حوزه طراحی و انتخاب سیستم نگهداری تونل و موارد مشابه، دانشی جدید افزوده است. هدف از این تحقیق ارائه یک سیستم نگهداری مناسب با توجه به معیارهای مؤثر در انتخاب سیستم نگهداری برای تونل انتقال آب بهشت‌آباد، با استفاده از تخصیص خطی - به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه - است، که در نهایت بتوان یک سیستم نگهداری ارائه کرد که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و هم جنبه‌های فنی و ایمنی لازم را تأمین کند.

## 2- روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه

این روش‌ها بمنظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین  $m$  گزینه موجود به کار می‌روند و خصوصیت متمایز آن‌ها این است که معمولاً تعداد محدود و قابل شمارشی از گزینه‌های از پیش تعیین‌شده وجود دارد. بهترین گزینه در یک مدل چند شاخصه، گزینه‌ای خواهد بود که ارجح‌ترین ارزش از هر مشخصه موجود را تأمین می‌نماید. مبنای مدل‌سازی، ایجاد و تشکیل جدول توافقی<sup>3</sup> است [21]. از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌توان به روش تخصیص خطی اشاره نمود [22]. در این روش مانند دیگر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه قبل از هر چیز باید عملکرد گزینه‌ها از نظر معیارها ارزیابی شود. بدین منظور ماتریس تصمیم به‌صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

که در آن  $x_{ij}$  عملکرد گزینه  $i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) در رابطه با معیار  $j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) است.

امروزه ساخت و استفاده از سازه‌های زیرزمینی نظیر تونل‌ها به‌سرعت در حال توسعه است. با توجه به کاربری‌های متعدد این سازه‌ها و صرف هزینه‌های فراوان برای ساخت آن‌ها و جلوگیری از خسارات جبران‌ناپذیر، لازم است که مقاومت این سازه‌ها در برابر بارهای وارده مورد بررسی قرار گیرد. طراحی یک سازه زیرزمینی باید به نحوی انجام شود که ضمن تأمین نیازهای کاربر، پایداری و ایمنی فضای زیرزمینی در طول دوره احداث و پس‌از آن تأمین شود و عملکرد سازه زیرزمینی همان‌گونه باشد که از آن انتظار می‌رود [1]. طراحی و ساخت تونل در محیط‌های سنگی و خاکی مختلف به روش و رویکردی نیاز دارد که از خیلی جهات با طراحی و اجرای دیگر پروژه‌ها متفاوت است، چراکه به‌جای مصالح معمولی مهندسی، توده سنگ خود، از مصالح اصلی است. طبیعتاً نوعی عدم قطعیت در برخی خواص سنگ و آب زیرزمینی وجود دارد. به‌منظور مقابله با این عدم قطعیت‌ها، لازم است فرایند طراحی به درستی و مطابق با ضوابط علمی و دارای انعطاف‌پذیری لازم انجام شده و در اجرا نیز ایمنی کامل رعایت شود. از طرفی مهندسان بارها با موقعیت‌هایی برخورد کرده‌اند که با توجه به معیارهای مختلف می‌بایست از بین گزینه‌های موجود، گزینه مناسب را انتخاب کنند. گزینه مناسب می‌تواند توسط تجربیات مهندسان با توجه به قوانین موجود انتخاب شود. با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه<sup>1</sup> (MADM) می‌توان با درجه اطمینان بالاتری گزینه مناسب را انتخاب کرد [1]. بررسی و مرور تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که از برخی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مانند روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP) و روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) و ... به‌تنهایی و یا ترکیب با منطق فازی بمنظور انتخاب گزینه مناسب (از قبیل: روش استخراج مناسب، سیستم حمل‌ونقل، بارگیری - باربری، حفاری مناسب، مکان مناسب، سیستم نگهداری مناسب و ...) در مسائل مربوط به معدن، تونل و فضاهای زیرزمینی استفاده شده است [20-2]. اما تاکنون تحقیقاتی در زمینه انتخاب سیستم نگهداری تونل، با استفاده از روش تخصیص خطی<sup>2</sup>، انجام نشده است. با توجه به اینکه معیارهای زیادی در انتخاب سیستم نگهداری مناسب هم از

