مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
پاییز و زمستان ۱۳۹۰، جلد چهارم، شماره ۳ و۴، صفحه ۵۳ تا ۶۲

انتخاب طرح بهینه برای دهانه خروجی تونل‌های انحراف آب سد مشمپای زنجان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

سعید سلطانی محمدی[۱]، مهدی امینی[۲]، محمد شفیعی علویجه[۳*]، فریدن بهرامی سامانی[۴]

دریافت مقاله: ۹۰/۱۰/۷ پذیرش مقاله: ۹۱/۵/۹

چکیده

از مسائل مهم و تأثیرگذار در ساخت سازه‌های زیرزمینی، انتخاب موقعیت دهانه خروجی تونل است. انتخاب نامناسب موقعیت دهانه خروجی تونل بر اقتصاد و زمان اجرای پروژه تأثیر چشمگیری خواهد داشت. از آنجا که تعیین موقعیت خروجی تونل باید براساس معیارهای مختلف فنی مانند فاکتورهای ایمنی استاتیک و دینامیک، سختی و موقعیت حوضچه آرامش و معیارهای اقتصادی مانند زمان، هزینه نگهداری و هزینه لاینینگ و خاک‌برداری باشد، یکی از مسائل مهم تصمیم‌گیری چند معیاره است که در حل آن می‌توان از روش‌های مختلفی مانند نزدیکی به نقطه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرد. در این مقاله ابتدا معیارهای انتخاب موقعیت خروجی تونل بیان و درجه اهمیت‌شان نسبت به هم بررسی می‌شود. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP)، روند مناسبی برای انتخاب بهینه موقعیت خروجی تونل ارائه می‌گردد. در پایان، با استفاده از روش پیشنهادی، موقعیت بهینه خروجی تونل انحراف آب سد مشمپا از بین گزینه‌های مطرح شده انتخاب می‌شود.

کلید واژه‌ها: *سد، مشمپا، زنجان، تونل انحراف آب، تحلیل سلسله مراتبی*

۱. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان
۲. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان
٤. شرکت مهندسین مشاور تماوان
* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در انتخاب محل بهینه سازه‌های زیرزمینی، پایداری سازه مورد نظر برمبنای نوع کاربری و مدت زمان استفاده از آن است و با توجه به استفاده درازمدت از تونل‌ها، پایداری شیروانی سنگی مشرف به دهانه ورودی و خروجی تونل‌ها یکی از مؤثرترین عوامل در طراحی، اجرا، و کاربری سازه‌های پایین‌دست است. از دیگر عوامل مؤثر در مکان‌یابی دهانه خروجی تونل‌های انحراف آب در سدسازی شرایط ژئومکانیکی، توپوگرافی ساختگاه سد، ملاحظات اقتصادی و ایمنی است. ارتباط بین این معیارها پیچیده است و معمولاً هر معیار بر دیگر معیارها تأثیر می‌گذارد. بنابراین ساختن مدل و یافتن گزینه مناسب با استفاده از معیارهای مستقل، آسان نیست(Saaty, 2000). لذا استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره(Multi-Criteria Decision-Making, MCDM) در این خصوص مفید خواهد بود. تاکنون چند روش تصمیم‌گیری چند معیاره مانند روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process, AHP)، مدل مجموع وزنی (Weighted-Sum Model) و روش TOPSIS ارائه شده که روش AHP، روش مفیدی برای کار با فرآیندهای تصمیم‌گیری چندمعیاره است. از روش فوق برای حل پاره‌ای از مسائل مرتبط با تونل‌سازی همچون انتخاب راه سطحی یا زیرزمینی (Panou and Sofianos, 2002)، انتخاب سیستم مدیریت تونل (Nakamura and Ohtsu, 2006) و انتخاب سیستم نگهداری (Padma balasubramanie, 2009 Oraee et al., 2009, Oraee and Bakhtavar, 2010) و نیزانتخاب ماشین حفاری (Taheri and Mansoorri Borujeni, 2006) استفاده شده است. دراین مقاله روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین موقعیت مناسب دهانه خروجی سد مشمپای زنجان با توجه به پارامترهای فنی و اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی سد مشمپا

سد مشمپا در استان زنجان در فاصله‌ی ٤ کیلومتری روستای مشمپا و حدود ۱۱۵ کیلومتری غرب شهرستان زنجان واقع شده است(شکل۱). در ساختگاه سد مشمپا، رودخانه قزل‌اوزن از سمت غرب به شرق جریان دارد و دره‌ی نسبتاً متقارنی را در واحدهای سنگ آهکی، مارنی و پیروکلاستیک سازند قم حفر کرده است. سد مشمپای زنجان از نوع خاکی سنگریزه‌ای به ارتفاع ۱۲٤ متر، دارای دو رشته تونل انتقال آب در سمت راست بدنه می‌باشد که وظیفه انتقال آب به چهار توربین نیروگاه را بر عهده دارند. سرریز سد همراه با تونل‌های انحراف آب با مجموع طول ٤۰۰ متر در سمت چپ بدنه قرار دارد.

توده‌سنگ واقع در بخش خروجی تونل‌های انحراف آب سد مشمپا را واحدهای توف ورقه‌ای سازند قم و سازند قرمز بالایی تشکیل می‌دهد که توسط گسلی از یکدیگر جدا شده‌اند (شکل۲-الف). توف‌های ورقه‌ای سازند قم در نزدیکی گسل کاملاً خرد بوده ولی با فاصله گرفتن از خط گسل حالت ورقه‌ای خود را حفظ کرده‌اند (شکل ۲- ب). تأثیر گسل، باعث تغییرات زیادی در هندسه لایه‌بندی این واحدها و پارامترهای مقاومتی توده‌سنگ شده است به‌طوری‌که در نزدیکی سطح گسل یک زون برشی با پارامترهای برشی پایین به‌وجود آمده است [امینی، ۱۳۸۹]. این زون کاملاً خرد شده بوده و رفتاری خاک‌گونه دارد، به‌طوری که لغزش قاشقی به عمق حدود ٤-۳ متر (شکل ۳) و دو لغزش با قالب صفحه‌ای در گل‌سنگ‌ها و توف‌های ورقه‌ای (شکل ٤) در بالای دهانه خروجی تونل رخ داده است. همچنین گلسنگ‌های مشرف به خروجی تونل‌های انحراف آب سد مشمپا دارای پتانسیل شکست صفحه‌ای و قاشقی می‌باشند و لغزش اولیه در توده گل‌سنگی منجر به تخریب قاب‌های تونل موقت شده است. ناپایداری‌های فوق نشان دادند که توده‌سنگ خروجی تونل‌ها دارای پتانسیل ناپایداری است بنابراین بدلیل جلوگیری از خسارات‌های احتمالی به پرسنل و تجهیزات، عملیات حفاری در این بخش تعطیل و طرح پرتال خروجی مورد بازبینی قرار گرفت. با توجه به ناپایداری‌های اشاره شده، در بخش بعدی دو گزینه ارائه شده است. گزینه اول طرح اولیه با اعمال راه‌کارهای

پایدارسازی می‌باشد. در گزینه دوم طرح جدیدی برای دهانه خروجی ارائه شده است.

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی سد مشمپای زنجان

شکل ۲. الف) عملکرد گسل در مرز بین سازند قم (واحد توفی) و سازند قرمز بالایی (واحد گلسنگی)، ب) توف ورقه‌ای و خرد شده در نزدیکی گسل

شکل ۳. لغزش قاشقی در شیروانی مشرف به دهانه خروجی

شکل ۴. لغزش‌های صفحه‌ای الف) واحد توفی ب) واحد گل‌سنگی

۲- بررسی گزینه ها

۲-۱- گزینه اول

شکل ۵-الف به عنوان گزینه اول معرفی شده است. مجموع دو تونل ٤۰۰ متر می‌باشد و در این حالت شیروانی سنگی با حفاری کم و نصب بولت‌های تمام تزریق سیستماتیک به طول ٤ متر، مش و شاتکریت و نصب زهکش، پایدار گردید. در این طرح عملیات خاکی کمتری مورد نیاز بوده ولی به متراژ لاینینگ تونل ۳۵ متر اضافه می‌شد. همچنین پی حوضچه آرامش روی ماسه‌های رودخانه‌ای قرار می‌گرفت که چندان قابل اطمینان نبود. در این طرح فاکتور ایمنی در نظر گرفته شده برای طراحی شیروانی سنگی در حالت استاتیکی ۱/۵ و در حالت دینامیکی ۱ است.

۲-۲- گزینه دوم

در طرح دوم که در شکل ۵-ب نشان داده شده است، موقعیت خروجی تونل‌ها همانند طرح اولیه ثابت بوده و برای پایدارسازی شیروانی سنگی، شیب شیروانی از ۷۰ درجه به ٦۱ درجه کاهش داده شد و برای بعضی از قسمت‌های توده‌سنگ، بولت‌های پیش‌تنیده طراحی گردید. با این تمهیدات فاکتور ایمنی شیروانی در شرایط استاتیکی ۱/۵ و در شرایط دینامیکی به ۱/۱۹ رسید. حوضچه آرامش تونل‌های انحراف آب در این طرح روی توده‌سنگ قرار می‌گرفت که از اطمینان بیشتری برخوردار بود. طول تونل‌های انحراف آب در این طرح موجب کاهش اجرای ۳۵ متر لاینینگ نسبت به طرح اول شده است و سختی کار کمتری نسبت به طرح اول دارد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر گزینه معیارهای مختلف شرایط یکسان ندارند و باعث تردید در انتخاب طرح بهینه می‌شوند. ازاین رو مکان‌یابی بر اساس معیارهای مستقل جواب یکسانی نداشته و لازم است تا یک تصمیم‌گیری همه جانبه بر اساس تمامی شاخص‌های مؤثر بر مکان‌یابی موقعیت خروجی تونل صورت گیرد.

۳- تحلیل سلسله مراتبی

روش تحلیل سلسله مراتبی به طورمعمول هفت گام را شامل می‌شود که عبارتند از (Lee et al., 2008, Hosseinali and Alesheikh, 2008):

۱- تعریف معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری

۲- تشکیل ساختار سلسله مراتبی

۳- به کارگیری مقایسه زوجی بین عناصر تصمیم‌گیری به منظور ایجاد ماتریس مقایسه

٤- استفاده از روش بردار ویژه برای برآورد وزن‌های نسبی عناصر تصمیم‌گیری

۵- کنترل ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی

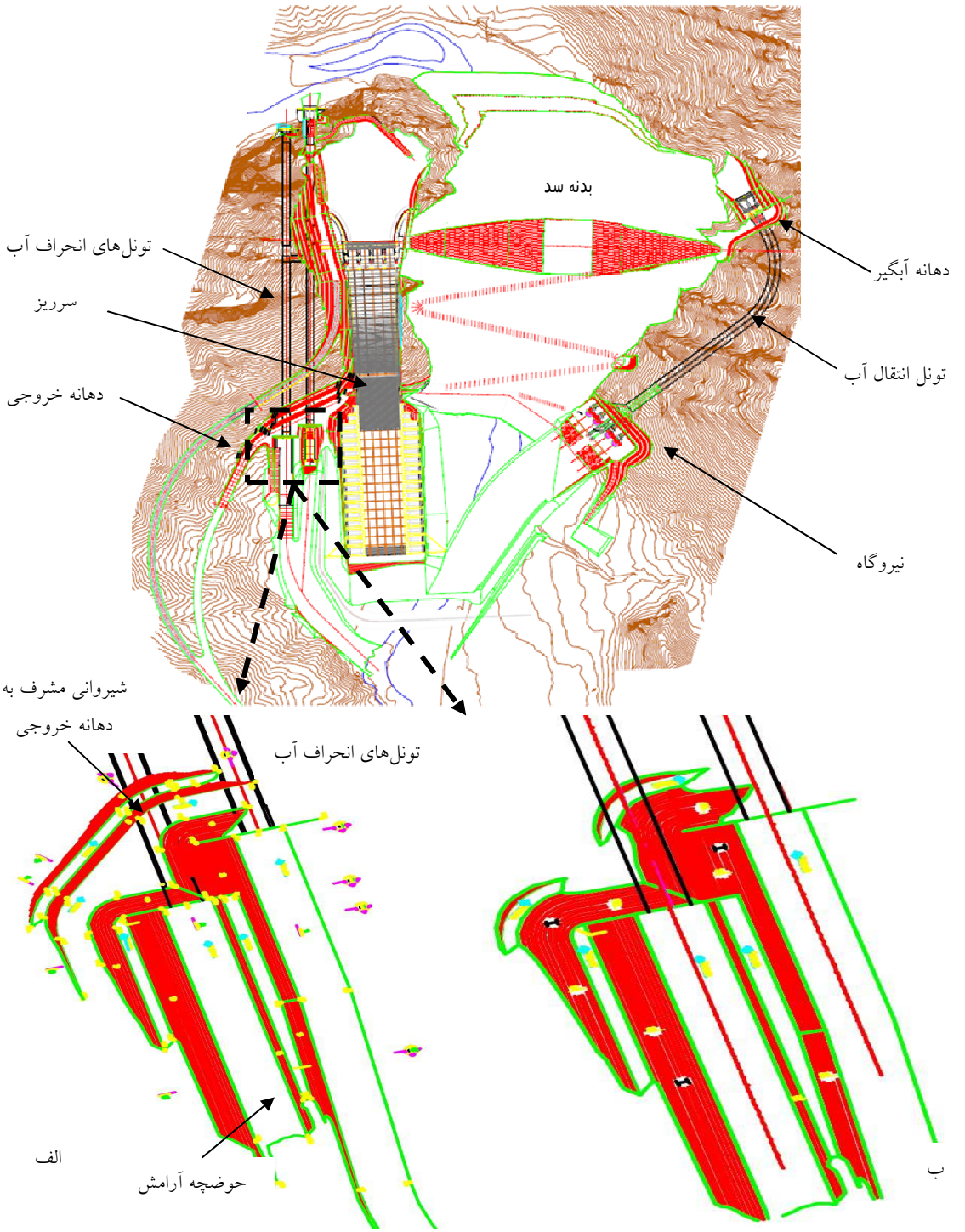
٦- تجمیع عناصر تصمیم‌گیری وزن‌دهی شده، برای به دست آوردن رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

۷- آنالیز حساسیت

بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، اولویت عناصر بر اساس درجه اهمیت هر عنصر نسبت به عنصر دیگر انجام می‌پذیرد. در این روش، مقایسه زوجی عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط در سطوح بالاتر صورت گرفته و اوزان محاسبه می‌شود. از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیار در وزن گزینه، وزن نهایی مشخص می‌شود (قدسی پور، ۱۳۸۲).

در مواردی که ماتریس ناسازگار باشد، روش‌هایی از قبیل روش حداقل مربعات، حداقل مربعات وزنی، بردار ویژه و روش‌های تقریبی برای محاسبه وزن استفاده می‌شود (Saaty, 2000). در این مطالعه از روش بردار ویژه برای محاسبه اوزان نسبی استفاده شد.

از مزایای تحلیل سلسله مراتبی، اندازه‌گیری و کنترل سازگاری هر ماتریس و تصمیم‌گیری است. به منظور کنترل سازگاری ماتریس از پارمتر نسبت سازگار (consistency ratio) استفاده می‌شود (Sasty, 1990).



شکل ۵. شمای کلی از سد مشمپای زنجان الف) طرح اولیه ب) طرح دوم تونل‌های انحراف آب سد مشمپای زنجان

۴- روند استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

در این مقاله با توجه به دو گزینه پیشنهادی برای تعیین موقعیت دهانه خروجی تونل‌های انحراف آب سد مشمپا و وجود چندین معیار به صورت کمی و کیفی برای تصمیم‌گیری، از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به منظور انتخاب گزینه مناسب استفاده شد. پس از تعیین معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری و تشکیل ساختار سلسله‌ای برای معیارها، مقایسه زوجی بین عناصر صورت گرفت و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice11 تحلیل آن صورت گرفته است.

این روش تنها مدل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از معیارهای کمی و کیفی است که قادر است سازگاری قضاوت‌های تصمیم گیرندگان را ارزیابی کند. در مقایسه زوجی تصمیم گیرندگان اجازه استخراج وزن معیارها و یا رتبه گزینه‌ها را از ماتریس‌های مقایسه زوجی دارند و تعداد زیادی معیار را می‌توان در نظر گرفت. این امکان برای تصمیم گیرندگان وجود دارد تا جنبه‌های بحرانی مساله را به داخل یک ساختار سلسله مراتبی وارد نموده و مطابق با مساله ساختار سلسله مراتبی، انعطاف‌پذیری بسازند (Mohmoodzadeh et al., 2007).

روش تحلیل سلسله مراتبی مسائل تصمیم‌گیری پیچیده را با قراردادن گزینه‌ها در ساختار سلسله مراتبی حل می‌کند. ساختار سلسله مراتبی که از طریق مقایسات زوجی قضاوت‌های مستقل ایجاد می‌گردد، نسبت به تلاش‌هایی که تمامی تصمیمات و معیارها را به طور هم‌زمان اولویت‌بندی می‌کند دارای ارجحیت است(Saaty, 1980) .

۵- استفاده از AHP برای تعیین ساختگاه بهینه

مدل ارزیابی AHP پایه برای انتخاب محل بهینه خروجی تونل انحراف آب سد مشمپا را می‌توان بر اساس مراحل زیر شکل داد:

گام ۱- تعریف معیارهای مقایسه:

فاکتورهای مختلفی همچون فاکتور ایمنی، سختی کار، موقعیت حوضچه آرامش، زمان انجام کار، هزینه سیستم نگهداری، هزینه لاینینگ و خاک‌برداری در انتخاب موقعیت خروجی تونل انحراف تأثیر گذارند که می‌توان آن‌ها را به دو دسته معیارهای فنی و اقتصادی تقسیم کرد.

گام ۲: تشکیل ساختار سلسله مراتبی :

سلسله مراتب تصمیم شامل هدف تصمیم، معیارها و گزینه‌ها می‌باشد که در اینجا مکان‌یابی دهانه خروجی تونل به عنوان هدف تصمیم‌گیری، عوامل مؤثر جمع‌آوری شده، معیارها و دو موقعیت پیشنهادی برای قرارگیری دهانه خروجی تونل، گزینه‌های تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهند. از آنجا که حداکثر تعداد قابل قبول معیارها در AHP، ۲±۷ است (Saaty, 1980) هر ۸ معیار به عنوان معیارهای اولویت‌بندی در نظر گرفته شده‌اند. در شکل ٦ ساختار سلسله مراتبی نشان داده شده است.

گام ۳: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی:

اساس AHP در مقایسه‌های زوجی نهفته است و این مقایس‌ها مبنایی را برای تعیین اولویت ایجاد می‌نماید. مقایسه‌های زوجی توسط تیم کارشناسان متشکل از سه کارشناس خبره تعیین شد. ابتدا هر عضو تیم ماتریس مقایسه زوجی خویش را بر اساس مقیاس ۹ گانه (جدول ۱) تکمیل کرده (Saaty, 2000) و سپس ماتریس نهایی با میانگین‌گیری و گردکردن از مقایسات صورت گرفته توسط تک‌تک اعضا به دست آمد. ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی عناصر در جداول ۳ تا ۱۳ آورده شده است.

گام ٤: استفاده از روش بردار ویژه برای برآورد وزن‌های نسبی عناصر تصمیم‌گیری:

در این مرحله بر اساس روش بردارهای ویژه، وزن‌های نسبی معیارها و گزینه‌ها محاسبه شد. این محاسبات در نرم‌افزار Expert Choice (Expert Choice, 2000) صورت گرفت و نتایج آن در جدول ١٤ آورده شده است.

جدول ۱. مقایسه ترجیحات بین دو عنصر برای مقایسه‌های زوجی

وزن‌های ترجیحی/ سطح اهمیت	تعریف	توضیحات
۱	ترجیح برابر	دو فعالیت مشترک یکسان، نسبت به هدف دارند.
۳	ترجیح متوسط	تجربیات و قضاوت به طور ملایم یک فعالیت را به دیگر فعالیت‌ها ترجیح می‌دهد.
۵	ترجیح قوی	تجربیات و قضاوت به طور قوی یا ویژه، به دیگر فعالیت‌ها ترجیح می‌دهد.
۷	ترجیح خیلی قوی	یک فعالیت به طور خیلی قوی نسبت به دیگر فعالیت‌ها ترجیح می‌دهد.
۹	ترجیح بی‌نهایت	ترجیح یک فعالیت نسبت به دیگر فعالیت‌ها در حد اکثر درجه ممکن است.
۲، ٤، ٦، ۸	مقادیر بینابینی	برای بیان ترجیحات بین مقادیر بالاست.
معکوس		معکوس هر یک برای بیان مقایسه‌های معکوس استفاده می‌شود.

جدول ۲. شاخص ناسازگاری تصادفی (عطایی، ۱۳۸۹)

n	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱	۱/٤٥	۱/٤٥	۱/٥۱	۱/٥۳

گام ٥ : کنترل سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی:

به منظور کنترل سازگاری ماتریس از شاخص نسبت سازگاری استفاده می‌شود که با استفاده از روابط ۱ تا ۳ و یا جدول ۲ محاسبه می‌شود.

$$CI = \left(\lambda_{\max} - n\right)/\left(n-1\right) \quad (۱)$$

$$RI = \frac{1.98(n-2)}{n} \quad (۲)$$

$$CR = CI/RI \quad (۳)$$

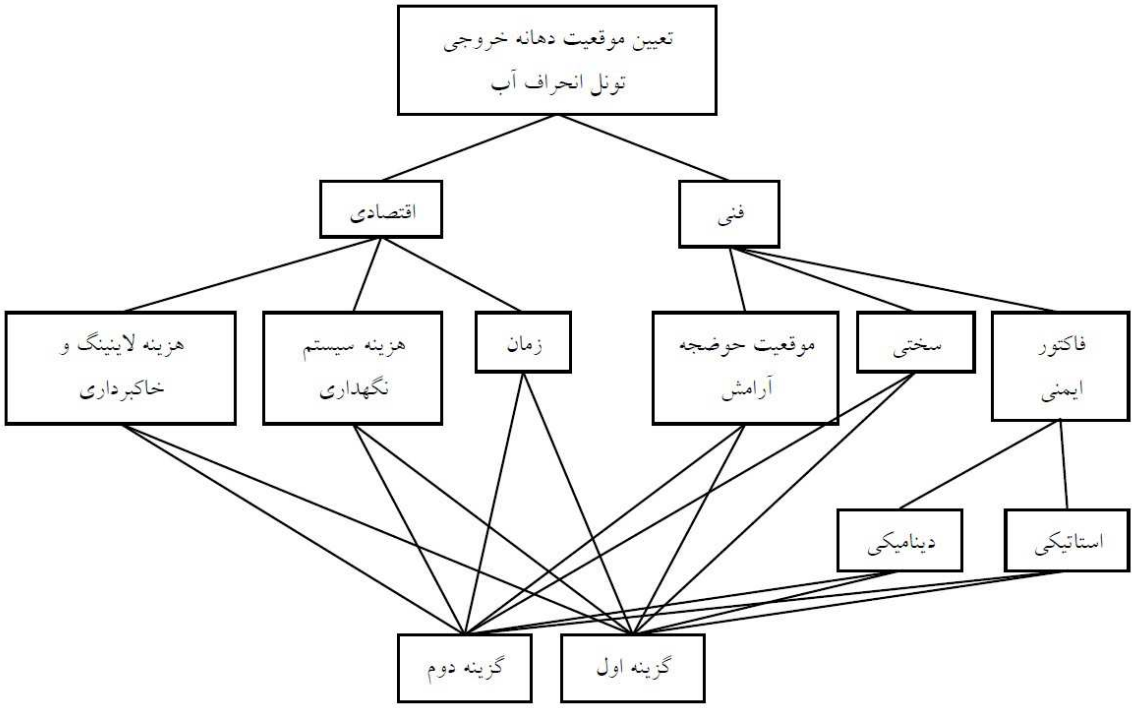
که n سایز ماتریس، λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه، CI شاخص سازگاری و RI شاخص تصادفی هستند. محدوده قابل قبول ناسازگاری در هر سیستم به تصمیم گیرنده بستگی دارد، اما در کل پیشنهاده شده است اگر نسبت ناسازگاری تصمیم، بیش از ۰/۱ باشد، بهتر است تصمیم گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند (Saaty, 1990). نسبت ناسازگاری مقایسات زوجی صورت گرفته در جداول ٤ تا ١٤ آورده شده است.

گام ٦: انتخاب موقعیت بهینه برای دهانه خروجی تونل:

امتیاز هر یک از گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلف و همچنین هدف اصلی در جدول ١٤ نشان داده شده است. مطابق جدول، گزینه فاکتور ایمنی استاتیکی بالاترین رتبه را نسبت به هدف کلی به دست آورده است و در رتبه بعدی گزینه فاکتور ایمنی قرار گرفته است.

جدول ۳. مقایسه زوجی معیارهای فنی و اقتصادی (CI=0، RI=0، CR=0)

	فنی	اقتصادی
فنی	۱	۱
اقتصادی	۱	۱



شکل ۶. *ساختار درخت سلسله مراتبی*

جدول ۴. مقایسه زوجی بین زیر معیارهای فنی (CI=0، RI=0.66، CR=0)

	فاکتور ایمنی	سختی کار	موقعیت حوضچهآرامش
فاکتور ایمنی	۱	۳	۳
سختی کار	۰/۳۳۳	۱	۱
موقعیت حوضچه آرامش	۰/۳۳۳	۱	۱

جدول ۵. مقایسه زوجی بین فاکتور ایمنی استاتیکی و دینامیکی (CI=0، RI=0، CR=0)

	استاتیکی	دینامیکی
استاتیک	۱	۰/۱٤۲
دینامیک	۷	۱

جدول ۶. مقایسه زوجی بین فاکتور ایمنی دینامیکی گزینه A و B (CI=0، RI=0، CR=0).

	A	B
A	۱	۰/۲
B	۵	۱

جدول ۷. مقایسه زوجی بین فاکتور ایمنی استاتیکی گزینه A و B (CI=0، RI=0، CR=0)

	A	B
A	۱	۰/۲
B	۵	۱

جدول ۸ مقایسه زوجی بین سختی کار گزینه A و B (CI=0، RI=0، CR=0)

	A	B
A	۱	۰/۵
B	۲	۱

جدول ۹: مقایسه زوجی بین موقعیت حوضچه آرامش گزینه A و B (CI=0، RI=0، CR=0).

	A	B
A	۱	۰/۱٤۲
B	۷	۱

جدول ۱۰. مقایسه زوجی بین زیر معیارهای اقتصادی (CI=0، RI=0.66، CR=0).

	زمان	هزینه سیستم نگهداری	هزینه لاینینگ وخاک‌برداری
زمان	۱	۱	۵
هزینه سیستم نگهداری	۱	۱	۵
هزینه لاینینگ و داری	۰/۲	۰/۲	۱

جدول ١١. مقایسه زوجی بین زمان انجام کار گزینه A و B (CR=0 ،RI=0 ،CI=0)

	A	B
A	١	٧
B	٠/١٤٢	١

جدول ١٢. مقایسه زوجی بین هزینه سیستم نگهداری گزینه A و B (CR=0 ،RI=0 ،CI=0)

	A	B
A	١	٠/١١١
B	٩	١

جدول ١٢. مقایسه زوجی بین هزینه لاینیگ و خاک‌برداری گزینه A و B (CR=0 ،RI=0 ،CI=0)

	A	B
A	١	٣
B	٠/٣٣٣	١

جدول ١٤. وزن‌های دو موقعیت پیشنهادی برای خروجی تونل تحت معیارهای مختلف (وزن هریک از معیارها و امتیاز نهایی هر یک از معیارها)

		معیارهای انتخاب									
		فنی	اقتصادی	فاکتور ایمنی	استاتیکی	دینامیکی	سختی کار	موقعیت حوضچه آرامش	زمان	هزینه نگهداری	هزینه لاینینگ و خاک‌برداری
امتیاز	گزینه اول	٠/١٩٩	٠/٥٢٠	٠/١٦٧	٠/١٦٧	٠/١٦٧	٠/٣٣٣	٠/١٢٥	٠/٨٧٥	٠/١٠٠	٠/٧٥٠
	گزینه دوم	٠/٨٠١	٠/٤٨٠	٠/٨٣٣	٠/٨٣٣	٠/٨٣٣	٠/٦٦٧	٠/٨٧٥	٠/١٢٥	٠/٩٠٠	٠/٢٥٠
	نسبت به هدف کلی	٠/٥	٠/٥	٠/٦	٠/٨٧٥	٠/١٢٥	٠/٢	٠/٢	٠/٤٥٥	٠/٤٥٥	٠/٠٩١

٦- بحث

پایه و اساس روش تحلیل سلسله مراتبی بر مقایسه زوجی معیارها و گزینه‌ها نسبت به هم استوار است و تغییر ماتریس‌های مقایسه زوجی منجر به تغییر گزینه برتر خواهد شد. در این تحقیق مقایسه‌های زوجی توسط سه کارشناس خبره صورت گرفت که برآیند نظرات آنها در جداول ٣ تا ١١ آورده شده است. همان‌طور که درجدول ٣ مشاهده می‌شود براساس مقایسه زوجی صورت گرفته دو معیار فنی و اقتصادی در انتخاب گزینه مناسب از اهمیت یکسانی برخوردارند. پس از مقایسه معیارها با هم نوبت به مقایسه زیر معیارها با هم است. همان‌طور که در جدول٤ مشاهده می‌شود در زیرگروه معیارهای فنی، زیرمعیار موقعیت حوضچه آرامش و سختی کار نسبت به فاکتور ایمنی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در زیر معیار فاکتور ایمنی، نیز فاکتور ایمنی دینامیکی نسبت به حالت استاتیکی از درجه اهمیت بیشتری برخوردار است (جدول ٥). در جداول ٦ تا ١١ گزینه‌های مختلف براساس معیارها و زیرمعیارهای تعریف شده با هم مقایسه شدند که همان‌طور که مشاهده می‌شود بر اساس فاکتورهای ایمنی دینامیکی و استاتیکی سختی کار و موقعیت حوضچه آرامش و هزینه سیستم نگهداری دو گزینه (با درجات مختلف) گزینه دوم نسبت به گزینه اول ارجعیت داشته و در مقابل گزینه اول نسبت به گزینه دوم بر اساس معیارهای هزینه لاینیگ و خاک‌برداری و زمان انجام کار (با درجات مختلف) ارجعیت بیشتری دارد.

همان‌طور که در جداول ٤ تا ١٤ نشان داده شده است CR ماتریس‌های مقایسه زوجی همگی کوچک‌تر از ٠/١ بوده که نشانگر سازگاری مقایس‌های زوجی صورت گرفته است. مطابق جدول ١٤، فاکتور ایمنی استاتیکی بالاترین رتبه را نسبت به هدف کلی دارا است. در رتبه بعد گزینه فاکتور ایمنی قرار دارد. هزینه لاینینگ و خاک‌برداری دارای کمترین رتبه نسبت به هدف کلی است. تحلیل سلسله مراتبی نشان دهنده امتیاز ٦٤/٧ ٪ برای طرح دوم در مقایسه با امتیاز ٣٥/٣٪ برای طرح اول می‌باشد. این مقایسه نشان‌دهنده ارجعیت گزینه دوم نسبت به گزینه اول است.

۷- نتیجه گیری

درفعالیت‌های سدسازی و تونل‌زنی به دلیل تحمیل شرایط پیچیده و فاکتورهای تأثیرگذار زمین بر پروژه، همواره مشکلات و پیچیدگی‌های زیادی بر سر راه قرار دارد که گاهی منجر به تغییر طراحی‌های اولیه و یا پیشنهاد گزینه‌های دیگر برای رفع مشکل و کم کردن هزینه می‌شود. در این تحقیق با توجه به شکست‌های قاشقی و صفحه‌ای ایجاد شده در شیروانی سنگی مشرف به دهانه خروجی تونل‌های انحراف آب سد مشمپا، برای انتخاب گزینه مناسب از بین دو گزینه پیشنهادی بر اساس فاکتورهای ایمنی، سختی کار، موقعیت حوضچه آرامش، زمان، هزینه سیستم نگهداری و هزینه‌های اضافی هر طرح، از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج این فرایند نشان دهنده امتیاز ٦٤/٧٪ برای طرح دوم در مقایسه با امتیاز ۳۵/۳ ٪ برای طرح اول است.

شاخص سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی همگی کوچک‌تر از ۰/۱ بوده که نشان‌گر سازگاری مقایسه‌های زوجی است.

گزینه فاکتور ایمنی استاتیکی بالاترین رتبه را نسبت به هدف کلی به دست آورده است و در رتبه بعدی گزینه فاکتور ایمنی قرار گرفته‌اند. هزینه لاینینگ و خاک‌برداری نیز کمترین رتبه را نسبت به هدف اصلی دارد.

منابع

امینی، م. ۱۳۸۹. تحلیل پایداری، پایدارسازی و ابزاربندی شیروانی مشرف به خروجی تونل‌های انحراف آب سد مشمپای زنجان.

عطایی، م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چند معیاره. دانشگاه صنعتی شاهرود.

قدسی‌پور، ح. ۱۳۸۲، مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره برنامه‌ریزی چند هدفه، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

Expert Choice. 2000. Quick start guide and tutorials: User's manual, PA: Expert Choice Inc., Pittsburgh.

Hosseinali, F., Alesheikh, A.A., 2008. Weighting spatial information in GIS for copper mining exploration, American Journal of Applied Sciences, 5(9): 1187-1198.

Lee, A.H.I., Chen, W.C., Chang, C.J., 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan, Expert Systems with Applications, 34(1):96-107.

Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar M., and Zaeri, M. S., 2007. Project selection by using fuzzyAHP and TOPSIS technique, International Journal of Human and Social Sciences, 2(7): 393-402.

Nakamura, F., Ohtsu, H., 2006. Development of a tunnel management system for existing railroad tunnel, In Tunneling and Underground Space Technology, 21(3, 4): 312 – 313.

Oraee, K,. Hosseini, N,. Gholinejad, M., 2009. A new approach for determination of tunnel supporting system using analytical hierarchy process (AHP), Proceeding of Coal Operators Conference, pp. 78-89.

Oraee, K,. Bakhtavar E., 2010. Selection of tunnel support system by using multi criteria decision-making tools, The 29th International Conference on Ground Control in Mining, Virginia, U.S.A, pp. 1-9.

Padma, T., Balasubramanie, P., 2009. Knowledge based decision support system to assist work-related risk analysis in musculoskeletal disorder, In Knowledge-Based Systems, 2291): 72 – 78.

Panou, K.D., Sofianos, A.I., 2002. Fuzzy multicriteria evaluation system for the assessment of Tunnels visa – vis Surface roads: theoretical aspects – part I, In Tunneling and Underground Space Technology, 17(2): 195 – 207.

Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, 1st Ed., McGraw-Hill, New York.

Saaty TL., 1990. How to mark a decision: the analytic hierarchy process, European Journal of Operational Research, 48: 9–26.

Saaty, T.L., 2000. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory, 2nd Ed., PA: RWS Pub., Pittsburgh.

Taheri, A,. Mansoori Borujeni, H. A., 2006. Tunnelling machine selection for tunnel excavation in rock, using the AHP method: case study: line 1 of the Esfahan metro project, International Conference & Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology.