انتخاب روش حفاری تونل مترو با روش های AHP و TOPSIS

حسن بخشنده امنیه[۱*]، امیرحسین رستمی[۲]، کورش شهریار[۳]، حمید چاکری[۴] و مسعود چراغی سیف‌آباد[۵]

[۱]دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۲]دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
[۳]استاد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
[۴]استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران
[۵]استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۰۱/ ۰۷/ ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: ۲۸/ ۱۱/ ۱۳۹۷

چکیده

هنگامی که تونل از شرایط زمین ضعیف و متفاوتی عبور می‌کند و یا پوشش کم‌عمقی از خاک در بالای تاج تونل قرار دارد، توده خاک یا سنگ باید پایدار شده و روش حفاری به گونه‌ای طراحی و اجرا شود تا میزان نشست و همگرایی که از مهم‌ترین عوامل طراحی تونل است کنترل شود. هدف از انجام این تحقیق، ارائه طرحی است که بتوان با استفاده از آن، گزینه‌های مناسب حفر تونل متروی اصفهان خط ۱ را مشخص و مناسب ترین گزینه را انتخاب کرد تا به عنوان الگوی مناسب برای مقاطع آتی استفاده شود. این مدل براساس عوامل فنی، اقتصادی، اجرایی، اجتماعی و سیاسی و عوامل ژئومکانیکی در محل انجام پروژه و با توجه به معیارهای متعدد شکل گرفت. گزینه‌های بررسی شده شامل: حفاری مکانیزه تمام مقطع، اسلاری، اطریشی و روش سپرهای توازنی با فشار زمین (دو تونل) است که در نهایت روش سپرهای توازنی با فشار زمین (حفر دو تونل) در هر دو روش AHP (D=0.389) و TOPSIS (D=0.676391) به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد.

کلیدواژه‌ها: روش حفاری، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مترو اصفهان خط ۱.

***نویسنده مسئول:** حسن بخشنده امنیه
E-mail: hbakhshandeh@ut.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

در شهرها به علت وجود زمین‌های سست و ضعیف و به خاطر مشکلات ترافیک، حمل ونقل و آماده‌سازی تجهیزات، تونل‌ها عمدتاً در اعماق کم حفر می‌شوند. با توجه به شرایط موجود، حفاری تونل‌ها باید به گونه‌ای انجام گیرد که کمترین میزان آسیب و تغییرشکل در سطح زمین ایجاد شود. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره همواره به مدیران و کارشناسان کمک می‌کند تا در شرایط مختلف بتوانند بهترین تصمیم‌گیری را داشته باشند. در سال ۲۰۰۸ یاووز، طراحی و انتخاب سیستم نگهداری با روش AHP را برای راهرو اصلی معدن زغال سنگ زیرزمینی در کشور ترکیه انجام داد (Yavuz et al., 2008). همچنین Bascetin (2007) از روش‌های چندشاخصه در بازسازی یک معدن روباز استفاده کرد. در این مقاله با روش رتبه‌بندی اولویت‌ها بر اساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) است، گزینه مناسب انتخاب گردید. در ابتدا گزینه‌ها و معیارهای موثر تعیین گردید، سپس با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) معیارهای مورد استفاده وزن دهی شد. پس ازبی‌مقیاس‌سازی ماتریس وزنی به دست آمده از روش AHP، این ماتریس به عنوان الگوی روش TOPSIS مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب اولویت‌بندی بین گزینه‌های موجود به عنوان روش مناسب روش حفاری تونل مترو انجام و گزینه مناسب انتخاب گردید.

۲-روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP

تحلیل سلسله مراتبی شامل گام‌های ذیل است:

الف) گام اول- درخت سلسله مراتبی: ایجاد درخت سلسله مراتبی جهت تعیین هدف، معیارها و گزینه‌ها.

ب) گام دوم- ماتریس تصمیم‌گیری: ماتریس تصمیم‌گیری براساس جدول ۱ ایجاد می‌شود (Saaty, 1980).

