



استفاده از روش تحلیل تاکسونومی برای انتخاب سیستم بارگیری معادن سنگ آهن سنگان

محمد حیاتی (نویسنده مسئول)

دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

Email: Mohammad_hayaty@yahoo.com

محمد عطائی

استاد گروه معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

امیر فردین

دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۱۱ * تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۹

چکیده

انتخاب ماشین آلات یکی از تصمیمات مهم و پارامترهای اصلی طراحی معادن روباز می باشد که بر روی اقتصادی بودن عملیات معدن کاری تاثیر قابل ملاحظه ای دارد. در بیشتر فعالیت های معدن کاری، هزینه های بارگیری مواد یکی از اجزای اصلی هزینه های عملیاتی است و از این رو مسئله انتخاب ماشین آلات یکی از چالش های اساسی مدیران معدن می باشد که پارامترها و معیارهای زیادی در آن نقش دارند. لذا در این تحقیق معیارهای میزان تولید روزانه، تعمیر و نگهداری، هزینه سرمایه ای ماشین، بهره برداری، مجموع هزینه های عملیاتی ماشین، مجموع پارامترهای عملیاتی، انعطاف پذیری، عمر مفید دستگاه، فضای کار مورد نیاز ماشین، عمر معدن، سیکل کاری ماشین به عنوان معیارهای مهم و اصلی در انتخاب ماشین بارگیری، در نظر گرفته شده اند. از این رو با مسئله انتخاب یک گزینه مناسب از بین گزینه های موجود (۵ سیستم بارگیری)، بر اساس معیارهای موثر (۱۲ معیار مذکور) مواجه هستیم که با استفاده از روش های تصمیم گیری چند شاخصه، ارزیابی ها و در نهایت انتخاب سیستم بارگیری مناسب را می توان به صورت علمی تر و قابل استناد و معتبر انجام داد. در این تحقیق از روش تحلیل تاکسونومی به عنوان یکی از مهم ترین روش های تصمیم گیری چند شاخصه برای انتخاب سیستم بارگیری مناسب در معدن سنگ آهن سنگان استفاده شده است. بر این اساس سیستم شاول هیدرولیکی و تراک به عنوان سیستم بارگیری مناسب معدن سنگان پیشنهاد و انتخاب شده است.

کلمات کلیدی: سیستم بارگیری، معدن سنگ آهن سنگان، تصمیم گیری چند شاخصه، تاکسونومی.

۱- مقدمه

انتخاب ماشین آلات معادن روباز با توجه به میزان سرمایه گذاری بالا و شرایط کاربری متغیر، امر مهمی است که در صورت تصمیم گیری نامناسب، می تواند بهره برداری از معدن را با تردید مواجه سازد (Elevli & Demirci, 2004). انتخاب بهینه ماشین آلات می تواند با ایجاد تعادل بین افزایش میزان تولید و کاهش هزینه های عملیاتی و سرمایه گذاری اولیه به سود مطلوب منتهی شود. که در صورت تصمیم گیری نامناسب و عدم در نظر گرفتن موارد مذکور می تواند حتی سود دهی و ادامه بهره برداری از معدن را با خطر مواجه نماید (Aghajani, Osanloo, & Soltanmomadi, 2008). روش های سنتی انتخاب ماشین آلات با توجه به کاربرد وسیعی که در معادن دارند ولی قابلیت بهینه سازی عوامل مهم هزینه های عملیاتی را ندارند و همه پارامترهای موثر در انتخاب را در نظر نمی گیرند و اکثر روش های سنتی بر مبنای فرمول های ریاضی بنا نهاده شده اند. فرمول های ریاضی مطمئناً با بسیاری از موارد به جواب صحیح می رسد ولی در دنیای واقعی انتخاب ماشین آلات با توجه به افزایش تولید روزانه معدن متقابلاً با افزایش حجم مسئله و تعداد متغیرها مواجه است. لذا روش های سنتی با افزایش حجم مسئله کارایی خود را از دست خواهند داد، یعنی در قبال مقداری خطا می توان از روش موثرتری برخوردار شد که به اندازه کافی به جواب بهینه نزدیک باشد در حالی که روش های سنتی این امکان را ندارد (Vieira, 2003; Ataei et al., 2008). این در حالی است که روش های تصمیم گیری مهندسی می تواند برای نزدیک شدن به انتخاب بهینه، ابزاری مناسب و علمی باشد. در مسائل تصمیم گیری، هدف نهایی رسیدن به انتخاب مناسب و حتی الامکان بهینه است. از آن جهت که دسترسی به این مهم با توجه به وجود گزینه های متعدد و محدودیت های شناخته و ناشناخته، اغلب غیر ممکن و یا بسیار مشکل است، استفاده از روش های تصمیم گیری چند شاخصه بسیار کارگشا بوده و منجر به اخذ نتایج صحیح و علمی می شوند و همچنین می توان با درجه اطمینان بالاتری گزینه مناسب را انتخاب کرد (Liquin et al., 1995). امروزه در مهندسی معدن با توجه به شرایط پیچیده و گزینه های متعدد، روش های تصمیم گیری، کاربرد فراوان یافته است.

بررسی های به عمل آمده نشان می دهد که در تحقیقات انجام شده غالباً، از برخی از روش های تصمیم گیری چند شاخصه مانند روش تحلیل سلسه مراتبی^۱ (AHP) و روش شباهت به گزینه ایده آل^۲ (TOPSIS) به تنهایی و یا ترکیب با منطق فازی به منظور انتخاب گزینه مناسب (از قبیل: روش استخراج مناسب، سیستم حمل و نقل، بارگیری - باربری، حفاری مناسب، مکان مناسب، سیستم نگهداری مناسب و ...) در مسائل مربوط به معدن، تونل و فضاهای زیرزمینی استفاده شده است که برخی از مهمترین تحقیقات انجام شده در جدول (۱) نشان داده شده است. همان طور که از جدول (۱) نیز قابل مشاهده است، تاکنون تحقیقات و مطالعات جدی در زمینه های مذکور خصوصاً انتخاب ماشین بارگیری مناسب با استفاده از روش تحلیل تاکسونومی^۳ - به عنوان یکی از مهم ترین و قوی ترین روش های تصمیم گیری چند شاخصه، در مسائل مهندسی - انجام نشده است. از طرفی طراحی و انتخاب سیستم بارگیری در معادن غالباً بر اساس تجارب و قضاوت های مهندسین طراح انجام می گیرد و این در حالی است که پارامترها و معیارهای زیادی در این مسئله دخیل هستند لذا استفاده از روش هایی که بتواند معیارهای مختلفی را در فرایند طراحی و انتخاب در نظر بگیرد بسیار حائز اهمیت است.

هدف از این تحقیق انتخاب سیستم بارگیری مناسب با توجه به معیارهای مؤثر و کلیدی موجود، برای معدن سنگ آهن سنگان، با استفاده از روش تحلیل تاکسونومی است، که در نهایت بتوان با در نظر گرفتن معیارهای مختلف یک سیستم را پیشنهاد کرد که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و هم شرایط فنی و ایمنی لازم را تأمین کند. از جمله دلایل اصلی انتخاب این روش در این تحقیق می توان به این موارد اشاره نمود:

از طرفی این روش از مهمترین روش های تصمیم گیری چند شاخصه است و نقاط قوت روش های چند شاخصه را داراست (Azar & Rajabzadeh, 2002) ولی در تحقیقات و مطالعات مختلف، کمتر استفاده شده و خصوصاً که در مطالعات و تحقیقات معدنی اصلاً مورد استفاده قرار نگرفته است و از طرف دیگر از مزایای مهم استفاده از این روش در مقایسه با سایر

¹ Analytical hierarchy process

² Technique for order-Preference by Similarity to ideal Solution

³ Taxonomy

روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه این است که در این روش نیاز به تعیین اوزان اهمیت نسبی معیارها بر اساس نظرات خبرگان نیست در نتیجه قضاوت‌های کیفی خبرگان و کارشناسان امر در تحلیل نتایج دخالت کمتری داشته لذا می‌توان گفت نتایج به دست آمده از عدم قطعیت کمتری برخوردار هستند (Tzeng & Huang, 2011).

جدول شماره (۱): برخی از مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری در مسائل معدنی

نویسنده	مسئله و روش مورد مطالعه
(Liquin et al., 1995)	انتخاب طرح بهینه معدن‌کاری در برنامه‌ریزی تولید یک معدن روباز با استفاده از روش AHP
(Bascetin & Kesimal, 1999)	استفاده از تئوری فازی برای انتخاب سیستم حمل و نقل ذغال از داخل پیت به کارخانه فرآوری
(Karadogan et al., 2001)	انتخاب روش استخراج زیرزمینی یک معدن با استفاده از روش‌های Yager و AHP
(Dessureault & Scoble, 2000)	خرید مناسب‌ترین سیستم پایش حفاری یک معدن روباز با استفاده از روش AHP
(Elevli, Demirci, & Dayi, 2002)	انتخاب مناسب‌ترین روش حمل زیرزمینی مواد معدنی با استفاده از روش PROMETHEE I
(Kesimal & Bascetin, 2002)	انتخاب سیستم بهینه حمل در یک معدن زغال با استفاده از روش‌های Yager و AHP
(Samanta, Sarkar, & Murherjee, 2002)	انتخاب تجهیزات مناسب برای یک معدن روباز با استفاده از تصمیم‌گیری چند شاخصه
(Vieira, 2003)	انتخاب بهترین روش استخراج یک معدن طلا با استفاده از تصمیم‌گیری چند شاخصه
(Bascetin, 2004)	انتخاب تجهیزات مناسب برای یک معدن روباز با استفاده از روش AHP
(Elevli & Demirci, 2004)	انتخاب روش مناسب حمل زیرزمینی مواد معدنی با استفاده از روش PROMETHEE II
(Bitarafan & Ataei, 2004)	انتخاب مناسب‌ترین روش استخراج معدن گل‌گهر با استفاده از روش AHP فازی
(Kazakidis, Mayer, & Scoble, 2004)	انتخاب سیستم راک بولت نگهداری مناسب در یک معدن زیرزمینی با استفاده از روش AHP
(Vieira, 2004)	انتخاب بهترین روش استخراج یک معدن طلا با استفاده از تصمیم‌گیری چند شاخصه
(Vieira, 2005)	انتخاب بهترین روش استخراج یک معدن طلا با استفاده از تصمیم‌گیری چند شاخصه
(Ataei, 2005)	انتخاب بهترین موقعیت ساخت یک کارخانه سیمان با استفاده از روش AHP
(De Almeida et al., 2005)	انتخاب روش استخراج مناسب یک معدن روباز با استفاده از روش PROMETHEE II
(Bottero & Peila, 2005)	انتخاب روش مناسب حفر یک تونل با استفاده از روش AHP
(Uysal & Demirci, 2006)	انتخاب مناسب‌ترین روش استخراج یک معدن زغال سنگ در ترکیه با استفاده از روش AHP
(Bascetin, Oztas, & Kanli, 2006)	انتخاب سیستم بهینه حمل و نقل در یک معدن روباز با استفاده از روش‌های Yager و AHP
(Acaroglu, Ergin, & Eskikaya, 2006)	انتخاب ماشین حفار مناسب در عملیات تونل‌سازی با استفاده از روش AHP
(Acaroglu, Feridunoglu, & Tumac, 2006)	انتخاب ماشین حفار مناسب در عملیات تونل‌سازی با استفاده از روش Yager
(Wu et al., 2007)	انتخاب نوع محصول در یک شرکت معدنی با استفاده از روش AHP
(Aghajani & Osanloo, 2007)	انتخاب سیستم بهینه بارگیری، باربری در معادن روباز با استفاده از AHP و TOPSIS
(Musingwini & minnint, 2008)	انتخاب روش استخراج مناسب یک معدن پلاتین با استفاده از روش AHP
(Ataei et al., 2008)	انتخاب روش بهینه استخراج زیرزمینی با استفاده از روش TOPSIS
(Ataei et al., 2008)	انتخاب روش بهینه استخراج زیرزمینی با استفاده از روش AHP
(Zare Naghadehi, Mikaeil, & Ataei, 2008)	انتخاب روش بهینه استخراج زیرزمینی با استفاده از روش AHP فازی
(Yavuz, Iphar, & Once, 2008)	انتخاب سیستم نگهداری مناسب در تونل باربری یک معدن زیرزمینی با استفاده از روش AHP
(Karadogan, Kahrman, & Ozer, 2008)	انتخاب بهینه‌ترین روش استخراج زیرزمینی یک معدن در ترکیه با استفاده از روش AHP فازی
(Aghajani, Osanloo, & Soltanmomadi, 2008)	انتخاب ماشین‌آلات بارگیری- باربری در معادن روباز از روش TOPSIS فازی
(Alpay & Yavuz, 2009)	انتخاب روش استخراج زیرزمینی مناسب با استفاده از روش‌های Yager و AHP
(Oraee, Hosseini, & Gholinejad, 2009)	انتخاب سیستم نگهداری در تونل‌های دسترسی یک معدن زیرزمینی با استفاده از روش AHP
(Azadeh, Osanloo, & Ataei, 2009)	انتخاب روش استخراج یک معدن با استفاده از روش AHP فازی
(Safari et al., 2009)	انتخاب محل کارخانه کانه‌آرایی با استفاده از روش AHP

۲- مواد و روش‌ها

روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین m گزینه موجود به کار می‌روند و خصوصیت متمایز آن‌ها این است که معمولاً تعداد محدود و قابل شمارشی از گزینه‌های از پیش تعیین شده وجود دارد. بهترین گزینه در یک

مدل چند شاخصه، گزینه‌ای خواهد بود که ارجح‌ترین ارزش از هر مشخصه موجود را دارا باشد. مبنای مدل‌سازی، ایجاد و تشکیل جدول توافقی^۴ می‌باشد (Asgarpour, 2008). از مهم‌ترین و قوی‌ترین و معتبرترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌توان به روش تحلیل تاکسونومی اشاره نمود (Saaty & Vargas, 2006., Azar & Rajabzadeh, 2002). روش تحلیل تاکسونومی برای اولین بار در سال ۱۷۶۳ توسط آدنسون^۵ مطرح شد و در سال ۱۹۵۰ توسط گروهی از ریاضی‌دانان بسط داده شد. در سال ۱۹۶۸ به عنوان وسیله‌ای مهم در طبقه‌بندی درجه توسعه یافتگی بین ملل مختلف توسط هولینگ^۶ در یونسکو مطرح گردید و امروزه در رشته‌های مختلف علوم مطرح شده است. آنالیز تاکسونومی برای طبقه‌بندی‌های مختلف در علوم به کار برده می‌شود که نوع خاص آن تاکسونومی عددی است. تاکسونومی عددی برای ارزیابی شباهت و نزدیکی‌های بین واحدهای تاکسونومیک و درجه‌بندی آن عناصر به گروه‌های تاکسونومیک به کار می‌رود. در این روش یک مجموعه به مجموعه‌های کم و بیش همگن تقسیم شده و مقیاس قابل قبول برای بررسی و سنجش میزان توسعه یافتگی نواحی در اختیار برنامه ریزان قرار می‌دهد. این روش بر پایه تحلیل یک سری شاخص‌های از قبل تعیین شده است که در اولویت بندی یک سری گزینه‌ها به کار می‌رود و یک درجه‌بندی کامل برای ارزیابی گزینه‌ها ارائه می‌دهد و در زمینه‌های مختلف مهندسی به وفور استفاده می‌شود.

مراحل مختلف این روش در ۸ مرحله به شرح زیر ارائه شده است (Asgarpour, 2008., Tzeng & Huang, 2011):

- مرحله ۱: مشخص نمودن گزینه‌ها و تعیین شاخص‌های مختلف تحلیل گر و یا گروه کارشناسان (از طریق تشکیل پانل و یا روش دلفی) شاخص‌ها (C_1, C_2, \dots, C_n) را انتخاب می‌کنند. در این مرحله m گزینه (A_1, A_2, \dots, A_m) در نظر گرفته می‌شود که توسط n شاخص ارزیابی می‌شوند.
- مرحله ۲: تشکیل ماتریس (تصمیم) و سپس محاسبه میانگین و انحراف معیار با توجه به تعداد شاخص‌ها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای شاخص‌های مختلف، ماتریس تصمیم به صورت جدول (۲) تشکیل می‌شود. در این جدول r_{ij} توصیف کننده مطلوبیت گزینه A_i از نظر شاخص C_j به صورت کیفی یا کمی است. در این مرحله باید توجه نمود که شاخص‌هایی که منفی هستند باید معکوس شده و یا به روش‌های دیگر منفی بودن آن در نظر گرفته شود. از دیگر روش‌های مرسوم و بهتری که می‌توان مثبت و منفی بودن شاخص‌ها را لحاظ کرد استفاده از رقم ایده‌آل مثبت و منفی می‌باشد بدین معنی که برای شاخص‌های مثبت بزرگترین عدد مثبت و برای شاخص‌های منفی بزرگترین عدد منفی - برای هر ستون از ماتریس استاندارد - به عنوان ایده‌آل مثبت و منفی تعیین می‌شوند. از طرف دیگر بعضی شاخص‌ها کیفی می‌باشند که می‌توان آن‌ها را به شاخص‌های کمی (شبه کاذب) تبدیل نمود. بعد از تشکیل ماتریس داده‌ها، میانگین و انحراف معیار هر شاخص محاسبه می‌شود.

جدول شماره (۲): ماتریس تصمیم

شاخص‌ها / گزینه‌ها	شاخص‌ها					
	C_1	C_2	C_3	.	.	C_n
A_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}	.	.	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	.	.	r_{2n}
.
A_m	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}	.	.	r_{mm}
میانگین	\bar{x}_1	\bar{x}_2	.	.	.	\bar{x}_n
انحراف معیار	σ_1	σ_2	.	.	.	σ_n

⁴ Contingency table

⁵ Adenson

⁶ Holling

- مرحله ۳: تشکیل ماتریس استاندارد (نرمال شده) Z

در ماتریس تصمیم، گزینه‌ها بر حسب شاخص‌هایی بیان شده‌اند که مقیاس‌های اندازه‌گیری مختلفی دارند و در این مرحله سعی در از بین بردن واحدهای مختلف آن‌ها است که برای این کار از رابطه Z استاندارد استفاده می‌شود یعنی میانگین مقادیر هر شاخص از مقدار هر خصوصیت کم شده و بر انحراف معیار آن تقسیم می‌شود:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad (1)$$

\bar{x}_j : میانگین هر شاخص یا هر یک از ستون‌های ماتریس

σ_j : انحراف معیار هر شاخص یا هر یک از ستون‌های ماتریس

در انتهای ماتریس استاندارد برای هر کدام از شاخص‌های مثبت، بزرگ‌ترین عدد مثبت قابل مشاهده (ایده‌آل مثبت) و برای شاخص‌های منفی، بزرگ‌ترین عدد منفی (ایده‌آل منفی) تعیین می‌شود که با DO_j نمایش داده می‌شود.

- مرحله ۴: تعیین فاصله مرکب بین گزینه‌ها

در این مرحله با داشتن ماتریس استاندارد Z ، فاصله هر گزینه از گزینه‌های دیگر نسبت به هر یک از شاخص‌ها از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$D_{ab} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{aj} - Z_{bj})^2} \quad (2)$$

در اینجا a و b دو گزینه مورد ارزیابی هستند. این عملیات یک نوع محاسبه زوجی بین هر دو گزینه با هم است. مهم‌ترین ویژگی‌های این عملیات به شرح زیر است:

$$(1) \text{ فاصله هر دو گزینه از خودش برابر صفر است } (D_{aa} = D_{bb} = 0).$$

$$(2) \text{ فاصله گزینه } a \text{ و } b \text{ مساوی با فاصله گزینه } b \text{ از } a \text{ است } (D_{ab} = D_{ba}).$$

با توجه به موارد فوق ماتریس فواصل مرکب بین گزینه‌ها تشکیل می‌شود که قطر اصلی آن نشان دهنده فاصله هر گزینه با خودش است که برابر صفر خواهد بود.

- مرحله ۵: تعیین کوتاه‌ترین فاصله

در این مرحله پس از محاسبه فواصل مرکب، کم‌ترین میزان فاصله هر سطر از ماتریس تعیین می‌شود. سپس میانگین هر کدام از فاصله گزینه‌ها و انحراف معیار آن‌ها به دست آمده و همین کار برای کوتاه‌ترین فاصله نیز انجام می‌شود.

- مرحله ۶: تحدید گزینه‌ها (همگن سازی گزینه‌ها)

ممکن است واحدهایی وجود داشته باشند که دارای فاصله‌های بسیار بیشتر و یا کمتر از سایر گزینه‌ها باشد. لذا باید گزینه‌های ناهمگن از مجموعه حذف شوند، برای انجام این کار حد بالا و حد پایین با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$O_r = \bar{d}_r \pm 2\sigma_{dr} \quad (4)$$

$$O_r(+)=\bar{d}_r+2\sigma_{dr} \quad \text{حد بالا} \quad (5)$$

$$O_r(-)=\bar{d}_r-2\sigma_{dr} \quad \text{حد پایین} \quad (6)$$

در این صورت d_r های بین حد بالا و حد پایین هماهنگ بوده و گزینه‌هایی که خارج از این محدوده تعیین شده قرار بگیرند، باید حذف شوند. مجدداً ماتریس تصمیم بدون گزینه‌های حذف شده تشکیل شده، مراحل تکرار می‌شوند.

- مرحله ۷: تعیین الگو یا سرمشق گزینه‌ها

در این مرحله فاصله هر یک از گزینه‌ها از مقدار ایده‌آل (مشخص شده در مرحله ۴) را به دست آورده، فاصله کم از ایده‌آل نمایانگر وضعیت مناسب آن است و فاصله زیاد بیان کننده وضعیت نامناسب آن گزینه می‌باشد. الگو یا سرمشق گزینه‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_{io} = \sqrt{\sum_{j=1}^M (Z_{ij} - Z_{bj})^2} \quad (7)$$

• مرحله ۸: درجه‌بندی یا رتبه‌بندی میزان توسعه یافتگی گزینه‌ها (F_i)
در این مرحله درجه‌بندی توسعه یافتگی و وضعیت گزینه‌ها انجام می‌شود. اگر F_i میزان توسعه یافتگی یک گزینه (وضعیت مناسب یک گزینه) باشد در این صورت:

$$F_i = \frac{C_{io}}{C_o} \quad (8)$$

در این رابطه، C_{io} : سرمشق توسعه هر گزینه و C_o : حد بالای توسعه می‌باشد. برای محاسبه C_o باید میانگین و انحراف C_o ها مشخص شود که این کار در انتهای مرحله هفت انجام می‌گیرد و محاسبه آن به صورت زیر است:

$$C_o = \overline{C_{io}} + 2\sigma_{C_{io}} \quad (9)$$

F_i بین صفر و یک قرار می‌گیرد و هر قدر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده توسعه یافتگی بهتر گزینه (وضعیت بهتر آن) و هر چه به یک نزدیک‌تر می‌گردد بیانگر وضعیت بد آن (عدم توسعه یافتگی آن) می‌باشد. در این صورت مسئله تاکسونومی پایان یافته و درجه‌بندی گزینه‌های آن مشخص شده است.

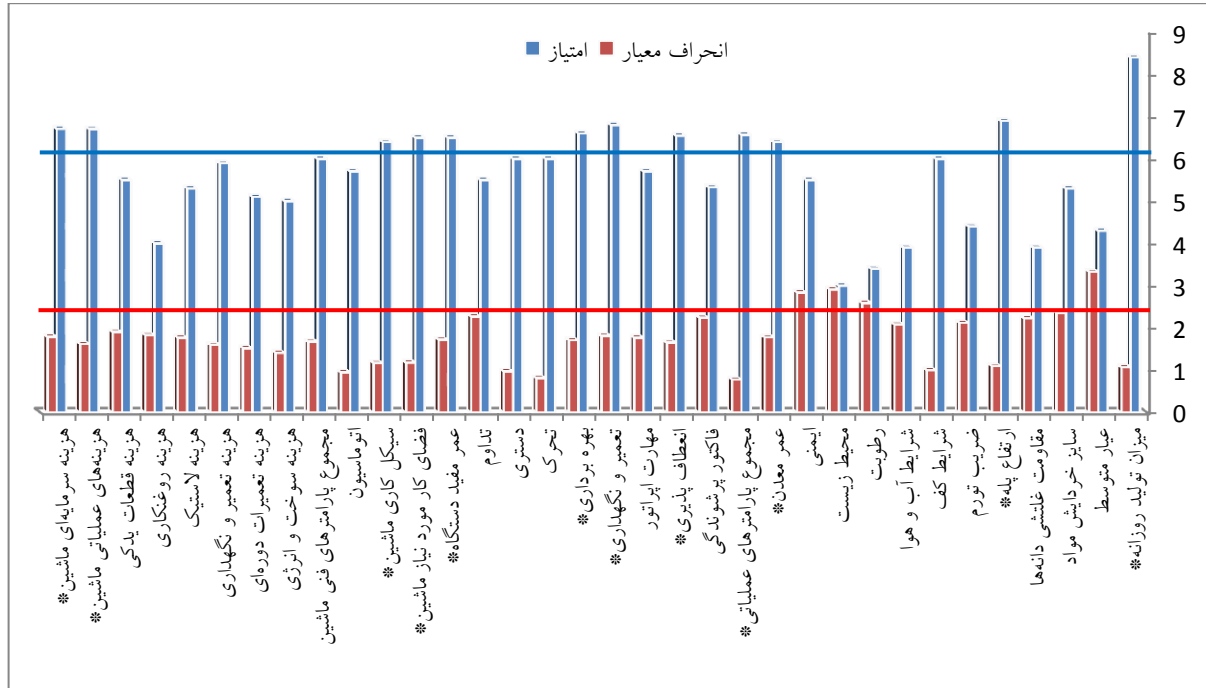
مطالعه موردی کاربرد روش مذکور معدن سنگ آهن سنگان می‌باشد. معدن سنگ آهن سنگان در استان خراسان (شمال شرقی ایران) در فاصله ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد و ۱۶ کیلومتری شمال شهر سنگان از توابع شهرستان خواف واقع شده است. کانسار سنگان با توجه به کانی سازی آن، از نوع سنگ آهن اسکارنی می‌باشد که قسمتی از روند شرق به غرب رشته کوه طالب را تشکیل می‌دهد. ذخیره زمین شناسی این معدن در حدود ۱/۲ میلیارد تن تخمین زده می‌شود. بیش‌ترین میزان ذخایر سنگ آهن به ناحیه معدنی غربی تعلق داشته که خود به پنج آنومالی A, B, C, A شمالی و C جنوبی تقسیم می‌گردد (National Company of Iran Steel, 2008). با توجه به پیش بینی تولید ۷/۴ میلیون تن گندله آهن و ۰/۳ میلیون تن سنگ آهن دانه‌بندی شده برای معادن سنگ آهن سنگان، از این بابت در بین تمامی معادن بیش‌ترین سهم تولید به این معدن اختصاص داده شده است (National Company of Iran Steel, 2008)؛ با توجه به این که معدن روباز سنگ آهن سنگان در فاز تجهیز قرار دارد و با توجه به این مهم که انتخاب ماشین آلات اصلی، یکی از مهم‌ترین مسائل در این مرحله است؛ بنابراین در این تحقیق با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مناسب‌ترین سیستم بارگیری با در نظر گرفتن تمامی مزایا و محدودیت‌ها برای معدن روباز سنگ آهن سنگان انتخاب شده است.

در این تحقیق به منظور شناسایی و انتخاب مهم‌ترین معیارهای موثر در انتخاب سیستم بارگیری، بر اساس نظرات خبرگان و طراحان و همچنین مرور و بررسی تحقیقات انجام شده، پرسش‌نامه‌هایی تهیه شد. در ادامه با توزیع پرسشنامه‌ها بین کارشناسان با تجربه معدن که در این زمینه دارای اطلاعات مناسب بودند، از آن‌ها خواسته شد تا این پرسش‌نامه‌ها را بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی مطابق جدول (۳) تکمیل کنند. با توجه به این مقیاس باید به معیارهای مهم امتیاز ۹ و به معیارهای کم اهمیت‌تر، امتیاز کمتری داده شود. همان‌طور که اشاره شد در این پرسش‌نامه‌ها کلیه معیارهای موثر در انتخاب ماشین‌آلات معادن روباز، با توجه به منابع مختلف وجود داشتند.

جدول شماره (۳): مقیاس ۹ کمیتی ساعتی برای امتیازدهی به معیارها

تعریف	اهمیت خیلی کم	اهمیت کم	اهمیت متوسط	اهمیت زیاد	اهمیت خیلی زیاد	اهمیت بینابین حالات
امتیاز	۱	۳	۵	۷	۹	۲ و ۴ و ۶ و ۸

جلسات متعدد و تکمیل و پر کردن پرسش‌نامه‌ها با حضور ۱۰ نفر از کارشناسان خبره، با تجربه و صاحب نظر معدن انجام شد که با توجه به نظرات این افراد، امتیاز میانگین هر معیار محاسبه شده که نتایج مربوط به معیارهای موثر در انتخاب سیستم بارگیری در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): امتیاز میانگین و انحراف معیار هر کدام از معیارهای مختلف در انتخاب سیستم بارگیری

پس از تجزیه و تحلیل نظرات جمع‌آوری شده از کارشناسان و جمع‌بندی داده‌ها، و بر اساس نتایج، مطابق شکل (۱)، معیارهایی که دارای امتیاز میانگین بیشتر از ۶ بودند و انحراف معیار آن‌ها کمتر از ۲ بود (بر اساس نظرات خبرگان)، به عنوان معیارهای موثر در انتخاب ماشین‌آلات بارگیری شناخته شدند. این معیارها به همراه نماد مربوطه در جدول (۴) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که شاخص‌های میزان تولید روزانه، ارتفاع پله، میزان بهره‌برداری، مجموع پارامترهای عملیاتی، انعطاف پذیری، عمر مفید دستگاه و عمر معدن دارای جنبه مثبت هستند به این معنی که هر چه امتیاز این شاخص‌ها برای یک گزینه (سیستم بارگیری) بیشتر باشند باعث وضعیت بهتر آن گزینه شده و در رتبه بالاتری (نزدیک به یک) قرار می‌گیرد. سایر شاخص‌های تعمیر و نگهداری، هزینه سرمایه‌ای ماشین، مجموع هزینه‌های عملیاتی ماشین، فضای کار مورد نیاز ماشین و سیکل کاری ماشین دارای جنبه منفی هستند و هر چه امتیاز این شاخص‌ها برای یک گزینه کمتر باشد باعث می‌شوند که آن گزینه در رتبه بالاتری قرار گیرد. همچنین لازم به ذکر است که تمامی این شاخص‌ها از یکدیگر مستقل می‌باشند.

جدول شماره (۴): معیارهای کلیدی در انتخاب سیستم بارگیری مناسب

معیار	نماد	جنبه معیار	معیار	نماد	جنبه معیار
میزان تولید روزانه	C ₁	مثبت	مجموع پارامترهای عملیاتی	C ₇	مثبت
ارتفاع پله	C ₂	مثبت	انعطاف‌پذیری	C ₈	مثبت
تعمیر و نگهداری	C ₃	منفی	عمر مفید دستگاه	C ₉	مثبت
هزینه سرمایه‌ای ماشین	C ₄	منفی	فضای کار مورد نیاز ماشین	C ₁₀	منفی
بهره‌برداری	C ₅	مثبت	عمر معدن	C ₁₁	مثبت
مجموع هزینه‌های عملیاتی	C ₆	منفی	سیکل کاری ماشین	C ₁₂	منفی

با توجه به شرایط معدن سنگ آهن سنگان و در نظر گرفتن شرایط معادن آهن مشابه در کشور و با بررسی انواع بارکننده‌های متداول در معادن روباز کشور، از قبیل شاول‌های هیدرولیکی و کابلی، دراگلاین، لودر و بیل بک‌هو، (در مجموع پنج سیستم) برای این منظور معرفی شدند. برخی از مشخصات این دستگاه‌ها در جدول (۵) آورده شده است.

جدول شماره (۵): برخی از مشخصات سیستم‌های بارگیری پیشنهادی

شاول هیدرولیکی و تراک	شاول کابلی و تراک	دراگلاین و تراک	لودر و تراک	بک هو و تراک	نماد
A	B	C	D	E	
۸/۴	۸/۴	۱۰/۳	۸/۴	۱۰	ظرفیت صندوقه
۱۴۰۰۰	۲۵۰۰۰	۶۵۰۰۰	۱۸۰۰۰	۱۰	عمر مفید بارگیری (ساعت)
۱/۵۵۵	۳/۲	۱۰/۴	۱/۳۹	۱/۳۴	پرشوندگی
۱۵۱/۵۵	۸۴/۹۲	۲۲۱/۱۶	۱۱۸/۸۸	۱۲۴/۸۸	هزینه عملیاتی (دلار بر ساعت)
۲۳/۴۴	۱۸/۰۵	۴۵/۹۳	۱۱/۹۲	۲۱/۷۶	هزینه تعمیرات دوره‌ای (دلار بر تن)

در این تحقیق در فرایند انتخاب سیستم مناسب برای بارگیری، همان‌طور که اشاره شد دوازده معیار و پنج گزینه در نظر گرفته شده است. لذا انتخاب سیستم بارگیری مناسب بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیقات مختلف و نیز مصاحبه‌های متعدد با مهندسين طراح، خبرگان و کارشناسانی که در امر معدن تجربه کافی داشته‌اند، و استفاده از روش تحلیل تاکسونومی انجام شده است. در این راستا، به منظور تعیین امتیاز نسبی هر یک از این ماشین آلات (سیستم‌ها) بر اساس هر یک از معیارهای دوازده گانه مذکور، پرسش‌نامه‌هایی طراحی شد و از کارشناسان خواسته شد تا بر اساس هر کدام از معیارها، بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی (مطابق جدول ۳)، گزینه‌های مطرح شده به عنوان ماشین آلات را امتیاز دهی کنند. در ادامه برای تلفیق امتیازهای داده شده بر اساس نظرات خبرگان، از روش میانگین استفاده شده است که نتایج در جدول (۶) به عنوان ماتریس تصمیم نشان داده شده است. بعد از تشکیل ماتریس تصمیم، میانگین و انحراف معیار خصوصیت‌های گزینه‌های مختلف نسبت به هر شاخص (اعداد هر ستون) محاسبه شده (دو ردیف آخر جدول ۶) و به منظور بی‌مقیاس کردن ماتریس داده‌ها از رابطه Z نرمال استاندارد (رابطه ۱) استفاده شده است و به این ترتیب ماتریس استاندارد به دست می‌آید. نتایج این محاسبات در جدول (۷) نشان داده شده است. همان‌گونه که ذکر شد در انتهای ماتریس استاندارد بزرگترین عدد مثبت / منفی هر ستون برای شاخص‌های با جنبه مثبت / منفی به عنوان ایده‌آل (DO_j) تعیین می‌شود.

جدول شماره (۶): ماتریس تصمیم و محاسبه میانگین و انحراف معیار هر ستون

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}
A	۶/۱۱	۷/۶۷	۴/۷۸	۵/۸۹	۵	۶/۶	۴/۳۳	۶/۴۴	۳/۸۳	۵/۶۷	۷/۵۶	۷/۴۴
B	۶/۶۷	۸/۳۳	۵/۷۸	۷	۵/۲۲	۷/۶	۶/۵	۷	۴/۶۷	۷/۲۲	۷/۷۸	۸/۲۲
C	۴/۴۴	۶/۶۷	۴/۳۳	۶/۵۶	۴/۲۵	۶/۴	۴/۶۷	۵/۱۱	۴	۴/۵۶	۷/۱۱	۵/۷۸
D	۵/۵۶	۶/۵۶	۶/۴۴	۵/۷۸	۷/۵۶	۷/۶	۷	۶/۴۴	۷/۸۳	۷/۲۲	۶	۵/۸۹
E	۵/۴۴	۶/۴۴	۶/۲۲	۵	۵/۵۶	۷/۶	۶/۱۷	۶/۲۲	۶/۵	۶/۲۲	۶/۳۳	۶/۱۱
میانگین	۵/۶۴۴	۷/۱۳۴	۵/۵۱	۶/۰۴۶	۵/۵۱۸	۷/۱۶	۵/۷۳۴	۶/۲۴۲	۵/۳۶۶	۶/۱۷۸	۶/۹۵۶	۶/۶۸۸
انحراف معیار	۰/۸۳۲	۰/۸۲۸	۰/۹۱۷	۰/۷۶۹	۱/۲۳۹	۰/۶۰۷	۱/۱۷۱	۰/۶۹۵	۱/۷۳۷	۱/۱۲۴	۰/۷۷	۱/۰۸۵

جدول شماره (۷): ماتریس استاندارد و تعیین اعداد ایده‌آل مثبت و منفی

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
A	۰/۵۶	۰/۶۴۷	-۰/۷۹۶	-۰/۲۰۳	-۰/۴۱۸	-۰/۹۲۳	-۱/۱۹۹	۰/۲۸۵	-۰/۸۴۴	-۰/۴۵۲	۰/۷۸۴	۰/۶۹۳
B	۱/۲۳۳	۱/۴۴۴	۰/۲۹۴	۱/۲۴۱	-۰/۲۴۱	۰/۷۲۵	۰/۶۵۴	۱/۰۹	-۰/۴۰۱	۰/۹۲۷	۱/۰۷	۱/۴۱۲
C	-۱/۴۴۷	-۰/۵۶	-۱/۲۸۶	-۰/۶۶۹	-۱/۰۲۴	-۱/۲۵۱	-۰/۹۰۹	-۱/۶۲۸	-۰/۷۸۶	-۱/۴۴	۰/۲	-۰/۸۳۷
D	-۰/۱۰۱	-۰/۶۹۳	۱/۰۱۴	-۰/۳۴۶	۱/۶۴۹	۱/۷۲۵	۱/۰۸۱	۰/۲۸۵	۱/۴۱۹	۰/۹۲۷	-۱/۲۴۱	-۰/۷۳۶
E	-۰/۲۴۵	-۰/۸۳۸	-۰/۷۷۴	-۰/۳۶۱	-۰/۰۳۴	۰/۷۲۵	۰/۳۷۲	-۰/۰۳۲	۰/۶۵۳	۰/۰۳۷	-۰/۸۱۳	-۰/۵۳۳
DO _j	۱/۲۳۳	۱/۴۴۴	-۱/۲۸۶	-۱/۳۶	۱/۶۴۹	-۱/۲۵۱	۱/۰۸۱	۱/۰۹	۱/۴۱۹	-۱/۴۴	۱/۰۷	-۰/۸۳۸

در ادامه به منظور تعیین فاصله مرکب بین گزینه‌ها نسبت هر کدام از شاخص‌ها، با داشتن ماتریس استاندارد از روابط (۲ و ۳) استفاده کرده و نتایج در جدول (۸) درج شده است. پس از محاسبه فواصل مرکب، کمترین میزان فاصله هر سطر از ماتریس تعیین می‌شود. سپس میانگین و انحراف معیار هر کدام از فاصله گزینه‌ها و همچنین کوتاه‌ترین فاصله نیز انجام می‌شود.

جدول شماره (۸): فاصله مرکب بین گزینه‌ها و تعیین کمترین فاصله

	A	B	C	D	E	کوتاه‌ترین فاصله
A	۰/۰۰۰۰	۲/۰۹۵۹	۲/۶۱۸۱	۳/۱۳۰۳	۲/۶۱۹۶	۲/۰۹۵۹
B	۲/۰۹۵۹	۰/۰۰۰۰	۳/۸۲۶۴	۳/۵۹۹	۳/۸۰۳۷	۲/۰۹۵۹
C	۲/۶۱۸۱	۳/۸۲۶۴	۰/۰۰۰۰	۳/۹۱۰۳	۳/۳۱۷۰	۲/۶۱۸۱
D	۳/۱۳۰۳	۳/۵۹۹۰	۳/۹۱۰۳	۰/۰۰۰۰	۱/۹۳۳۰	۱/۹۳۳۰
E	۲/۶۱۹۶	۳/۸۰۳۷	۳/۳۱۷۰	۱/۹۳۳۰	۰/۰۰۰۰	۱/۹۳۳۰

{انحراف معیار کوتاه‌ترین فواصل: ۰/۲۸۲۰} {میانگین کوتاه‌ترین فواصل: ۲/۱۳۵۱} {جمع کوتاه‌ترین فواصل: ۱۰/۶۷۵۸}

در ادامه به منظور همگن سازی گزینه‌ها از روابط (۵ و ۶) استفاده کرده و حد بالا $(O_r(+)=2/6991)$ و حد پایین $(O_r(-)=1/55711)$ به دست می‌آیند. در این صورت، در d_i های بین $2/6991$ و $1/55711$ هماهنگ بوده و گزینه‌هایی که خارج از این محدوده تعیین شده قرار می‌گیرند، حذف می‌شوند. جهت تعیین الگوی گزینه‌ها (C_{io}) در این مرحله فاصله هر یک از گزینه‌ها از مقدار ایده‌آل (DO_j) را به دست آورده (جدول ۹) و همان‌گونه که اشاره شد فاصله کم از ایده‌آل بیانگر وضعیت مناسب آن گزینه می‌باشد. در آخرین مرحله ابتدا حد بالای توسعه یافتگی ($Co = 6/5867$) را با توجه به رابطه (۹) محاسبه کرده سپس به منظور رتبه‌بندی میزان توسعه یافتگی گزینه‌ها، شاخص (F_i) را مطابق رابطه (۸) محاسبه کرده و با توجه به این که این شاخص بین صفر و یک می‌باشد، هر چه قدر که به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده توسعه یافتگی بهتر گزینه (وضعیت بهتر آن) و قرار گرفتن در رتبه بالاتر بوده و هر چه به یک نزدیک‌تر می‌گردد بیانگر وضعیت بد آن و قرار گرفتن در رتبه پایین‌تر می‌باشد. نتایج این محاسبات در جدول (۱۰) نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول (۱۰) مشاهده می‌شود کمترین مقدار شاخص (F_i) مربوط به گزینه A (سیستم شاول هیدرولیکی و تراک) می‌باشد که رتبه اول را به خود اختصاص داده است، به این ترتیب سیستم شاول هیدرولیکی و تراک به عنوان سیستم مناسب برای بارگیری پیشنهاد می‌گردد.

جدول شماره (۹): تعیین فاصله گزینه‌ها از مقدار ایده‌آل

DO _j	۱/۲۳۳	۱/۴۴۴	-۱/۲۸۶	-۱/۳۶۱	-۱/۶۴۹	-۱/۲۵۳	۱/۰۸۱	۱/۰۹۰	۱/۴۱۹	-۱/۴۴۰	۱/۰۷۰	-۰/۸۳۷	C _{io}
A	۰/۴۵۳	۰/۶۳۵	۰/۲۴۱	۰/۳۴۱	۴/۲۷۲	۰/۱۰۹	۵/۲۰۱	۰/۶۴۸	۵/۳۰۴	۰/۹۷۶	۰/۰۸۲	۲/۳۴۱	۴/۶۴۸
B	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۲/۴۹۸	۶/۷۷۰	۳/۵۶۹	۳/۹۱۳	۰/۱۸۲	۰/۰۰۰۰	۰/۳۱۰	۵/۶۰۵	۰/۰۰۰۰	۵/۰۵۸	۵/۵۵۹
C	۷/۱۸۶	۴/۰۱۷	۰/۰۰۰۰	۴/۱۱۹	۷/۱۴۲	۰/۰۰۰۰	۳/۹۶۱	۷/۳۸۵	۴/۸۶۳	۰/۰۰۰۰	۰/۷۵۷	۰/۰۰۰۰	۰/۲۷۹
D	۰/۷۸۰	۴/۵۶۷	۵/۲۸۹	۱/۰۳۰	۰/۰۰۰۰	۳/۹۱۳	۰/۰۰۰۰	۰/۶۴۸	۰/۰۰۰۰	۵/۶۰۵	۵/۳۴۰	۰/۰۱۰	۵/۳۰۹
E	۲/۱۸۶	۵/۲۰۷	۴/۲۴۳	۰/۰۰۰۰	۲/۶۰۷	۳/۹۱۳	۰/۵۰۳	۱/۲۵۸	۱/۵۸۶	۲/۱۸۳	۳/۵۴۴	۰/۰۹۳	۱/۱۳۱

{انحراف معیار C_{io}: ۰/۶۰۱} {میانگین C_{io}: ۵/۳۸۵} {جمع C_{io}: ۲۶/۹۲۵}

جدول شماره (۱۰): تعیین میزان توسعه یافتگی و رتبه‌بندی گزینه‌ها

رتبه	Fio	Cio	گزینه
۱	۰/۷۰۵۶	۴/۶۴۷۷	A*
۴	۰/۸۴۴۰	۵/۵۵۹۳	B
۵	۰/۹۵۳۳	۶/۲۷۹۱	C
۳	۰/۸۰۶۰	۵/۳۰۸۷	D
۲	۰/۷۷۸۹	۵/۱۳۰۶	E

۳- نتایج و بحث

انتخاب ماشین آلات بارگیری یکی از تصمیم‌گیری‌های اصلی معادن روباز می‌باشد که بر روی اقتصادی بودن عملیات معدن کاری تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. در بیشتر فعالیت‌های معدن کاری، هزینه‌های بارگیری یکی از اجزای اصلی هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی معدن کاری را شامل می‌شود و از این رو مسئله انتخاب ماشین آلات مربوطه یکی از چالش‌های اساسی مدیران معدن می‌باشد. معیارهای متعددی در انتخاب سیستم بارگیری در معادن دخیل هستند و در این تحقیق دوازده معیار مهم و کلیدی شامل میزان تولید روزانه، ارتفاع پله، میزان بهره‌برداری، مجموع پارامترهای عملیاتی، انعطاف پذیری، عمر مفید دستگاه و عمر معدن، تعمیر و نگهداری، هزینه سرمایه‌ای ماشین، مجموع هزینه‌های عملیاتی ماشین، فضای کار مورد نیاز ماشین و سیکل کاری ماشین در نظر گرفته شده‌اند و گزینه‌های مختلف برای سیستم بارگیری با توجه به معیارهای مذکور بر اساس نظرات خبرگان در معدن سنگان ارزیابی شدند. با توجه به شرایط، گزینه‌ها و معیارهای متعدد مسئله مورد نظر، در راستای انتخاب سیستم مناسب بارگیری، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در حل مسئله بسیار راهگشا بوده و منجر به اتخاذ تصمیمات علمی و معتبر و قابل اتکا می‌شوند لذا در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل تاکسونومی (به عنوان یکی از قوی‌ترین روش‌های چند شاخصه) سیستم بارگیری مناسب (سیستم شاول هیدرولیکی و تراک) در معدن سنگان انتخاب گردید. به این ترتیب سیستم شاول هیدرولیکی و تراک به عنوان سیستم مناسب برای بارگیری پیشنهاد شده و مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر پیشنهاد کاربردی مذکور برای معدن مورد نظر به منظور تحقیقات آتی استفاده از این روش برای دیگر مسائل و همچنین سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه به تنهایی و یا ترکیب با منطق فازی، پیشنهاد می‌گردد.

۴- منابع

- 1- Acaroglu, O., Ergin, H., & Eskikaya, S. (2006). Analytical hierarchy process for selection of road headers. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 106, 569-575.
- 2- Acaroglu, O., Feridunoglu, C., & Tumac, D. (2006). Selection of road headers by fuzzy multiple attribute decision making method. *Trans. Inst. Min. Metall*, 115, 91-98.
- 3- Aghajani Bazzazi, A., Osanloo, M., & Soltanmohamadi, H. (2008). Loading- haulage equipment selection in open pit mines based of fuzzy- Topsis method, *international symposium on mine planning & equipment*, 3, 246-254.
- 4- Aghajani, A., & Osanloo, M. (2007). Application of AHP-TOPSIS Method for Loading-Haulage Equipment Selection in Open pit Mines. *XXVII international Mining Convention, Mexico*.
- 5- Alpay, S., & Yavuz, M. (2009). Underground mining method selection by decision making tools. *Tunneling and Underground Space Technology*, 24(1), 173-184.
- 6- Asgarpour, M. J. (2008). *Multiple criteria decision making*. (8rd ed.). University of Tehran press.
- 7- Ataei, M. (2005). Multicriteria selection for an alumina-cement plant location in East Azerbaijan province of Iran. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 105(8), 507-513.

- 8- Ataei, M., Sereshki, F., Jamshidi, M., & Jalali S. M. E. (2008). Mining method selection by AHP approach. *Journal of the south African institute of mining and metallurgy (SAIMM)*, 108, 741-749.
- 9- Ataei, M., Sereshki, F., Jamshidi, M., & Jalali, S. M. E. (2008). Suitable mining method for the Golbini No.8 deposit in Jajarm (Iran) by using TOPSIS method, *Mining Technology. Transactions of the Institute of Mining & Metallurgy*, 117(1), 1-5.
- 10- Azadeh, A., Osanloo, M., & Ataei, M. (2009). A new approach to mining method selection based on modifying the Nicholas technique. *Applied Soft Computing*, 110(8), 481-490.
- 11- Azar, A., & Rajabzadeh, A. (Eds.). (2002). *Applied decision making*, Negahe Danesh Publisher: Tehran.
- 12- Bascetin, A. (2004). An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine. *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*, 113, 192-199.
- 13- Bascetin, A., & Kesimal, B. (1999). The study of a fuzzy set theory for the selection of an optimum coal transportation system from pit to the power plant. *International journal of surface mining reclamation and environmental*, 13, 97-101.
- 14- Bascetin, A., Oztas, O., & Kanli A. I. (2006). EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 106, 63-70.
- 15- Bitarafan, M. R. & Ataei, M. (2004). Mining method selection by multiple criteria decision making tools. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104(9), 493-498.
- 16- Bottero, M., & Peila, D. (2005). The use of the Analytic Hierarchy Process for the comparison between micro tunneling and trench excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(6), 501-513.
- 17- De Almeida, A. T., Alencar, L. H. & De Miranda, C. M. G. (2005). Mining methods selection based on multi criteria models. *Proceedings of the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*, Dessureault, Ganguli, Kecojevic and Dwyer (eds), Taylor and Francis Group, London, 19-24.
- 18- Dessureault, S., & Scoble, M. J. (2000). Capital investment appraisal for the integration of new technology into mining systems. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section A: Mining Technology)*, 109, 30-40.
- 19- Elevli, B., & Demirci, A. (2004). Multi criteria choice of ore transport system for an underground mine: application of PROMETHEE methods. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 3, 251-256.
- 20- Elevli, B., Demirci, A., & Dayi, O. (2002). Underground haulage selection: shaft or ramp for a small-scale underground mine. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 102, 255-260.
- 21- Karadogan, A., Bascetin, A., Kahriman, A., & Gorgun, S. (2001). A new approach in selection of underground mining method. *Proceedings of the International Conference Modern Management of Mine Producing, Geology and Environment Protection*, 171-183.
- 22- Karadogan, A., Kahriman, A., & Ozer, U. (2008). Application of fuzzy set theory in the selection of underground mining method. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108(2), 73-79.
- 23- Kazakidis, V. N., Mayer, Z., & Scoble, M. J. (2004). Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy: Mining Technology*, 113, 30-42.

- 24- Kesimal, A. & Bascetin, A. (2002). Application of fuzzy multiple attribute decision making in mining operations. *Mineral Resource Engineering*, 11, 59–72.
- 25- Liqun, Z., Shihui, L., Lianfu, Z., & Lianming, J. (1995). The analysis and practice of multi objective decision making technique for selecting a mining plan. *Proceedings APCOM XXV Conference, Brisbane, 9–14 July 1995*, 255–259.
- 26- Musingwini, C., & Minnitt, R. C. A. (2008). Ranking the efficiency of selected platinum mining methods using the analytic hierarchy process (AHP). *Third International Platinum Conference 'Platinum in Transformation'*, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 319-326.
- 27- National Company of Iran Steel. 2008., *The progress report in iron ore mine of SANGAN*.
- 28- Oraee, K., Hosseini, N., & Gholinejad, M. (2009). A New Approach for Determination of Tunnel Supporting System Using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Proceeding of 2009 Coal Operators' Conference, The AusIMM Illawarra Branch. University of Wollongong*, 78- 89.
- 29- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. New York: Springer.
- 30- Safari, M., Ataei, M., Khalokakaei, R., & Karamozian, M. (2010). Mineral processing plant location using the analytic hierarchy process- a case study: The Sangan iron ore mine (Phase 1). *Mining Science and Technology (China)*, 20(5), 691-695.
- 31- Samanta, B., Sarkar, B., & Murherjee, S. K. (2002). Selection of opencast mining equipment by a multi criteria decision-making process. *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*, 111, 136–142.
- 32- Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (Eds.). (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Chapman and Hall/CRC.
- 33- Uysal, Ö., & Demirci, A. (2006). Shortwall stoping versus sub-level longwall caving-retreat in Eli coal Fields. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 106(6), 425–432.
- 34- Vieira, F. M. (2003). Utility-based framework for optimal mine layout selection, subject to multiple attribute decision criteria. *Proceedings of the 31st International Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries, Cape Town*, 133–149.
- 35- Vieira, F. M. (2004). *Rock engineering-based evaluation of mining layouts applicable to ultra-deep, gold bearing; tabular deposits. (Doctoral dissertation)*. Witwatersrand University, Johannesburg.
- 36- Vieira, F. M. (2005). An integrated, multi-disciplinary evaluation of ultra-deep layouts. *Proceedings Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM), Tucson, USA*, 655–665.
- 37- Wu, H., Yuan, J., Zhang, Y., & Song, S. (2007). The evaluation of the core competition of the Wugang Mining Cooperation using the Analytic Hierarchy Process. *The International Journal of Mineral Resources Engineering*, 12(2), 119–126.
- 38- Yavuz, M., Iphar, M., & Once, G. (2008). The optimum support design selection by using AHP method for the main haulage road in WLC Tuncbilek colliery. *Tunneling and Underground Space Technology*, 23(1), 111–119.
- 39- Zare Naghadehi, M., Mikaeil, R., & Ataei, M. (2008). 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*.