**گام دوم:** تشکیل ماتریس تخصیص یا ماتریس گاما ( $\gamma$ ) که یک ماتریس مربعی ( $m \times m$ ) بوده که سطر آن گزینه  $i$  و ستون آن رتبه  $k$  است. درایه‌های ماتریس گاما ( $\gamma_{ik}$ ) عبارت است از مجموع وزن معیارهایی که گزینه  $i$  ام در آن‌ها دارای رتبه  $k$  ام است. ماتریس گاما یک ماتریس تخصیص است که می‌توان با هر یک از روش‌های تخصیص (حمل‌ونقل، روش مجارستانی، روش شبکه و روش برنامه‌ریزی خطی صفر و یک) جواب بهینه را به دست آورد. متداول‌ترین روش حل در تخصیص خطی روش برنامه‌ریزی خطی است.

**گام سوم:** محاسبه جواب بهینه (رتبه نهایی) با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی به کمک مدل زیر:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \lambda_{ik} h_{ik} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^m h_{ik} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m h_{ik} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$h_{ik} = 0 \quad - \quad 1 \quad (4)$$

### 3- مطالعه موردی (تونل انتقال آب بهشت‌آباد)

تونل انتقال آب بهشت‌آباد به طول تقریبی 65 کیلومتر و قطر 6 متر با مقطع نعل اسبی یکی از بزرگ‌ترین پروژه‌های آبرسانی است که با هدف انتقال آب به فلات مرکزی ایران در حال احداث است. این تونل با راستای شمال شرقی-جنوب غربی در نزدیکی شهر اردل واقع شده است. هدف از این طرح انتقال آب بهشت‌آباد با برآورد سالانه 1070 میلیون مترمکعب برای رفع کمبودهای آبی در بخش‌های شرب، صنعتی و کشاورزی در فلات مرکزی ایران است [27]. گستره ساختگاه تونل انتقال آب به فلات مرکزی ایران در پهنه‌بندی زمین‌شناسی ایران در بخش کوه‌زاد زاگرس واقع است. تراست اصلی زاگرس در اغلب پهنه‌بندی‌های انجام شده در زمین‌شناسی ایران به‌عنوان مرز بین پهنه سنندج-سیرجان و زاگرس رو رانده معرفی شده است. بدین ترتیب از ورودی تونل تا حوالی کیلومتر 17، مسیر تونل در پهنه زاگرس رو رانده و از آن‌پس تا خروجی تونل در پهنه سنندج-سیرجان قرار می‌گیرد [27]. حفاری تونل بهشت‌آباد به دلیل سستی ساختگاه آن در

در استفاده از روش تخصیص خطی، تعیین اهمیت نسبی معیارهای موجود گام مؤثری در فرایند حل مسئله است. بدین منظور می‌توان از روش‌هایی همچون استفاده از نظرات خبرگان، آنتروپی شانون<sup>4</sup> و روش بردار ویژه<sup>5</sup> استفاده نمود [23] که در این تحقیق از روش بردار ویژه بهره گرفته شده است. پس از تشکیل ماتریس تصمیم و تعیین ضریب اهمیت معیارها، روند روش تصمیم‌گیری چند شاخصه تخصیص خطی به شرح ذیل است:

#### 2-1- روش تخصیص خطی

تخصیص خطی یکی از مهم‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است. در این روش گزینه‌های مفروض از یک مسئله بر حسب امتیازات آن‌ها از هر معیار رتبه‌بندی شده و سپس رتبه نهایی گزینه‌ها از طریق یک فرایند جبران خطی مشخص خواهد شد. در این روش بر اساس خاصیت سیمپلکس فضای جواب، ضمن در نظر گرفتن تمامی ترتیبات به‌طور ضمنی، جواب بهینه در یک فضای محدب سیمپلکس استخراج می‌شود. به‌علاوه خاصیت جبرانی بودن معیارها از مبادله بین رتبه‌ها و گزینه‌ها به دست می‌آید، اگرچه بردار وزن معیارها بر اساس نظر خبرگان به‌دست‌آمده باشد. در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و از جمله نقاط قوت و حائز اهمیت روش تخصیص خطی این است که این روش از جمله فنون ترکیبی (سخت و نرم) محسوب می‌شود. فنون تصمیم‌گیری سخت به فنونی اطلاق می‌شوند که تعریف مدل بر اساس دستگاه معادلات ریاضی انجام می‌گیرد. فنون تصمیم‌گیری نرم فنونی هستند که در آن مدل بر مبنای یک جدول توافقی بیان می‌شود. لذا فنون تصمیم‌گیری ترکیبی از ترکیب فنون سخت و فنون نرم شکل می‌گیرند. به این معنی که این فنون، ظاهراً از منطق فنون نرم پیروی می‌کنند و بر اساس جدول توافقی تعریف می‌شود ولی در عمل و در فرایند حل، از دستگاه معادلات ریاضی بهره می‌گیرند لذا نقاط قوت فنون نرم و سخت را دارا هستند. مراحل به‌کارگیری این تکنیک عبارت است از [22]:

**گام اول:** تعیین رتبه هر گزینه به ازای هر یک از معیارهای موجود به صورت یک ماتریس ( $m \times m$ ) که سطر آن بیانگر رتبه و ستون آن بیانگر معیار است.

زیرین تاج آغاز می‌شود. به‌منظور تحلیل پایداری تونل مذکور از نرم‌افزار عددی FLAC2D به دلیل پیوسته بودن محیط استفاده شده است. برای مدل ساخته شده شش نوع سیستم نگهداری در نظر گرفته شده که در جدول (1) نشان داده شده است [28].

چند مرحله و به‌صورت آتشیاری انجام می‌شود که هدف از این طرح حفاری کاهش گسترش منطقه پلاستیک و بالا بردن توان اجرایی عملیات است. در این طرح ابتدا تاج تونل که دارای عرض 6 متر و ارتفاع 3 متر است برداشته می‌شود. پس از نصب سیستم نگهداری اولیه حفاری قسمت

جدول 1: سیستم‌های نگهداری پیشنهادی برای تونل بهشت‌آباد

سیستم	توضیحات
A (سیستم 1)	ترکیبی از شاتکریت به ضخامت 25 سانتی‌متر و IP <sub>180</sub>
B (سیستم 2)	ترکیبی از شاتکریت به ضخامت 30 سانتی‌متر و IP <sub>160</sub>
C (سیستم 3)	ترکیبی از مش فولادی به قطر 5 میلی‌متر و شاتکریت به ضخامت 20 سانتی‌متر
D (سیستم 4)	ترکیبی از شاتکریت و الیاف فولادی به ضخامت 20 سانتی‌متر
E (سیستم 5)	پیچ سنگ‌های تزریقی به طول 3 متر و به فواصل 1/5 × 1/5 متر و شاتکریت به ضخامت 10 سانتی‌متر شاتکریت
F (سیستم 6)	پیچ سنگ‌های تزریقی به طول 3 متر و به فواصل 2 × 2 متر و شاتکریت به ضخامت 20 سانتی‌متر

میانگین هندسی تقسیم کرده و به‌این‌ترتیب وزن نرمال شده و نهایی هر معیار را که به آن بردار ویژه نیز می‌گویند به دست آمد نتایج در جدول (3) درج شده است.

معیارهای هزینه، ضریب اطمینان و جابه‌جایی معیارهای کمی هستند و با توجه به تحلیل‌های اقتصادی و مدلسازی عددی به‌دست‌آمده‌اند. بنابراین در ماتریس تصمیم به‌طور مستقیم این اعداد در درایه‌های مربوطه قرار خواهند گرفت. معیارهای کارایی، زمان نصب و قابلیت مکانیزاسیون معیارهای کیفی هستند که با واژه‌های کیفی همچون خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد ارزیابی شده‌اند. در جدول (4) ماتریس تصمیم اولیه شامل درایه‌های کیفی و کمی درج شده است. برای کمی کردن معیارهای کیفی از مقیاس دوقطبی<sup>6</sup> استفاده شده است. بدین منظور به‌جای واژه‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب از اعداد 1، 3، 5، 7 و 9 استفاده می‌شود بر این اساس ماتریس تصمیم نهایی به‌صورت جدول (5) خواهد بود. در این ماتریس، معیارهای هزینه، زمان نصب سیستم نگهداری و جابه‌جایی دارای جنبه منفی و معیارهای ضریب اطمینان، کارایی سیستم نگهداری و قابلیت مکانیزاسیون دارای جنبه مثبت هستند. لازم به ذکر است که تمامی این معیارها مستقل از یکدیگر هستند.

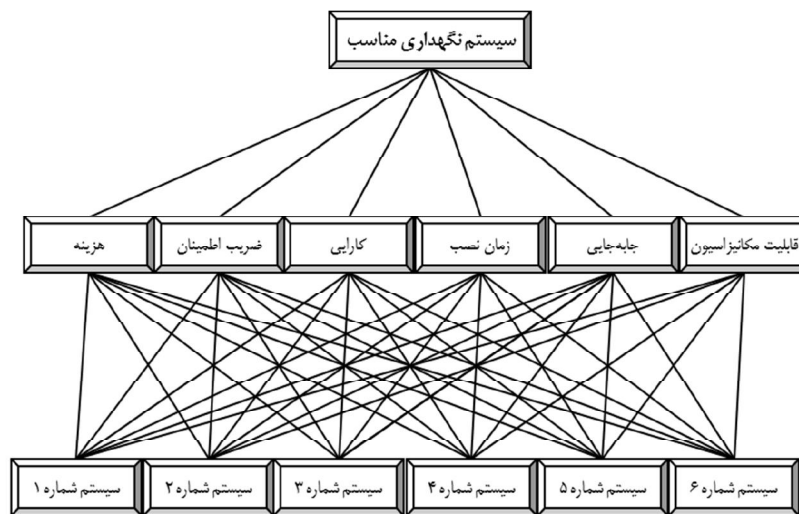
#### 4- انتخاب سیستم نگهداری بهینه

انتخاب سیستم نگهداری بهینه بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات عددی و همچنین تخمین بخشی از معیارها بر اساس مصاحبه‌های انجام شده با کارشناسانی که در امر تونل‌سازی تجربه کافی داشته‌اند انجام شده است.

##### 4-1- تشکیل ماتریس تصمیم و تعیین اهمیت معیارها

در این تحقیق شش معیار که در انتخاب یک سیستم نگهداری تونل مؤثر هستند در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: هزینه (C1)، ضریب اطمینان (C2)، کارایی سیستم نگهداری (C3)، زمان نصب سیستم نگهداری (C4)، جابه‌جایی (C5) و قابلیت مکانیزاسیون (C6). بنابراین انتخاب سیستم نگهداری در این تحقیق شامل 6 معیار و 6 گزینه خواهد بود که ساختار سلسله مراتبی آن در شکل (1) نشان داده شده است.

برای تعیین اهمیت نسبی معیارها از تکنیک بردار ویژه استفاده شده است [29]. برای این منظور ابتدا بر اساس نظرات خبرگان ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل شد (جدول 2) در ادامه ضمن محاسبه میانگین هندسی داده‌های هر سطر به‌منظور نرمال‌سازی داده‌ها (نرمال‌سازی یعنی اینکه جمع اوزان برابر 1 باشد)، میانگین هندسی به‌دست‌آمده در هر سطر را بر مجموع عناصر ستون



شکل 1: نمودار سلسله مراتبی انتخاب سیستم نگهداری بهینه تونل بهشت‌آباد

جدول 2: ماتریس مقایسه زوجی معیارها

هزینه	ضریب اطمینان	کارایی	زمان نصب	جابه‌جایی	قابلیت مکانیزاسیون	
1	0/5	0/33	0/33	0/25	0/2	هزینه
2	1	1	0/5	0/33	0/4	ضریب اطمینان
3	1	1	1	0/5	0/4	کارایی
3	2	1	1	0/5	0/25	زمان نصب
4	3	2	2	1	0/33	جابه‌جایی
5	4	4	4	3	1	قابلیت مکانیزاسیون

جدول 3: وزن نهایی معیارها

معیارها	وزن نهایی	معیارها	وزن نهایی
1- هزینه	0/27	4- زمان نصب	0/16
2- ضریب اطمینان	0/23	5- جابه‌جایی	0/11
3- کارایی	0/19	6- قابلیت مکانیزاسیون	0/04

جدول 4: ماتریس تصمیم اولیه (کفی و کیفی)

هزینه (ریال)	ضریب اطمینان	کارایی	زمان	جابه‌جایی (متر)	مکانیزاسیون	
15100900	1/572	کم	زیاد	0/0197	کم	A
13926000	1/64	خیلی کم	خیلی زیاد	0/0187	کم	B
11598610	1/51	زیاد	کم	0/0208	کم	C
10760000	1/71	زیاد	خیلی کم	0/0201	خیلی زیاد	D
5939820	2/037	خیلی زیاد	متوسط	0/0224	زیاد	E
6304900	1/3	خیلی زیاد	متوسط	0/0220	متوسط	F

جدول 5: ماتریس تصمیم نهایی (کمی)

مکانیزاسیون	جابه‌جایی	زمان	کارایی	ضریب اطمینان	هزینه (ریال)	
3	0/0197	7	3	1/572	15100900	A
3	0/0187	9	1	1/64	13926000	B
3	0/0208	3	7	1/51	11598610	C
9	0/0201	1	7	1/71	10760000	D
7	0/0224	5	9	2/037	5939820	E
5	0/0220	5	9	1/3	6304900	F

تشکیل ماتریس تخصیص است (جدول 7) که یک ماتریس مربعی  $6 \times 6$  بوده که سطر آن گزینه (سیستم نگهداری)  $i$  و ستون آن رتبه  $k$  است. مؤلفه‌های این ماتریس عبارت است از مجموع وزن معیارهایی که گزینه  $i$  ام در آن‌ها دارای رتبه  $k$  ام است. در مرحله بعد مدل برنامه‌ریزی خطی مسئله مطابق روابط (1 الی 4) به‌صورت جدول (8) نوشته شد:

#### 2-4- اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش تخصیص خطی

بدین منظور در ابتدا با توجه به ماتریس تصمیم، رتبه هر گزینه به ازای هر یک از معیارهای موجود تعیین می‌شود. بر این اساس مطابق جدول (6) یک ماتریس  $(6 \times 6)$  که سطر آن بیانگر رتبه و ستون آن بیانگر معیار است، تشکیل می‌شود. گام بعدی در روش تخصیص خطی

جدول 6: تعیین رتبه گزینه‌ها به ازای هر یک از معیارها

رتبه	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
1	E	E	E	D	B	D
2	F	D	F	C	A	E
3	D	B	C	E	D	F
4	C	A	D	F	C	A
5	B	C	A	A	F	B
6	A	F	B	B	E	C

جدول 7: ماتریس تخصیص در روش تخصیص خطی

گزینه	رتبه 1	رتبه 2	رتبه 3	رتبه 4	رتبه 5	رتبه 6
A	0	0/11	0	0/27	0/35	0/27
B	0/11	0	0/22	0	0/31	0/35
C	0	0/16	0/19	0/38	0/23	0/04
D	0/2	0/23	0/38	0/19	0	0
E	0/69	0/04	0/16	0	0	0/11
F	0	0/46	0/04	0/16	0/11	0/23

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده سیستم نگهداری E رتبه اول را کسب کرده است و سیستم‌های A, C, D, F و B به ترتیب رتبه‌های دوم تا ششم را به خود اختصاص داده‌اند، به این ترتیب سیستم نگهداری E به‌عنوان سیستم مناسب و بهینه برای تونل انتقال آب بهشت‌آباد پیشنهاد می‌شود.

در نهایت با حل این مدل در نرم‌افزار LINGO، رتبه نهایی هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شده است. بر این اساس اولویت‌بندی گزینه‌ها به‌صورت زیر است:

$$E > F > D > C > A > B$$

جدول 8: مدل برنامه‌ریزی خطی مسئله انتخاب سیستم نگهداری مناسب

<b>Max:</b>	
$0.273 h_{12} + 0.277 h_{14} + 0.187 h_{15} + 0.263 h_{16} + 0.273 h_{21} + 0.232 h_{23} + 0.308 h_{25} + 0.187 h_{26} + 0.187 h_{33} + 0.379 h_{34} + 0.389 h_{35} + 0.045 h_{36} + 0.045 h_{41} + 0.232 h_{42} + 0.379 h_{43} + 0.187 h_{44} + 0.157 h_{46} + 0.682 h_{51} + 0.045 h_{52} + 0.157 h_{53} + 0.116 h_{56} + 0.45 h_{62} + 0.045 h_{63} + 0.157 h_{64} + 0.116 h_{65} + 0.232 h_{66}.$	
<b>Subject to:</b>	
$h_{11} + h_{12} + h_{13} + h_{14} + h_{15} + h_{16} = 1$	$h_{21} + h_{22} + h_{23} + h_{24} + h_{25} + h_{26} = 1$
$h_{31} + h_{32} + h_{33} + h_{34} + h_{35} + h_{36} = 1$	$h_{41} + h_{42} + h_{43} + h_{44} + h_{45} + h_{46} = 1$
$h_{51} + h_{52} + h_{53} + h_{54} + h_{55} + h_{56} = 1$	$h_{61} + h_{62} + h_{63} + h_{64} + h_{65} + h_{66} = 1$
$h_{11} + h_{21} + h_{31} + h_{41} + h_{51} + h_{61} = 1$	$h_{12} + h_{22} + h_{32} + h_{42} + h_{52} + h_{62} = 1$
$h_{13} + h_{23} + h_{33} + h_{43} + h_{53} + h_{63} = 1$	$h_{14} + h_{24} + h_{34} + h_{44} + h_{54} + h_{64} = 1$
$h_{15} + h_{25} + h_{35} + h_{45} + h_{55} + h_{65} = 1$	$h_{16} + h_{26} + h_{36} + h_{46} + h_{56} + h_{66} = 1$
<b>End</b>	

## 5- نتیجه‌گیری

## 6- مراجع

- [1]. Yavuz, M., Iphar, M., Once, G., 2008. "The optimum support design selection by using AHP method for the main haulage road in WLC Tuncbilek colliery". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23 (1), 111-119.
- [2]. Oraee, K., Hosseini, N., 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*. 78- 89.
- [3]. Aghajani, A., Osanloo, M., 2007. "Application of AHP-TOPSIS Method for Loading-Haulage Equipment Selection in Open pit Mines". *XXVII international Mining Convention, Mexico*.
- [4]. Bascetin, A., 2004. "An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine". *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*. 113, A192-A199.
- [5]. Samanta, B., Sarkar, B., Murherjee, S. K., 2002. "Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision-making process". *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*. 111, 136-142.
- [6]. Zare Naghadehi, M., Mikaeil, R., 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
- [7]. Karadogan, A., Bascetin, A., Kahriman, A., Gorgun, S., 2001. "A new approach in selection of underground mining method". In: *Proceedings of the International Conference - Modern Management of*

انتخاب یک سیستم نگهداری مناسب برای تونل، تأمل و توجه به چندین معیار را در شامل می‌شود. راه‌های بسیاری 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 در برداشته 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 به‌صورت علمی‌تری انجام داد. در این تحقیق برای انتخاب سیستم نگهداری در تونل بهشت‌آباد نائین از روش تخصیص خطی به‌عنوان 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، پیچ سنگ‌های تزریقی به طول 3 متر و به فواصل  $1/5 \times 1/5$  متر همراه با 10 سانتی‌متر شاتکریت، با توجه به اولویت معیارهای موجود به‌عنوان سیستم نگهداری بهینه انتخاب شد. برخلاف روش‌های قدیمی انتخاب سیستم نگهداری، روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه امکان یک انتخاب علمی‌تر را در رویارویی با مسائل مهندسی فراهم می‌کند.

- [20]. حیاتی، م.، عطائی، م.، رفیعی، ر.، جلالی، م.ا.، 1392. "به کارگیری روش تحلیل تاکسونومی به‌منظور انتخاب سیستم نگهداری مناسب تونل انتقال آب بهشت‌آباد". نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره هشتم، شماره نوزدهم، ص 45-56.
- [21]. اصغرپور، محمدجواد. 1377. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [22]. Saaty, T. L., Vargas, L. G., 2006. Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks, New York: Springer.
- [23]. آذر، عادل. رجب‌زاده، علی. 1387. تصمیم‌گیری کاربردی، تهران: نگاه دانش.
- [24]. Hwang C., Yoon K., (1981). Multiple attribute decision making methods and applications: a state of the art survey, New York: Verlag.
- [25]. اصغری زاده، ع. 1385. "وزن‌دهی و رتبه‌بندی شاخص‌های موثر بر کیفیت لاستیک خودرو با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مطالعه موردی: شرکت کویر تایر". فصلنامه دانش مدیریت، سال 19، شماره 75، صفحه 3 تا 21
- [26]. طواری، م. 1387. "شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بهره‌وری نیروی انسانی با استفاده از تکنیک‌های MADM". نشریه مدیریت صنعتی، دوره 1، شماره 1، صفحه 71 تا 87
- [27]. Hashemi, M., 1386. Rock mechanic's reports, water supply project of the Central Plateau, Zayandehab Consulting.
- [28]. رفیعی، ر. 1388. انتخاب سیستم نگهداری مناسب تونل انتقال آب بهشت‌آباد با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [29]. Aczel, J., Saaty, T. L., 1983. "Procedures for synthesizing ratio judgments", Journal of Mathematical Psychology, 27, 93-102.
- Mine Producing, Geology and Environment Protection, 171–183.
- [8]. Ataei, M., 2005. "Multi criteria selection for alumina-cement plant location in East-Azerbaijan province of Iran". The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 105 (7), 507–514.
- [9]. Bitarafan, M. R., Ataei, M., 2004. "Mining method selection by multiple criteria decision making tools". The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 104 (9), 493–498.
- [10]. Kazakidis, V. N., Mayer, Z., Scoble, M. J., 2004. "Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering". Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A) 113, 30–42.
- [11]. Bottero, M., Peila, D., 2005. "The use of the Analytic Hierarchy Process for the comparison between micro tunneling and trench excavation". Tunneling and Underground Space Technology 20 (6), 501–513.
- [12]. Alpay, S., Yavuz, M., 2009. "Underground mining method selection by decision making tools". Tunneling and Underground Space Technology. 24 (1), 173–184.
- [13]. Eleveli, B., Demirci, A., 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. 102, 255–260.
- [14]. Kesimal, A., Bascetin, A., 2002. "Application of fuzzy multiple attribute decision making in mining operations". Miner. Resour. Eng. 11, 59–72.
- [15]. Eleveli, B., Demirci, A., 2004. "Multi criteria choice of ore transport system for an underground mine: application of PROMETHEE methods". J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 104, 251–256.
- [16]. Acaroglu, O., Ergin, H., Eskikaya, S., 2006a. "Analytical hierarchy process for selection of roadheaders". J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 106, 569–575.
- [17]. 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.
- [18]. Bascetin, A., Oztas, O., Kanli, A. I., 2006. "EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering". J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 106, 63–70.
- [19]. رفیعی، ر.، عطائی، م.، جلالی، م.ا.، 1390. "انتخاب سیستم نگهداری بهینه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی، مطالعه موردی تونل انتقال آب بهشت‌آباد". فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال چهارم، شماره سوم، ص 41-49.

- 1- Multi Attribute Decision Making
- 2- Linear Assignment
- 3- Contingency table
- 4- Entropy Shannon
- 5- Eigen value
- 6- Bipolar scale



## The appropriate support system assessment and selection for tunnel using LA method

R. Rafiei<sup>1</sup>, M. Ataei<sup>2</sup>, M. E. Jalali<sup>3</sup>, M. Hayati<sup>4\*</sup>

1- PhD Student of Mining, Dept. of Mining, Geophysics and Petroleum, Shahrood University, Iran

2-Professor, Dept. of Mining, Geophysics and Petroleum, Shahrood University, Iran

3- Associate Professor, Dept. of Mining, Geophysics and Petroleum, Shahrood University, Iran

4- Assistance Professor, Faculty of Engineering, Lorestan University

\*Corresponding Author: [Mohammad\\_hayaty@yahoo.com](mailto:Mohammad_hayaty@yahoo.com)

(Received: August 2012, Accepted: March 2015)

### Abstract

Selection of a support system for tunnels has an important role in safety and economic status. This choice is usually based on experience of design engineers. But the question is always whether the best choice has been made or not? In this study, Linear Assignment (LA) as one of the most important methods of multiple Attribute decision making (MADM), has been used to select optimum support system of tunnels. In this way the tunnel support system selection as a multi attribute decision making has been considered. The criteria for optimum support system selection includes: support cost, safety factor, applicability, installation time, and displacement and mechanization capability. For this purpose, first, using the finite difference numerical method (FLAC2D), various support systems based on technical parameters and stability of the tunnel has been identified. Then based on the considered criteria, using the aforementioned optimum support system has been selected.

### Keywords

Support System, Optimum, MADM, LA, FLAC2D