ج) گام سوم- ماتریس مقایسات زوجی: بین اعضای ماتریس تصمیم‌گیری، مقایسات زوجی به منظور اهمیت و برتری نسبی شاخص‌ها نسبت به یکدیگر صورت می‌پذیرد. ماتریس مقایسات زوجی بین n شاخص به صورت زیر در رابطه۱ نمایش داده می‌شود (Saaty, 1990):

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad , a_{ii} = 1, \\ i, j = 1 \text{ و } 1,2, \dots, n$$

که در این رابطه a_{ij} نشان‌دهنده برتری شاخص i ام بر شاخص j ام است و بالعکس.

جدول ۱- مقیاس نه نقطه‌ای ساعتی.

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملاً مرجح و یا مطلوب‌تر	۹
ترجیح و یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح و یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجح و یا مطلوب‌تر	۳
ترجیح و یا مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲، ۴، ۶ و ۸

د) گام چهارم- ماتریس بی‌مقیاس (Saaty, 2000): ماتریس مقایسات زوجی بایستی بی‌مقیاس شود که با تقسیم هر یک از عناصر ستون بر مجموع عناصر همان ستون انجام می شود. با انجام این کار، ماتریس بی‌مقیاسی حاصل می‌شود که مجموع عناصر

www.SID.ir

Archive of SID

هر ستون از آن برابر یک است. ماتریس مقایسات زوجی بی‌مقیاس شده در رابطه ۲ نشان داده شده است.

$$R = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1J} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nJ} \end{vmatrix}, i = 1,2,\dots,n \ , j = 1,2,\dots,J$$

ه) گام پنجم– اوزان نسبی: برای به دست آوردن وزن نسبی هر شاخص، میانگین حسابی هر سطر محاسبه می‌شود (Yoon and Hwang, 1995).

و) گام ششم– بردار اوزان شاخص‌ها: مقادیر وزن نسبی شاخص‌ها در وزن نسبت داده شده به معیارها در سطوح بالاتر ضرب شده و بردار وزن کلی شاخص‌ها به دست می‌آید. این مقدار در رابطه ۳ مشخص شده است.

$$W = \begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{vmatrix}$$

که در این رابطه W برابر وزن می‌باشد. در روش AHP برای میزان سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان، با استفاده از رابطه ۴ نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی است. هرچه نرخ سازگاری به صفر نزدیک‌تر باشد، میزان سازگاری بیشتر است. مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد تا نتایج AHP قابل قبول باشد. وقتی در ارزیابی گزینه‌ها و شاخص‌ها نظرات چند تصمیم‌گیرنده اثر داده شود بایستی از روش AHP گروهی استفاده شود (Altuzarra, 2004). در این موارد همانند رابطه ۵ بایستی میانگین هندسی نظرات کارشناسان مختلف (x_{ij}) محاسبه شده و به عنوان ماتریس اصلی در نظر گرفته شود.

$$x'_{ij} = \left| \prod_{l=1}^{k} \left| x_{ijl} \right| \right|^{\frac{1}{k}}, i,j = 1,2,\dots,n \ , i \neq j \ , l = 1,2,3,\dots,k$$

که در این رابطه l شماره تصمیم‌گیرنده، k تعداد تصمیم‌گیرندگان و (i, j) شاخص‌ها یا گزینه‌های مورد مقایسه هستند. همچنین اگر نظرات تصمیم‌گیرندگان تأثیر متفاوتی داشته باشد، می‌توان به نظرات کارشناسان وزنی (w_l) مطابق ارزش داده شود که در رابطه ۶ آورده شده است.

$$x'_{ij} = \left\{ \prod_{l=1}^{k} \left| x_{ijl}^{w_l} \right| \right\}^{\frac{1}{\sum w_l}}$$

۳– تحلیل با روش TOPSIS

این مدل توسط Hwang and Yoon (1981) پیشنهاد شدکه m گزینه به وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. دراین تکنیک گزینه انتخابی، بایستی کمترین فاصله را با راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حال ممکن) داشته باشد.

