

انتخاب روش استخراج مناسب معادن سنگ تراورتن محلات با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

سعید دهقان^۱، قاسم ستاری^۲، حامد بوستان زر^۳، محمدعلی علی آبادی^۳

۱- مربی گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات

۲- کارشناس ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۳- مربی گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۴/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱۱/۲۴

چکیده

امروزه برای استخراج سنگ‌های تزئینی از روش‌های مختلفی نظیر روش سیم برش الماسه و ماشین اره‌زنجیری و جت‌آب استفاده می‌شود. این روش‌ها از جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست محیطی نسبت به هم دارای مزایا و معایبی هستند. بنابراین در استخراج یک معدن سنگ، انتخاب روش مناسب استخراج برای دستیابی به بهره‌وری بیشتر در عین رعایت ملاحظات فنی و زیست محیطی یک امر ضروری می‌باشد. در این مقاله جهت انتخاب روش استخراج مناسب معادن سنگ تراورتن محلات از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به کمک نرم افزار Expert Choice استفاده شده است. برای انجام مطالعات و تصمیم‌گیری ۸ معیار موثر در انتخاب روش استخراج شامل ملاحظات زمین‌شناسی، ملاحظات زیست محیطی، زمان‌بندی تولید یک بلوک، هزینه، ایمنی و سلامت، کیفیت برش، سهولت کاربرد و نحوه استخراج و ۳ روش شامل استخراج با سیم برش الماسه، ماشین اره‌زنجیری و جت‌آب در نظر گرفته شده‌اند. بر مبنای نتایج فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس معیارهای مذکور، استخراج با ماشین اره‌زنجیری با وزن نهایی ۰/۴۷۱ مناسب‌ترین گزینه در میان روش‌های نام برده، انتخاب شد. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که با جایگزینی روش استخراج با استفاده از ماشین اره‌زنجیری به جای روش مرسوم سیم برش، شرایط معادن سنگ تراورتن محلات از جنبه‌های فنی، اقتصادی، زمین‌شناسی و زیست محیطی بهبود می‌یابند.

واژگان کلیدی؛ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، سیم برش الماسه، اره‌زنجیری، جت‌آب، معادن تراورتن محلات

مقدمه

فروش در بازار به سنگ‌بری منتقل می‌شود. اگر چنانچه سطح بلوک‌های استخراجی به خاطر ماهیت روش استخراجی غیر یکنواخت باشد، لازم است طی مرحله‌ای (کوپ کردن) سطح قواره صاف گردد.

در استخراج یک معدن سنگ ساختمانی ابتدا بلوکی از سنگ با ابعاد مشخصی جدا می‌شود و سپس این بلوک برای جابجائی راحت‌تر به بلوک‌های کوچکتر (قواره) تبدیل می‌گردد. در نهایت قواره‌ها برای تهیه پلاک قابل

شده است [9، 11 و 12]. تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۹۸۰ توسط محققى به نام توماس ال ساعتى ارائه شد. در این روش مسأله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها و زیر معیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود تا تصمیم‌گیرنده به راحتی بتواند در کوچکترین تصمیم‌گیری دقت نماید. مهمترین قابلیت روش مذکور در توانایی تبدیل ساختار سلسله مراتبی یک مسئله پیچیده چند شاخصه به ساختار بسط داده شده جهت درک بهتر تصمیم‌گیرنده از مسئله تصمیم‌گیری می‌باشد [6]. در این مقاله سعی شده است با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی روش مناسب استخراج برای معادن سنگ تراورتن منطقه محلات با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر آنها انتخاب شود.

مروری بر روش‌های استخراج سنگ ساختمانی

به طور کلی روش‌های مختلفی برای استخراج معادن سنگ ساختمانی و تزئینی وجود دارد که از آن میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [5]:

- استخراج سنگ ساختمانی با حفر چال‌های موازی؛ نظیر روش‌های پارس و گوه، جدا کردن بلوک به روش مکانیکی، استفاده از مواد ناریه ضعیف یا روش‌های آتشکاری کنترل شده، استفاده از مواد منبسط شونده.

- استخراج سنگ ساختمانی با برش سنگ؛ نظیر روش‌های استخراج بلوک توسط ماشین ضربه زن، سیم برش فولادی، سیم برش الماسه، دستگاه‌های برش سنگ (اره زنجیری یا هاواژ).

چنانچه در حین استخراج در بدنه بلوک استخراجی درزه و شکاف‌هایی ایجاد شود، درصدی از بلوک قابلیت برش نداشته و به صورت باطله هدر می‌رود. روش‌های مختلف موجود برای استخراج سنگ‌های ساختمانی با توجه به ظرفیت تولید و هزینه‌های سرمایه‌ای، عملیاتی و غیره دارای مزایا و معایبی هستند. بنابراین برای هر معدن با در نظر گرفتن شرایط فنی و اقتصادی موجود لازم است روش استخراج مناسب انتخاب گردد [5]. از طرفی منابع معدنی ارتباط پیچیده و تنگاتنگی با محیط زیست و توسعه منابع انسانی دارند، منابع معدنی از یک طرف مقدمات پیشرفت جوامع را فراهم می‌آورد و از طرف دیگر با معدنکاری غیرمسئولانه سبب آلودگی محیط زیست می‌گردد. با توجه مناسب به محیط زیست است که می‌توان از نقصان منابع طبیعی و ایجاد پیامدهای ناگوار زیست محیطی در زمان بهره برداری از معادن و منابع معدنی بر کره زمین جلوگیری کرد [8]. از طرف دیگر در صورت انتخاب روش استخراج مناسب می‌توان از به هدر دادن این ذخایر تجدیدنپذیر جلوگیری کرد. بنابراین مسائل زیست محیطی از دیگر مسائل مهمی هستند که باید مد نظر قرار گیرند. لذا می‌توان انتخاب روش استخراج مناسب را به صورت یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره در نظر گرفت که برای حل آن روش‌های مختلفی ارائه شده است. در این زمینه یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد، که از یک مبنای قوی نظری برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است [7].

در مدت چند دهه گذشته از این روش برای حل بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده

وزن نسبی (وزن گزینه‌ها نسبت به معیارها) آن‌ها محاسبه می‌گردد. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد که آن را وزن مطلق نامیده می‌شود. در گام سوم میزان ناسازگاری قضاوت‌ها بررسی شده و نسبت به قابل قبول و یا مردود بودن آن‌ها تصمیم‌گیری می‌شود [۷].

انتخاب روش استخراج مناسب جهت استخراج معادن تراورتن محلات

یکی از بزرگترین ذخایر سنگ تراورتن کشور در محدوده شهرستان محلات واقع شده است. تراورتن این منطقه آوازه جهانی دارد و به کشورهای ایتالیا، چین، آلمان، استرالیا، کانادا، آمریکا و ... صادر می‌شود. منطقه محلات با تولید سالانه یک میلیون تن ماده معدنی، بزرگترین و مرغوب‌ترین سنگ تراورتن کشور را در اختیار دارد. بیشترین طیف رنگی سنگ‌های این معادن از سفید تا کرم تیره می‌باشند که حاصل فعالیت چشمه‌های آهک‌سازی است که به صورت لایه‌ای و بر روی تپه‌های ماهوری قرار دارند. این تراورتن‌ها از نظر سنی جوان بوده و مربوط به فعالیت چشمه‌های تراورتن ساز عهد حاضر می‌باشند. هم‌اکنون بیش از ۳۵ میلیون تن سنگ تراورتن در معادن سنگ محلات موجود است. در این راستا ۳۰ معدن با ذخیره‌ای بالغ بر ۱۵ میلیون تن فعال هستند، بزرگترین معادن تراورتن ایران حاجی‌آباد، آتشکوه و عباس‌آباد (به لحاظ مرغوبیت و ذخیره) نیز در این منطقه واقع شده‌اند. وجود ۷۰ کارخانه سنگبری منطبق با تکنولوژی روز دنیا این منطقه را به یکی از شاخص‌ترین نقاط صنعت سنگ ایران تبدیل کرده است.

- روش‌های نوین استخراج سنگ ساختمانی؛ نظیر روش‌های استفاده از جت‌آب، استفاده از استخراج با شعله، جدا کردن سنگ به کمک روش ترموالاستیک، استفاده از اشعه لیزر. در انتخاب روش استخراج مناسب برای یک کانسار، باید روش‌های ممکن مورد بررسی قرار گیرند و در نهایت بهترین روش از لحاظ فنی، اقتصادی و زیست محیطی انتخاب شود. در حال حاضر روش مرسوم برای استخراج سنگ تراورتن در معادن منطقه محلات استفاده از سیم برش الماسه (wire saw) می‌باشد. در این تحقیق، این روش با سایر روش‌های متداول امروزی استخراج سنگ در کشورهای مطرح نظیر استفاده از ماشین‌اره زنجیری (chainsaw) و سیستم جت‌آب (water jet) مقایسه و مورد بررسی قرار گرفته است تا مشخص شود که با استفاده از روش‌های نوین شرایط معادن این منطقه از جنبه‌های مورد بررسی چه تغییری می‌یابند.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از تکنیک‌های کارآمد تصمیم‌گیری است که با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و براساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی گزینه‌های مختلف را به مدیران می‌دهد. در این روش فرآیند تصمیم‌گیری طی سه مرحله شامل ساختن سلسله مراتبی، محاسبه وزن و محاسبه سازگاری سیستم انجام می‌گیرد. در گام اول با ایجاد یک نمایش گرافیکی از مساله، هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. در گام بعدی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده تا اهمیت نسبی معیارها مشخص شود، سپس وزن معیارها نیز نسبت به هدف تعیین شده و

الف) ملاحظات زمین‌شناسی: از مهمترین پارامترها در استخراج معادن سنگ تزئینی، پارامترهای ژئومکانیکی می‌باشند. در این میان نقش شکستگی‌ها به خصوص نقش درزه‌ها بسیار حایز اهمیت می‌باشد، زیرا درزه‌ها می‌توانند به صورت عوامل مثبت، در صورت مطالعه بر روی آنها، و منفی، در صورت عدم مطالعه بر روی آنها، در این معادن عمل نمایند [۱].

به طوری که شناسایی سیستم ناپوستگی‌ها قبل از عملیات استخراجی می‌تواند در یافتن بهترین مدل و مسیر استخراج مورد استفاده قرار گیرد [۴].

لازم به ذکر است که در انتخاب روش و ماشین‌آلات استخراج، درزه‌داری سنگ‌ها تاثیر قابل توجهی ندارد، اما شرایط زمین‌شناسی از جمله درزه‌ها، حفره‌های موجود در سنگ (که در سنگ‌هایی نظیر تراورتن رایج است) در برخی روش‌ها تاثیر منفی داشته و در برخی روش‌ها اثر چندانی ندارند. به عنوان مثال در استخراج با استفاده از سیم برش وجود حفره‌های سنگی باعث افزایش احتمال پارگی سیم و در پی آن خسارات‌های مالی و جانی می‌شود، در صورتی که در استخراج با ماشین اره‌زنجیری یا جت‌آب این مسئله مشکلی ایجاد نمی‌کند. همچنین سایر شرایط از جمله مقاومت، برش‌پذیری عواملی هستند که در اولویت‌بندی این معیار مد نظر قرار گرفته‌اند. نکته حائز اهمیت در استفاده از جت‌آب که به عنوان یکی از مهمترین امتیازات این روش محسوب می‌شود، قابل استفاده بودن آن برای توده‌سنگ‌هایی می‌باشد که شرایط درزه‌ها در آن‌ها نامناسب است. در واقع جت‌آب از دیدگاه نوع توده‌سنگ، انعطاف‌پذیری بیشتری دارد و در شرایطی که استفاده از سیم برش با مشکل همراه است، این روش به خوبی قابل استفاده است.

همان‌طور که اشاره شد، هر یک از گزینه‌های مختلف مورد بررسی جهت استخراج سنگ تراورتن (سیم برش الماسه، ماشین اره‌زنجیری و سیستم جت‌آب) دارای ویژگی‌هایی می‌باشند.

برای بررسی این گزینه‌ها معیارهایی از دیدگاه فنی، اقتصادی، زمین‌شناسی و زیست محیطی تعیین و بر اساس آن گزینه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) روش اجرایی برتر انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است اولویت‌بندی و محاسبه وزن‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و در نهایت انتخاب گزینه برتر با در نظر گرفتن معیارهای مورد بررسی و لحاظ کردن خصوصیات و شرایط معادن تراورتن منطقه محلات انجام گرفته است. بر این اساس اطلاعات مورد نیاز، از ۱۰ معدن معروف منطقه و تعداد ۳۰ جبهه کار فعال در آنها گردآوری شده است.

۱- معیارهای موثر در انتخاب

در جدول ۱ معیارهای مهم و تأثیرگذار در انتخاب روش استخراج سنگ ساختمانی با توجه به بررسی‌های صورت گرفته ارائه شده است.

جدول ۱- معیارهای در نظر گرفته شده و نماد مربوط به هر یک

ردیف	معیار	ردیف	معیار
۱	ملاحظات زمین‌شناسی	۵	ایمنی و سلامت
۲	ملاحظات زیست محیطی	۶	کیفیت برش
۳	زمانبندی تولید یک بلوک	۷	سهولت کاربرد
۴	هزینه	۸	نحوه استخراج

با توجه به نوع طراحی معدن و روش استخراجی، آثار حاصل بر روی محیط متفاوت بوده و این امر باید در حین طراحی معدن مورد ارزیابی لازم قرار گیرد [۸]. بنابراین در هنگام انتخاب روش استخراج باید این مسائل مد نظر قرار گیرند.

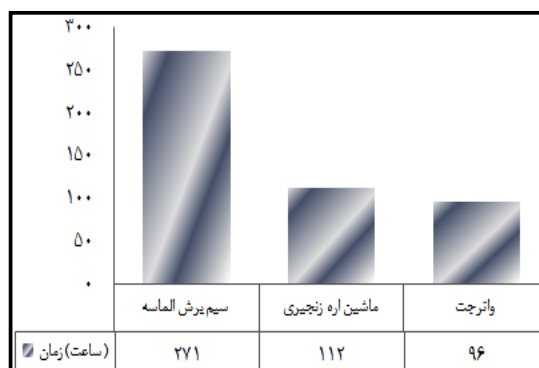
در مورد اثرات استخراج بر پوشش گیاهی منطقه لازم به توضیح است که درصد زیادی از پوشش گیاهی منطقه به دلیل پیامدهای ثانویه معدنکاری، نظیر تغییرات بر وضعیت آبهای منطقه، تغییر در پروفیل خاک، غبارهای تولید شده در اثر معدنکاری و حمل و نقل کاهش مواد مغذی خاک، کاهش خواهد یافت [۸]. اما این مسئله برای تمامی روش‌های استخراج یکسان است و در الویت‌بندی نقشی ندارد.

فعالیت‌های معدنی از مهمترین عوامل آلوده‌کننده منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشند. بهترین روش برای کاهش آسیب‌های ناشی از معدنکاری بر منابع آب استفاده از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده میزان آسیب به سیستم هیدرولوژی در اثر معدنکاری است [۸]. از دیدگاه انتخاب روش مناسب استخراج برای سنگ ساختمانی، مسئله مهم میزان استفاده آب در روش مورد نظر است، که استفاده بیش از حد از منابع آب منطقه باعث کاهش سطح آب زیرزمینی خواهد شد.

همچنین میزان آبی که در نتیجه فعالیت‌ها به محیط رها می‌شود نیز مد نظر است که با استفاده از سیستم مناسب بازبایی آب مصرفی می‌توان هر دو مشکل را تا حدی کاهش داد. به هر حال روش‌های مصرف‌کننده آب اثر سوء بیشتری بر محیط‌زیست خواهند داشت. به طور کلی استخراج سنگ با استفاده از سیم برش الماسه نیازمند مصرف مقداری آب می‌باشد. همچنین مهمترین مسئله در استفاده از جت‌آب، نیاز به وجود آب به مقدار زیاد است و بدون وجود آب

همچنین در استخراج سنگ با استفاده از ماشین‌آله زنجیری، حساسیت کمی نسبت به درزه‌های موجود در توده سنگ وجود دارد. ب) ملاحظات زیست‌محیطی: اگرچه در رابطه با آثار زیست‌محیطی فعالیت‌های معدنی اطلاعات فراوانی وجود دارد که بر مبنای شاخص‌هایی مانند تولید باطله، موضوع مربوط به بازسازی، سلامت انسانی و پیامدهای اکولوژیکی طبقه‌بندی می‌شود، اما در هر حال بهترین روش، تعیین شاخص‌های صریحی در اندازه‌گیری تمام پیامدهای حاصل از معدنکاری و فراوری مواد معدنی می‌باشد [۸].

به منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی باید اثرات آن را بر خاک، آب و پوشش گیاهی و تولید آلودگی‌ها بررسی نمود. فعالیت‌های معدنی به هر طریق که صورت می‌گیرد، بر افق‌های خاک تاثیر دارد. اثرات اصلی معدنکاری بر روی خاک، کاهش حجم و ضخامت خاک و لایه‌های مرتبط با نهشته معدنی است، که سبب تغییر مشخصات خاک شده و سیمای ظاهری منطقه تخریب می‌شود، علاوه بر آن فرسایش و فشردگی خاک در اثر حمل و نقل رخ می‌دهد. با کاهش حجم و پروفیل خاک و فشردگی آن، میزان مواد مغذی خاک به طور چشمگیری کاهش یافته و این امر تخریب پوشش گیاهی در منطقه را در پی خواهد داشت. از دیگر پیامدهای مخرب معدنکاری، می‌توان به حذف آثار تاریخی و فرهنگی موجود در منطقه اشاره نمود (خوشبختانه در محدوده معادن سنگ‌های تزئینی محلات آثار تاریخی و فرهنگی که معدنکاری سبب آسیب به آن شود، وجود ندارد). میزان سایر آثار مخرب معدنکاری در روی خاک را می‌توان با طراحی مناسب معدن کاهش داده و در هنگام بازسازی معدن با توجه کافی، آنها را احیا نمود.



شکل ۱- نمودار مدت زمان استخراج برای بلوکی با ابعاد ۶×۶×۶ و دارای سه سطح آزاد با استفاده از سه روش مورد نظر مدت زمان استخراج یک بلوک (قسمت پ) و نیز ساعات کاری مفید (هر روز ۱۰ ساعت، هر ماه ۲۵ روز و هر سال ۱۲ ماه) برای سه روش مذکور مبنای مقایسه میان گزینه ها در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ هزینه استخراج یک متر مکعب سنگ تراورتن برای روش های مختلف ارائه شده است. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، در میان سه گزینه نامبرده اولویت انتخاب به صورت، استخراج با ماشین اره زنجیری، سیم برش الماسه و سیستم جت آب می باشد [۲]. لازم با ذکر است، با توجه به گستردگی این بحث و اینکه در این مقاله تنها به عنوان یک معیار مد نظر بوده، از ذکر جزئیات آن صرف نظر شده است.

جدول ۲- هزینه استخراج یک متر مکعب از سنگ تراورتن منطقه محلات با استفاده از روش های مختلف [۲]

ردیف	روش استخراج	هزینه استخراج یک متر مکعب (ریال)
۱	سیم برش الماسه	۱۹۳۲۰۸۰
۲	ماشین اره زنجیری	۱۱۷۳۰۱۲
۳	سیستم جت آب	۲۰۱۶۷۱۸

استفاده از این سیستم امکان پذیر نیست. در نهایت بحث حفاظت از منابع طبیعی مطرح است که لازم است با انتخاب روش مناسب برای استخراج، از به هدر رفتن ذخایر خدادادی به بهترین نحو ممکن جلوگیری شود. به طور کلی نگاه به ذخایر معدنی به عنوان یک سرمایه ملی بوده و ضایعات حین استخراج نوعی زیان و هدر رفتن سرمایه تلقی خواهد شد.

پ) زمان بندی تولید یک بلوک: از عوامل موثر در افزایش بهره وری کاهش زمان استخراج ماده معدنی می باشد. برای مقایسه میان زمان صرف شده جهت استخراج بوسیله روش های مختلف با توجه به شرایط و خصوصیات معادن تراورتن محلات، تجهیزات در نظر گرفته شده، ارتفاع مناسب پله کاری، تجربه معدن کاران و شرایط کاری هر یک از روش ها بلوکی با ابعاد ۶×۶×۶ و دارای سه سطح آزاد در نظر گرفته شده است. بر این اساس مدت زمان استخراج با هر یک از روش ها با توجه به شرایط هر یک از آن ها مورد محاسبه قرار گرفت که نتایج آنها در شکل ۱ ارائه شده است [۲].

ت) هزینه: برای برآورد مناسب و واقعی قیمت تمام شده با در نظر گرفتن کلیه هزینه های مرتبط با استخراج سنگ تراورتن در معادن منطقه محلات اعم از هزینه های سرمایه گذاری، عملیاتی، مصرفی، نیروی انسانی و ... هزینه استخراج یک معدن برای استخراج یک سینه کار با ارتفاع ۶ متر (برای استخراج بلوک هایی با ابعاد ۶×۶×۶) برای یک دوره زمانی ۵ ساله (برای مستهلک کردن هزینه های ماشین آلات و تجهیزات) برای هر سه روش نام برده برآورد شد.

اختصاص می‌دهد. بنابراین مخاطرات حین کار در این روش هم از لحاظ ایمنی و هم از لحاظ بازدهی عملیات بسیار جدی هستند. همچنین در استخراج با استفاده از جت‌آب به طور کلی وجود آب با فشار بسیار بالا، در حدی که برای کار سیستم جت‌آب مورد نیاز است، خود زمینه خطرات زیادی را فراهم آورد. انحراف نازل جت‌آب به جهاتی غیر از جهت اصلی، به هر دلیلی، باعث ایجاد خطرانی از جمله آسیب‌های جانی خواهد شد، و یا در خوش‌بینانه‌ترین حالت باعث برش بلوک سنگ به صورت غیر مناسب و افت زمان خواهد شد.

ج) سهولت کاربرد: یکی از مهمترین موارد در کاربرد بهینه یک روش، تجربه استفاده صحیح از آن می‌باشد، که نیازمند آشنایی هر چه بیشتر به روش و در عین حال قابل درک بودن آن برای پرسنل است. تکنولوژی مورد استفاده برای استخراج با سیم برش الماسه بسیار ساده می‌باشد. دستگاه‌های مورد استفاده در این روش دارای تکنولوژی پیچیده‌ای نمی‌باشد و در داخل کشور به راحتی قابل تهیه و در دسترس هستند. همچنین تجربه استفاده از این روش در کشور و به خصوص در معادن منطقه محلات به سال‌های زیادی می‌رسد که این مسئله در استفاده از این روش بسیار حائز اهمیت است. از طرفی سیستم جت‌آب به دلیل تکنولوژی نوین و پیشرفته از پیچیدگی‌هایی برخوردار است. امکان تولید و حتی استفاده از آن در کشور ما بسیار کم است و با هزینه‌های زیادی همراه خواهد بود. در کنار این مسائل باید تامین قطعات و آموزش نیروی کار را نیز مد نظر قرار داد. همچنین جهت استفاده از دستگاه اره زنجیری در عین سادگی عملیات تنها به آموزش اپراتور نیازمند است.

ث) ایمنی و سلامت: این معیار از دو جنبه ایمنی و سلامت قابل بررسی است.

- سلامت؛ که از دو دیدگاه آلودگی صوتی و تولید گرد و غبار مورد بررسی قرار گرفته است.

آلودگی صوتی جزء لاینفک هر فعالیت معدنی است. این پدیده اثراتی در روحیه و تحلیل قدرت شنوایی انسان دارد [۸]. سروصدا شایع‌ترین عامل زیان‌آور فیزیکی در سر کار است. سروصدا علاوه بر تاثیر سوء بر شنوایی به عنوان یک عامل استرس‌زای عمومی بر روی قلب و عروق اثر گذاشته و موجب تحریک اعصاب، اضطراب و مشکلات روحی و روانی می‌شود. موثرترین روش کنترل، کاهش سروصدا در منبع تولید است. مثلا جایگزین کردن موتورهای برقی به جای دیزلی، می‌تون از خرید و نصب ماشین آلات پرسر و صدا ممانعت کرد [۳].

این مسئله در انتخاب روش استخراج سنگ ساختمانی مد نظر قرار گرفته است. وجود گرد و غبار در محیط کار عامل دیگر تاثیر گذار بر سلامت افراد و همچنین بازدهی در معدن می‌باشد. به عنوان مثال در روش سیم برش الماسه برای حفاری چال‌ها گرد و غبار بسیاری در محیط کار پراکنده می‌شود که در سایر روش‌ها این مشکل وجود ندارد.

- ایمنی، روش‌های مختلف استخراجی هر یک مخاطراتی برای نیروی کار دارند که در هنگام انتخاب روش این مسئله باید مد نظر قرار گیرد. به عنوان مثال از جمله مخاطراتی که حین استفاده از سیم برش ممکن است اتفاق بیفتد می‌توان به پارگی سیم‌برش اشاره کرد، این امر علاوه بر اینکه ایمنی نیروی کار را به خطر می‌اندازد و آسیب جانی شدیدی در پی خواهد داشت، همچنین ترمیم یا تعویض سیم نیاز به عبور مجدد سیم دارد و زمان زیادی را به خود

خلاف دو روش دیگر، قواره کردن بلوک همزمان با عملیات استخراج انجام می‌شود.

لازم به ذکر است، با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام گرفته معیارهای هزینه، ملاحظات زیست محیطی، زمان، ایمنی و سلامت، ملاحظات زمین شناسی، کیفیت برش، نحوه استخراج و سهولت کاربرد از دیدگاه کارشناسان به ترتیب دارای بیشترین اهمیت می‌باشند.

۲- پیاده‌سازی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

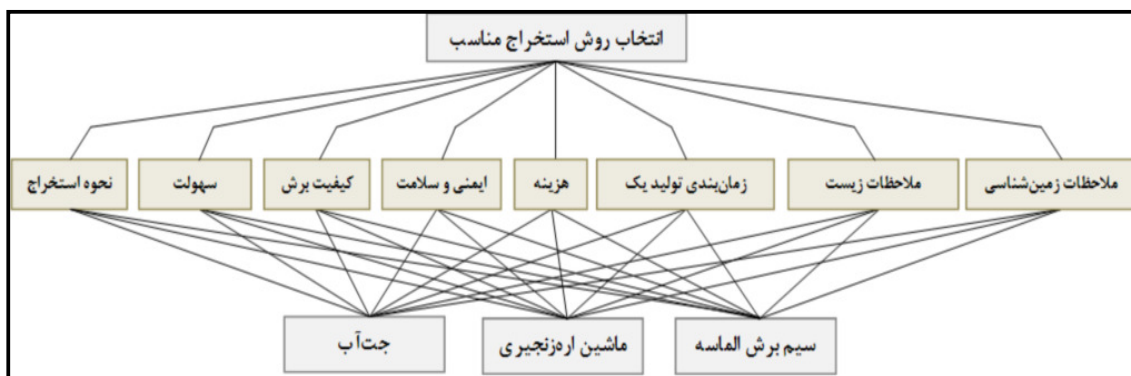
معیارهای انتخاب بهترین گزینه در بخش قبل معرفی شدند. در ادامه روند پیاده‌سازی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به صورت مرحله به مرحله برای تشکیل سلسله مراتب، وزن دهی و انجام محاسبات با توجه به مراحل این تکنیک و بر اساس معیارهای نام برده با استفاده از نرم افزار Expert Choice 11 تشریح گردیده و نتایج آن در ادامه ارائه شده است. در شکل ۲ درخت سلسله مراتب تصمیم برای انتخاب روش برتر با توجه به معیارها و گزینه‌های مورد نظر نشان داده شده است. وزن نسبی از ماتریس مقایسه زوجی بدست می‌آید، یک ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر نشان داده می‌شود [۶]:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

چ) کیفیت برش: از جمله عوامل قابل کنترل موثر بر کیفیت سنگ استخراجی کیفیت برش می‌باشد. در این رابطه مواردی نظیر کیفیت سطح برش داده شده و گونیا بودن و ... حائز اهمیت است. به طور کلی برش‌های حاصل از سیم برش دارای کیفیت مناسبی هستند و می‌توان سنگ را به اندازه‌های مختلف و دلخواه برید، و از لحاظ انتخاب ابعاد بلوک استخراجی انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. با وجود اینکه ضخامت برش دستگاه زنجیری نسبتاً زیاد است، کیفیت برش‌های این دستگاه خوب است و می‌توان بلوک‌ها را به اندازه‌های دلخواه، برش داد.

در استخراج با استفاده از جت‌آب در صورتی که مسیر برش توسط نازل درست طی شود، کیفیت برش‌های حاصل بسیار بالا می‌باشند. تنها مسئله حائز اهمیت محدودیت در انتخاب بلوک‌های بزرگ برای برش است، که بسیار نامطلوب است.

ح) نحوه استخراج: نحوه استخراج یکی از عوامل موثر در میزان بهره‌وری یک معدن می‌باشد. بطوریکه با برنامه‌ریزی صحیح و دقت در انتخاب روش مناسب استخراج می‌توان تا حد زیادی به این مهم دست یافت. طراحی اصولی معدن، انتخاب ماشین‌آلات مناسب، آموزش پرسنل و استفاده از افراد کارآزموده در استخراج سنگ قواره متناسب، بسیار مهم است. پس از این مراحل، انتخاب روش درست در استخراج سنگ قواره با ابعاد و شکل دلخواه و جلوگیری از اتلاف ذخایر و با استهلاک بی‌مورد ماشین‌آلات، نقش موثری دارد. به عنوان مثال در استخراج با استفاده از سیم برش الماسه نسبت به دو روش دیگر بلوک‌ها کمتر گونیا می‌باشند و در یک تناژ مشخص ضایعات بیشتری خواهند داشت. همچنین در روش جت‌آب بر



شکل ۲- درخت سلسله مراتب تصمیم برای انتخاب برترین گزینه استخراج

جدول ۳- طبقه بندی کمی و کیفی مقایسه زوجی معیارها [10]

امتیاز عددی	مقایسه نسبی شاخص ها
۹	اهمیت مطلق (نهایی)
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت قوی
۳	اهمیت متوسط
۱	اهمیت یکسان
۲ و ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i ام نسبت به عنصر j ام می باشد. سپس با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، وزن نسبی عناصر محاسبه می شود. برای محاسبه وزن در تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطر نسبت به عنصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می شود. تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت دو شاخص، بر اساس جدول ۳ صورت می گیرد [۶].

به دلیل در نظر گرفتن هشت معیار تعداد مقایسات زوجی با توجه به رابطه ۱ و تعداد معیارها برابر ۲۸ مورد خواهد بود:

$$\text{عدد مقایسات زوجی} = \binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!} \quad (1)$$

در این رابطه، n تعداد معیارها می باشد.

وزن هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصلضرب وزن هر معیار در امتیاز گزینه موردنظر بدست می‌آید. در شکل‌های ۴ تا ۱۱ نتایج مقایسات زوجی گزینه‌ها به ترتیب برای هر معیار نشان داده شده است.

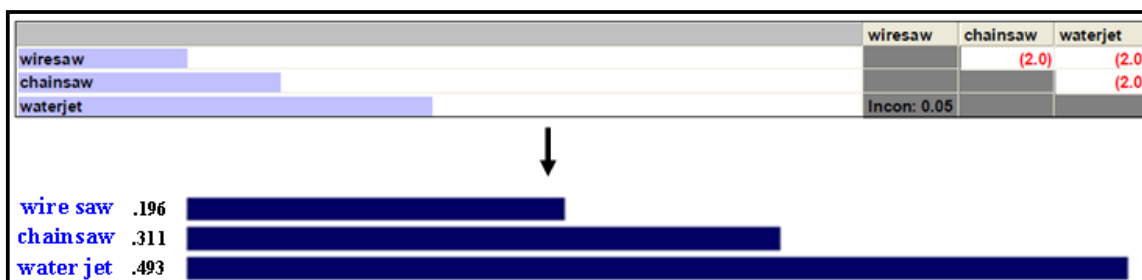
در جدول ۴ نتایج مقایسه زوجی معیارها بر اساس شرایط و اطلاعات گردآوری شده از معادن تراورتن منطقه محلات نشان داده شده است. شکل ۳ درجه اهمیت معیارهای مختلف برای انتخاب روش استخراج مناسب را نشان می‌دهد. بعد از مقایسه زوجی معیارها نوبت به تعیین وزن نسبی می‌رسد.

جدول ۴- مقایسه زوجی معیارها

	geological	enviroment	time	cost	safety	cutting qua	application	performanc
geological aspect		2.0	(3.0)	(7.0)	(2.0)	(2.0)	3.0	3.0
environmental aspect			2.0	(3.0)	2.0	4.0	7.0	5.0
time				(3.0)	2.0	4.0	7.0	4.0
cost					4.0	5.0	8.0	7.0
safety						1.0	5.0	3.0
cutting quality							5.0	2.0
application facility								1.0
performance method	Incon: 0.08							



شکل ۳- نمودار درجه اهمیت معیارهای مختلف برای انتخاب روش مناسب

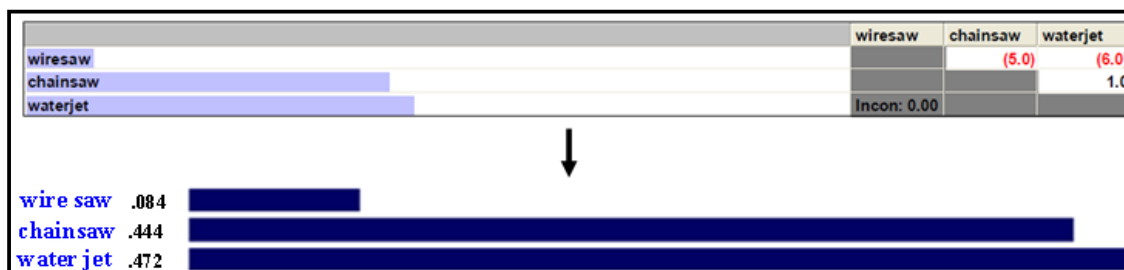


شکل ۴- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار ملاحظات زمین‌شناسی

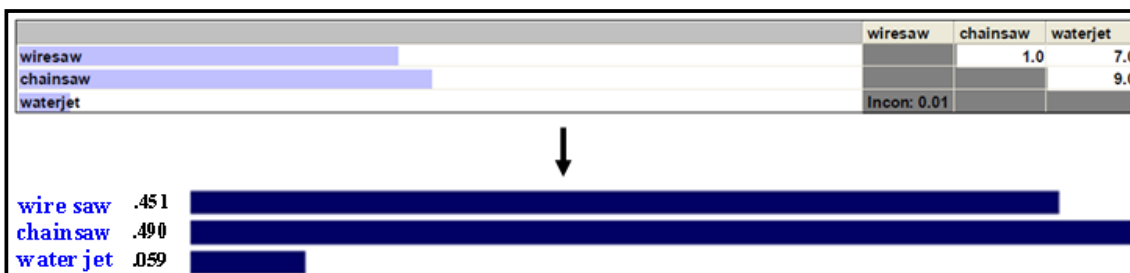
انتخاب روش استخراج مناسب معادن سنگ تراورتن محلات با استفاده از



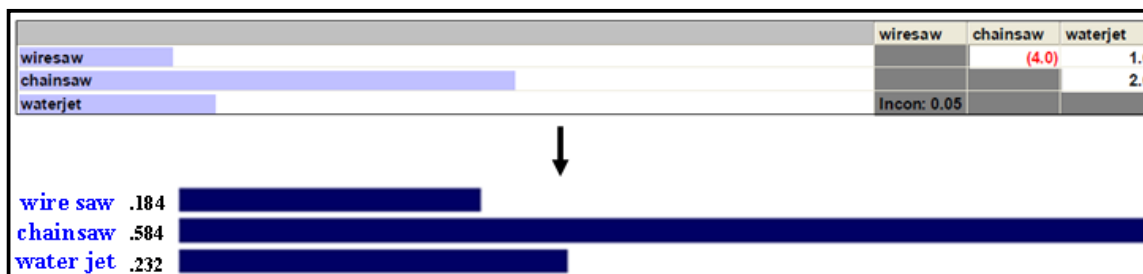
شکل ۵- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار ملاحظات زیست محیطی



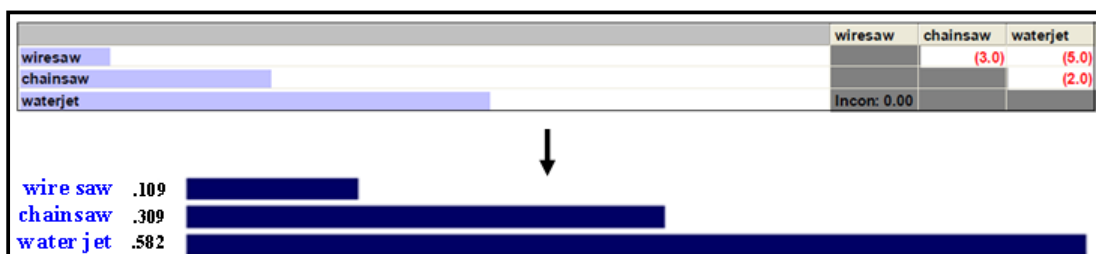
شکل ۶- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار زمان بندی تولید بلوک



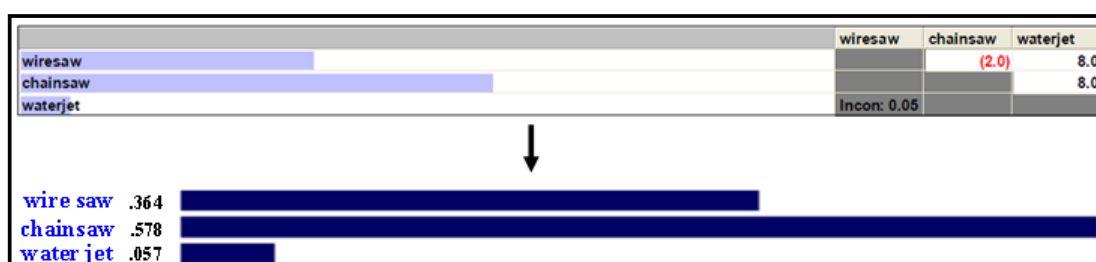
شکل ۷- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار هزینه



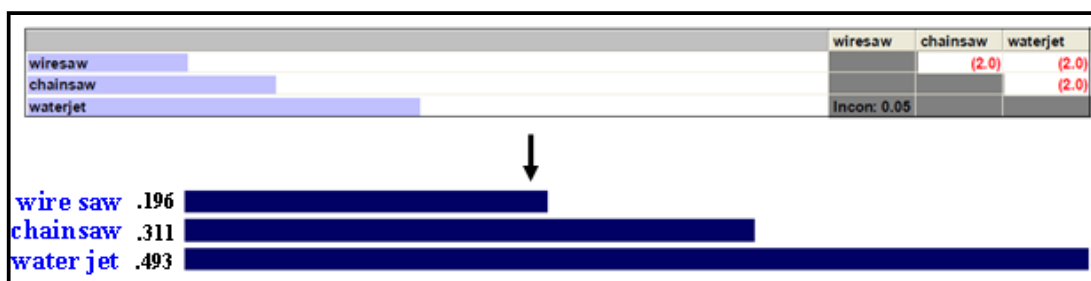
شکل ۸- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار ایمنی و سلامت



شکل ۹- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار کیفیت برش



شکل ۱۰- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار سهولت کاربرد



شکل ۱۱- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار نحوه استخراج

اره‌زنجیری < سیم برش > جت‌آب
 در شکل ۱۳ نمودار اثرگذاری هر یک از معیارها که
 منجر به انتخاب گزینه برتر گردیده (میزان حساسیت
 هر یک از معیارها در انتخاب گزینه برتر) نشان داده
 شده است.

بعد از تعیین وزن هر معیار و نیز وزن هر گزینه نسبت
 به هر معیار نوبت به محاسبه وزن نهایی هر گزینه و
 اولویت بندی گزینه‌ها می‌رسد، در شکل ۱۲ نتایج
 حاصل ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۱۲
 ملاحظه می‌شود، با توجه به تحلیل‌های انجام گرفته
 و وزن‌های بدست آمده، اولویت‌بندی گزینه‌ها به
 صورت زیر می‌باشد:

ناسازگاری سلسله مراتبی با توجه به روابط ۲ و ۳ محاسبه می شود [۶].

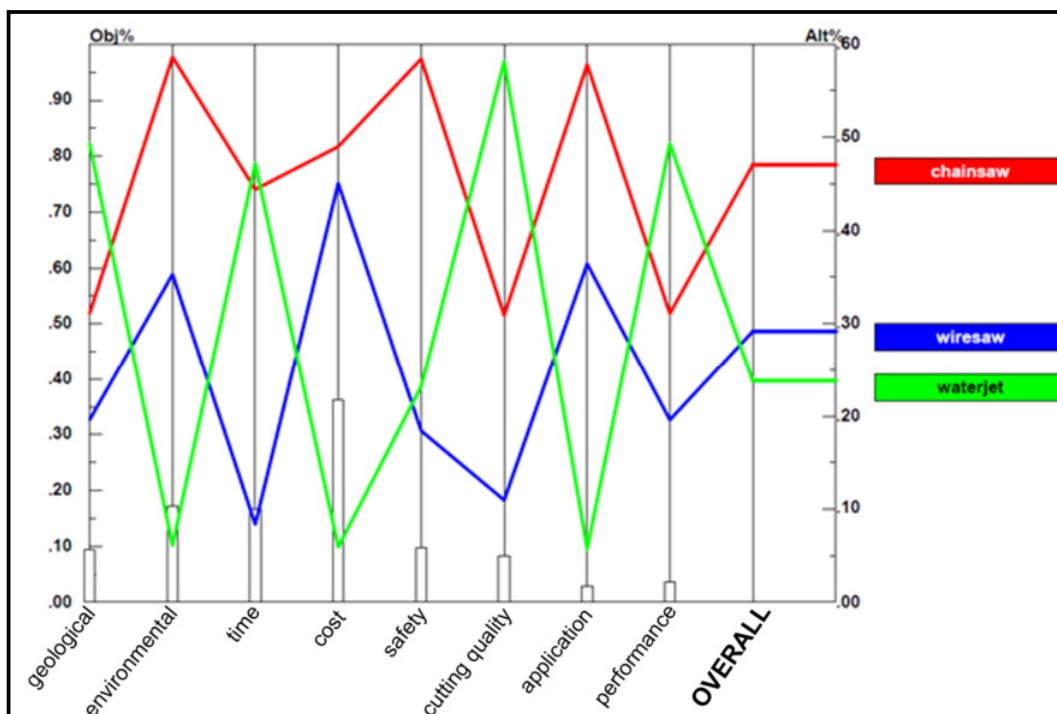
$$IR = \frac{II}{RII} \quad (3) \quad II = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (2)$$

در این روابط؛ II شاخص ناسازگاری، RII شاخص ناسازگار تصادفی، IR نرخ ناسازگاری، λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس و n اندازه ماتریس می باشد.

همان طور که اشاره شد، آخرین مرحله در یک فرآیند تصمیم گیری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی که از اهمیت بالایی برخوردار می باشد، بررسی و کنترل سازگاری تصمیم است. میزان قابل قبول ناسازگاری یک سیستم به تصمیم گیرنده بستگی دارد، اما ساعتی عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می نماید و معتقد است چنانچه نرخ ناسازگاری از ۰/۱ بیشتر باشد، بهتر است در قضاوتها تجدیدنظر شود. شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ



شکل ۱۲- اولویت بندی گزینه ها بر اساس تحلیل های انجام گرفته



شکل ۱۳- نمودار اثرگذاری معیارها در انتخاب گزینه برتر (درجه حساسیت هر یک از معیارها در انتخاب گزینه برتر)

برای تعیین مقادیر شاخص ناسازگاری تصادفی (RII)، با توجه به تعداد معیارها (n)، می‌توان از جدول ۵ استفاده کرد.

جدول ۵- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی [10]

n	۱	۲	۳	۴	۵
IIR	۰	۰	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱
n	۶	۷	۸	۹	۱۰
IIR	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۴۹

در این مطالعه پارامترهای فوق با استفاده از نرم‌افزار محاسبه شدند و همان‌طور که در شکل‌های ۳ تا ۱۱ مشاهده می‌شود، میزان نرخ ناسازگاری محاسبه شده با استفاده از نرم افزار برای کلیه مقایسات زوجی کمتر از میزان ۰/۱ می‌باشد. در شکل ۱۲ نیز نرخ ناسازگاری نهایی برای انتخاب بهترین گزینه معادل ۰/۰۷ بدست آمده است، که نشان دهنده وجود سازگاری قابل قبول در تصمیم‌ها و در نتیجه صحت و منطقی بودن قضاوت‌ها در مقایسه زوجی معیارها و گزینه‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به خاطر ماهیت خاص فعالیت‌های معدنکاری و هزینه سرمایه‌ای بالای ماشین آلات و تجهیزات روش‌های معدنکاری و توجه به آثار این فعالیت‌ها بر روی محیط زیست منطقه، انتخاب روش مناسب استخراج از اهمیت بالایی برخوردار است. از آنجایی که پارامترهای مختلفی در انتخاب یک روش استخراج

موثرند، لذا تصمیم‌گیری در این خصوص دشوار می‌باشد. در این مقاله جهت انتخاب روش استخراج معادن سنگ تراورتن محلات از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. بدین منظور ۸ معیار موثر در انتخاب روش استخراج از جنبه‌های فنی، اقتصادی، زمین‌شناسی و زیست محیطی و ۳ روش (گزینه) شامل استخراج با سیم برش الماسه، اره‌زنجیری و جت‌آب در نظر گرفته شدند. بر مبنای نتایج فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استخراج با ماشین اره‌زنجیری با وزن نهایی ۰/۴۷۱ مناسب‌ترین گزینه انتخاب شد و گزینه‌های سیم برش الماسه و جت‌آب به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۹۲ و ۰/۲۳۸ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. نرخ ناسازگاری در تمامی ماتریس‌ها کمتر از ۰/۱ بدست آمد، که نشان دهنده صحت و منطقی بودن قضاوت‌ها در مقایسه زوجی معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. لذا با توجه به نتایج تحلیل‌های صورت گرفته، برای بهبود وضعیت معادن از جنبه‌های فنی، اقتصادی، زمین‌شناسی و زیست محیطی، پیشنهاد می‌شود که برای استخراج معادن سنگ تراورتن محلات ماشین اره‌زنجیری جایگزین روش مرسوم سیم برش الماسه گردد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل نتایج طرح پژوهشی "بررسی فنی و اقتصادی روش‌های نوین در استخراج سنگ تراورتن و مقایسه آن با روش‌های مرسوم" است که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد واحد محلات به انجام رسیده است. بدینوسیله از مسئولین دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- 10- Figuera, J., Greco, S., Ehr Gott, M., (2005), Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys, Springer, pp.356-374.
- 11- Kazakidis, V., N., Mayer, Z., Scoble, M., J., (2004), Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering, Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Section A, Vol. 113, pp. 30-42.
- 12- Samanta, B., Sarkar, B., Murherjee, S., K., (2002), Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision-making process, Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Section A, Vol. 111, pp. 136-142.
- ۱- الوان دارستانی، ر، افضل، پ، پرورش، ع، گشتاسبی، ک، کاوه آهنگران، د، (۱۳۸۷)، تاثیر درزه‌ها بر روی طراحی پله‌های استخراجی در معدن گرانت ديوچال کلاردشت، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران، ص؛ ۱ تا ۷.
- ۲- دهقان، س، ستاری، ق، بوستان‌زر، ح، (۱۳۸۹)، بررسی فنی و اقتصادی روش‌های نوین در استخراج سنگ تراورتن و مقایسه آن با روش‌های مرسوم، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات، ص؛ ۱۰۷ تا ۱۳۳.
- ۳- رنجبر، ط، موسی‌پور، م، نیک‌نفس، ع، (۱۳۸۶)، بررسی آلودگی صدا و اثرات فیزیولوژیکی آن بر روی کارگران معدن زغالسنگ هجدک کرمان، مجموعه مقالات هفتمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، شرکت ملی صنایع مس ایران، مجتمع مس سرچشمه، کرمان، ص؛ ۴۰۱ تا ۴۰۹.
- ۴- شفیعی، ش، عبادی، م، ترکاشوند، م، (۱۳۸۸)، تحلیل ناپوستگی‌ها و نقش آن در بلوک‌دهی معادن سنگ ساختمانی سعیدی (شمال شرق کرمان)، مجموعه مقالات سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه یزد، ص ۷۹۹ تا ۸۰۶.
- ۵- عطایی، م، (۱۳۸۷)، استخراج سنگ‌های ساختمانی، دانشگاه صنعتی شاهرود، چاپ اول، ۲۸۶ ص.
- ۶- قدسی پور، ح، (۱۳۷۹)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ اول، ۲۳۰ ص.
- ۷- قدسی پور، ح، (۱۳۸۱)، مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ سوم، ۲۱۰ ص.
- ۸- قراباغی، م، نوع‌پرست، م، (۱۳۸۵)، ارزیابی اثرات زیست محیطی فسفات کوه لار، مجموعه مقالات ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، شرکت صنعتی و معدنی چادرملو، تهران، ص ۴۰۲ - ۴۱۵.
- 9- 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), pp. 501-513.

