

انتخاب سیستم نگهداری بهینه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی (FDAHP)، مطالعه موردی تونل انتقال آب بهشت آباد

رامین رفیعی*^۱، محمد عطائی^۲، سید محمد اسماعیل جلالی^۳

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

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

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

(*عهده دار مکاتبات- raminlamezi@gmail.com)

چکیده

انتخاب سیستم نگهداری تونل‌ها نقش مهمی در وضعیت اقتصادی و ایمنی دارد. این انتخاب معمولاً بر اساس تجربه مهندسان طراح انجام می‌گیرد. اما همواره این پرسش مطرح است که آیا بهترین انتخاب انجام شده است؟ در این مطالعه شیوه جدیدی بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی برای انتخاب سیستم نگهداری بهینه تونل‌ها پیشنهاد شده است. در این شیوه انتخاب سیستم نگهداری تونل به عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره مورد توجه قرار گرفته است. نخست، با استفاده از روش عددی تفاضل محدود (FLAC 2D) سیستم‌های نگهداری گوناگون بر مبنای پارامترهای فنی و پایداری تونل شناسایی شده است. سپس بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده که عبارتند از هزینه، ضریب اطمینان، کارایی، زمان نصب، جابه‌جایی و قابلیت مکانیزاسیون، درخت تصمیم‌گیری بر اساس مدل FDAHP ایجاد شده و سیستم نگهداری بهینه انتخاب شده است.

واژگان کلیدی: سیستم‌های نگهداری، بهینه، FDAHP.

۱- مقدمه

تونل انتقال آب بهشت آباد به طول تقریبی ۶۵ کیلومتر و قطر ۶ متر با مقطع نعل اسبی یکی از بزرگترین پروژه‌های آب رسانی است که با هدف انتقال آب به فلات مرکزی ایران در حال احداث می‌باشد. این تونل با راستای شمال شرقی-جنوب غربی در نزدیکی شهر اردل واقع شده است. از ورودی تونل تا حوالی کیلومتر ۱۷ مسیر تونل در زون زاگرس روورنده و از آن پس تا خروجی تونل در زون سنندج-سیرجان قرار گرفته است. هدف از این طرح انتقال آب بهشت آباد با آورد سالانه ۱۰۷۰ میلیون متر مکعب برای رفع کمبودهای آبی در بخش‌های شرب، صنعتی و کشاورزی در فلات مرکزی ایران می‌باشد (Hashemi, 1386).

مهندسان بارها با موقعیت‌های برخورد کرده‌اند که باید از میان گزینه‌های موجود یک گزینه مناسب را انتخاب کنند. گزینه مناسب می‌تواند توسط تجربیات مهندسان با توجه با قوانین موجود انتخاب شود. روش‌های تصمیم‌گیری می‌تواند یک درجه اطمینان برای انتخاب مهندسان عرضه کند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی یا (FDAHP) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که از ساختار مقایسه زوجی استفاده می‌کند که می‌تواند در این زمینه کار گشا باشد.

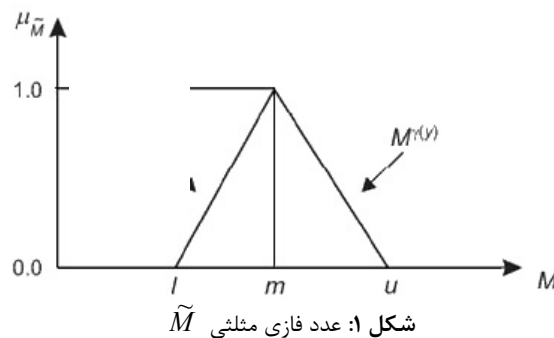
۲- مجموعه‌های فازی و اعداد فازی

نظریه مجموعه فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی عسگرزاده، دانشمند ایرانی تبار و استاد دانشگاه برکلی امریکا عرضه شد. نظریه‌ی مجموعه‌های فازی نظریه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان می‌باشد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (Tsaur and et al., 2002). از اصول پذیرفته شده در تئوری مجموعه‌های کلاسیک تصریح در ترسیم مرزهای این مجموعه‌ها به طریقی است که عضویت و عدم عضویت یک عنصر در مجموعه به طور مشخص و با اطمینان کامل مشخص می‌گردد (Kahraman, 2001).

هر زیر مجموعه فازی A در مجموعه مرجع X را می‌توان به وسیله تابع مشخصه‌ای تعریف کرد. این تابع که تابع عضویت نامیده می‌شود، برای هر عضو x از مجموعه‌ی مرجع X یک عدد $A(x)$ در بازه بسته $[0,1]$ قرار می‌دهد که مبین درجه عضویت x در مجموعه فازی A می‌باشد. بنابراین، توابع عضویت را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$A: X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

استفاده از روش‌های منطقی‌گرا برای بیان حساب‌های ذهنی بشر بر استفاده انحصاری از پیش‌بینی‌های احتمالاتی ترجیح داده می‌شود. این نگرش نسبت به رفتار غیر منطقی انسانی منجر به پدید آمدن زمینه مطالعاتی جدیدی در تصمیم‌گیری شد که همان تصمیم‌گیری فازی بود (Lia and Hwang, 1996). علامت " \sim " بیان‌کننده مجموعه فازی باشد. عدد فازی مثلثی \tilde{M} (TFN¹) در شکل (۱) نشان داده شده است. یک عدد فازی مثلثی به صورت (l, m, u) نشان داده می‌شود. که l, m و u به ترتیب نشان‌دهنده کوچکترین مقدار ممکن، بیشترین مقدار محتمل و بزرگترین مقدار ممکن هستند.



هر عدد فازی مثلثی در نقطه مرکزی دارای بیشترین درجه عضویت می‌باشد که هر چه به طرف چپ یا راست این مقدار حداکثر حرکت کنیم درجه عضویت به صورت خطی کاهش می‌یابد تا به صفر برسد مقدار درجه عضویت در هر نقطه به صورت زیر است (Kahraman and et al., 2002).

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < l \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (2)$$

¹ Triangular Fuzzy Number

۳- تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی (FDAHP^۲)

در روش دلفی، پیش‌بینی‌های ارائه شده توسط افراد خبره در قالب اعداد قطعی بیان می‌شوند، در حالی که استفاده از اعداد قطعی برای پیش‌بینی‌های بلند مدت، آن را از دنیای واقعی دور می‌سازد. از طرفی افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند و این نشان می‌دهد که عدم قطعیت حاکم بر این شرایط از نوع امکانی است نه احتمالی. امکانی بودن عدم قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگاری دارد و بنابراین بهتر آن است که با استفاده از مجموعه‌های فازی (با به کارگیری اعداد فازی) به پیش‌بینی بلند مدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخته شود. بدین ترتیب باید اطلاعات لازم را در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ کرده و مورد تحلیل قرار داد. این روش تحلیل، روش دلفی فازی نامیده می‌شود.

گونه‌های مختلف از اعداد فازی را می‌توان برای اخذ نظرات خبرگان مورد استفاده قرار داد، اما در این تحقیق برای سهولت انجام محاسبات از اعداد فازی مثلثی استفاده خواهد شد. مراحل اجرای روش دلفی به شرح زیر است:

الف) نظر سنجی از متخصصان

در این مرحله ابتدا از متخصصان مختلف در مورد پارامترهای مؤثر بر یک پدیده یا تصمیم به صورت کیفی یا در صورت امکان کمی نظرسنجی به عمل می‌آید.

ب) محاسبه اعداد فازی

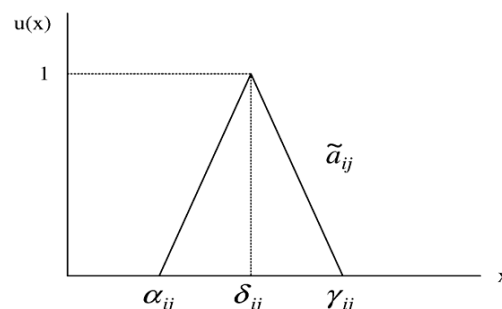
برای محاسبه اعداد فازی (\tilde{a}_{ij}) نظرات حاصل از نظرسنجی از متخصصان به طور مستقیم مد نظر قرار می‌گیرد. اعداد فازی در این مرحله را می‌توان بر اساس توابع عضویت مختلف همچون روش مثلثی و یا حالت ذوزنقه‌ای محاسبه کرد. با توجه به کاربرد زیاد و سهولت محاسبه روش مثلثی محاسبه اعداد فازی در شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲)، در حالت کلی در روش فازی دلفی مولفه‌های یک عدد فازی به صورت رابطه (۳) تا (۶) تعریف می‌شود (Chen, and Liu, 2006).

$$a_{ij} = (\alpha_{ij}, \delta_{ij}, \gamma_{ij}) \quad (۳)$$

$$\alpha_{ij} = \text{Min}(\beta_{ijk}), k = 1, \dots, n \quad (۴)$$

$$\delta_{ij} = \left(\prod_{k=1}^n \beta_{ijk} \right)^{1/n}, k = 1, \dots, n \quad (۵)$$

$$\gamma_{ij} = \text{Max}(\beta_{ijk}), k = 1, \dots, n \quad (۶)$$



شکل ۲: تابع عضویت مثلثی در روش فازی دلفی (Chen, and Liu, 2006)

در روابط فوق $\alpha_{ij} \leq \delta_{ij} \leq \gamma_{ij}, \alpha_{ij}, \delta_{ij}, \gamma_{ij} \in [1/9, 1] \cup [1, 9]$

² Fuzzy Delphi Analytic Hierarchy Process

می‌باشد. با توجه به شکل (۲)، γ_{ij} حد بالای نظرات داوران، α_{ij} حد پائین نظرات داوران و β_{ijk} نشان دهنده اهمیت نسبی پارامتر i بر پارامتر j از دیدگاه متخصص k ام است.

ج) تشکیل ماتریس معکوس فازی

در این مرحله با توجه به اعداد فازی به دست آمده در مرحله قبل، ماتریس مقایسه زوجی فازی بین پارامترها مختلف به شرح رابطه (۷) تشکیل می‌شود (Chen, and Liu, 2006).

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}], \tilde{a}_{ij} \times \tilde{a}_{ji} \approx 1, \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

یا به صورت:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (\alpha_{12}, \delta_{12}, \gamma_{12}) & (\alpha_{13}, \delta_{13}, \gamma_{13}) \\ (1/\gamma_{12}, 1/\delta_{12}, 1/\alpha_{12}) & (1,1,1) & (\alpha_{23}, \delta_{23}, \gamma_{23}) \\ (1/\gamma_{13}, 1/\delta_{13}, 1/\alpha_{13}) & (1/\gamma_{23}, 1/\delta_{23}, 1/\alpha_{23}) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

د) محاسبه وزن فازی نسبی پارامترها

$$\tilde{Z}_i = [\tilde{a}_{ij} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}]^{1/n} \quad (8)$$

$$\tilde{W}_i = \tilde{Z}_i \otimes (\tilde{Z}_i \oplus \dots \oplus \tilde{Z}_n)^{-1}$$

که در آن $\tilde{a}_1 \otimes \tilde{a}_2 = (\alpha_1 \times \alpha_2, \delta_1 \times \delta_2, \gamma_1 \times \gamma_2)$ بوده و \otimes نماد ضرب اعداد فازی و \oplus نماد جمع اعداد فازی است. \tilde{W}_i یک بردار سطری است که نشان دهنده وزن فازی پارامتر i ام می‌باشد.

ه) غیر فازی کردن وزن پارامترها

پس از یافتن وزن فازی نهایی هر یک از پارامترها، کلیه اعداد به دست آمده با استفاده از رابطه (۹) به حالت غیر فازی تبدیل شده و تنها به صورت یک عدد بیان می‌شوند (Chen, and Liu, 2006).

$$\tilde{W}_i = (\prod_{j=1}^n \omega_j)^{1/3} \quad (9)$$

۴- مطالعه عددی مدل تونل انتقال آب بهشت آباد

۴-۱- خصوصیات ژئومکانیکی منطقه

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 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 پهنه سنندج- سیرجان قرار می‌گیرد (Hashemi, 1986). در شکل (۳) ساختگاه تونل انتقال بر روی نقشه پهنه‌بندی زمین‌شناسی ایران نمایش داده شده است. همچنین خصوصیات ژئوتنیکی منطقه در جدول (۱) درج شده است.

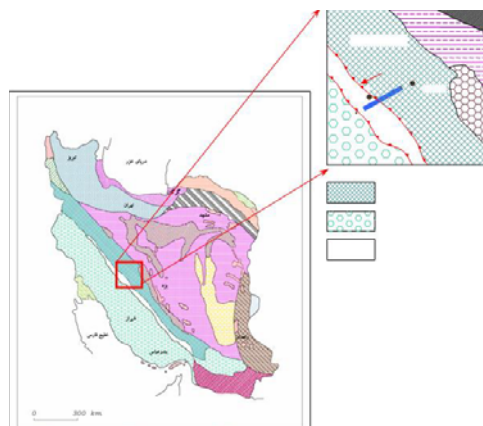
جدول ۱: خصوصیات ژئومکانیکی ساختگاه تونل (Hashemi, 1986)

2720	دانسیتته ρ (kg/cm^3)
1×10^9	مدول الاستیسیته E (Pa)
4.038×10^8	مدول برشی G_m (Pa)
30	زاویه اصطکاک داخلی ϕ (°)
1.5×10^6	چسبندگی C (Pa)
0.3	ضریب پوسان ν

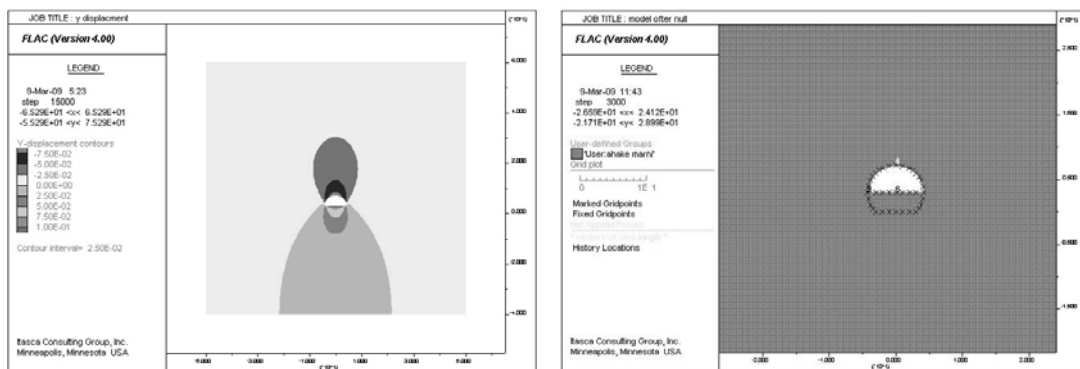
۲-۴- ترسیم هندسه تونل

حفاری تونل بهشت آباد به دلیل سستی ساختگاه آن در چند مرحله و به صورت آتشیباری 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 ۶ متر و ارتفاع ۳ متر است برداشته و سپس پس از نصب سیستم نگهداری اولیه حفاری قسمت زیرین تاج آغاز می‌شود.

به منظور تحلیل پایداری تونل مذکور از نرم‌افزار عددی Flac2D به دلیل پیوسته بودن محیط استفاده شده است. که در شکل‌های (۴) و (۵) مراحل ساختن مدل در نرم‌افزار مذکور طبق مراحل حفاری نشان داده شده است. شکل‌های (۶) و (۷) تنش قائم (S_{zz}) و جابه‌جایی قائم در اطراف تونل پس از حفاری نشان می‌دهد. برای مدل ساخته شده شش نوع سیستم نگهداری در نظر گرفته شده که در جدول (۲) نشان داده شده است.



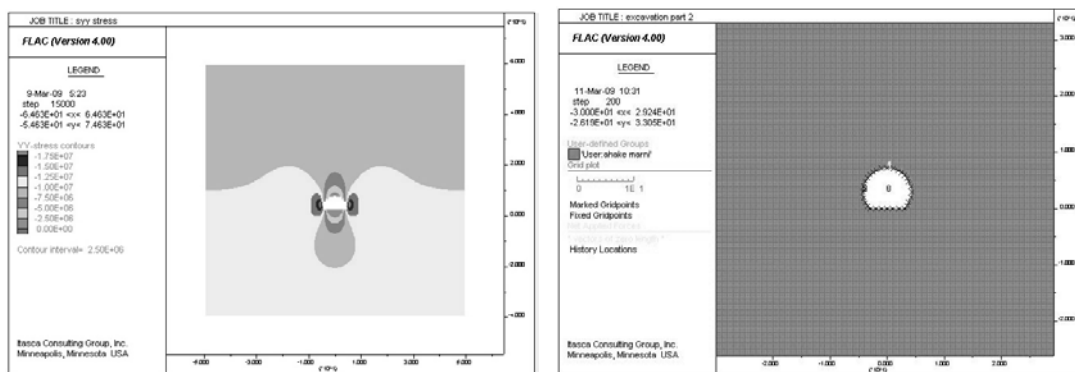
شکل ۳: نقشه پهنه بندی زمین‌شناسی ایران و موقعیت تونل



شکل ۴: مرحله اول حفاری تونل

جدول ۲: سیستم‌های نگهداری پیشنهادی برای تونل بهشت آباد

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



شکل ۵: مرحله دوم حفاری تونل

۵- انتخاب سیستم نگهداری بهینه

در روند تصمیم‌گیری برای انتخاب سیستم نگهداری بهینه، روش FDAHP مورد استفاده قرار گرفت. که این انتخاب بر اساس نتایج به دست آمده 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. در این تحقیق شش معیار که در انتخاب یک سیستم نگهداری تونل موثر هستند در نظر گرفته شده است که عبارتند از: هزینه، ضریب اطمینان، زمان، قابلیت اجرا و قابلیت مکانیزاسیون (جدول (۳)). بنابراین انتخاب سیستم نگهداری در این مطالعه شامل ۶ معیار و ۶ گزینه خواهد بود که ساختار سلسله مراتبی آن در شکل (۸) نشان داده شده است. معیارهای هزینه، ضریب اطمینان و جابه‌جایی معیارهای کمی هستند و با توجه به تحلیل‌های اقتصادی و مدل‌سازی عددی به دست آمده‌اند (جدول (۴)). سه معیار دیگر، معیارهای کیفی هستند که بر اساس تجربه کارشناسان وزن‌دهی شده‌اند. نمونه‌ای از پرسش‌نامه ارسالی برای کارشناسان در این زمینه در شکل (۹) نشان داده شده است.

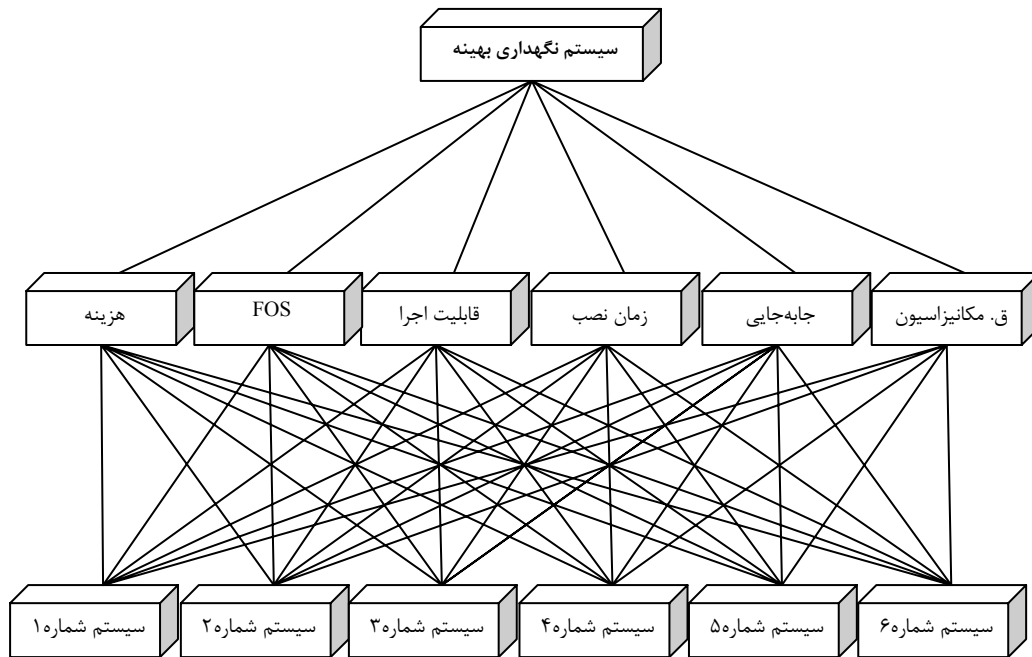
در ادامه برای هر معیار با توجه به میزان برتری آن یک عدد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. میزان برتری هر معیار نسبت به معیار دیگر از تقسیم دو عدد فازی مثلثی نسبت به هم به دست می‌آید. هر یک از معیارها به وسیله یک ماتریس مقایسه زوجی نسبت به هم سنجیده می‌شوند. ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل شده در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۴: مقادیر جابه‌جایی، ضریب اطمینان و هزینه برای سیستم‌های نگهداری

مدل	مقدار جابه‌جایی (m)	ضریب اطمینان	هزینه (ریال)
A	۰/۰۱۹۷	۱/۵۷۲	۱۵۱۰۰۹۰۰
B	۰/۰۱۸۷	۱/۶۴	۱۳۹۲۶۰۰۰
C	۰/۰۲۰۸	۱/۵۱	۱۱۵۹۸۶۱۰
D	۰/۰۲۰۱	۱/۷۱	۱۰۷۶۰۰۰۰
E	۰/۰۲۲۴	۲/۰۳۷	۵۹۳۹۸۲۰
F	۰/۰۲۲۰	۱/۳	۶۳۰۴۹۰۰

جدول ۳: معیارهای مورد نظر برای انتخاب سیستم نگهداری بهینه

معیار	توضیحات
C_1	هزینه
C_2	ضریب اطمینان
C_3	کارایی سیستم نگهداری
C_4	زمان نصب سیستم نگهداری
C_5	جابه‌جایی
C_6	قابلیت مکانیزه شدن



شکل ۸: نمودار تحلیل سلسله مراتبی انتخاب سیستم نگهداری بهینه

پرسش نامه

مکانیزاسیون	جایه جایی	زمان	کارایی	ضریب اطمینان	هزینه	معیارها
						امتیاز

لطفاً نظراتان را در مورد برتری هر کدام از معیارها نسبت به هم و سیستم‌های نگهداری با توجه به معیار مربوطه به صورت اعداد ۱ تا ۹ در جدول اعلام کنید.

سیستم ۶	سیستم ۵	سیستم ۴	سیستم ۳	سیستم ۲	سیستم ۱	
						زمان
						کارایی
						مکانیزاسیون

انواع سیستم‌های نگهداری به صورت پیوست برای شما ارسال شده است.

شکل ۹: نمونه‌ای از پرسش نامه ارسالی

جدول ۵: ماتریس مقایسه زوجی معیارها

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	(1,1,1)	(1,1.3,1.7)	(1.3,1.8,2.5)	(1.6,2.3,3.4)	(2,3,5)	(2.7,4.9,10)
C_2	(0.6,0.8,1)	(1,1,1)	(1,1.4,2)	(1.2,1.8,2.7)	(1.5,2.4,5)	(2,3,9,8)
C_3	(0.4,0.6,0.8)	(0.5,0.7,1)	(1,1,1)	(0.8,1.3,2)	(1,1.7,3)	(1.3,2.7,6)
C_4	(0.3,0.5,0.6)	(0.4,0.6,0.8)	(0.5,0.8,1.2)	(1,1,1)	(0.7,1.4,2.5)	(1,2,5)
C_5	(0.2,0.3,0.5)	(0.3,0.4,0.7)	(0.3,0.6,1)	(0.4,0.8,1.3)	(1,1,1)	(0.6,1.6,4)
C_6	(0.1,0.2,0.4)	(0.1,0.3,0.5)	(0.2,0.4,0.7)	(0.2,0.5,1)	(0.3,0.7,1.5)	(1,1,1)

بعد از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی وزن فازی نسبی پارامترها طبق رابطه (۸) به صورت جدول (۶) به دست می‌آید.

جدول ۷: وزن نهایی معیارها

معیارها	وزن نهایی
هزینه	۰/۴۵
ضریب اطمینان	۰/۲۲
کارایی	۰/۱۱
زمان	۰/۰۷
جابه‌جایی	۰/۰۴
قابلیت مکانیزاسیون	۰/۰۱

جدول ۶: وزن فازی نسبی معیارها

معیار	وزن نسبی
C_1	(0.48, 0.45, 0.42)
C_2	(0.25, 0.22, 0.19)
C_3	(0.11, 0.11, 0.11)
C_4	(0.07, 0.07, 0.07)
C_4	(0.03, 0.04, 0.04)
C_6	(0.01, 0.02, 0.02)

و در نهایت وزن غیر فازی شده معیارها در ماتریس‌های مقایسه زوجی طبق رابطه (۹) محاسبه شده است که نتایج در جدول (۷) درج شده است.

جدول ۸: مقادیر ضریب اهمیت گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلف

سیستم شماره	مکانیزاسیون	جابه‌جایی	زمان	کارایی	ضریب اطمینان	هزینه
سیستم شماره ۱	۰/۰۸۳	۰/۲۱۸	۰/۱۱۱	۰/۱۰۹	۰/۰۹۲	۰/۰۴۰
سیستم شماره ۲	۰/۰۸۳	۰/۲۴۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴	۰/۲۳۵	۰/۱۰۹
سیستم شماره ۳	۰/۱۳۹	۰/۱۷۵	۰/۲۲۶	۰/۱۷۷	۰/۰۹۲	۰/۱۷۷
سیستم شماره ۴	۰/۲۶۱	۰/۲۱۸	۰/۲۵۸	۰/۱۷۷	۰/۲۳۵	۰/۱۷۷
سیستم شماره ۵	۰/۲۳۵	۰/۱۰۶	۰/۱۸۲	۰/۲۴۹	۰/۳۴۷	۰/۲۴۹
سیستم شماره ۶	۰/۱۹۹	۰/۰۳۵	۰/۱۸۲	۰/۲۴۹	۰	۰/۲۴۹

علاوه بر این گزینه‌ها از نظر هر معیار باید مورد مقایسه قرار گیرند. به عبارت دیگر باید به ازای هر یک از معیارها ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها شکل گیرد تا با انجام عملیات مشابه حالت قبل ضریب اهمیت هر یک از گزینه‌ها از نظر هر معیار به دست آید. نتایج محاسبات در جدول (۸) درج شده است. امتیاز نهایی هر گزینه از جمع حاصل ضرب وزن نهایی معیارها در وزن نهایی هر معیار نسبت به گزینه‌ها به دست می‌آید.

برای مثال وزن نهایی گزینه E به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W_E = (0.249 \times 0.263) + (0.249 \times 0.187) + (0.182 \times 0.157) + (0.106 \times 0.116) + (0.045 \times 0.235) = 0.244$$

وزن نهایی سایر گزینه‌ها در جدول (۹) نشان داده شده است:

جدول ۹: امتیاز نهایی گزینه‌ها

گزینه‌ها	امتیاز نهایی
A	۰/۰۹۹
B	۰/۱۲۹
C	۰/۱۶۳
D	۰/۲۱۲
E	۰/۲۴۴
F	۰/۱۵۴

با توجه به جدول (۷) سیستم نگهداری شماره پنج (E) دارای بیشترین امتیاز و در نتیجه به عنوان سیستم نگهداری بهینه انتخاب می‌شود.

۶- نتیجه

انتخاب یک سیستم نگهداری مناسب برای تونل، تامل و توجه به چندین معیار را در 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 موثر 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 می‌باشد. در یک روند تصمیم‌گیری با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری مانند FDAHP می‌توان ارزیابی‌ها را به صورت علمی‌تری انجام داد. در این تحقیق برای انتخاب سیستم نگهداری در تونل بهشت آباد نائین از روش FDAHP استفاده شده است. در این روش 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) با توجه به اولویت معیارهای موجود به عنوان سیستم نگهداری بهینه انتخاب شد. برخلاف روش‌های قدیمی انتخاب سیستم نگهداری، روش FDAHP امکان یک انتخاب علمی‌تر را در رویارویی با مسائل مهندسی به ما می‌دهد. از طرفی روش FDAHP به اطلاعات کمتری نیاز دارد و همچنین زمان تصمیم‌گیری را کاهش می‌دهد.

منابع

1. Hashemi, M., 1386. Rock mechanic's reports, water supply project of the Central Plateau, Zayandehab Consulting
2. Tsaur, S.H.; Chang, T.Y. and Yen, C.H., 2002. The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM, *Tourism Management*, 23, 107-115.
3. Kahraman, C., 2001. Capital budgeting techniques using discounted fuzzy cash flow, In: Runa, D., Kacprzyk J., Fedrizzi M. (Eds.), *Soft Computing for Risk Evaluation and*
4. Lia Y.J. and Hwang C.L., 1996, *Fuzzy multiple objective decision making*, Berlin: Springer.
5. Kahraman, C.; Ruan, D. and Tolga, E., 2002. Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows. *Information Sciences* 42 (1-4), 57-76.
6. Chen, C.S. and Liu, Y.C., 2006. A methodology for evaluation and classification of rock mass quality on tunnel engineering, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan.