انتخاب روش مناسب استخراج معادن تراورتن آذرشهر با استفاده از فرايند سلسله مراتبي (AHP)

رضا كاكائي[۱]، حسين ميرزائي نصيرآباد[۲]، محمد يعقوبي‌پور[۳]

۱ - استاديار دانشكده مهندسي معدن و ژئوفيزيک، دانشگاه صنعتي شاهرود، R_kakaie@Shahroodut.ac.ir

۲ - دانشجوي دكتري معدن، دانشكده مهندسي معدن و ژئوفيزيک، دانشگاه صنعتي شاهرود، hm_nasr@yahoo.com

۳ - كارشناس ارشد اكتشاف معدن، دانشگاه صنعتي شاهرود

چكيده

امروزه براي استخراج سنگ‌هاي تزئيني از روش‌هاي مختلفي نظير روش پارس-گوه، روش سيم برش الماسه و مواد منبسط شونده استفاده مي‌شود. اين روش‌ها بسته به معيارهايي نظير ظرفيت توليد، هزينه‌هاي عملياتي و سرمايه‌اي و... نسبت به هم داراي مزايا و معايبي هستند. بنابراين در استخراج يک معدن سنگ تزئيني انتخاب روش مناسب استخراج يک امر ضروري مي‌باشد. در اين مقاله با استفاده از فرآيند سلسله مراتبي (AHP) از بين چهار روش پارس-گوه، سيم برش الماسه، ماده منبسط شونده كتراک (CutRock) و ماده منبسط شونده فركت (Fract) روش مناسب استخراج معدن تراورتن آذرشهر انتخاب شده است. براي اين منظور هشت معيار هزينه‌هاي سرمايه‌اي، هزينه‌هاي عملياتي، ظرفيت توليد، درزه و شكاف ايجاد شده در سنگ، وضعيت سطح بلوک استخراجي، ايمني، مهارت اپراتور و جنس سنگ در نظر گرفته شده است. بر مبناي نتايج روش AHP، روش سيم برش الماسه با وزن ۰/۳۶۰ مناسب ترين روش تشخيص داده شد و روش‌هاي ماده منبسط شونده فركت، ماده منبسط شونده كتراک و پارس- گوه به ترتيب با وزن‌هاي ۰/۲۶۶، ۰/۱۹۹ و ۰/۱۷۵ در الويت‌هاي بعدي قرار گرفتند.

كلمات كليدي: فرآيند سلسله مراتبي (AHP) ، انتخاب روش استخراج، سيم برش الماسه، معادن تراورتن آذرشهر

Selection Of Suitable Extraction Method For Azarshahr Travertine Mines With The Use Of Analytical Hierarchy Process (AHP)

R. Kakaie, H. Mirzaei, M. Yaghobipour

Abstract

Various methods such as plug and feather, wire saw and use of different expansion materials, can be used to extract dimensional stones. These methods have some advantages and disadvantages in respect to different criterion for instance capital and operational costs, production capacity, etc. Therefore, it is necessary to choose suitable mining method for these mines. This paper describes the use of Analytical Hierarchy Process (AHP) to select appropriate mining method for travertine mines in Azarshahr. For this purpose, eight criteria including capital and operational costs, production capacity, initiated joints in block, shape of block surface, safety, human efficiency and rock strength have been taken into account. The results show that the saw wire method with priority of 0.360 is the best mining method for quarry mines in Azarshahr. The priorities of *Fract, plug and feather* and *CutRock* methods are 0.266, 0.199, and 0.175 respectively.

Keywords: AHP, Extraction method Selection, dimensional stone, saw wire

۱- مقدمه

در استخراج یک معدن سنگ ساختماني ابتدا بلوكي از سنگ با ابعاد مشخصي جدا مي‌شود و سپس اين بلوک براي جابجائي راحت‌تر به بلوک‌هاي كوچكتر (قواره) تبديل مي‌گردد. در نهايت قواره‌ها براي تهيه پلاک قابل فروش در بازار به سنگ‌بري منتقل مي‌شود. اگر چنانچه سطح بلوک‌هاي استخراجي بخاطر ماهيت روش استخراجي ناصاف باشد، لازم است طي مرحله‌اي (كوپ كردن) سطح قواره صاف گردد. چنانچه در حين استخراج در بدنه بلوک استخراجي درزه و شكاف‌هائي ايجاد شود، درصدي از بلوک قابليت برش نداشته و بصورت باطله هدر مي‌رود. روش‌هاي مختلف موجود براي استخراج سنگ‌هاي ساختماني بسته به ظرفيت توليد و هزينه‌هاي سرمايه و عملياتي و ... داراي يكسري مزايا و معايب خاصي هستند. بنابراين براي هر معدن خاصي بسته به شرايط فني و اقتصادي موجود لازم است روش استخراج مناسب انتخاب گردد.

انتخاب روش استخراج مناسب را مي‌توان به صورت يک مسأله تصميم‌گيري چند معياره در نظر گرفت كه براي حل آن روش‌هاي مختلفي ارائه شده است. در اين زمينه يكي از جامع‌ترين سيستم‌هاي طراحي شده، فرآيند تحليل سلسله مراتبي[۱] مي‌باشد كه از يک مبناي قوي نظري برخوردار بوده و بر اساس اصول بديهي بنا نهاده شده است [۳]. در مدت چند دهه گذشته از اين روش براي حل بسياري از مسائل تصميم‌گيري چند معياره استفاده شده است [۹-۱,۴]. روش تحليل سلسله مراتبي در سال ۱۹۸۰ توسط محققي به نام توماس- ال- ساعتي[۲] ارائه شد. در اين روش مسأله تصميم‌گيري به سطوح مختلف هدف، معيارها و زير معيارها و گزينه‌ها تقسيم مي‌شود تا تصميم گيرنده به‌راحتي بتواند در كوچكترين تصميم‌گيري دقت نمايد. مهمترين قابليت روش مذكور در توانايي تبديل ساختار سلسله مراتبي يك مسئله پيچيده چند شاخصه به ساختار بسط داده شده جهت درك بهتر تصميم‌گيرنده از مسئله تصميم‌گيري مي‌باشد [۱۰]. در اين مقاله سعي شده است با استفاده از روش تحليل سلسله مراتبي روش مناسب استخراج براي معادن تراورتن آذرشهر انتخاب شود.

۲- روش‌هاي استخراج سنگ ساختماني

روش‌هاي مختلف استخراج سنگ ساختماني (جدا كردن بلوک استخراجي از بدنه كوه كه معمولا داراي درجه آزادي ۳ هستند) عبارتند از:

روش پارس- گوه: در اين روش پس از حفر چالهاي عمودي با قرار دادن پاشنه‌ها و گوه و با وارد كردن ضربات پتک به جدا كردن سنگ مي‌پردازند. از مشخصه‌هاي اين روش هزينه سرمايه‌اي پائين، سطح جدايش ناصاف، حفاري زياد، ميزان توليد پائين و عدم كارائي در برش كف مي‌باشند.

روش آتشباري: در اين روش با حفر چالهاي افقي و قائم در سنگ و خرج‌گذاري اين چالها با مواد منفجره ضعيف نظير باريت، گوريت و ... و با استفاده از انرژي حاصل از انفجار مواد منفجره و فشار وارد بر ديواره چال برش موردنظر در سنگ ايجاد مي‌شود. اين روش عليرغم آسان بودن داراي معايبي نظير غير قابل كنترل بودن انفجار، ايجاد درزه و شكاف در سنگ و در نتيجه هدر رفتن مقدار زيادي از كوپ، مشكل تهيه مواد ناريه و مجوزهاي مربوطه مي‌باشد. در كل در اين روش ميزان استخراج و بازدهي معدن پائين مي‌باشد.

روش سيم برش الماسه: در اين روش با حفر چالهاي افقي و عمودي در سنگ و رد كردن سيم از اين چالها به برش سنگ مي‌پردازند. از مشخصه‌هاي اين روش برش صاف و قالب مكعب مستطيل سنگ هاي برش شده، هزينه‌هاي سرمايه‌اي و عملياتي بالا، ظرفيت توليد بالا و مشكلات ناشي از پاره شدن سيم در حين كار مي‌باشند.

روش استفاده از مواد منبسط شونده نامرغوب: در اين روش بعد از حفر چالهاي عمودي و قائم در سنگ، پودر منبسط شونده با نسبت مشخصي با آب مخلوط شده و دوغاب حاصله در درون چالها ريخته مي‌شود. پس از مدتي در اثر پديده هيدراتيزاسيون و آبگيري، دوغاب حاصله تا چندين برابر خود افزايش حجم مي‌دهد و در اثر افزايش حجم تنش فشاري بسيار زيادي به ديواره چالها وارد مي‌شود و اين تنش در نهايت موجب شكسته شدن ديواره چال در جهت خاص مي گردد و در نهايت قطعات سنگ

[۱] Analytical Hierarchy Process
[۲] Thomas L. Saaty

بطـور دلخـواه بـرش مـي‌يابـد. در ايـن روش از مـواد منبسـط شـونده بـا قيمـت پـائين مثـل كتـراک[1] اسـتفاده مي‌گردد. اين مواد در مقايسه با مواد منبسط شونده گران قيمت از مرغوبيت پائيني برخوردارند. دير عمل كـردن و بعضـا عمـل نكردن اين مواد بخاطر عدم وجود استاندارد مشخص توليد، مشكل در برش كف و ناصاف بودن سطح بلوک جدا شده از معايـب اين روش است.

روش استفاده از مواد منبسط شونده مرغوب: در اين روش نيز با اعمال فشار ناشي از انبساط دوغاب ماده منبسط شونده داخـل چال بر ديواره چال، بلوک سنگي در جهت دلخواهي از سنگ بستر جدا مي‌شود. در ايـن روش از مـواد منبسـط شـونده گـران قيمت و مرغوب مثل فركت[2] با استانداردهاي توليد مشخص استفاده مي‌شـود. بنـابراين در مقايسـه بـا كتـراک از هزينـه‌هـاي عملياتي بالائي برخوردار است.

۳- فرايند تحليل سلسله مراتبي (AHP)

فرآيند تحليل سلسله مراتبي يكي از تكنيک‌هاي كارآمد تصميم‌گيري است كه با تجزيه مسـائل مشـكل و پيچيـده آنهـا را بـه شكلي ساده تبديل كرده و براساس مقايسه‌هاي زوجي بنا نهاده شده و امكان بررسي گزينه‌هاي مختلف را به مديران مـي‌دهـد. در اين روش فرايند تصميم‌گيري طي سه مرحله: ساختن سلسله مراتبـي، محاسـبه وزن و محاسـبه سـازگاري سيسـتم انجـام مي‌گيرد. در گام اول با ايجاد يک نمايش گرافيكي از مساله؛ هدف، معيارها و گزينه‌ها نشان داده مي‌شوند. در گام بعدي عناصـر هـر سـطح نسـبت بـه عنصـر مربـوط خـود در سـطح بـالاتر بـه صـورت زوجـي مقايسـه شـده و وزن نسـبي آنهـا محاسـبه مي‌گردد (وزن گزينه ها نسبت به معيارها). سپس با تلفيق وزن‌هاي نسبي، وزن نهايي هر گزينه مشخص مي‌گردد كه آنـرا وزن مطلق مي‌ناميم. سپس وزن معيارها نيز نسبت به هدف تعيين شده و با تركيب آنها وزن نهايي گزينه‌ها مشـخص مـي‌گـردد. در گام سوم ميزان ناسازگاري قضاوت‌ها بررسي شده و نسبت به قابل قبول و يا مردود بودن آن‌ها تصميم‌گيري مي‌شود.

۴- انتخاب روش استخراج معادن تراورتن آذرشهر با استفاده از (AHP)

معادن تراورتن آذرشهر در استان آذربايجان شرقي و در فاصله ۱۵ كيلومتري شهرستان آذرشهر واقع شده است. مهمترين نوع سنگ‌هاي تزئيني در اين معدن، تراورتن‌هاي رنگين مي‌باشند كه از فرآورده‌هاي چشمه‌هاي آهك‌ساز دوران چهارم به شمار مي‌روند. براي استخراج تراورتن از اين معادن روش‌هاي پارس-گوه (M_1)، سيم برش الماسه (M_2)، كتراک؛ مواد منبسط شونده نامرغوب (M_3) و فركت؛ مواد منسط شونده مطلوب (M_4) در نظر گرفته شد. يادآور مي‌گردد كه روش آتشباري بدليل ضايعات خيلي و ممنوع بودن استفاده از اين روش جزء گزينه‌ها منظور نشد. در انتخاب روش استخراج مناسب براي يک معدن سنگ ساختماني معيارهاي مختلفي موثر مي‌باشند. كه ۸ معيار موثر مطابق جدول (۱) براي اين معادن در نظر گرفته شد.

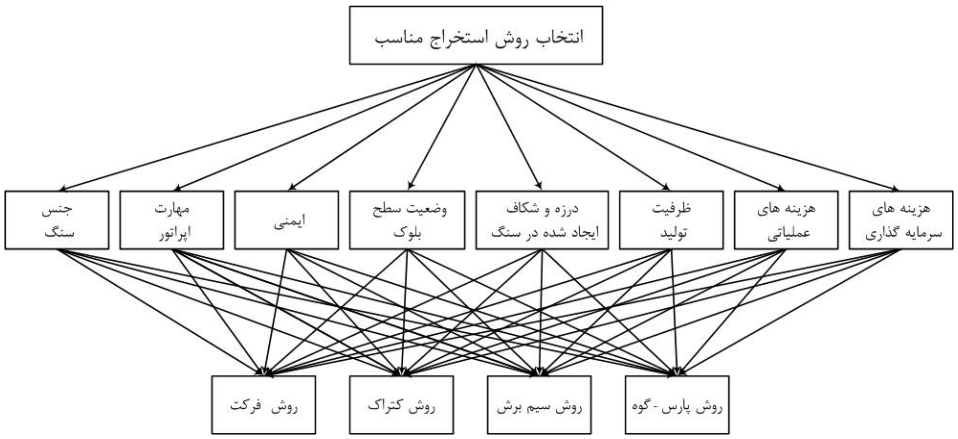
جدول۱- معيارهاي موثر در انتخاب روش

معيار	نماد	معيار	نماد
هزينه‌هاي سرمايه‌اي	C_1	وضعيت سطح بلوک ايجاد شده	C_5
هزينه‌هاي عملياتي	C_2	ايمني	C_6
ظرفيت توليد	C_3	مهارت اپراتور	C_7
درزه و شكاف ايجاد شده در سنگ	C_4	جنس سنگ	C_8

[1] Cut Rock
[2] Fract

۴-۱- ساختن سلسله مراتبي

اولين قدم در فرايند تحليل سلسله مراتبي ساختن سلسله مراتب مساله است. در شكل (۱) سلسله مراتبي انتخاب روش استخراج مناسب براي معادن تراورتن آذرشهر نشان داده شده است.



شكل۱- ساختار فرايند سلسله مراتبي براي انتخاب روش استخراج معادن سنگ تزئيني

۴-۲- محاسبه وزن عناصر در **AHP**

محاسبه وزن در AHP به دو صورت مي‌باشد: وزن نسبي و وزن نهايي.

۴-۲-۱- محاسبه وزن نسبي

براي محاسبه وزن در تحليل سلسله مراتبي، عناصر هر سطر نسبت به عنصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجي مقايسه شده و ماتريس مقايسه زوجي تشكيل مي‌شود. تخصيص امتيازات عددي مربوط به مقايسه زوجي اهميت دو گزينه يا دو شاخص بر اساس جدول (۲) صورت مي‌گيرد [۲].

جدول۲- طبقه بندي كمي و كيفي براي مقايسه زوجي معيارها [۲]

مقايسه نسبي شاخص‌ها	امتياز عددي
اهميت مطلق	۹
اهميت خيلي قوي	۷
اهميت قوي	۵
اهميت ضعيف	۳
اهميت يكسان	۱
ترجيحات بين فواصل فوق	۲،۴،۶،۸

يک ماتريس مقايسه زوجي بصورت زير نشان داده مي‌شود [۱].

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

که در آن a_{ij} ترجیح عنصر iام نسبت به عنصر jام می‌باشد. سپس با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، وزن نسبی عناصر محاسبه می‌شود. از بین روش‌های موجود برای محاسبه وزن نسبی، روش بردار ویژه انتخاب شد. در این روش W_i طوری انتخاب می‌شود که رابطه (۲) برقرار باشد.

$$A.W = \lambda.W \qquad (۲)$$

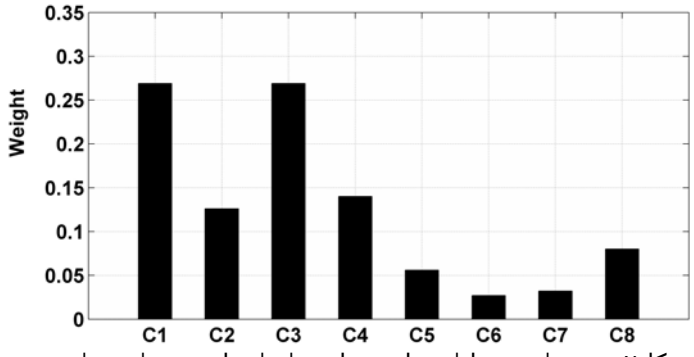
که در آن λ و W به ترتیب مقدار ویژه و بردار ویژه ماتریس مقایسه زوجی A می‌باشد.

برای معادن تراورتن آذرشهر مقایسه زوجی بین معیارهای مختلف براساس جدول (۲) انجام و نتایج آن در جدول (۳) ذکر شده است. برای انجام محاسبات لازم نیز یک برنامه کامپیوتری به زبان C++ تهیه گردید.

جدول۳- مقایسه زوجی پارامترها

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	وزن
C_1	1	3	1	3	4	6	7	4	**0.269**
C_2	1/3	1	1/3	1	2	4	5	3	**0.126**
C_3	1	3	1	3	4	6	7	4	**0.269**
C_4	1/3	1	1/3	1	3	5	6	3	**0.140**
C_5	1/4	1/2	1/4	1/3	1	3	2	1/3	**0.056**
C_6	1/6	1/4	1/6	1/5	1/3	1	1/2	1/4	**0.027**
C_7	1/7	1/5	1/7	1/6	1/2	2	1	1/3	**0.032**
C_8	1/4	1/3	1/4	1/3	3	4	3	1	**0.080**

شکل (۲) درجه اهمیت پارامترهای مختلف برای انتخاب روش استخراج معدن مذکور را نشان می‌دهد.



شکل۲- درجه اهمیت پارامترهای مختلف برای انتخاب روش استخراج معدن

مطابق شکل پارامترهای *هزینه‌های سرمایه‌ای* و *ظرفیت تولید* مهمترین معیارها می‌باشند. در جدول (۴) مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف انجام شده و وزن آنها تعیین شده است.

۴-۲-۲- محاسبه وزن نهایی

وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله مراتبی از مجموع حاصل‌ضرب وزن هر معیار در امتیاز گزینه موردنظر بدست می‌آید. مجموع امتیازات بدست آمده برای هر گزینه از رابطه (۳) حاصل می‌شود [۱].

$$A_{AHPscore} = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}.W_{ij} \qquad i = 1,2,...,n \qquad (۳)$$

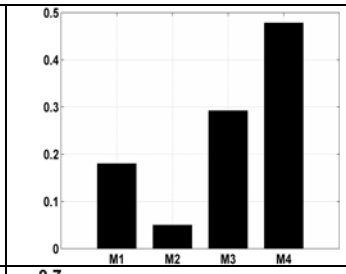
که در آن a_{ij} بیانگر میزان اهمیت نسبی گزینه iام به ازای شاخص C_j و W_j نشانگر اهمیت شاخص C_j می‌باشد. همچنین لازم است مقادیر گزینه‌ها و وزن شاخص‌ها نرمالیزه شود.

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} = 1 \quad j = 1,2,..., n \qquad (۳)$$

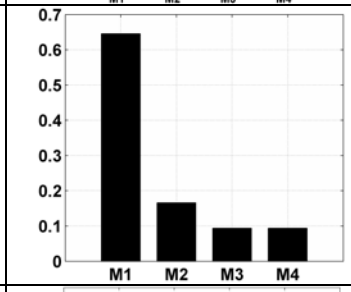
$$\sum_{j=1}^{n} W_j = 1 \qquad (۴)$$

جدول۴- مقایسه زوجي گزينه‌ها بر اساس معيارهاي مختلف

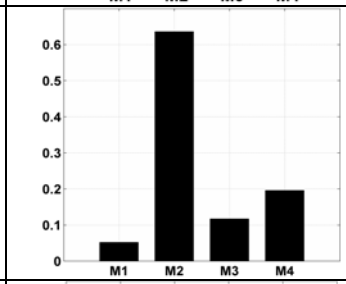
C_1	پارس - گوه	سيم برش	كتراک	فرکت	وزن
پارس - گوه	1	5	1/2	1/3	0.180
سيم برش	1/5	1	1/6	1/7	0.050
كتراک	2	6	1	1/2	0.292
فرکت	3	7	2	1	0.478



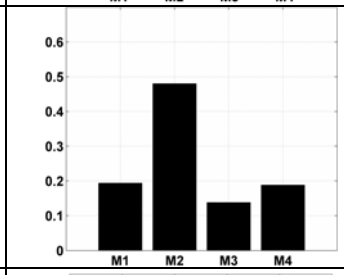
C_2	پارس - گوه	سيم برش	كتراک	فرکت	وزن
پارس - گوه	1	5	6	6	0.646
سيم برش	1/5	1	2	2	0.166
كتراک	1/6	1/2	1	1	0.094
فرکت	1/6	1/2	1	1	0.094



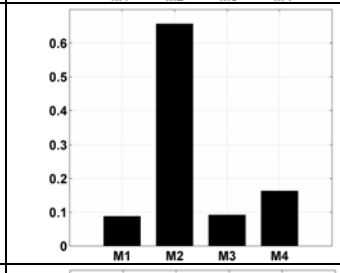
C_3	پارس - گوه	سيم برش	كتراک	فرکت	وزن
پارس - گوه	1	1/9	1/3	1/4	0.052
سيم برش	9	1	6	4	0.636
كتراک	3	1/6	1	1/2	0.117
فرکت	4	1/4	2	1	0.195



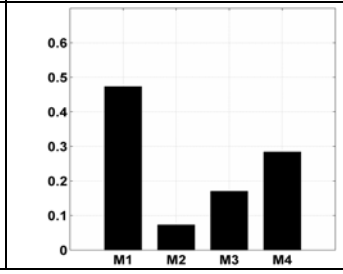
C_4	پارس - گوه	سيم برش	كتراک	فرکت	وزن
پارس - گوه	1	1/4	1	2	0.194
سيم برش	4	1	3	2	0.480
كتراک	1	1/3	1	1/2	0.138
فرکت	1/2	1/2	2	1	0.188



C_5	پارس - گوه	سيم برش	كتراک	فرکت	وزن
پارس - گوه	1	1/7	1	1/2	0.088
سيم برش	7	1	6	5	0.657
كتراک	1	1/6	1	1/2	0.092
فرکت	2	1/5	2	1	0.163

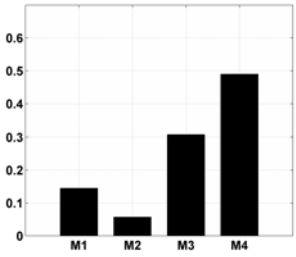


C_6	پارس - گوه	سيم برش	كتراک	فرکت	وزن
پارس - گوه	1	5	3	2	0.473
سيم برش	1/5	1	1/3	1/4	0.073
كتراک	1/3	3	1	1/2	0.170
فرکت	1/2	4	2	1	0.284

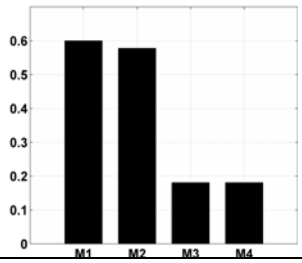


ادامه جدول۴- مقايسه زوجي گزينه‌ها بر اساس معيارهاي مختلف

C_7	پارس - گوه	سيم برش	كتراک	فركت	وزن
پارس - گوه	1	4	1/3	1/4	0.145
سيم برش	1/4	1	1/5	1/6	0.057
كتراک	3	5	1	1/2	0.308
فركت	4	6	2	1	0.490



C_8	پارس - گوه	سيم برش	كتراک	فركت	وزن
پارس - گوه	1	1/6	1/4	1/4	0.60
سيم برش	6	1	4	4	0.578
كتراک	4	1/4	1	1	0.181
فركت	4	1/4	1	1	0.181



براي گزينه‌هاي موردنظر در معادن تراورتن آذرشهر، وزن نهايي هر گزينه محاسبه و در جدول (۵) نشان داده شده است. همانطوركه از جدول مشخص است بهترين روش استخراج، روش سيم برش الماسه با وزن ۰/۳۶۰ مي‌باشد.

جدول۵- محاسبه وزن نهايي گزينه‌ها

پارامترها	وزن	پارس- گوه	سيم برش الماسه	كتراک	فركت
هزينه‌هاي سرمايه‌اي	0.269	0.180	0.050	0.292	0.478
هزينه‌هاي عملياتي	0.126	0.646	0.166	0.094	0.094
ظرفيت توليد	0.269	0.052	0.636	0.117	0.195
درزه ايجاد شده در سنگ	0.140	0.194	0.480	0.138	0.188
وضعيت سطح بلوک ايجاد شده	0.056	0.088	0.657	0.092	0.163
ايمني	0.027	0.473	0.073	0.170	0.284
مهارت اپراتور	0.032	0.145	0.057	0.308	0.490
جنس سنگ	0.080	0.60	0.578	0.181	0.181
وزن نهايي		**0.199**	**0.360**	**0.175**	**0.266**

۴-۲-۳- محاسبه نرخ ناسازگاري

در فرايند AHP محاسبه نرخ ناسازگاري از اهميت بالايي برخوردار مي‌باشد. ميزان قابل قبول ناسازگاري يک سيستم به تصميم گيرنده بستگي دارد، اما ساعتي عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه مي‌نمايد و معتقد است چنانچه نرخ ناسازگاري از ۰/۱ بيشتر باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجديدنظر شود[۱۰]. شاخص ناسازگاري، شاخص ناسازگاري تصادفي و نرخ ناسازگاري سلسله مراتبي با توجه به روابط زير محاسبه مي‌شود [۱].

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (۴)$$

$$R.I.I. = 1.98\frac{n-2}{n} \quad (۵)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{R.I.I} \quad (۵)$$

كه در اين روابط I.I. شاخص ناسازگاري، R.I.I. شاخص ناسازگاري تصادفي، I.R. نرخ ناسازگاري، λ_{max} بذرگترين مقدار ويژه ماتريس و n اندازه ماتريس مي‌باشد. در اين مطالعه پارامترهاي فوق محاسبه شدند و شاخص ناسازگاري و نرخ ناسازگاري تمامي ماتريس‌ها كمتر از ۰/۱ بدست آمد كه بيانگر قضاوت منطقي در مقايسه زوجي پارامترها و گزينه‌ها است.

۶- نتايج

به خاطر ماهيت خاص فعاليت‌هاي معدنكاري و هزينه سرمايه‌اي بالاي ماشين‌آلات و تجهيزات روش‌هاي معدنكاري، انتخاب روش مناسب استخراج از اهميت بالايي برخوردار است. از آنجائيكه پارامترهاي مختلفي در انتخاب يک روش استخراج موثراند، لذا تصميم‌گيري در اين خصوص پيچيده مي‌باشد. در اين مقاله جهت انتخاب روش استخراج معادن سنگ تراورتن آذرشهر فرايند تحليل سلسله مراتبي بكار گرفته شد. بدين منظور ۸ پارامتر موثر در انتخاب روش استخراج و ۴ روش موجود براي استخراج درنظر گرفته شدند. بر مبناي نتايج AHP روش سيم برش الماسه با وزن ۰/۳۶۰ مناسبترين گزينه انتخاب شد و روش‌هاي ماده منبسط شونده فركت، پارس- گوه و ماده منبسط شونده كتراک به ترتيب با وزن‌هاي ۰/۲۶۶، ۰/۱۹۹ و ۰/۱۷۵ در الويت‌هاي بعدي قرار گرفتند. در تمامي ماتريس‌ها شاخص ناسازگاري و نرخ ناسازگاري كمتر از ۰/۱ بدست آمد كه بر قضاوت منطقي در مقايسه زوجي پارامترها و گزينه‌ها دلالت دارد.

۷- مراجع

[۱] خالو كاكائي، رضا؛ عطايي، محمد ؛جوانشير، محمد و جهانشاهي حميد؛ (۱۳۸۵) ؛ انتخاب روش استخراج مناسب براي كانسار مس قلعه زري بيرجندبا استفاده از فرآيند تحليل سلسله مراتبي، نشريه بين‌المللي علوم مهندسي، شماره ۳، جلد ۱۷، ص ۴۵-۳۷.

[۲] قدسي‌پور، حسن؛ (۱۳۷۹)؛ فرآيند تحليل سلسله مراتبي **AHP**، انتشارات دانشگاه صنعتي اميركبير، تهران، ويرايش اول.

[3] Saaty, T., L.; 1990; "*Decision-making for Leaders*", RWS Publication, USA, 315P.

[4] Bottero, M.; Peila, D.; 2005; "*The use of the Analytic Hierarchy Process for the comparison between microtunnelling and trench excavation*", Tunnelling and Underground Space Technology, 20 (6), 501–513.

[5] Han, D.; Han, I.; 2004; "*Prioritization and selection of intellectual capital measurement indicators using analytic hierarchy process for the mobile telecommunications industry*", Expert Systems with Applications, 26, 519–527.

[6] Kablan, M., M.; 2004; "*Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach*", Energy Policy, 32, 1151–1158.

[7] 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. A30-A42.

[8] Partovi, F., Y.; Burton, J.; Banerjee, A.; 1990; "*Application of analytic hierarchy process in operations management*", International Journal of Operations and Production Management, 10(3), 230–41.

[9] 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. A136-A142.

[10] Saaty, T., L.; 1980; "*The Analytic Hierarchy Process*", New York: McGraw-Hill.