الف) گام اول– ماتریس بی‌مقیاس موزون: این ماتریس که در رابطه ۷ نشان داده شده است، از ضرب کردن ماتریس بی‌مقیاس شده R_{ij} در ماتریس قطری حاوی وزن کلی شاخص‌ها w_i به دست می‌آید.

$$v_{ij} = R_{ij} \times w_i = \begin{vmatrix} r_{11}w_1 & \cdots & r_{1n}w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1}w_1 & \cdots & r_{in}w_n \end{vmatrix} i = 1,\dots,i; j = 1,\dots,n$$

ب) گام دوم– تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی: ماتریس بی‌مقیاس موزون شاخص‌ها رانشان می‌دهد و راه‌حل ایده‌آل مثبت A^* از رابطه ۸ و راه‌حل ایده‌آل منفی A^- از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

رابطه ۸

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \epsilon I' \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \epsilon I'' \right) \right\}$$

رابطه ۹

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \epsilon I' \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \epsilon I'' \right) \right\}$$

ج) گام سوم– تعیین فاصله گزینه‌ها تا ایده‌آل مثبت و منفی: برای این کار فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت dj^+ از رابطه ۱۰ و فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل منفی dj^- از ربطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

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

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

د) گام چهارم– تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه حل ایده‌آل: برای تعیین نزدیکی نسبی CL_i^* از رابطه ۱۲ استفاده می‌شود.

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

ه) گام پنجم– اولویت‌بندی: در نهایت هر گزینه‌ای که دارای CL_i^* بزرگتری باشد گزینه مناسب خواهد بود و بر این اساس گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند.

۴– انتخاب روش حفاری تونل مترو اصفهان خط ۱

در این تحقیق، گزینه‌ها به این شرح است: A روش اطریشی NATM، B حفاری مکانیزه تمام مقطع، C سپرهای دوغابی (slury) و D سپرهای توازنی با فشار زمین (دو تونل) (EPB shield) که براساس معیارهای: تأثیر دانه‌بندی خاک و آبرفت در مسیر تونل (C_1)، هزینه عملیاتی (C_2)، پایداری سینه کار (C_3)، میزان نشست (C_4)، مدیریت هزینه (مهندسی ارزش) (C_5)، دسترسی به نیروی کار متخصص (C_6)، دسترسی به ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز (C_7)، میزان انعطاف پذیری روش به منظور تغییر اجرا در شرایط پیش‌بینی نشده (C_8)، قابلیت مکانیزاسیون (C_9)، زمان پروژه (C_{10})، تأثیر ابزار دقیق بر کارایی روش (C_{11})، لزوم استفاده از کارشناس خارجی (C_{12}) تحلیل انجام شد. ابتدا برای به دست آوردن وزن شاخص‌ها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. جهت بهبود و دقت بیشتر وزن‌های به دست آمده، از روش AHP گروهی استفاده شد. قضاوت‌ها با استفاده ازهشت گروه تصمیم گیرنده انجام گرفت. در این مرحله با استفاده از تکنیک‌های مختلف روش گروهی قضاوت‌ها انجام گردید و با استفاده از میانگین هندسی قضاوت کارشناسان طبق رابطه ۷، وزن‌های نهایی به دست آمد. ورودی الگوریتم TOPSIS بایستی بصورت ماتریس بی‌مقیاس موزون باشد. بنابراین با استفاده از رابطه ۷ ماتریس بی‌مقیاس موزون به دست آمد (جدول ۲) که بر اساس آن اولویت‌بندی‌های روش AHP تعیین شد (جدول ۳). با استفاده از رابطه ۸، راه‌حل ایده‌آل مثبت A^* و با استفاده از رابطه ۹، راه حل ایده‌آل منفی A^- برای هر شاخص به دست آمد. جدول ۴ قسمتی از ماتریس بی‌مقیاس موزون و راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی را برای هر شاخص نشان می‌دهد. پس از به دست آمدن راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱ به ترتیب فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت d_j^+ و فاصله هر گزینه از ایده‌آل منفی d_j^- به دست آمد (جدول ۵). در نهایت برای تعیین نزدیکی نسبی هر گزینه

www.SID.ir

Archive of SID

از رابطه ۱۲ استفاده گردید. فاصله‌های هر گزینه از ایده‌آل‌های مثبت و منفی، نزدیکی نسبی هر گزینه و اولویت‌بندی نهایی گزینه‌های حفر تونل مترو تعیین شد (جدول ۶). در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب رتبه بندی انتخاب گزینه روش حفاری تونل مترو اصفهان خط ۱ با روش های AHP و TOPSIS تعیین شد.

جدول ۲- ماتریس بی‌مقیاس شده و وزن شاخص‌ها.

گزینه‌ها / معیارها	B	A	D	C	وزن به‌دست آمده
C1	0.088	0.154	0.268	0.261	0.006
C2	0.128	0.143	0.164	0.197	0.010
…	…	…	…	…	…
C11	0.111	0.140	0.282	0.202	0.052
C12	0.101	0.142	0.256	0.205	0.024

جدول ۳- وزن و رتبه‌بندی گزینه‌های انتخاب روش حفاری تونل مترو اصفهان خط ۱ بر اساس روش AHP.

گزینه‌ها	وزن به‌دست آمده	اولویت‌بندی
A	0.125	3
B	0.108	4
C	0.378	2
D	0.389	1

جدول ۴- ماتریس بی‌مقیاس شده موزون برای گزینه‌های روش حفاری تونل مترو اصفهان خط ۱.

گزینه‌ها / معیارها	B	A	D	C
C1	0.000528	0.000924	0.001608	0.001566
…	…	…	…	…
C11	0.005772	0.007280	0.014664	0.010504
C12	0.002424	0.003408	0.006144	0.004920

جدول ۵- فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و اولویت‌بندی نهایی گزینه روش حفاری تونل مترو اصفهان خط ۱.

معیارها	فاصله از ایده‌آل‌های مثبت	فاصله از ایده‌آل‌های منفی
C1	0.001608	0.000084
C2	0.001970	0.000160
…	…	…
C11	0.014664	0.000884
C12	0.006144	0.000360

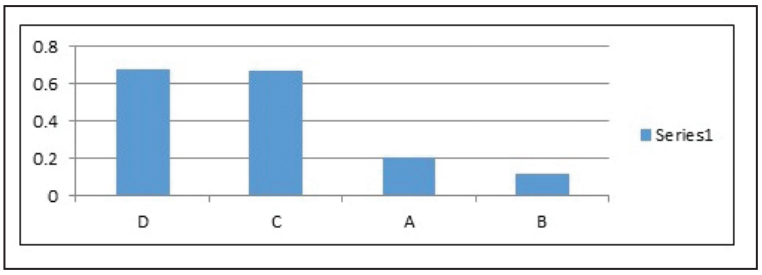
جدول ۶- فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و اولویت‌بندی نهایی گزینه روش حفاری تونل اصفهان خط ۱.

معیارها	فاصله از ایده‌آل‌های منفی	فاصله از ایده‌آل‌های مثبت	نزدیکی نسبی به گزینه ایده‌آل	اولویت‌بندی
B	0.0267777	0.0140543	0.3441977	4
A	0.0225808	0.0185265	0.4506864	3
D	0.0114027	0.0363374	0.7611506	1
C	0.0164936	0.0272655	0.6230811	2

شکل ۱- رتبه بندی انتخاب گزینه روش حفاری تونل اصفهان خط ۱ با روش AHP.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- رتبه بندی انتخاب گزینه روش حفاری تونل اصفهان خط ۱ با روش TOPSIS.

۵- نتیجه‌گیری

نوع انتخاب گزینه مناسب روش حفاری تونل مترو بسیار حائز اهمیت است. به گونه‌ای که اگر گزینه‌ای که انتخاب می‌شود گزینه مناسبی نباشد، پروژه با شکست مواجه خواهد شد و حتی اگر شکست نخورد بسیار پرهزینه و غیر منطقی است. بنابراین ایجاد مدلی برای انتخاب گزینه مناسب روش حفاری و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ضروری است. امروزه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به علت استفاده از افراد کارشناس و خبره و کمک به مدیران در گرفتن تصمیم‌های مناسب جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. در این مقاله انتخاب روش حفاری تونل مترو با ۱۲ معیار و ۴ گزینه انجام شد که با اجرای این مدل بر روی تونل متروی اصفهان خط ۱، گزینه D (D = 676391/0)، با اختلاف زیادی نسبت به گزینه B (B= 116567/0) و گزینه‌های دیگر به عنوان گزینه مناسب انتخاب گردید. به همین دلیل نقش مدل‌سازی و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مشخص شد. وزن شاخص‌ها با روش AHP به دست آمد. این روش به دلیل ایجاد مسئله به صورت سلسه مراتبی مقایسات زوجی بین گزینه‌ها، اعمال سازگاری و ناسازگاری بین مقایسات و همچنین وجود نرم افزارهای تأیید شده، پرکاربرد و قابل اطمینان است. استفاده از AHP گروهی باعث دقیق‌تر شدن مقایسات زوجی و به دست آمدن وزن‌های مناسب‌تر گردید. روش TOPSIS نیز الگوریتمی ساده و قابل فهم برای مدیران دارد و یکی از بهترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است.

References

Altuzarra, A., 2004- Monero Jimenez, J.M. & Salvador, M., Searching for consensus In AHP-Group decision making.

Bascetin, A., 2007- A decision support System using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open pit mine, Environmental Geology, vol 52, pp 663-672.

Hwang, C. L. and Yoon, K. P., 1981- Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application. New York: Springer.

Saaty, T. L., 1980- The Analytical Hierarchy Process, McGraw Hill publication, New York.

Saaty, T. L., 1990- How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process, European Journal of Operational Research, Vol 48, pp 9-26.

Saaty, T. L., 2000- Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the analytic hierarchy process. RWS Publications.

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, Tunnelling and Underground Space Technology 23, 111- 119.

Yoon, K. P. and Hwang, C. L., 1995- Multiple Attribute Decision Making, Sage Publication, Thousand Oaks, CA.

www.SID.ir

Archive of SID

Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, Vol. 29, No.116, Summer 2020

Selection of the excavation method for metro tunnel with AHP and TOPSIS

H. Bakhshandeh Amnieh[1*], A. H. Rostami[2], K. Shahriar[3], H. Chakeri[4] and M. Cheraghi Seifabad[5]

[1]Associate Professor, School of Mining, Collage of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

[2]Ph.D. Student, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

[3]Professor, Faculty of Mining Engineering and Metallurgy, Amir Kabir University, Tehran, Iran

[4]Assistant Professor, Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

[5]Assistant Professor, Faculty of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received: 2017 September 23 Accepted: 2019 February 17

Abstract

When a tunnel passes through weak soil with different conditions, or there is a thin layer of soil on top of the tunnel, the mass of soil or rock must be stabilized. In addition, an excavation method must be chosen and applied in order to control the amount of subsidence and convergence which are among the most significant factors in excavation a tunnel especially in urban area. The ultimate goal is to select the most suitable subway tunnel excavation method among all available alternatives based on some determining criteria for Isfahan subway tunnel (Line 1). These criteria along with Multi-Criteria Decision Making (MCDM) models helped prioritize suitable alternatives. This model was designed based on technical, financial, executive, social, political and geo-mechanical features of the research site each of which subsumes a number of criteria. On the one hand, alternatives include Open Shield (full face), Slurry, NATM method and EPB Shield which are used in the model. Finally, alternative D (EPB Shield Twin Tunnel) was selected as the best alternative of the site in both AHP (D=0.389) and TOPSIS (D=0.676391).

Keywords: Excavations method, Multi Criteria Decision Making, Isfahan Metro Tunnel Line 1.

For Persian Version see pages 121 to 124

*Corresponding author: H. Bakhshandeh Amnieh; E-mail: hbakhshandeh@ut.ac.ir

Created with www.SID.ir
nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional