

HN10100910244

انتخاب روش حفاری بهینه از لحاظ فنی و اقتصادی تونل انتقال آب چمشیر

امیرحسین مازندرانیان¹، سعید سلطانی محمدی²، محمد رسولی
علی آبادی³

خلاصه

تونل انتقال آب چمشیر در شمال غرب استان بوشهر و در شمال شرق شهرستان دیلم قرار دارد و برای انتقال آب به سد چمشیر در استان کهگیلویه اجرا می‌شود. یکی از فاکتورهای موثر در سرعت پیشروی و هزینه اجرای پروژه های احداث تونل انتخاب روش مناسب حفاری است. در این مقاله تلاش شده است تا از بین سه گزینه انفجار، حفاری با روده‌در و حفاری با TBM مناسبترین روش برای حفر تونل انتقال آب انتخاب شود. با توجه به اینکه پارامترهای مختلف فنی و اقتصادی در این تصمیم گیری تاثیرگذار هستند از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای انتخاب گزینه برتر استفاده شده است. برای این منظور معیارهای مورد مطالعه در انتخاب روش حفر تونل تعریف و بر اساس روش AHP وزن نسبی هر یک از گزینه ها و معیارها محاسبه شد. بر اساس نتایج حاصله مشخص شد که حفاری مکانیزه با TBM مناسب ترین گزینه برای حفر تونل انتقال آب چمشیر است.

کلمات کلیدی: انفجار، روده‌در، TBM، تونل انتقال آب چمشیر، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

1. مقدمه

امروز جهان شاهد نیاز روزافزون به تونل‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد و کاربرد بالقوشان می‌باشد. تونل‌ها فضاهای زیرزمینی مصنوعی به منظور فراهم آوردن ظرفیتی برای اهداف خاص از قبیل انتقال آب، تونل‌های حمل و نقل و معدن می‌باشند [1]. برای تونل، یک روش مشخص حفاری وجود ندارد و معمولاً دو یا چند روش عملی می‌باشد. از آنجا که پارامترهای مختلفی در انتخاب روش حفاری بهینه تاثیر گذار است که در صورت تصمیم گیری بر اساس تک تک آن‌ها گزینه انتخابی متفاوت خواهد بود، لازم است تا این مساله تصمیم گیری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) همچون شباهت به گزینه ایده آل و یا تحلیل سلسله مراتبی حل شود. در این مقاله از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای انتخاب روش مناسب حفاری با توجه به خصوصیات فنی و اقتصادی استفاده شده است.

2. معرفی پروژه

پروژه انتقال آب چمشیر از نظر جغرافیایی در جنوب غربی ایران و در بخش جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس قرار گرفته است. این پروژه در شمال غرب استان بوشهر و در شمال شرق شهرستان بندر دیلم (شکل 1) در مختصات جغرافیایی $23^{\circ}50'$ تا $50^{\circ}26'$ و $30^{\circ}8'$ تا $30^{\circ}16'$ عرض شمالی واقع شده است.

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه کاشان، Ah_Mazandaraniyan@yahoo.com

² عضو هیئت علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه کاشان

³ دانشجوی کارشناسی مهندسی استخراج معدن، دانشگاه کاشان



شکل 1- موقعیت جغرافیایی و راه‌های اصلی دسترسی به منطقه

سد چمشیر در استان کهگیلویه و بویراحمد در فاصله 20 کیلومتری جنوب شرقی شهرستان گچساران قرار گرفته است. هدف از اجرای این سد کنترل سیلاب و تامین آب کشاورزی مناطقی از استان خوزستان و بوشهر می‌باشد. برای کنترل و انتقال بخشی از آب خروجی از سد چمشیر به تونل انتقال آب و در نهایت به دشت دیلم، یک بند تنظیمی در فاصله 60 کیلومتری از سد اصلی چمشیر طراحی شده است. این بند دارای طول 330 متر و ارتفاع 5 متر و در تراز 225 متری بر روی رودخانه زهره می‌باشد. آب در محل بند تنظیمی وارد تونل انتقال آب به طول 7700 متر و با قطر حفاری حدود 5/7 متر و قطر تمام شده 4/75 متر شده و به صورت جریان آزاد انتقال می‌یابد. آب انتقال یافته توسط این تونل، از طریق خط لوله تحت فشار به قطر 3 متر و طول 7000 متر به نیروگاه منتقل می‌شود. در مسیر خط لوله به دلیل وجود ارتفاعات کوه بی‌حکیمه تونلی به طول 1200 متر برای عبور خط لوله طراحی شده است. در نهایت آب توسط خط لوله وارد نیروگاه برق‌آبی شده و بعد از تولید برق توسط توربین‌ها به میزان 23/3 مگاوات و عبور از نیروگاه برای توزیع در دشت دیلم وارد شبکه آبیاری و زهکشی می‌شود [3].

3. زمین‌شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه در زون زاگرس چین خورده و انتهای دشت خوزستان واقع شده است. در واقع سازه بند تنظیمی و تونل‌های مورد مطالعه در زون زاگرس چین خورده و شبکه آبیاری و زهکشی در انتهای شرقی دشت خوزستان واقع شده‌اند (شکل 2).



شکل 2- تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران (نبوی 1355)

در محدوده مورد مطالعه اشکال ساختاری به صورت تاقدیس‌ها و ناودیس‌های باز و ملایمی هستند که صفحات محوری آنها در راستای شمال‌غربی-جنوب شرقی است. تاقدیس بی‌بی‌حکیمه اصلی‌ترین تاقدیس موجود در محدوده مورد مطالعه محسوب می‌شود و مسیر تونل‌های انتقال آب و انتقال خط لوله در این تاقدیس حفر خواهند شد. تقریباً تمام طول مسیر تونل‌های مورد بررسی از میان واحدهای مختلف سازند آجاجاری و بخش لهری عبور می‌نماید (جدول 1). از نظر لیتولوژیکی 2500 متر ابتدایی تونل انتقال آب از میان سنگ‌های نرم گل‌سنگی و رسی با میان لایه‌های ماسه‌سنگی که مربوط به بخش لهری سازند آجاجاری می‌باشد، عبور می‌نماید. بقیه مسیر این تونل و تونل انتقال خط لوله از میان تناوب سنگ‌هایی از جنس گل‌سنگ، لای‌سنگ و ماسه‌سنگ‌های سست و نرم می‌گذرد. این دو واحد در منطقه مورد مطالعه تفاوت چندانی از نظر ویژگی‌های ژئومکانیکی با یکدیگر ندارند و تنها اختلاف آنها مربوط به ضخامت و نحوه تناوب واحدهای تشکیل دهنده آنهاست. نفوذ ناپذیری ذاتی ماده سنگ در واحدهای مختلف سازند آجاجاری و بخش لهری که تمامی طول تونل‌های مورد مطالعه را دربر می‌گیرند، با توجه به ویژگی‌های سنگشناسی و بافت میکروسکوپی آنها، بسیار اندک ارزیابی می‌شود. همچنین با توجه به عدم وجود پتانسیل برای توسعه پدیده‌های کارستی و انحلالی و عدم وجود شرایط لازم برای توسعه کارست، نمی‌توان نفوذپذیری زیاد را برای توده سنگ‌های اطراف تونل‌ها در نظر گرفت. توسعه درز و شکاف‌های باز (تخلخل ثانویه) نیز در عمق توده سنگ‌هایی از جنس گل‌سنگ و مارن به دلیل خاصیت خمیری آنها معمولاً امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین در مجموع امکان تشکیل آبخوان در این سازندها وجود ندارد. نتایج آزمون‌های لوژن انجام شده در گمانه‌های حفر شده در مسیر تونل، نیز حاکی از خاصیت نفوذناپذیری واحدهای مختلف سازند آجاجاری و بخش لهری می‌باشد.

جدول 1- لیست سازندهای چینه‌شناسی رخنمون یافته در منطقه همراه با ویژگی‌های اصلی آنها

نام سازند	سن	لیتولوژی	برش نمونه	ملاحظات
گچساران	میوسین آغازین	شامل 7 بخش متشکل از آهک‌های نازک لایه، انیدریت، نمک، مارن	حفاری چاه‌های نفتی در خوزستان	
میشان	میوسین آغازین تا میانی	مارن و آهک رسی سرشار از پوسته و صدف سنگواره‌ها	روستای میشان در 50 کیلومتری جنوب شرق گچساران	در تاقدیس بی‌بی حکیمه و در محدوده انتهای مسیر انتقال آب رخنمون‌های آن مشاهده می‌شود
آجاجاری	میوسین پایانی تا پلیوسن	تناوب ماسه سنگ کربناتی، مارن‌های سیلتی گچ‌دار، لای سنگ و ژپس	جاده امیدیه به چاه‌های نفتی آجاجاری	بخش زیادی از طول تونل‌های مورد بررسی در این سازند قرار می‌گیرد
بخش لهری سازند آجاجاری	پلیوسن	تناوب ماسه سنگ، مارن، گل سنگ و لای سنگ	تنگ تکاب در 10 کیلومتری هفتکل	محل بند تنظیمی و بخشی از طول تونل انتقال آب در این واحد سنگی قرار می‌گیرد
بختیاری	پلیوسن میانی	کنگومرا همراه با لایه‌ها و لنزهای ماسه‌سنگی	شمال مسجد سلیمان در گدارلندر	در حاشیه رودخانه زهره و نر حاشیه شمالی دشت دیلم رخنمون‌های آن مشاهده می‌شود
نهشته‌های کواترنر		رسوبات منفصل متشکل از دانه‌هایی با لیتولوژی مختلف (معمولاً آهکی و ماسه‌سنگی) در خمیره‌ای از رس و سیلت		

بر اساس نتایج بدست آمده از مرور و بررسی گزارشات زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی و اطلاعات بدست آمده از عملیات ژئوتکنیک (گمانه‌های اکتشافی و آزمایشات آزمایشگاهی) و همچنین اطلاعات بدست آمده از بازدید زمین‌شناسی صورت گرفته از منطقه، صرف نظر از رسوبات و نهشته‌های کوارتز، در مجموع 3 واحد زمین‌شناسی مهندسی در مسیر تونل چمشیر قابل شناسایی و تفکیک از یکدیگر می‌باشند (جدول 2).

جدول 2- مجموعه‌های زمین‌شناسی مهندسی شناسایی شده در مسیر تونل

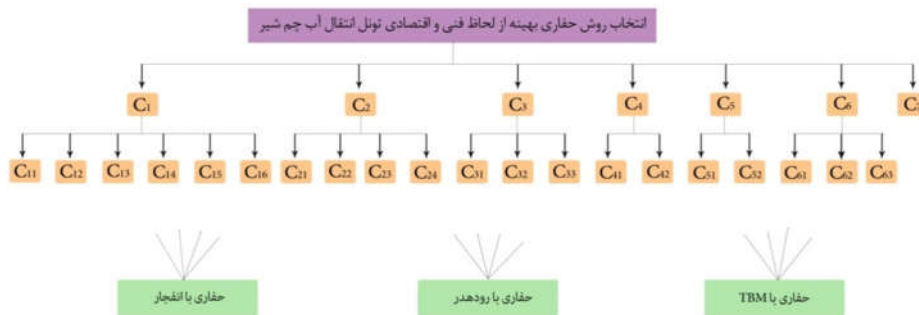
ردیف	مجموعه زمین‌شناسی مهندسی	واحدهای چینه شناسی معادل	لیتولوژی	توصیف
1	Mmt	Lbm یا Aj	گلسنگ و مارلستون	توده سنگ‌های فرسایش‌پذیر و نامقاوم
2	Sst	Lbm یا Aj	ماسه سنگ و لای سنگ	توده سنگ‌ها با فرسایش‌پذیری کمتر و برجسته
3	Li	Aj	سنگ آهک	نسبتاً مقاوم

4. انتخاب روش حفاری مناسب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسط فردی عراقی به نام ساعتی⁴، در سال 1980 پیشنهاد شد. AHP تصمیم گیرندگان را قادر می‌سازد اثرات متقابل و همزمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و نامعین را تعیین کنند. این فرآیند، تصمیم‌گیرندگان را یاری می‌کند تا اولویت‌ها را بر اساس اهداف، دانش و تجربه‌ی خود تنظیم نمایند؛ به نحوی که احساسات و قضاوت‌های خود را به طور کامل در نظر گیرند.

در این روش فرآیند تصمیم‌گیری طی سه مرحله ساختن سلسله مراتب، محاسبه وزن و محاسبه سازگاری سیستم انجام می‌گیرد. در گام اول با ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله، هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. در صورتی که هدف، انتخاب روش مناسب حفاری برای تونل باشد، می‌بایست انتخاب روش مناسب حفاری در بالاترین سطح، معیارهای فنی و اقتصادی در سطح بعدی و در نهایت روش‌های حفاری پیشنهادی در پایین‌ترین سطح قرار گیرند. در گام بعدی عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن نسبی آن‌ها محاسبه می‌شود. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی گزینه‌ها مشخص گشته که وزن مطلق نامیده می‌شود. در نهایت وزن معیارها نسبت به هدف تعیین شده و با ترکیب آن‌ها وزن نهایی گزینه‌ها مشخص می‌گردد. در گام سوم میزان ناسازگاری بررسی شده و نسبت به اعتبار آن‌ها تصمیم‌گیری می‌شود [4 و 5]. برای حفر تونل سه روش آتشیاری، حفاری با رودهدر (Road header) و حفاری تمام مکانیزه (TBM) وجود دارد. جهت حفر تونل انتقال آب چمشیر 7 معیار اصلی و 20 زیر معیار شناسایی شده است که نمایش گرافیکی آن در شکل 3 نشان داده شده است. قابل ذکر است نام و نماد هر معیار و زیر معیار در جداول 3 و 4 بیان گشته است.

⁴ Tomas L. Saaty



شکل 3 - ساختار گرافیکی انتخاب روش حفاری بهینه از لحاظ فنی و اقتصادی تونل انتقال آب چمشیر

جدول 3- معیارهای اصلی موثر در انتخاب روش حفاری تونل انتقال آب چمشیر [6 و 7]

نماد	معیارهای اصلی
C ₁	زمین‌شناسی و خواص ژئومکانیکی سنگ
C ₂	هندسه تونل
C ₃	پارامترهای عملیاتی
C ₄	شرایط هیدرولیکی
C ₅	عوامل مدیریتی
C ₆	عوامل زیست محیطی
C ₇	هزینه عملیات

جدول 4- زیرمعیارهای موثر در انتخاب روش حفاری تونل انتقال آب چمشیر [6 و 7]

نماد	زیر معیار	نماد	زیر معیار
C ₃₁	زمان انجام کار	C ₁₁	طبقه‌بندی ژئومکانیکی سنگ توده
C ₃₂	قابلیت دسترسی به سینه‌کار	C ₁₂	قابلیت عبور از گسل یا زون خرد شده
C ₃₃	قابلیت انعطاف‌پذیری	C ₁₃	مخاطرات ناشی از نفوذ یا هجوم آب
C ₄₁	کیفیت بتن لاینینگ	C ₁₄	مخاطرات ناشی از نفوذ گازهای سمی
C ₄₂	تلورانس بتن لاینینگ	C ₁₅	زمین‌های آماس‌پذیر
C ₅₁	ریسک	C ₁₆	زمین‌های مجاله‌شونده
C ₅₂	سهولت تامین منابع مورد نیاز	C ₂₁	شکل تونل
C ₆₁	ایمنی در حین اجرا	C ₂₂	مساحت تونل
C ₆₂	آلودگی محیط زیست	C ₂₃	طول تونل

C_{63}	خشک شدن چشمه های منطقه	C_{24}	شیب و قوس تونل
----------	------------------------	----------	----------------

برای محاسبه وزن در AHP، عناصر هر سطر نسبت به عنصر مربوط به خود در سطح بالاتر مقایسه می‌شود تا ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شود. ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

که C_{ij} ترجیح المان i در مقایسه با المان j است. در صورتی که معیار برتری المان i نسبت به j باشد w_{ij} و در صورتی که معیار برتری المان j نسبت به i باشد $\frac{1}{w_{ij}}$ خواهیم داشت. لازم به ذکر است برای پر کردن ماتریس مقایسات زوجی، از مقیاس 1 تا 9 استفاده می‌شود تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عناصر دیگر در ارتباط با آن خصوصیت مشخص شود. جدول 5، مقیاس را برای انجام مقایسات زوجی نشان می‌دهد.

جدول 5- مقیاس AHP برای مقایسه زوجی معیارها [2]

مقیاسه نسبی شاخصها	درجه اهمیت
1	اهمیت یکسان
3	نسبتا مرجح
5	ترجیح زیاد
7	ترجیح بسیار زیاد
9	ترجیح فوق العاده زیاد
2,4,6,8	ارزشهای بینابین در قضاوتها

سپس با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، وزن نسبی عناصر محاسبه می‌شود. برای محاسبه بردار مجموع وزنی (WSV)، ماتریس مقایسات زوجی (D) در بردار وزنهای نسبی ضرب می‌شود.

$$WSV = D \times W \quad (2)$$

برای انتخاب روش حفاری بهینه تونل انتقال آب چمشیر، مقایسه معیارهای مختلف بر اساس جدول 5 و با استفاده از نرم افزار Expert Choice 11 انجام و نتایج در جدول 6 نشان داده شده است.

جدول 6 - نتایج نهایی انتخاب روش حفاری بهینه تونل انتقال آب چمشیر با استفاده از

نرم افزار Expert Choice 11

روش حفاری	امتیاز
انفجار	0/198
رودهدر	0/273
TBM	0/529

در پایان می‌بایست نرخ ناسازگاری هر ماتریس را با توجه به اینکه از مهمترین پارامترها در روش AHP می‌باشد محاسبه نمود. نرخ ناسازگاری و شاخص ناسازگاری با استفاده از روابط (3) و (4) بدست می‌آید:

$$\Pi = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$IR = \frac{\Pi}{IRI} \quad (4)$$

که در آن Π شاخص ناسازگاری و IR نرخ ناسازگاری می‌باشد و شاخص ناسازگاری تصادفی IRI بر اساس جدول 7 بدست می‌آید.

جدول 7 - شاخص ناسازگاری تصادفی [2]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IRI	0	0	0/58	0/90	1/12	1/24	1/32	1/41	1/45	1/51

بر اساس ساعتی در صورتی که $IR \leq 0.1$ باشد، در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد. در غیر این صورت تصمیم گیرنده می‌بایست در مقایسات زوجی تجدید نظر کند. در تمامی ماتریس‌های بکار برده شده در این هدف شرط ساعتی برقرار بوده است.

5. نتیجه‌گیری

جهت انتخاب روش حفاری بهینه از لحاظ فنی و اقتصادی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بکار گرفته شد. در این مقاله 7 معیار اصلی و 20 زیر معیار بکار گرفته شد تا از بین سه روش حفاری با انفجار، حفاری با رودهدر و حفاری با TBM بهترین روش انتخاب گردد. همانطور که از جدول 6 ملاحظه شد، روش حفاری با TBM در میان روش‌های حفاری با امتیاز 0/529 بهترین روش می‌باشد. در ضمن معیار زمین شناسی و خواص ژئومکانیکی توده سنگ با امتیاز 0/302 در میان معیارهای اصلی مهمترین معیار و معیار عوامل زیست محیطی با امتیاز 0/031 کم اهمیتترین معیار بود که دلیل آن را می‌توان به عدم توجه به این عامل در پروژه‌های کشور و نبود قانونی مدون و جدی در کشور نام برد در حالی که اکثر کشورهای توسعه یافته به عنوان یکی از مهمترین عوامل به شمار می‌آید. پس از معیار زمین شناسی و خواص ژئومکانیکی توده سنگ، معیارهای هزینه عملیات، عوامل مدیریتی و شرایط هیدرولیکی دارای بیشترین امتیاز می‌باشند که مبین آن است که تامین بودجه مورد نیاز پروژه بویژه در صورت استفاده از TBM قبل از اجرا، همچنین نقش مدیریت پروژه و بکارگیری از به روزترین تجهیزات به عنوان مهمترین عوامل پیشبرد پروژه می‌باشد.

6. منابع

1. Abdolreza Yazdani-Chamzini, Siamak Haji Yakhchani.(2012)."Tunnel Boring Machine (TBM) selection using fuzzy multicriteria decision making methods", Tunneling and Underground Space Technology 30, 194-204.
2. مومنی، منصور، "مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ اول"، منصور مومنی، 1389.
3. شرکت مهندسی سپاسد، "گزارشات زمین‌شناسی مهندسی تونل انتقال آب چمشیر"، 1390.
4. Saaty, T.L, 1980, "The Analytic Hierarchy process, New York": McGraw-Hill.
5. Saaty, T.L, 1990, "Decision making for leaders, RWS Publications", USA.
6. مدنی، حسن، "تونلسازی"، جلد اول، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، 1388

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
30 مهر و 1 آبان ماه ۱۳۹۲

7. دلیریان، انوشیروان؛ گشتاسبی، کامران؛ شمسی، غلامرضا؛ همتی شعبانی، علی؛
"انتخاب روش حفاری بهینه از لحاظ فنی برای تونل انتقال آب قمرود (قطعات 3 و
4)"، هفتمین کنفرانس تونل ایران، 1385.