رتبه‌بندی مواد معدنی کشور با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

رضا شکورشهابی[۱*]، رضا کاکایی[۲] و محمدحسین بصیری[۳]

[۱] دانشگاه صنایع و معادن ایران، تهران، ایران
[۲] دانشکده مهندسی معدن و ژئو فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
[۳] دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۹/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۴/۱۲

چکیده

ذخایر معدنی ایران، از بهترین مزیت‌های بالقوه کشورمان برای رشد متوازن هستند که با سرمایه‌گذاری صحیح در بهره‌برداری از این منابع با ارزش، امکان کسب ارزش افزوده مناسب در بخش‌های مختلف اقتصادی کشور فراهم می‌شود. بنابراین یکی از ملزومات سیاست‌گذاری مؤثر در بخش معدن، شناسایی مواد معدنی اولویت‌دار برای سرمایه‌گذاری‌های آینده است. در این مقاله از روش تحلیل سلسله مراتبی که در آن یک مسئله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود استفاده شده است. رتبه‌بندی جامع ۳۳ ماده معدنی و انتخاب گزینه‌های مناسب برای سرمایه‌گذاری با در نظر گرفتن ۶ معیار اصلی شامل معیارهای اقتصادی و بازار، سرمایه‌گذاری، اشتغال، استراتژیک، فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی و ۲۹ زیرمعیار انجام گرفت. برای انجام رتبه‌بندی، ابتدا با انجام مصاحبه‌های حضوری از صاحب‌نظران بخش معدن کشور، میزان اهمیت هریک از معیارها و زیرمعیارهای یادشده بر مبنای تحلیل سلسله مراتبی تعیین و سپس امتیاز هر یک از مواد معدنی محاسبه شد. نتایج، بیانگر آن است که مواد معدنی مس، آهن، فسفات، سرب و روی، زغال و طلا دارای بالاترین اولویت برای سرمایه‌گذاری هستند. همچنین بر اساس نظرسنجی انجام شده از صاحب‌نظران حوزه‌های مختلف فعال در بخش معدن، معیارهای اقتصادی از بالاترین میزان اهمیت و معیارهای اجتماعی و زیست محیطی از کمترین اهمیت برخوردار هستند.

کلیدواژه‌ها: رتبه‌بندی مواد معدنی، تصمیم‌گیری چند شاخصه، سرمایه‌گذاری، روش تحلیل سلسله مراتبی

***نویسنده مسئول:** رضا شکورشهابی
E-mail: shahabi@mim.gov.ir

۱- مقدمه

معادن به عنوان یکی از بخش‌های زیربنایی اقتصاد، نقش اساسی در تأمین مواد اولیه صنایع کشور داشته و اصلی‌ترین عامل رشد صنعتی بویژه در کشورهای مستعد در حال توسعه است. ایران در حال حاضر دارای ذخایر معدنی قطعی حدود ۳۰ میلیارد تن و با تنوعی بیش از ۶۰ نوع ماده معدنی است که در صورت سرمایه‌گذاری‌های کارآمد می‌تواند باعث ایجاد ارزش افزوده مناسب در صنایع وابسته و رونق بخش‌های اقتصادی کشور شود. یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد توجه سیاست‌گذاران بخش معدن و صنایع معدنی کشور، مشخص نمودن مواد معدنی اولویت‌دار برای سرمایه‌گذاری‌های آینده راهبردی (استراتژیک) کشور در این بخش کلیدی اقتصاد است تا با تخصیص منابع لازم بخش دولتی و نیز تشویق بخش غیردولتی، تمهیدات لازم به منظور استفاده بهینه از این ذخایر فراهم شود.

شناسایی و انتخاب این مواد، لزوما باید بر مبنای معیارهای مشخص و جامع انجام گیرد. از طرفی، این مسئله دارای ذینفعان مختلفی از جمله سرمایه‌گذاران دولتی و خصوصی و تشکل‌های صنفی مختلف است که از دیدگاه سیاست‌گذاران کلان بخش معدن به عنوان متولیان تدوین راهبردهای کلان بخش، نباید نادیده انگاشته شود. از طرفی، انتخاب معیارهای مهم ارزیابی می‌تواند بر مبنای دیدگاه‌های مختلفی مطرح شود که به عنوان مثال می‌توان به تفاوت دیدگاه بخش‌های خصوصی و دولتی و یا تشکل‌های اقتصادی، دانشگاهی و زیست‌محیطی در خصوص انتخاب معیارهای مهم اولویت‌بندی مواد معدنی اشاره نمود. لذا رتبه‌بندی مواد معدنی متنوع کشور، با توجه به تعدد معیارهای انتخاب و ارزیابی این مواد، نیاز به استفاده از روش‌های علمی کارآمد، مناسب و جامع را ایجاب می‌کند تا بتوان با در نظر گرفتن منطقی و موزون اهمیت این معیارها، به یک رتبه‌بندی جامع و شفاف دراین خصوص دست یافت. روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند شاخصه (Multiple attributes decision making) به عنوان ابزار اصلی رتبه بندی در مسائل پیچیده و چند بعدی به کار گرفته می‌شوند. در این‌گونه مسائل تصمیم‌گیرنده معمولاً با در نظرگرفتن معیارهایی دارای اهمیت متفاوت، اقدام به رتبه‌بندی گزینه‌های موجود یا انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های مختلف می‌نماید. برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش‌های مختلفی ارائه شده است که در این زمینه می‌توان از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) (Analytical Hierarchy Process) که از یک مبنای قوی نظری برخوردار بوده و در مدت چند دهه گذشته به عنوان یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها، برای حل بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره در بخش‌های مختلف استفاده شده است.

از جمله کاربردهای گسترده این روش می‌توان به انتخاب تجهیزات بارگیری معادن (Samanta et al., 2002)، مدیریت پروژه‌ها (Kamal et al., 2001;)، (Partovi et al., 1990)، تونل‌سازی (Bottero & Peila, 2005)، انتخاب فناوری مناسب (Yurdakul, 2004) ، انرژی (Kablan, 2004) و موضوعات مهندسی معدن (Kazakidis et al., 2004) اشاره نمود. در اصل، رتبه‌بندی مواد معدنی را می‌توان به‌صورت یک مسئله تصمیم‌گیری چند شاخصه در نظر گرفت که در این مقاله از روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور رتبه‌بندی و شناسایی مواد معدنی اولویت‌دار کشور برای سرمایه‌گذاری به‌کار گرفته شده است.

۲- روش تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یکی از اصلی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در سال ۱۹۸۰ توسط Thomas L. Saaty در حوزه علوم تصمیم‌گیری و مدیریت ارائه شد (Saaty, 1980). مهم‌ترین قابلیت این روش در توانایی تبدیل یک مسئله پیچیده به یک ساختار سلسله مراتبی به منظور درک بهتر مسئله است. در روش یادشده، یک مسئله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف (Goal)، معیارها (Criteria)، زیرمعیارها (Sub Criteria) و گزینه‌ها (Alternatives) تقسیم می‌شود تا تصمیم گیرنده بتواند به راحتی در کوچک‌ترین اجزای تصمیم‌گیری دقت کند. اصول مبنایی این روش شامل ایجاد یک ساختار رده‌ای برای مسئله بدون محدودیت تعداد سطوح، برقراری ترجیحات از روش مقایسات زوجی و برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها است. مهم‌ترین مزیت این روش، تسهیل فرایند تصمیم‌گیری با استفاده از مقایسات زوجی برای مشخص نمودن اهمیت نسبی معیارها و گزینه‌ها

است. مراحل اصلی فرایند تحلیل سلسله مراتبی شامل ساختن مدل سلسله مراتبی بر مبنای هدف اصلی، معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها، محاسبه اوزان هریک از اجزای مدل و در نهایت محاسبه ناسازگاری سیستم است. روش ساخت مدل سلسله مراتبی بستگی به نوع تصمیم اتخاذ شده دارد (Asgharpour, 2008; Saaty, 1990). محاسبه وزن عناصر در تحلیل سلسله مراتبی شامل دو فرایند محاسبه وزن یا اولویت نسبی (Local Priority) و محاسبه وزن نهایی (Overall Priority) است (Srdjevi, 2005). برای محاسبه وزن نسبی در تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت دو به دو مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی ($n \times n$) تشکیل می‌شود که در آن n تعداد شاخص‌های مورد مقایسه است. تکمیل ماتریس مقایسات زوجی با تخصیص امتیازات عددی مربوط بر مبنای اعداد ۱ تا ۹ و متناظر با برتری آنها نسبت به همدیگر صورت می‌گیرد و وزن نسبی عناصر محاسبه می‌شود. برای محاسبه وزن نسبی براساس ماتریس مقایسه زوجی از روش‌های مختلفی مانند روش کمینه مربعات، کمینه مربعات لگاریتمی و بردار ویژه استفاده می‌شود. اما دقیق‌ترین روش محاسبه وزن نسبی، روش بردار ویژه است که در این روش W_i (وزن نسبی) به گونه‌ای تعیین می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد: (Saaty, 1980)

$$A.W = \lambda.W \qquad (۱)$$

که در آن A و W به ترتیب ماتریس مقایسه زوجی و بردار ستونی وزن نسبی و λ مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی A است. در حالتی که ابعاد ماتریس بزرگ‌تر باشد، محاسبه این مقادیر بسیار وقت‌گیر است. بنابراین برای محاسبه λ ، مقدار دترمینان ماتریس بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود و با قراردادن بزرگ‌ترین مقدار λ حاصل از رابطه یادشده، مقادیر اوزان نسبی معیارها برآورد می‌شود (Saaty, 1980; Srdjevi, 2005).

$$A - \lambda.I = 0 \qquad (۲)$$

وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله مراتبی با جمع آوری آثار هر معیار بر روی هدف نهایی بر اساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود که در آن S_i وزن نهایی گزینه i ام که بیانگر میزان اهمیت نسبی گزینه i ام به‌ازای معیار j ام است. همچنین در رابطه یادشده، W_j نشانگر وزن نسبی معیار j ام و m و n به ترتیب تعداد گزینه‌ها و معیارها است.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}.W_j \qquad (۳)$$

$i = 1, 2, \ldots, m$

شاخص ناسازگاری (Inconsistency Index)، شاخص ناسازگاری تصادفی (Random Inconsistency Index) و نرخ ناسازگاری (Inconsistency Ratio) که نشانگر میزان ناسازگاری بین قضاوت‌ها در خصوص مقایسات زوجی انجام شده است از روابط (۴)، (۵) و(۶) محاسبه می‌شود (Ghodsipour, 2002).

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

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

$$I.R. = \frac{I.I.}{R.I.I} \qquad (۶)$$

که در این روابط $I.I.$ شاخص ناسازگاری، $R.I.I$ شاخص ناسازگاری تصادفی، $I.R.$ نرخ ناسازگاری، λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس و n اندازه ماتریس است. در صورتی که مقدار نرخ ناسازگاری محاسبه شده کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (Saaty, 1990).

۳- رتبه‌بندی مواد معدنی کشور

رتبه‌بندی مواد معدنی کشور در راستای طرح پژوهشی جامع معادن ایران توسط نگارندگان این مقاله در وزارت صنایع و معادن انجام گرفت که بر مبنای این طرح، ابتدا مطالعات و بررسی‌های کاملی در حوزه‌های مختلف اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی در خصوص ۳۳ ماده معدنی صورت گرفت و سپس در مرحله بعدی ضرورت داشت تا رتبه‌بندی جامعی در بین این مواد معدنی صورت گیرد تا اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری کشور در حوزه مواد معدنی مشخص شود. بدین منظور باید معیارهای ارزیابی مواد برای تعریف چارچوب‌های شفاف و یکسان برای ارزیابی معادن فعال هر ماده تعریف شود. مهم‌ترین دلیل انتخاب مواد معدنی یادشده، وجود بررسی‌های کامل در خصوص جنبه‌های مختلف ماده معدنی در فاز پیشین طرح و نیز تشخیص مجری طرح بود.

ابتدا بررسی در خصوص پژوهش‌های پیشین صورت گرفت تا با توجه به ماهیت خاص مواد معدنی، امکان شناسایی اولویت‌های پیشین و یا معیارهای ارزیابی فراهم شود. این بررسی نشان می‌دهد که بررسی‌های مشابهی در سطح داخلی و بین‌المللی صورت نگرفته‌است. در تنها پژوهش مرتبط صورت گرفته، فقط به محاسبه مقادیر امتیازات مطلوبیت ۹ ماده معدنی بر مبنای معیارهای مطلوبیت اقتصادی و استراتژیک، پرداخته شده بود (Industry & Mines University, 2004). از این رو در این تحقیق سعی شد تا جذابیت سرمایه‌گذاری از دیدگاه‌های افراد در حوزه‌های مختلف سیاست‌گذاری، دانشگاهی و بنگاهی مورد بررسی قرار گیرد و با ارائه یک ساختار جامع و کل‌نگر برای تعریف معیارهای ارزیابی معادن فعال مربوط به هر ماده معدنی، جنبه‌های مختلف جذابیت سرمایه‌گذاری در معادن مورد توجه قرار گیرد. به عنوان مثال اگر ماده معدنی آزبست تنها بر اساس عملکرد اقتصادی آن توسط بنگاه مورد ارزیابی قرار گیرد، دارای بالاترین امتیازات کسب شده است اما اعمال معیارهای زیست محیطی و فنی دانشگاهیان و سیاست‌گذاران موجب تعدیل و منطقی شدن این ارزیابی می‌شود. از طرف دیگر، تلاش شد تا استقلال نسبی معیارها نیز حفظ شود. بدین منظور در ابتدا بیش از ۵۰ معیار مختلف بر اساس تجارب نگارندگان مقاله، تعریف شد و برای اظهار نظر و وزن‌دهی ساده بر مبنای امتیازات ۱ تا ۱۰ برای تعدادی از اساتید دانشگاه، کارشناسان آگاه بخش معدن ارسال شد. همچنین از صاحب‌نظران یادشده سئوالاتی در مورد مواد معدنی اولویت‌دار کشور به عمل آمد. پس از جمع‌آوری نظرات اولیه کارشناسان و امتیازات تخصیص یافته به معیارها، تعدادی از معیارها بر اساس نظر کارشناسان حذف و ترکیب شد و در نهایت با تغییراتی در گروه‌بندی اولیه معیارها و بر مبنای استانداردهای موجود در مجموع ۲۹ معیار ارزیابی مواد معدنی تعریف شد.

در مرحله بعد، نیاز به تعیین اهمیت نسبی این معیارها بر اساس یک روش علمی مشخص وجود داشت از این رو، با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، روش تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه برای رتبه‌بندی مواد معدنی انتخاب شد. در ادامه تلاش شد تا یک ساختار سلسله مراتبی برای مسئله تعریف شود. ساختار سلسله مراتبی رتبه‌بندی مواد معدنی کشور بر اساس شکل ۱ طراحی شد که در این ساختار بر مبنای هدف کلی پژوهش، ۶ معیار اصلی ذیل تعریف شده است و هریک از این معیارها دارای زیرمعیارهای مشخص شده در شکل یادشده است. همچنین مواد معدنی مورد بررسی نیز به عنوان گزینه‌های مسئله و سطح آخر سلسله مراتبی در نظر گرفته شده‌اند که شامل ۳۳ ماده معدنی بررسی شده در طرح جامع معادن ایران است. فرم نظرخواهی در مورد امتیازدهی معیارها بر مبنای تحلیل سلسله مراتبی و انجام مقایسات زوجی بین معیارها با تخصیص امتیازات :

- معیارهای اقتصادی و بازار
- معیارهای اشتغال
- معیارهای فنی
- معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی
- معیارهای سرمایه‌گذاری
- معیارهای راهبردی

عددی ۱ تا ۹ طراحی شد. لازم به بیان است که بالا بردن تعداد افراد مصاحبه شونده تا حدی می‌تواند موجب بالارفتن دقت تحلیل شود اما برای ایجاد توازن منطقی در امتیازدهی، ترکیبی متعادل از حوزه‌های مختلف مورد پرسش و نظرسنجی قرار گیرند. مخاطبان اولیه نظرسنجی شامل بیست نفر از اساتید دانشگاهی، مسئولان دولتی بخش معدن، شرکت‌های دولتی، تشکل‌های معدنی و کارشناسان با تجربه بخش معدن و صنایع معدنی کشور بود. بنابراین با توجه به محدودیت‌های موجود و عدم رغبت مصاحبه شوندگان به دلایل مختلف، در نهایت تلاش امکان اخذ پاسخ بیشینه ده نفر به صورتی فراهم شد که دو نفر از هر یک از حوزه‌های اکتشاف معادن، استخراج معادن، فرآوری مواد معدنی، متالورژی و محیط زیست در تحلیل اعمال شود. همچنین به دلیل عدم امکان جمع‌آوری کارشناشان و صاحب‌نظران در یک جلسه مشترک، به صورت حضوری از ایشان مصاحبه شد.

پس از دریافت و بررسی پاسخ‌ها، در نهایت میانگین هندسی امتیازات داده شده توسط صاحب‌نظران برای هریک از اعضای ماتریس مقایسات زوجی معیارها محاسبه شد که نتایج آن در جداول ۱ تا ۷ نشان داده شده است. لازم به بیان است که در مورد مقادیر کوچک‌تر از یک، معکوس آنها به عنوان ورودی روش تحلیل سلسله مراتبی به کارگرفته شده است. مقادیر جدول‌های ۱ تا ۷ به عنوان مقادیر تعیین‌کننده میزان اهمیت معیارها و زیر معیارهای ارزیابی مواد معدنی و بخشی از متغیرهای ورودی روش تحلیل سلسله مراتبی به کار می‌روند. جدول ۸ نیز بیانگر اوزان نهایی هریک از معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی مواد معدنی و نیز نرخ ناسازگاری نهایی ماتریس مقایسات زوجی هریک از معیارها بر مبنای روش بردار ویژه است.

برای انجام تحلیل سلسله مراتبی از نرم‌افزار Expert Choice 2000 استفاده شد که جزو کامل‌ترین نرم‌افزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری و تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه است. از مهم‌ترین قابلیت این نرم‌افزار می‌توان به استفاده از روش بردار ویژه برای محاسبه اوزان معیارها اشاره نمود که موجب دقت و سهولت بیشتر حل مسئله بویژه در مورد مسائل با تعداد معیارهای بالا می‌شود. همچنین این نرم‌افزار قابلیت گرافیکی گسترده‌ای را دارا است. برای محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها، ابتدا ساختار سلسله مراتبی رتبه‌بندی مواد معدنی کشور در نرم‌افزار یادشده طراحی شد و سپس با ورود داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به مقایسات زوجی، وزن مطلق هریک از معیارها و زیرمعیارها محاسبه شد. لازم به یادآوری است که نرخ ناسازگاری محاسبه شده در مورد ماتریس مقایسات زوجی، قضاوت هریک از اشخاص مصاحبه شده بررسی شد تا مقادیرشان در محدوده مجاز قرار گیرد. در مرحله بعد باید امتیاز هریک از مواد معدنی به ازای معیارهای تعریف شده محاسبه شود. اگرچه مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی بر اساس انجام مقایسات زوجی از بالاترین سطح تا پایین‌ترین سطح مسئله است اما در حالاتی که تعداد معیارها و گزینه‌ها زیاد باشد، انجام مقایسات زوجی متعدد موجب بالا رفتن خطا شده و ناسازگاری ماتریس مقایسات را در سطح آخر سلسله مراتبی بالا می‌برد. لذا برای حل این مسئله در سطح آخر سلسله مراتبی از امتیاز مطلق هر گزینه به ازای هریک از معیارها استفاده می‌شود که این امکان در نرم افزار Expert Choice 2000 فراهم شده است. با توجه به تعداد زیرمعیارها و گزینه‌ها در واقع باید یک ماتریس به ابعاد ۲۹×۳۳ تعریف شود که اعضای آن مقادیر امتیاز هر ماده معدنی به ازای معیار متناظر هستند.

لازم به یاد آوری است که به دلیل عدم امکان تفکیک آمار مربوط به مواد معدنی سیلیس و دیاتومیت، منیزیت و گل‌سفید، سرب و روی، رتبه‌بندی کلی مواد با تلفیق آمار دو به دو این مواد صورت گرفت. بنابراین ابعاد ماتریس نهایی به ۲۹×۳۰ تغییر یافت. از طرفی با توجه به این که برخی معیارها به صورت کیفی تعریف شده است لذا برای تکمیل اعضای ماتریس و محاسبه امتیاز گزینه‌ها به‌ازای هر معیار، امتیاز هر گزینه بر اساس میانگین هندسی امتیازدهی صورت گرفته توسط کارشناسان بخش بر مبنای مقیاس ۱ تا ۱۰ برآود و بهنجار شد. به عنوان مثال امتیاز هر یک از مواد معدنی به ازای معیارهای کیفی وجود دانش فنی و فناوری (E3) و سهولت فرآوری (E7) بر اساس نظر کارشناسان در جدول ۹ آورده شده است. اما در خصوص معیارهای کمی، محاسبه مقادیر آنها بر اساس داده‌های به دست‌آمده از گزارشات فاز اول طرح جامع معادن (Basiri, 2004) صورت گرفت که به دلیل زیاد بودن داده‌های مربوط به امتیاز هریک از مواد به ازای معیارهای کمی از آوردن آنها خودداری می‌شود. بازه زمانی تحلیل در خصوص محاسبه متغیرهای داخلی، سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۴ و در خصوص آمار و متغیرهای تجارت خارجی، سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ است. در خصوص متغیرهای هزینه‌ای مانند سرمایه‌گذاری، فروش و ارزش افزوده، امتیاز گزینه‌ها برابر با متوسط هندسی مقادیر آنها بر اساس ورودی‌های تعدیل شده (به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶) در سال‌های مورد بررسی در نظر گرفته شد.

۴- نتایج رتبه‌بندی

پس از ورود داده‌های ماتریس تصمیم‌گیری و نیز تکمیل ماتریس مقایسات زوجی، رتبه‌بندی موادمعدنی مورد بررسی در طرح جامع معادن ایران با استفاده از نرم افزار Expert Choice 2000 به ازای هریک از ۶ معیار صورت گرفت. شکل ۲ نشانگر نتایج رتبه‌بندی کلی مواد معدنی با در نظرگرفتن همه معیارها با استفاده از نرم افزار یادشده است. همچنین به طور خلاصه رتبه‌بندی موادمعدنی بر اساس هریک از معیارهای گروهی و نیز رتبه‌بندی کلی آنها بر اساس اهمیت موزون معیارها در جدول ۱۰ آمده است.

همان‌طور که از جدول ۱۰ دیده می‌شود بر اساس معیارهای اقتصادی و بازار که دارای بیشترین وزن نسبت به دیگر معیارها است، ده ماده معدنی اولویت‌دار به ترتیب مس، سرب و روی، فلدسپار، فسفات، آهن، طلا، آزبست، کرومیت، فلورین و زغال هستند. در حالی که مواد معدنی آهن، مس، طلا، منیزیت و گل سفید، منگنز، تالک، زغال، سرب و روی، بوکسیت و باریت به ترتیب بر اساس معیارهای اجتماعی و زیست محیطی ده ماده معدنی اولویت‌دار هستند. همچنین با اعمال تأثیر کلیه معیارهای ارزیابی بر هدف کلی، مواد معدنی مس، آهن، فسفات، سرب وروی، زغال، طلا، فلدسپار، کرومیت، منیزیت و گل‌سفید، و کائولن دارای اولویت برای سرمایه‌گذاری‌های آتی کشور هستند. در خصوص صحت‌سنجی نتایج پژوهش نیز، همخوانی مناسب نتایج تحقیق با نظرسنجی‌های مرحله اول به ویژه در خصوص ۱۰ ماده معدنی اول را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای شناسایی مواد معدنی اولویت‌دار برای سرمایه‌گذاری‌های آینده در کشور بیانگر آن است که مواد معدنی مس، آهن، فسفات، سرب وروی، زغال، طلا، فلدسپار، کرومیت، منیزیت و گل‌سفید، و کائولن دارای بالاترین اولویت در بین مواد معدنی مورد بررسی برای سرمایه‌گذاری هستند و سیاست‌گذاری مناسب دولت در برای حمایت از طرح‌های سرمایه‌گذاری در این حوزه‌ها و نیز ارتقای سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی در مناطق مربوطه می‌تواند در راستای توسعه بخش معدن و صنایع معدنی مرتبط نقش کلیدی ایفا نماید. با توجه به نظرسنجی انجام شده از صاحب‌نظران حوزه‌های مختلف فعال در بخش معدن، معیارهای اقتصادی از بالاترین میزان اهمیت و معیارهای اجتماعی و زیست محیطی از کمترین اهمیت برخوردار هستند، که نشانگر توجه بیشتر کارشناسان بخش معدن به متغیرهای مرتبط با سودآوری تولید موادمعدنی و اقتصادی بودن تولید است. ارزیابی نتایج این بررسی نیز نشانگر آن است که نتایج رتبه‌بندی کلی مواد معدنی با روش تحلیل سلسله مراتبی با نظرسنجی‌های شفاهی انجام شده در مورد اهمیت مواد معدنی در مورد ۱۰ ماده معدنی اول همخوانی زیادی دارد.

به منظور بررسی دقیق‌تر موضوع، پیشنهاد می‌شود تا روش‌های دیگری مانند تاکسونومی و یا روش الکتر نیز به کار گرفته شوند. همچنین با عنایت به وجود پاره‌ای

مشکلات از جمله مشکلات تأمین بودجه و محدویت زمانی، امکان نظرسنجی از کارشناسان بیشتری فراهم نشد، بنابراین پیشنهاد می‌شود تا تعداد افراد بیشتری مورد مصاحبه و نظرسنجی قرار گیرند و رتبه‌بندی کلی مواد معدنی با در نظر گرفتن کلیه مواد معدنی موجود در کشور صورت گیرد.

جدول ۱- ماتریس مقایسه زوجی معیارهای رتبه‌بندی مواد معدنی

	اقتصادی و بازار (A)	سرمایه‌گذاری (B)	اشتغال (C)	راهبردی (D)	فنی (E)	اجتماعی و زیست‌محیطی (F)
اقتصادی و بازار (A)	۱	۳/۷۰	۵/۴۶	۲/۴۳	۲/۹۵	۳/۵۷
سرمایه‌گذاری (B)	۳/۷۰	۱	۲/۳۷	۱/۰۶	۱/۰۴	۱/۴۴
اشتغال (C)	۵/۴۶	۲/۳۷	۱	۰/۶۳	۰/۶۴	۱/۳۴
راهبردی (D)	۲/۴۳	۱/۰۶	۰/۶۳	۱	۱/۳۱	۱/۱۷
فنی (E)	۲/۹۵	۱/۰۴	۰/۶۴	۱/۳۱	۱	۱/۲۸
اجتماعی و زیست‌محیطی (F)	۳/۵۷	۱/۴۴	۱/۳۴	۱/۱۷	۱/۲۸	۱

جدول ۲- ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار اقتصادی و بازار

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱	۱/۲۹	۰/۸۱	۰/۷۹	۱/۴۶	۱/۲۰
A2	۱/۲۹	۱	۰/۸۳	۰/۸۵	۱/۴۳	۱/۱۳
A3	۰/۸۱	۰/۸۳	۱	۱/۵۶	۱/۵۳	۲/۴۳
A4	۰/۷۹	۰/۸۵	۱/۵۶	۱	۱/۸۳	۱/۰۲
A5	۱/۴۶	۱/۴۳	۱/۵۳	۱/۸۳	۱	۰/۸۶
A6	۱/۲۰	۱/۱۳	۲/۴۳	۱/۰۲	۰/۸۶	۱

جدول ۳- ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار سرمایه‌گذاری

	B1	B2	B3
B1	۱	۰/۲۶	۰/۷۶
B2	۰/۲۶	۱	۴/۱۱
B3	۰/۷۶	۴/۱۱	۱

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار اشتغال

	C1	C2	C3	C4
C1	۱	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۶
C2	۰/۳۳	۱	۰/۵۳	۱/۱۲
C3	۰/۳۰	۰/۵۳	۱	۱/۹۱
C4	۰/۳۶	۱/۱۲	۱/۹۱	۱

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار راهبردی (استراتژیک)

	D1	D2	D3	D4	D5
D1	۱	۱/۳۲	۱/۲۹	۱/۳۳	۱/۲۹
D2	۱/۳۲	۱	۱/۱۱	۱/۷۰	۱/۱۵
D3	۱/۲۹	۱/۱۱	۱	۱/۵۱	۱/۵۱
D4	۱/۳۳	۱/۷۰	۱/۵۱	۱	۱/۶۳
D5	۱/۲۹	۱/۱۵	۱/۵۱	۱/۶۳	۱

جدول ۶- ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار فنی

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	۱	۳/۱۱	۱/۶۷	۱/۳۱	۱/۸۱	۳/۰۷	۱/۷۹
E2	۳/۱۱	۱	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۴۷	۰/۳۷
E3	۱/۶۷	۰/۴۶	۱	۲/۱۲	۱/۶۸	۲/۵۱	۱/۶۵
E4	۱/۳۱	۰/۲۱	۲/۱۲	۱	۱/۵۱	۲/۳۴	۲/۲۴
E5	۱/۸۱	۰/۲۸	۱/۶۸	۱/۵۱	۱	۱/۷۰	۰/۶۰
E6	۳/۰۷	۰/۴۷	۲/۵۱	۲/۳۴	۱/۷۰	۱	۰/۵۴
E7	۱/۷۹	۰/۳۷	۱/۶۵	۲/۲۴	۰/۶۹	۰/۵۴	۱

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار اجتماعی و زیست‌محیطی

	F1	F2	F3	F4
F1	۱	۱/۲۲	۱/۸۳	۱/۶۰
F2	۱/۲۲	۱	۱/۰۴	۱/۱۵
F3	۱/۸۳	۱/۰۴	۱	۲/۰۵
F4	۱/۶۰	۱/۱۵	۲/۰۵	۱

جدول ۸- اوزان نهایی و نرخ ناسازگاری معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی مواد معدنی

معیارها	وزن معیار	نرخ ناسازگاری		زیر معیارها	وزن زیر معیارها
اقتصادی و بازار (A)	۰/۴۰۵	۰/۰۱	A1	رشد ارزش افزوده	۰/۰۷
			A2	ضریب ارزش افزوده	۰/۰۶۴
			A3	بازگشت سرمایه	۰/۰۹۵
			A4	ارزش افزوده صادراتی	۰/۰۷۳
			A5	سهم درتولید ناخالص داخلی	۰/۰۴۸
			A6	ارزآوری صادراتی	۰/۰۵۵

ادامه جدول ۸

معیارها	وزن معیار	نرخ ناسازگاری		زیر معیارها	وزن زیر معیارها
سرمایه‌گذاری (B)	۰/۱۴۴	۰/۰۱	B1	رشد سرمایه‌گذاری	۰/۰۲۲
			B2	بازده تولیدی سرمایه‌گذاری	۰/۰۹۶
			B3	نسبت سرمایه‌گذاری‌اکتشافی	۰/۰۲۶
اشتغال (C)	۰/۰۸۶	۰/۰۱	C1	رشد اشتغال	۰/۰۰۸
			C2	بازده تولیدی نیروی کار	۰/۰۲۲
			C3	بهره‌وری نیروی کار	۰/۰۳۵
			C4	اشتغال زایی سرمایه گذاری	۰/۰۲۰
راهبردی (D)	۰/۱۴۱	۰/۰۲	D1	رشد تولید داخلی	۰/۰۳۴
			D2	رشد صادرات کشور	۰/۰۳۱
			D3	بزرگی بازار داخلی	۰/۰۳۰
			D4	سهم ایران ازتولید جهانی	۰/۰۲۴
			D5	سهم ایران از صادرات جهانی	۰/۰۲۲
فنی (E)	۰/۱۲۶	۰/۰۳	E1	میزان کفایت ذخایر قطعی	۰/۰۲۹
			E2	شاخص بازدهی انرژی	۰/۰۰۷
			E3	وجود دانش فنی	۰/۰۲۵
			E4	پشتیبانی از صنایع کلیدی	۰/۰۲۴
			E5	تأثیرات توسعه‌ای	۰/۰۱۶
			E6	سهولت شرایط کار	۰/۰۱۰
			E7	سهولت فرآوری	۰/۰۱۵
اجتماعی و زیست محیطی (F)	۰/۰۹۸	۰/۰۳	F1	ایمنی و بهداشت کار	۰/۰۳۳
			F2	تأثیرات زیست محیطی	۰/۰۲۳
			F3	آثاراجتماعی واقتصادی	۰/۰۲۴
			F4	کمک به توسعه مناطق محروم	۰/۰۱۷
کل	۱/۰۰	۰/۰۱			۱/۰۰

جدول ۹- امتیاز مواد معدنی مورد مطالعه به ازای دو معیار کیفی

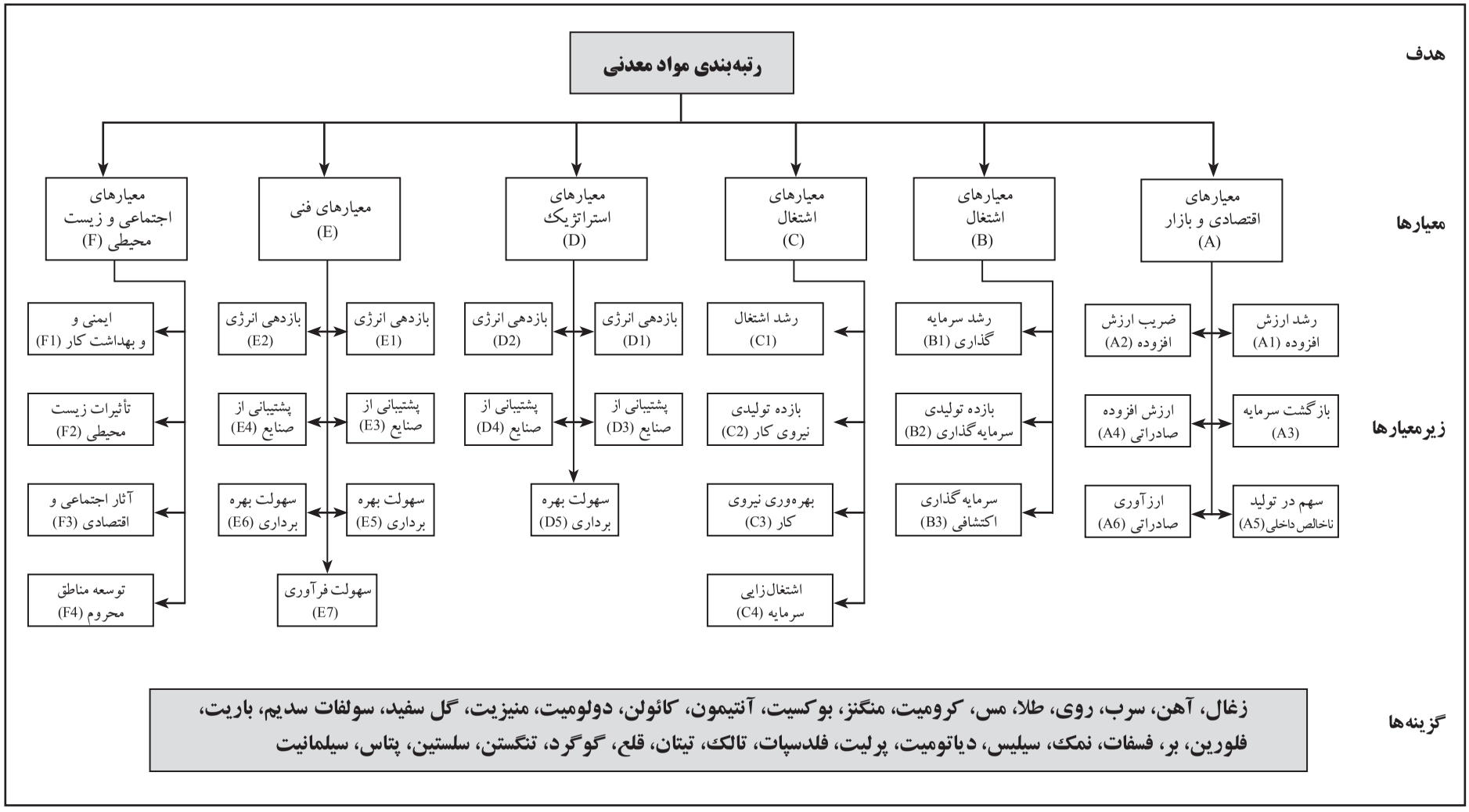
ردیف	ماده معدنی	سهولت فرآوری (E7)		وجود دانش فنی و فناوری (E3)	
		تعداد پاسخ‌ها	متوسط امتیازات	تعداد پاسخ‌ها	متوسط امتیازات
۱	زغال	۶	۵/۶	۵	۵/۱
۲	آهن	۶	۶/۳	۵	۵/۱
۳	سرب	۶	۶/۴	۵	۵/۲
۴	روی	۶	۶/۷	۵	۵/۲
۵	طلا	۶	۳/۸	۵	۴/۰
۶	مس	۶	۷/۰	۵	۵/۴
۷	کرومیت	۷	۵/۲	۶	۴/۵
۸	منگنز	۶	۵/۲	۵	۴/۶
۹	بوکسیت	۷	۴/۶	۵	۴/۲
۱۰	آنتیموان	۵	۲/۲	۴	۲/۷
۱۱	کائولن	۷	۵/۳	۶	۴/۵
۱۲	دولومیت	۷	۴/۵	۶	۴/۵
۱۳	منیزیت	۶	۵/۵	۵	۴/۹
۱۴	گل سفید	۵	۵/۳	۵	۴/۹
۱۵	سولفات سدیم	۴	۳/۸	۳	۳/۳
۱۶	باریت	۵	۶/۶	۴	۴/۹
۱۷	فلورین	۵	۴/۵	۴	۳/۶
۱۸	بور	۶	۴/۲	۵	۴/۲
۱۹	فسفات	۶	۴/۰	۵	۴/۴
۲۰	نمک	۶	۴/۷	۵	۳/۸
۲۱	سیلیس	۶	۴/۵	۵	۳/۴
۲۲	دیاتومیت	۶	۳/۹	۵	۳/۴
۲۳	پرلیت	۶	۵/۱	۵	۳/۸

ادامه جدول ۹

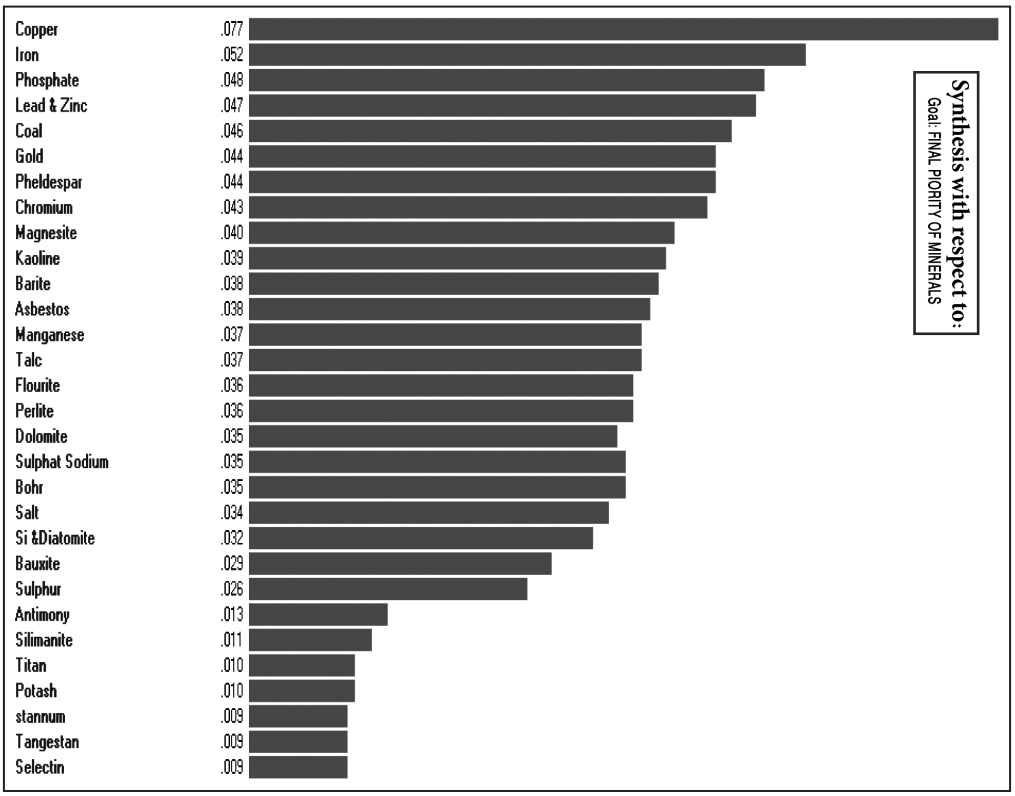
ردیف	ماده معدنی	سهولت فرآوری (E7)		وجود دانش فنی و فناوری (E3)	
		تعداد پاسخ‌ها	متوسط امتیازات	تعداد پاسخ‌ها	متوسط امتیازات
۲۴	فلدسپار	۶	۴/۰	۵	۴/۷
۲۵	تالک	۵	۴/۹	۴	۳/۹
۲۶	آزبست	۵	۴/۵	۴	۳/۳
۲۷	تیتان	۶	۲/۷	۵	۳/۰
۲۸	قلع	۴	۳/۵	۳	۲/۳
۲۹	گوگرد	۴	۳/۳	۳	۲/۹
۳۰	تنگستن	۵	۲/۹	۴	۳/۱
۳۱	سلستین	۵	۳/۶	۴	۳/۶
۳۲	پتاس	۶	۳/۵	۵	۳/۴
۳۳	سیلمانیت	۴	۲/۶	۳	۳/۳

جدول ۱۰- نتایج حاصل از رتبه‌بندی مواد معدنی به ازای هریک از معیارها

رتبه	رتبه‌بندی بر اساس هریک از معیارها						رتبه‌بندی کلی مواد معدنی
	اقتصادی و بازار (A)	سرمایه‌گذاری (B)	اشتغال (C)	راهبردی (D)	فنی (E)	اجتماعی‌وزیست‌محیطی (F)	
۱	مس	مس	مس	کرومیت	آهن	آهن	مس
۲	سرب و روی	زغال	بوکسیت	سرب و روی	دولومیت	مس	آهن
۳	فلدسپات	کرومیت	آهن	گوگرد	منیزیت و گل‌سفید	طلا	فسفات
۴	فسفات	پرلیت	منگنز	زغال	فسفات	منیزیت و گل سفید	سرب و روی
۵	آهن	منگنز	طلا	باریت	زغال	منگنز	زغال
۶	طلا	سولفات سدیم	بور	فسفات	مس	تالک	طلا
۷	آزبست	فلورین	فسفات	آهن	سرب و روی	زغال	فلدسپار
۸	کرومیت	آزبست	سرب و روی	کائولن	آزبست	سرب‌و روی	کرومیت
۹	فلورین	نمک	دولومیت	آزبست	کرومیت	بوکسیت	منیزیت و گل‌سفید
۱۰	زغال	کائولن	سیلیس و دیاتومیت	مس	کائولن	باریت	کائولن
۱۱	تالک	سرب و روی	منیزیت	طلا	بوکسیت	کائولن	باریت
۱۲	منیزیت‌و گل سفید	بور	کائولن	فلدسپار	منگنز	فلورین	آزبست
۱۳	سولفات سدیم	طلا	سولفات سدیم	پرلیت	باریت	کرومیت	منگنز
۱۴	باریت	منیزیت	فلورین	فلورین	پرلیت	دولومیت	تالک
۱۵	بور	سیلیس و دیاتومیت	نمک	منگنز	طلا	فسفات	فلورین
۱۶	کائولن	باریت	پرلیت	نمک	سیلیس و دیاتومیت	نمک	پرلیت
۱۷	منگنز	فسفات	زغال	تالک	فلدسپار	پرلیت	دولومیت
۱۸	پرلیت	فلدسپار	کرومیت	سیلیس و دیاتومیت	نمک	سولفات سدیم	سولفات سدیم
۱۹	نمک	دولومیت	باریت	منیزیت و گل‌سفید	سولفات سدیم	بور	بور
۲۰	سیلیس و دیاتومیت	بوکسیت	فلدسپار	بور	تالک	فلدسپار	نمک
۲۱	دولومیت	آهن	سلستین	دولومیت	بور	سیلمانیت	سیلیس و دیاتومیت
۲۲	گوگرد	تالک	تالک	سولفات سدیم	سیلمانیت	قلع	بوکسیت
۲۳	بوکسیت	آنتیموان	آزبست	بوکسیت	فلورین	پتاس	گوگرد
۲۴	آنتیموان	تیتان	گوگرد	تیتان	گوگرد	تیتان	آنتیموان
۲۵	تیتان	قلع	آنتیموان	قلع	تیتان	تنگستن	سیلمانیت
۲۶	قلع	گوگرد	تیتان	تنگستن	تنگستن	سلستین	تیتان
۲۷	تنگستن	تنگستن	قلع	سلستین	پتاس	آنتیموان	پتاس
۲۸	سلستین	سلستین	تنگستن	پتاس	آنتیموان	سیلیس و دیاتومیت	قلع
۲۹	پتاس	پتاس	پتاس	سیلمانیت	قلع	گوگرد	تنگستن
۳۰	سیلمانیت	سیلمانیت	سیلمانیت	آنتیموان	سلستین	آزبست	سلستین



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی رتبه‌بندی مواد معدنی



شکل ۲- نتایج رتبه‌بندی کلی مواد معدنی با در نظرگرفتن اهمیت موزون معیارهاجدول ۱- ماتریس مقایسه زوجی معیارهای رتبه‌بندی مواد معدنی

کتابنگاری

اصغرپور، م. ج.، ۱۳۸۷- تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، تهران

بصیری، م. ح.، ۱۳۸۳- گزارشات مطالعات تفضیلی ۳۳ ماده معدنی ، طرح جامع معادن ایران، وزارت صنایع و معادن

دانشگاه صنایع و معادن ایران.، ۱۳۸۱- تعیین معیارهای مطلوبیت ۹ ماده معدنی ، معاونت برنامه‌ریزی توسعه و فناوری، وزارت صنایع و معادن

قدسی‌پور، ح.، ۱۳۸۱- تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

References

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): pp.501–513.

International Institute for Environment and Development and World Business Council for Sustainable Development, 2002- Breaking new ground: The Report of the Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project, Chapter 8, Minerals and Economic Development, pp. 4-5.

Kablan, M. M., 2004- Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach, Energy Policy, 32: pp.1151–1158.

Kamal, M. Al-Subhi & Al-Harbi, 2001- Application of the AHP in project management, International Journal of Project Management, 19: pp.19-27.

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, 113: pp.A30-A42.

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, 111: pp.A136-A142.

Saaty, T. L., 1980- The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw-Hill.

Saaty, T. L., 1990- Decision-making for Leaders, RWS Publication, USA, P 315.

Srdjevi, B., 2005- Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis, Computers & Operations Research, 32: pp.1897-1919.

Yurdakul, M., 2004- Selection of computer-integrated manufacturing technologies using a combined analytic hierarchy process and goal programming model, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 20: pp.329–340.