فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ٦ (١٣٨٩)، شماره ٣: ١٦٩-١٦٢
www.appliedgeology.ir

انتخاب روش مناسب برای استخراج سنگ‌های ساختمانی با استفاده از روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل (TOPSIS)

احمد آریافر*[1]، رضا میکائیل[2] و محمد عطائی[2]

١) گروه مهندسی معدن دانشگاه بیرجند، Ahariafar@yahoo.com

٢) دانشکده‌ی مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ٨٩/١/٣٠ ؛ دریافت اصلاح شده: ٨٩/٦/٢٥ ؛ پذیرش: ٨٩/٧/٥ ؛ قابل دسترس در تارنما: ٩٠/٣/٩

چکیده

تاکنون روش‌های مختلفی برای استخراج سنگ‌های تزئینی و نما ابداع و به‌کارگرفته شده است که با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی و استفاده از ماشین‌آلات، روش‌های ابتدایی که به‌نحوی نیروی انسانی نقش بسزایی در آن ایفا می‌کردند، منسوخ شده‌اند. انتخاب روش مناسب از میان روش‌های موجود، یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در ابتدا می‌بایست معیارهای مورد نظر مشخّص شده و سپس با توجّه به این معیارها روش مناسب انتخاب شود. در این مقاله روش‌های معمول استخراج سنگ‌های ساختمانی شامل روش سیم‌برش الماسه، آتش‌کاری، نعل و پارس و مواد منبسط شونده‌ی کتراک و فرکت با توجّه به معیارهای مختلف از قبیل افزایش سود ناخالص، ایمنی، مرغوبیت و کاهش اثرات نامطلوب زیست‌محیطی، ضایعات و کاهش زمان استخراج با استفاده از روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) مورد برّرسی قرار گرفت. معیارهایی که در همه‌ی روش‌ها تأثیر یکسانی داشته، نادیده گرفته شده‌اند. نهایتاً پس از برّرسی‌های انجام شده، روش سیم‌برش الماسه به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه برای استخراج سنگ‌های ساختمانی پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: روش استخراج، تصمیم‌گیری چندمعیاره، سنگ ساختمانی، روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل.

١- مقدّمه

از زمانی که بشر به فکر ساختن مسکنی مستحکم بود، استخراج سنگ‌های ساختمانی آغاز گردیده است. لذا می‌توان گفت که استخراج سنگ از معادن، به چندین هزار سال قبل برمی‌گردد (عطایی ١٣٨٧). ایران کشوری با پتانسیل معدنی بالا به‌ویژه در بخش معادن سنگ بوده و به‌همین علّت اهمیّت بخش معدن در رشد اقتصادی کشور قابل توجّه می‌باشد. مطالعات موجود نشان می‌دهد که ایران به‌لحاظ برخورداری از معادن سنگ، در رتبه دوم و از حیث زیبایی و تنوّع در سنگ‌های رنگی، در رده‌ی نخست جهان قرار دارد. تاکنون روش‌های مختلفی برای استخراج سنگ‌های ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از جمله روش‌های معمول در استخراج این سنگ‌ها در اکثر معادن ایران، می‌توان به روش‌های نعل و پارس، برش با سیم‌های الماسه، آتش‌کاری (مواد منفجره‌ی ضعیف) و مواد منبسط شونده (کتراک و فرکت)، اشاره کرد. از آن‌جاکه هر یک از روش‌های استخراج سنگ‌ها نسبت به دیگر روش‌ها دارای یک‌سری محاسن و معایب می‌باشند، لذا نمی‌توان بدون انجام یک برّرسی با استفاده‌ی یکی از روش‌های چندمعیاره، بیان کرد که کدام روش مناسب‌تر می‌باشد. از این‌رو برای انتخاب روش مناسب جهت استخراج، باید یک‌سری معیار از جمله سود ناخالص، مرغوبیت، ایمنی و ... را درنظر گرفت و هر یک از روش‌ها را نسبت به این معیارها ارزیابی کرد. در این مقاله بعد از معرّفی هر کدام از روش‌های مورد نظر، معیارهای مؤثّر برای استخراج سنگ‌های ساختمانی برای هر روش برّرسی شده و در نهایت بهترین گزینه (روش استخراج) با کمک روش شباهت به گزینه ایده‌آل، پیشنهاد خواهد شد.

٢- روش‌های معمول در استخراج سنگ‌های ساختمانی

برای جدا کردن سطوح متصل به کوه، روش‌های مختلفی وجود دارد. از جمله روش‌های معمول در معادن سنگ ساختمانی ایران، روش‌های نعل و پارس، برش با سیم الماسه، آتش‌کاری و مواد منبسط شونده (کتراک و فرکت) می‌باشد (عطایی ١٣٨٧). در ذیل هر یک از این روش‌ها به‌طور مختصر شرح داده می‌شوند.

۲-۱- روش نعل و پارس

استفاده از روش نعل و پارس یکی از قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده در استخراج بلوک‌های سنگ می‌باشد. نحوه‌ی کار با نعل و پارس به این صورت است که ابتدا در طول خطی که قرار است شکاف یا برش ایجاد شود، چال‌هایی حفر می‌شود. قطر، عمق و تعداد این چال‌ها به جنس و نوع سنگ بستگی دارد. هرچه چال‌ها به‌هم نزدیک‌تر و عمق آن‌ها زیادتر باشد، جدایش بلوک سنگ راحت‌تر و بهتر انجام می‌گیرد. پس از حفر چال‌ها، پارس و سپس نعل داخل آن گذاشته می‌شود و بعد با فرود آوردن ضربات توسّط پتک بر روی نعل‌ها، شکاف مورد نظر در داخل سنگ ایجاد شده و با گسترش این شکاف‌ها بلوک سنگی جدا می‌شود.

۲-۲- روش آتش‌کاری

در روش استخراج بلوک به کمک آتش‌کاری، ابتدا چال‌های عمودی و افقی به فواصل معیّن حفر می‌شوند. سپس با استفاده از مواد ناریه‌ی مخصوص و فتیله‌ی انفجاری، آتش‌کاری انجام و بلوک از توده‌سنگ جدا می‌شود. تفاوت اساسی بین آتش‌کاری در معادن سنگ و روش‌های آتش‌کاری معمولی در این است که سنگ باید ترک‌خورده و لق شود و این ترک فقط در جهت دلخواه به‌وجود آمده باشد و سنگ‌های اطراف نباید صدمه ببینند.

۲-۳- روش استخراج با استفاده از مواد منبسط شونده

یکی از روش‌هایی که به‌طور گسترده در معادن ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد، انواع مواد منبسط شونده است. این مواد به جای مواد ناریه در معادن سنگ‌های ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته و به‌طور قابل توجّهی مصرف آن‌ها در معادن سنگ ساختمانی افزایش یافته است. قدرت انفجار و تخریب این مواد نظیر باروت، دینامیت و آنفو نیست و در واقع به نوعی کار نعل و پارس را انجام می‌دهند. برای استفاده از مواد باید چال‌هایی موازی در سنگ حفر کرد، سپس ماده‌ی مورد نظر را با آب مخلوط کرده تا به‌صورت دوغاب درآید. دوغاب در چال‌ها ریخته شده و پس از مدّتی در اثر پدیده‌ی هیدراتیزاسیون و آب‌گیری تا چندین برابر افزایش حجم می‌دهد. در نهایت این افزایش حجم موجب شکست سنگ و جدا شدن بلوک سنگی می‌گردد.

۲-۴- استخراج با استفاده از سیم برش‌های الماسه

اولین واحد سیم برش الماسه در سال ۱۹۷۸ در معدن کارارا (Carrara) نصب شد. از آن زمان به بعد این روش پیشرفت‌های سریعی را در زمینه‌ی تجهیزات و خود سیم شاهد بوده است. در این روش، سیم برش الماسه به‌صورت حلقه‌ای بسته پیرامون بخشی که باید برش داده شود، قرار داده شده و به‌وسیله‌ی آب در طول عملیّات خنک نگه داشته می‌شود. این حلقه‌ی بسته از طریق ایجاد چال متقاطع و عبور دادن سیم از داخل آن امکان‌پذیر است و بدین‌ترتیب یک مدار بسته به‌وجود می‌آید. در طول عملیّات، برش دستگاه با حرکت بر روی ریل از سینه کار دور می‌شود و سیم تحت کشش باقی می‌ماند.

۳- معیارهای مؤثّر در انتخاب روش استخراج سنگ‌های ساختمانی

معیارهایی همچون سود ناخالص، مرغوبیت، ایمنی، زمان، اثرات زیست محیطی و ضایعات، در انتخاب روش استخراج سنگ‌های ساختمانی مؤثّرند. معیارهای انتخاب یک روش مناسب برای استخراج سنگ‌های ساختمانی را می‌توان به دو دسته‌ی کیفی و کمی تقسیم نمود. برخی از این معیارها در انتخاب روش، تأثیر منفی و برخی دیگر تأثیر مثبت دارند. به‌عنوان مثال، تأثیر اثرات زیست محیطی برای انتخاب روش مناسب، یک تأثیر منفی و تأثیر ایمنی بر انتخاب روش مناسب، یک تأثیر مثبت می‌باشد. کیفی و کمی بودن هر یک از معیارها با توجّه به تأثیرات مثبت و منفی شان در جدول ۱ آورده شده است. در ذیل به برّرسی روش‌های مختلف با توجّه به هر یک از معیارها پرداخته می‌شود.

۳-۱- سود ناخالص (هزینه- درآمد)

یک بلوک با ابعاد واحد با درجه آزادی ۳ را فرض کنید، برای استخراج این بلوک با هریک از روش‌های برش الماسه، نعل و پارس، آتش‌کاری، ماده‌ی منبسط شونده‌ی فرکت و ماده‌ی منبسط شونده‌ی کتراک، میزان هزینه استخراج و درآمد ناشی از فروش بلوک سنگ مطابق جدول زیر می‌باشد. هزینه‌ها، در جدول ۲ با توجّه به میانگین هزینه‌های چند معدن در حال کار کشور، محاسبه شده است (اسعدفاطمی ۱۳۸۳).

۳-۲- زمان

اگر یک بلوک با درجه آزادی ۳ با ابعاد واحد در نظر بگیرید، با توجّه

جدول ۱ - معیارهای مؤثّر در انتخاب روش استخراج سنگ‌های ساختمانی با توجّه به تأثیرات مثبت و منفی‌شان

معیارها	سود ناخالص	زمان	ضایعات	ایمنی	مرغوبیت	مسائل زیست محیطی
مشخّصات معیارها	کمی	کمی	کیفی	کیفی	کیفی	کیفی
	مثبت	منفی	منفی	مثبت	مثبت	منفی

جدول ۲– سود ناخالص حاصل از هر یک از روش‌ها با توجّه به درآمد ناشی از فروش یک‌متر مکعب بلوک سنگی

هزینه‌ها (تومان بر متر مکعب)	ماده‌ی منبسط شونده		آتش‌کاری	سیم برش الماسه	نعل و پارس
	کتراک	فرکت			
هزینه‌ی حفّاری	۵۰۰۰	۳۵۰۰۰	۵۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰
هزینه‌ی مواد مصرفی	۱۲۰۰۰	۲۱۵۰۰	۴۰۰۰۰	–	۱۰۰۰۰
هزینه‌ی برش	–	–	–	۳۰۰۰۰	–
ماشین‌آلات	۸۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۴۰۰	۸۰۰
اضافه هزینه‌ی حمل باطله	۱۸۰۰	۱۵۰۰	۳۶۰۰	–	۱۸۰۰
جمع کل هزینه‌ها	۱۹۶۰۰	۲۷۰۰۰	۴۹۴۰۰	۳۳۴۰۰	۱۷۶۰۰
قیمت فروش	۳۶۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۲۴۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۳۴۰۰۰۰
سود ناخالص	۳۴۰۴۰۰	۳۳۳۰۰۰	۱۹۰۶۰۰	۳۳۳۰۰۰	۳۲۲۴۰۰

به این‌که در روش چال‌های موازی به‌طور متوسّط در هر ۱۰ سانتیمتر یک چال حفر می‌شود، در هر وجه غیر آزاد بلوک، ۱۰ چال یک‌متری و در مجموع به ۳۰ متر حفّاری نیاز خواهد بود. اگر زمان هر متر ۵ دقیقه فرض شود، زمان حفّاری ۱۵۰ دقیقه خواهد بود. معمولاً زمان لازم برای پر کردن چال‌ها با مواد منبسط شونده ۳۰ دقیقه و زمان انتظار برای عملکرد ماده‌ی منبسط شونده‌ی کتراک ۱۶ ساعت و برای ماده‌ی منبسط شونده‌ی فرکت ۱۰ ساعت می‌باشد و در نهایت زمان تولید یک بلوک یک متر مکعبی برای دو روش به‌ترتیب حدود ۱۹ و ۱۳ ساعت خواهد بود. در روش سیم برش، حفر ۳ چال هادی یک متری ۱۵ دقیقه و زمان عبور سیم ۳۰ دقیقه می‌باشد و با توجّه به میانگین سرعت برش، هر ساعت یک‌مترمربع، کل زمان استخراج بلوک در این روش ٤ ساعت می‌باشد. البته قابل ذکر است، زمان تولید در این ۳ روش با توجّه به خصوصیّات ژئومکانیکی سنگ در معادن مختلف، دقیقاً به این نسبت نمی‌باشد. در روش نعل و پارس و آتش‌کاری همانند روش چال‌های موازی، تعداد ۳۰ چال در ۳ وجه غیرآزاد سنگ باید حفر شود که با توجّه به مدّت لازم برای حفر هر متر چال، در مجموع ۱۵۰ دقیقه برای حفّاری صرف خواهد شد و با توجه به این‌که در مجموع ۳ ساعت برای ایجاد شکاف در سنگ نیاز است، لذا استخراج یک‌متر مکعبی با این روش، ۵/۵ ساعت خواهد بود. همچنین با توجّه به این‌که پرکردن هر چال با ماده‌ی منفجره ۵ دقیقه زمان لازم دارد، برای پر کردن ۳۰ چال، ۲/۵ ساعت زمان نیاز می‌باشد. بنابراین ۵ ساعت برای استخراج یک بلوک یک متر مکعبی با استفاده از روش آتش‌کاری نیاز خواهد بود. زمان لازم برای استخراج یک متر مکعب از سنگ با توجّه به روش‌های مختلف در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳- زمان لازم برای استخراج یک متر مکعب از سنگ با توجّه به روش‌های مختلف

زمان (ساعت)	ماده‌ی منبسط شونده		آتش‌کاری	سیم برش الماسه	نعل و پارس
	کتراک	فرکت			
	۱۹	۱۳	۵	٤	۵/۵

۳-۳- ضایعات

چنانچه به ذخایر معدنی به‌عنوان یک سرمایه‌ی ملی نگاه شود و ضایعات حین استخراج نوعی زیان و هدر رفتن سرمایه تلقی و برای آن ارزش مادی در نظر گرفته شود، می‌توان گفت که ضایعات نیز از جمله معیارهای مهم در انتخاب روش استخراج می‌باشند. از جمله ضایعات به‌وجود آمده در استخراج سنگ‌های ساختمانی، می‌توان به ریز درزه‌ها در روش آتش‌کاری و نعل و پارس اشاره کرد که در زمان برش سنگ در هنگام مصرف، موجب تخریب سنگ می‌شوند. با توجّه به مکانیزم استخراج در روش برش الماسه و مواد منبسط شونده، میزان ضایعات تولید شده در این روش‌ها نسبت به روش‌های سنتی کمتر می‌باشد. این معیار را می‌توان با توجّه به کیفیّت تولید، یک معیار کیفی در نظر گرفت. نتایج حاصل از مقایسه‌ی کیفی ضایعات حاصل از استخراج یک متر مربع از سنگ برای روش‌های مختلف در جدول ٤ آورده شده است.

جدول ٤- مقایسه‌ی کیفی ضایعات حاصل از استخراج یک متر مربع از سنگ برای روش‌های مختلف

ضایعات	ماده‌ی منبسط شونده		آتش‌کاری	سیم برش الماسه	نعل و پارس
	کتراک	فرکت			
	متوسّط	کم	زیاد	خیلی کم	زیاد

۴-۳- ایمنی

بسیاری از افرادی که از پودرهای منبسط شونده استفاده کرده‌اند، از بروز بعضی ناراحتی‌های ریوی و چشمی شکایت می‌کنند. اگرچه ارتباط مستقیم بروز این امراض با استفاده از این پودرها به اثبات نرسیده است، ولی پایین بودن کیفیّت تولید و استفاده از مواد مضر به خاطر ارزان تمام شدن قیمت تولید، می‌تواند باعث بروز این بیماری‌ها شود. همچنین امکان تولید گازهای سمی را در هنگام استفاده از این پودرهای غیراستاندارد نمی‌توان نادیده گرفت. به‌دلیل پایین بودن کیفیّت برخی از آن‌ها، در هنگام استفاده در هوای گرم و به‌خصوص در چال‌هایی که در

سنگ‌های آفتاب خورده حفر شده‌اند، این پودرها بلافاصله دچار انبساط شدید شده و تقریباً مشابه مواد منفجره در هنگام انفجار عمل کرده و باعث پرتاب سنگ می‌شوند.

روش آتش‌کاری نیز به‌دلیل تولید گازهای سمی ناشی از تجزیه‌ی ماده‌ی منفجره و همچنین پرتاب سنگ، دارای کمترین امتیاز در این بخش می‌باشد. نتایج حاصل از برّرسی‌های ایمنی برای هر یک از روش‌ها در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- برّرسی کیفی معیار ایمنی برای هر یک از روش‌ها

	ماده‌ی منبسط شونده		آتش‌کاری	سیم برش الماسه	نعل و پارس
	کتراک	فرکت			
ایمنی	کم	متوسّط	کم	زیاد	زیاد

۳-۵- مرغوبیت

محصول حاصل از روش سیم الماسه با روش‌های سنتی دارای تفاوت فاحشی می‌باشد، به‌طوری‌که این تفاوت اثر قابل ملاحظه‌ای در کاهش هزینه‌ی حمل، افزایش راندمان تولید در کارخانجات سنگ‌بری، سهولت جابجایی و بهبود شرایط سینه کار دارد. با توجّه به این‌که بلوک استخراجی با روش سیم برش نیاز به برش اوّلیه ندارد، لذا هزینه‌ی نهایی تولید در این روش کاهش می‌یابد، به‌عبارتی می‌توان گفت که هرچه مرغوبیت بلوک استخراجی بالاتر باشد، قیمت فروش آن بیشتر خواهد بود. بلوک استخراجی در روش آتش‌کاری، از کم‌ترین مرغوبیت برخوردار می‌باشد و مرغوبیت بلوک استخراج شده با استفاده‌ی مواد منبسط شونده و نعل و پارس، حد واسط دو روش الماسه و آتش‌باری می‌باشد. نتایج حاصل از برّرسی‌های مرغوبیت برای هر یک از روش‌ها در جدول ٦ آورده شده است.

جدول ٦- برّرسی کیفی معیار مرغوبیت برای هر یک از روش‌ها

	ماده‌ی منبسط شونده		آتش‌کاری	سیم برش الماسه	نعل و پارس
	کتراک	فرکت			
مرغوبیت	کم	زیاد	کم	خیلی زیاد	کم

۳-۶- مسائل و مشکلات زیست محیطی

به‌طورکلّی هر فعّالیّت معدنی حداقل بر روی یکی از اجزای محیط یعنی آب، خاک و هوا، تأثیرگذار است. با توجّه به مشکلات زیست-محیطی که هر کدام از روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی بر محیط زیست دارند، امتیازات به‌صورت کیفی به هر کدام از روش‌ها داده شده که در جدول ۷ درج شده است.

جدول ۷- برّرسی کیفی معیار مشکلات زیست‌محیطی برای هر یک از روش‌ها

مسائل زیست محیطی	ماده‌ی منبسط شونده		آتش‌کاری	سیم برش الماسه	نعل و پارس
	کتراک	فرکت			
	زیاد	متوسّط	زیاد	کم	خیلی کم

۴- روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل

این روش برای اولین‌بار توسّط یون و هوانگ ارائه شد که مورد استقبال محقّقین و کاربران مختلف قرار گرفت (Hwang & Yoon 1981)، به‌طوری که اخیراً در بسیاری موارد از این روش برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره در پروژه‌های مختلف، به‌تنهایی یا به همراه روش‌های دیگر مانند روش AHP، FAHP، ژنتیک الگوریتم و غیره استفاده شد (Ye 2010, Yue 2010, Kelemenis & Askounis 2010, Boran et al. 2009, Zare Naghadehi et al. 2009, Mikaeil et al. 2009, Wang & Lee 2007, Chen & Tsao 2008, Wang & Chang 2007, Lin et al. 2008, Yurdakul & İç 2009, Jahanshahloo et al. 2006, Wang & Elhag 2006, Shanian & Savadogo 2006, Cheng et al. 2006, Yoon 1980). در این روش، گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند، به‌طوری‌که هرچه یک گزینه شبیه‌تر به حل ایده‌آل باشد، رتبه‌ی بیشتری دارد. در تعریف این روش از دو مفهوم «حل ایده‌آل» و «شباهت به حل ایده‌آل» استفاده شده است. «حل ایده‌آل» چنانچه از اسمش پیداست، حلی است که از هر جهت بهترین باشد که عموماً در عمل وجود نداشته و سعی می‌شود به آن نزدیک شویم. به‌منظور اندازه‌گیری شباهت یک روش به حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، فاصله‌ی آن روش از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل آن اندازه-گیری می‌شود و گزینه‌ها براساس نسبت فاصله از حل ضد ایده‌آل به مجموع فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش شباهت به حل ایده‌آل، مراحل روش به شرح زیر می‌باشد (عطایی ١٣٨٤).

۴-۱- تشکیل ماتریس تصمیم

با توجّه به تعداد معیارها و تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه‌ی گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به‌صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$D=\begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \cdots & \cdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

که درآن X_{ij} عملکرد گزینه iام $(i=1,2,...,m)$ در رابطه با معیار jام $(j=1,2,\ldots,n)$ می‌باشد.

۴-۲- بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می‌شود معیارها با ابعاد مختلف به معیارهایی بدون بعد تبدیل شوند و ماتریس R به‌صورت زیر تعریف شود:

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

روش‌های مختلفی برای بی‌واحد کردن وجود دارد، اما در روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل معمولاً از رابطه‌ی ۱ استفاده می‌شود:

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \qquad (۱)$$

۴-۳- تعیین ماتریس وزن معیارها

در این مرحله با توجّه به ضریب اهمیّت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری ماتریسی به‌صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$W=\begin{bmatrix} w_1 & & 0 \\ \vdots & w_2 \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & w_n \end{bmatrix}$$

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، ماتریس W یک ماتریس قطری است که فقط عناصر روی قطر اصلی آن غیر صفر و مقدار این عناصر مساوی ضریب اهمیّت بردار مربوطه می‌باشد.

۴-۴- تعیین ماتریس تصمیم وزن‌دار نرمال شده

ماتریس تصمیم وزن‌دار از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در ماتریس وزن معیارها به‌دست می‌آید:

$$V=R\times W=\begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \cdots & \cdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

۴-۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

اگر حل ایده‌آل با A^+ و حل ضد ایده‌آل با A^- نشان داده شود، آنگاه:

$$A^+=\{v_1^+, v_2^+, \ldots, v_i^+, \ldots, v_n^+\}$$

$$A^-=\{v_1^-, v_2^-, \ldots, v_i^-, \ldots, v_n^-\}$$

که v_i^+ بهترین مقدار iامین مقدار از بین تمام گزینه ها و v_i^- بدترین مقدار i مین معیار از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد. گزینه‌هایی که در A^+ و A^- قرار می‌گیرند، به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی گزینه‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

۴-۶- محاسبه‌ی فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

در این مرحله برای هر گزینه فاصله از حد ایده‌آل و فاصله از حد ضد ایده‌آل، به‌ترتیب از روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شود.

$$S_j^+=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(V_{ij}-V_j)^2} \qquad (۲)$$

$$S_j^-=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(V_{ij}-V_j)^2} \qquad (۳)$$

که در روابط، اندیس i معرّف معیار مورد نظر و اندیس j معرّف گزینه‌ی مورد نظر می‌باشد.

۴-۷- محاسبه‌ی شاخص شباهت

در آخرین مرحله، شاخص شباهت از رابطه‌ی ٤ محاسبه می‌شود:

$$C_j^+=\frac{S_j^-}{S_j^+ + S_j^-} \qquad (٤)$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه‌ی مورد نظر به ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، مقدار شاخص شباهت آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. کاملاً واضح است که $A_j=A^+$ باشد، آنگاه S_j^+ مساوی صفر خواهد بود. لذا رتبه‌بندی گزینه براساس مقدار شاخص شباهت خواهد بود. بدین‌ترتیب گزینه‌ای که دارای بیشترین شاخص شباهت است، دارای رتبه‌ی اول و گزینه‌ای که دارای کمترین شاخص شباهت است حائز رتبه‌ی آخر خواهد بود (Kabassi & Virvou 2004).

۵- انتخاب روش مناسب برای استخراج سنگ‌های ساختمانی

۵-۱- انتخاب معیار گزینه‌ها و تشکیل ماتریس تصمیم

با توجّه به روش‌های موجود جهت استخراج سنگ‌های ساختمانی در ایران، پنج روش نعل و پارس، سیم برش الماسه، ماده‌ی منبسط‌شونده‌ی فرکت، ماده‌ی منبسط‌شونده‌ی کتراک و آتش‌باری، به‌عنوان گزینه‌های انتخابی و پارامترهای هزینه‌ی تولید، مرغوبیت، ایمنی، زمان، سهولت استخراج، ضایعات و اثرات زیست‌محیطی، به‌عنوان معیارهای مسئله مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقادیر کیفی و کمی هر یک از معیارها برای هر یک از روش‌ها (ماتریس تصمیم) در جدول ۸ درج شده است.

۵-۲- نرمالایز کردن ماتریس تصمیم

با توجّه به این‌که معیارهای که در نظر گرفته شده‌اند (سود ناخالص، مرغوبیت، ایمنی، زمان، سهولت استخراج، اثرات زیست محیطی و ضایعات) دارای مقادیر کیفی و کمی می‌باشند، لذا قبل از تشکیل ماتریس تصمیم، لازم است تا مقادیر کیفی در جدول ۸ به مقادیر کمی تبدیل

شوند. برای این منظور می‌توان با استفاده از جدول ۹ مقادیر کیفی را به مقادیر کمی تبدیل کرد. بدین‌ترتیب که برای مقادیر کیفی خیلی کم تا خیلی زیاد مقادیر کمی معادل ۱ تا ۵ را می‌توان در نظر گرفت. ماتریس تصمیم اصلاح‌شده (با توجّه به مقادیر کمی) در جدول ۱۰ درج شده است. از رابطه‌ی ۱ می‌توان برای نرمالایز کردن ماتریس تصمیم استفاده کرد. ماتریس نرمالایز شده در جدول ۱۱ آورده شده است.

جدول ۸- ماتریس تصمیم

معیار	سود ناخالص	مرغوبیت	ایمنی	زمان	اثرات زیست محیطی	ضایعات
ماده‌ی منبسط شونده‌ی کتراک	۳٤۰٤۰۰	کم	کم	۱۹	زیاد	متوسط
ماده‌ی منبسط شونده‌ی فرکت	۳۳۳۰۰۰	زیاد	متوسّط	۱۳	متوسّط	کم
آتش‌کاری	۱۹۰٦۰۰	کم	کم	۵	زیاد	زیاد
سیم برش الماسه	۳۳۳۰۰۰	خیلی زیاد	زیاد	٤	کم	خیلی کم
نعل و پارس	۳۲۲٤۰۰	کم	زیاد	۵/۵	خیلی کم	زیاد

جدول ۹- معادل سازی مقادیر کیفی به مقادیر کمی

مقادیر کیفی	خیلی کم	کم	متوسّط	زیاد	خیلی زیاد
مقادیر کمی معادل	۱	۲	۳	٤	۵

جدول ۱۰- ماتریس تصمیم با توجّه به مقادیر کمی

معیار	سود ناخالص	مرغوبیت	ایمنی	زمان	اثرات زیست محیطی	ضایعات
ماده‌ی منبسط شونده‌ی کتراک	۳٤۰٤۰۰	۲	۲	۱۹	٤	۳
ماده‌ی منبسط شونده‌ی فرکت	۳۳۳۰۰۰	٤	۳	۱۳	۳	۲
آتش‌کاری	۱۹۰٦۰۰	۲	۲	۵	٤	٤
سیم برش الماسه	۳۳۳۰۰۰	۵	٤	٤	۲	۱
نعل و پارس	۳۲۲٤۰۰	۲	٤	۵/۵	۱	٤

جدول ۱۱- ماتریس تصمیم نرمالایز شده

معیار	سود ناخالص	مرغوبیت	ایمنی	زمان	اثرات زیست محیطی	ضایعات
ماده‌ی منبسط شونده‌ی کتراک	۰/٤۹	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۷۸	۰/۵۹	۰/٤٤
ماده‌ی منبسط شونده‌ی فرکت	۰/٤۸	۰/۵۵	۰/٤۳	۰/۵۳	۰/٤٤	۰/۳
آتش‌کاری	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲	۰/۵۹	۰/۵۹
سیم برش الماسه	۰/٤۸	۰/٦۹	۰/۵۷	۰/۱٦	۰/۳	۰/۱۵
نعل و پارس	۰/٤۷	۰/۲۸	۰/۵۷	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۵۹

۵-۳- تعیین ماتریس وزن معیارها

برای تعیین ضریب اهمیّت معیار نسبت به یکدیگر، طبق روش پیشنهادی ساعت، ابتدا معیارها دو به دو با هم مقایسه شده و از مقایسه‌ی آن‌ها امتیازات عددی (ماتریس مقایسه‌ی زوجی) بر اساس جدول ۱۲ صورت می‌گیرد. ۱۳ ماتریس مقایسه‌ی زوجی در جدول آورده شده است.

جدول ۱۲- تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه‌ی زوجی (Hwang &Yoon 1981)

مقایسه‌ی نسبی معیارها	امتیاز عددی
اهمیّت مطلق	۹
اهمیّت خیلی قوی	۷
اهمیّت قوی	۵
اهمیّت ضعیف	۳
اهمیّت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲، ٤، ٦ و ۸

جدول ۱۳- ماتریس مقایسه‌ی زوجی

معیار	سود ناخالص	مرغوبیت	ایمنی	زمان	اثرات زیست‌محیطی	ضایعات
سود ناخالص	۱	۳	۷	۵	۹	۳
مرغوبیت	۱/۳	۱	۵	۳	۷	۲
ایمنی	۱/۷	۱/۵	۱	۱/۲	۲	۱/۳
زمان	۱/۵	۱/۳	۲	۱	۳	۱/۲
اثرات زیست‌محیطی	۱/۹	۱/۷	۱/۲	۱/۳	۱	۱/۵
ضایعات	۱/۳	۱/۲	۳	۲	۵	۱

پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌ی زوجی، وزن نسبی معیارها قابل محاسبه می‌باشد.

روش‌های مختلفی برای این منظور بر اساس ماتریس مقایسه‌ی زوجی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روی حداقل مربعات، روی حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه از دقّت بیشتری برخوردار می‌باشد. در این روش W_i به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که رابطه‌ی ۵ برقرار باشد.

$$A.W = \lambda.W \qquad (۵)$$

که در رابطه‌ی بالا λ و W به‌ترتیب مقدار ویژه و بردار ویژه‌ی ماتریس مقایسه‌ی زوجی A می‌باشد. در حالتی که ابعاد ماتریس بزرگ‌تر باشد، محاسبه‌ی این مقادیر بسیار وقت‌گیر است. لذا برای محاسبه‌ی λ مقدار دترمینان ماتریس $A-\lambda.I$ مساوی با صفر قرار داده می‌شود و با قراردادن بزرگ‌ترین مقدار λ حاصله در رابطه‌ی (٦)، مقادیر W_i محاسبه می‌شود (Kabassi & Virvou 2004).

$$A-\lambda_{max}.I=0 \qquad (٦)$$

برای ماتریس مقایسه‌ی زوجی بین معیارها (جدول ۱۳)، بردار ویژه محاسبه شده است که به‌صورت زیر می‌باشد:

$$W=[۰/۴۴\ ,\ ۰/۲۴\ ,\ ۰/۰۵\ ,\ ۰/۰۹\ ,\ ۰/۰۳\ ,\ ۰/۱۵]$$

با توجّه به بردار ویژه، ماتریس وزن معیارها به‌صورت ذیل خواهد بود:

$$W=\begin{bmatrix} ۰/۴۴ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰/۲۴ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰/۰۵ & ۰ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰/۰۹ & ۰ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰/۰۳ & ۰ \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰ & ۰/۱۵ \end{bmatrix}$$

۵-۴- تعیین ماتریس تصمیم وزن‌دار

ماتریس تصمیم وزن دار از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در ماتریس وزن معیارها به‌دست می‌آید:

$$V=\begin{bmatrix} ۰/۰۶۶ & ۰/۰۱۸ & ۰/۰۷ & ۰/۰۱۴ & ۰/۰۶۶ & ۰/۲۱۷ \\ ۰/۰۴۴ & ۰/۰۱۳ & ۰/۰۴۸ & ۰/۰۲۱ & ۰/۱۳۱ & ۰/۲۱۲ \\ ۰/۰۸۹ & ۰/۰۱ & ۰/۰۱۸ & ۰/۰۱۴ & ۰/۰۶۶ & ۰/۱۲۱ \\ ۰/۰۲۲ & ۰/۰۰۹ & ۰/۰۱۵ & ۰/۰۲۹ & ۰/۱۶۵ & ۰/۲۱۲ \\ ۰/۰۸۹ & ۰/۰۰٤ & ۰/۰۲ & ۰/۰۲۹ & ۰/۰۶۶ & ۰/۲۰ \end{bmatrix}$$

۵-۵- یافتن مجموعه‌ی ایده‌آل و ضد ایده‌آل

حل ایده‌آل (A^*) و ضد ایده‌آل(A^-) به‌ترتیب برابر است با:

$A_j^+ = (۰/۱۲\ ,\ ۰/۰۶۶\ ,\ ۰/۰۱٤۳\ ,\ ۰/۰۶۹\ ,\ ۰/۰۱۷۷\ ,\ ۰/۰۸۹)$

$A_j^- = (۰/۲۱۷\ ,\ ۰/۱۶۵\ ,\ ۰/۰۲۹\ ,\ ۰/۰۱۵\ ,\ ۰/۰۰٤٤\ ,\ ۰/۰۲۲)$

۵-۶- محاسبه‌ی فاصله از حل ایده‌آل، ضد ایده‌آل و شاخص شباهت

برای هر یک از روش‌های انتخابی، فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل و شاخص شباهت محاسبه و در جدول ١٤ درج شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، ترتیب اولویّت روش‌ها، به‌ترتیب شامل روش سیم برش الماسه، ماده‌ی منبسط شونده‌ی فرکت، نعل و پارس، آتش‌کاری و ماده‌ی منبسط شونده‌ی کتراک می‌باشد.

جدول ١٤- فاصله از حل ایده‌آل، ضد ایده‌آل و شاخص شباهت برای هر یک از محل‌های انتخابی

گزینه ها	فاصله از حد ضد ایده‌آل	فاصله از حد ایده‌آل	شاخص شباهت
ماده‌ی منبسط شونده‌ی کتراک	۰/۰۹۸	۰/۱۲۳	۰/٤٤۳
ماده‌ی منبسط شونده‌ی فرکت	۰/۱۲۳	۰/۰۵۳	۰/٦۹۸
آتش‌کاری	۰/۰۵۱٤	۰/۱۵۳	۰/۲۵
سیم برش الماسه	۰/۱٦	۰/۰۰٦۵	**۰/۹٦۱**
نعل و پارس	۰/۰۹۹	۰/۱۲	۰/٤۵۳

۶- نتیجه‌گیری

روش‌های نعل و پارس، برش با سیم‌های الماسه، آتش‌کاری (مواد منفجره‌ی ضعیف) و مواد منبسط شونده (کتراک و فرکت)، از جمله روش‌های معمول در استخراج سنگ ساختمانی در اکثر معادن ایران می‌باشند. از آن‌جا که هر یک از این روش‌ها نسبت به دیگر روش‌ها محاسن و معایبی دارند، لذا دستیابی به ایده‌آل‌ترین روش بدون بررّسی

دقیق عوامل و معیارهای مؤثّر، امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این مقاله روش‌های معمول استخراج سنگ‌های ساختمانی شامل روش سیم برش الماسه، آتش‌کاری، نعل و پارس و مواد منبسط شونده‌ی کتراک و فرکت، با توجّه به معیارهای مختلف از قبیل اثرات نامطلوب زیست محیطی، افزایش سود ناخالص، ایمنی، مرغوبیت و کاهش ضایعات و زمان استخراج، مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه، روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل، مناسب‌ترین روش برای استخراج سنگ‌های ساختمانی (نزدیک‌ترین روش به روش ایده‌آل) انتخاب گردید. نتایج برّرسی‌ها نشان می‌دهد که استخراج سنگ با روش سیم برش الماسه برخلاف ذهنیّت معدنکاران (بالا بودن هزینه‌های پرسنلی، هزینه‌های انرژی مصرفی و هزینه‌های مواد مصرفی)، روش بهینه می‌باشد. به‌کارگیری روش مناسب برای استخراج سنگ‌های ساختمانی می‌تواند سبب افزایش بهره‌وری و در نتیجه افزایش تولید ناخالص ملی گردد.

مراجع

اسعدفاطمی، س. ا. و پروین، ا.، ۱۳۸۳، "بررسی فنی اقتصادی استفاده از سیم برش الماسه به منظور استخراج گرانیت برای اولین بار در ایران در معدن گرانیت گزیک، بیرجند"، *اولین کنفرانس مهندسی معدن ایران: ۱۹۳۱-۱۹۳۸.*

عطایی، م.، ۱۳۸۷، "استخراج سنگ‌های ساختمانی"، *انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۸٦ ص.*

عطایی، م.، ۱۳۸٤، "انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا-سیمان با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل". *فصلنامه امیرکبیر، سال ۱٦ (٦۲): ۸٤-۷۷.*

Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M. & Akay, D., 2009, "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method", *Expert Systems with Applications, Vol. 36 (8): 11363-11368.*

Chen, T. Y. & Tsao, C. Y., 2008, "The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis", *Fuzzy Sets and Systems, Vol. 159 (11): 1410-1428.*

Cheng, C. T., Zhao, M. Y., Chau, K. W. & Wu, X. Y., 2006, "Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with a single procedure", *Journal of Hydrology, Vol. 316 (1-4): 129-140.*

Jahanshahloo, G. R., Hosseinzadeh Lotfi, F. & Izadikhah, M., 2006, "Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data", *Applied Mathematics and Computation, Vol. 181 (2): 1544-1551.*

Kabassi, K. & Virvou, M., 2004, "A technique for preference ordering for advice generation in an intelligent help system", *Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on, Vol. 4: 3338-3342.*

Kelemenis, A., & Askounis, D., 2010, "A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection" *Expert Systems with Applications, Vol. 37 (7): 4999-5008.*

Lin, M. C., Wang, C. C., Chen, M. S. & Chang, C. A., 2008, "Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process", *Computers in Industry, Vol. 59 (1): 17-31.*

Mikaeil, R, Zare Naghadehi, M, Ataei, M, & KhaloKakaie, R., 2009, "A Decision Support System Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) and TOPSIS Approaches for Selection of the Optimum Underground Mining Method", *Archives of Mining Sciences, Vol. 54 (2): 341–368.*

Shanian, A. & Savadogo, O., 2006, "TOPSIS multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell", *Journal of Power Sources, Vol. 159 (2): 1095-1104.*

Ye, F., 2010, "An extended TOPSIS method with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers for virtual enterprise partner selection", *Expert Systems with Applications, Vol. 37 (10): 7050-7055.*

Hwang, C. L. & Yoon, K., 1981, "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications; A State-of-the-Art Survey (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems)", *Springer, New York, 259 pp.*

Yoon, K., 1980, "Systems selection by multiple attribute decision making", *Ph.D. Dissertation, Kansas State University.*

Yue, Z., 2010, "An extended TOPSIS for determining weights of decision makers with interval numbers" *Knowledge-Based Systems, Article in Press.*

Yurdakul, M. & İç, T. Y., 2009, "Analysis of the benefit generated by using fuzzy numbers in a TOPSIS model developed for machine tool selection problems", *Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209 (1): 310-317.*

Wang, T. C. & Chang, T. H., 2007, "Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment", *Expert Systems with Applications, Vol. 33 (4): 870-880.*

Wang, Y. J. & Lee, H. S., 2007, "Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making", *Computers & Mathematics with Applications, Vol. 53 (11): 1762-1772.*

Wang, Y. M. & Elhag, T. M. S., 2006, "Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment", *Expert Systems with Applications, Vol. 31 (2): 309-319.*

Zare Naghadehi, M, Mikaeil, R, & Ataei, M., 2009, "The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach to Selection of Optimum Underground Mining Method for Jajarm Bauxite Mine, Iran", *Expert Systems with Applications, Vol. 36: 8218–8226.*