نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"

Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره دوم، شماره چهارم، سال ۱۳۸٦، صفحه ۱ تا ۱۰

Vol. 2, No. 4, 2008, pp. 1-10

رتبه‌بندی مواد معدنی کشور با روش تصمیم‌گیری شباهت به گزینه ایده‌آل

رضا شکورشهابی[1*]، رضا کاکایی[2]، محمدحسین بصیری[3]

۱. دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، Reza.shahabi@gmail.com
۲. دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، R_kakaie@shahroodut.ac.ir
۳. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش معدن، Mhbasiri@modares.ac.ir

(دریافت ۵ دی ۱۳۸٦ ، پذیرش ٤ خرداد ۱۳۸۷)

چکیده

بخش معدن به عنوان یکی از حوزه‌های زیربنایی اقتصاد، نقش اساسی در تأمین مواد اولیه صنایع دارد و توسعه سرمایه‌گذاری در این بخش می‌تواند موجب کسب ارزش افزوده مناسب در بسیاری از بخش‌های دیگر اقتصادی کشور شود. بنابراین لازم است مواد معدنی اولویت‌دار جهت سرمایه‌گذاری‌های آتی کشور مشخص شود.

در این مقاله از روش شباهت به گزینه ایده‌آل که برای رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌های مناسب با در نظر گرفتن معیارهای مختلف به‌کار می‌رود و یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌باشد، برای رتبه‌بندی ۳۳ ماده معدنی کشور جهت سرمایه‌گذاری استفاده شد. برای این منظور بر اساس مصاحبه‌های حضوری از صاحب‌نظران بخش معدنی کشور ابتدا ۲۹ معیار یا شاخص ارزیابی تعیین و وزن‌های آنها محاسبه گردید و سپس امتیاز هریک از مواد معدنی مورد مطالعه در دو حالت مختلف شامل وزن‌دهی بر مبنای نظرسنجی‌های صورت‌گرفته و وزن‌دهی یکسان به همه معیارها با روش مذکور مشخص شد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، مواد معدنی مس، زغال، آهن، طلا، کرومیت و سرب و روی، مواد معدنی اولویت‌دار جهت سرمایه‌گذاری‌های آتی کشور شناخته شدند.

کلمات کلیدی

رتبه‌بندی مواد معدنی، تصمیم‌گیری چندشاخصه، روش شباهت به گزینه ایده‌آل

* عهده‌دار مکاتبات

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

بخش معدن از جمله بخش‌های زیربنایی اقتصاد کشور می‌باشد که به عنوان موتور محرکه و جزء اصلی زنجیره تامین بسیاری از صنایع و بخش‌های اقتصادی کشور عمل می‌نماید. بر اساس مطالعات بانک جهانی، به ازای هر یک دلار هزینه شده در معادن ۲/۸ دلار در اقتصاد تولید می‌گردد[۱]. لذا سرمایه‌گذاری صحیح در این بخش می‌تواند باعث ایجاد ارزش افزوده مناسب در صنایع وابسته و رونق بخش‌های اقتصادی کشور شود. بر این اساس، یکی از مهم‌ترین مباحث مورد توجه سیاست‌گذاران بخش معدن و صنایع معدنی کشور، مشخص نمودن اولویت مواد معدنی جهت سرمایه‌گذاری‌های آتی استراتژیک کشور در این بخش کلیدی می‌باشد. انتخاب مواد معدنی اولویت‌دار کشور و نیز شناخت معیارهای مهم ارزیابی این مواد می‌تواند از دیدگاه‌های مختلفی مطرح گردد که به عنوان مثال می‌توان به تفاوت دیدگاه بخش‌های خصوصی و دولتی اشاره نمود. در این راستا استخراج شاخص‌های جامع ارزیابی مواد معدنی کشور و سپس رتبه‌بندی مواد معدنی با در نظر گرفتن جمیع شاخص‌ها می‌تواند کمک شایانی در شناخت مواد معدنی اولویت‌دار بنماید. لذا رتبه‌بندی مواد معدنی متنوع کشور، با توجه به تعدد معیارهای انتخاب و ارزیابی این مواد، نیاز به استفاده از روش های علمی کارآمد، مناسب و جامع را ایجاب می‌کند تا بتوان با لحاظ‌کردن منطقی و موزون این معیارها به یک رتبه‌بندی جامع و شفاف در این خصوص دست یافت.

رتبه‌بندی مواد معدنی را می‌توان به صورت یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه[۱] در نظر گرفت که در این‌گونه مسائل تصمیم‌گیرنده با در نظرگرفتن معیارهای 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 شباهت به گزینه ایده‌آل[۲] نام برد[۲]. روش مذکور که در سال ۱۹۸۱ توسط یون و هوانگ[۳] ارائه شد، مورد استقبال محققین و کاربران مختلف درعلوم مختلف واقع شده است[۵،۳،۴]. از جمله مزایای این روش می‌توان به شفاف بودن الگوریتم آن و نیز کارآیی بالای آن در حل مسائل با تعدد معیارها و گزینه‌ها اشاره نمود. این روش در سال‌های اخیر برای حل بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه در حوزه علوم زمین نیز بکار گرفته شده است که از جمله آنها می‌توان به سیستم اطلاعات ژئوگرافیک[۴] [۶]، انتخاب روش استخراج معادن[۷]، انتخاب محل احداث کارخانجات[۸]، انتخاب *ماشین‌آلات معدنی*[۹] و بررسی الگوهای آتشباری معادن[۱۰] اشاره نمود. لازم بذکر است که در سال‌های اخیر با گسترش تئوری فازی ، روش‌های تصمیم گیری چندشاخصه فازی از جمله روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی برای حل مسائل کیفی ارائه گردیده است[۱۱].

با توجه به توجه به تعدد معیارها و گزینه‌های ارزیابی مواد معدنی و نیز کارآیی مناسب روش شباهت به گزینه ایده‌آل، در این تحقیق از روش مذکور در حالت قطعی استفاده گردید و رتبه‌بندی ۳۳ ماده معدنی معدنی اولویت‌دار برای شناسایی اولویت‌های سرمایه‌گذاری کشور صورت گرفت. تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی، نیز بر اساس نظرسنجی از صاحب‌نظران بخش معدن و صنایع معدنی کشور انجام شد.

۲- روش شباهت به گزینه ایده‌آل

روش شباهت به گزینه ایده‌آل یکی از مهمترین و کاربردی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه بصورت وزن دهی کمی می‌باشد. در این روش گزینه‌ها براساس شباهت به گزینه ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند، بطوری که هر چه یک گزینه شبیه‌تر به گزینه ایده‌آل باشد رتبه بیشتری دارد. به عبارت دیگر بهترین گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از گزینه ایده‌آل و دورترین فاصله از گزینه ضد ایده‌آل باشد. در تعریف این روش از دو مفهوم "حل ایده‌آل و "شباهت به حل ایده‌آل" استفاده شده است. حل ایده‌آل چنانچه از اسم آن پیدا است، آن حلی است که از هر جهت بهترین باشد که عموماً در عمل وجود نداشته و در روش مذکور سعی بر آن است که نزدیکترین جواب به آن پیدا شود. به منظور اندازه‌گیری شباهت یک طرح (یا گزینه) به حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، فاصله آن طرح (یا گزینه) از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل اندازه‌گیری می‌شود و گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ضد ایده‌آل به مجموع فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند.

اگر در یک مساله تصمیم گیری چند شاخصه n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، مراحل انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش شباهت به حل ایده‌آل، به شرح ذیل می‌باشد [۲]:

۲-۱- تشکیل ماتریس تصمیم

با توجه به تعداد معیارها و گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل می‌شود:

Archive of SID
www.SID.ir

$$D=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در آن x_{ij} عملکرد گزینه i ام ($i=1, 2,\dots,m$) در رابطه با معیار یا شاخص j ام ($j=1, 2,\dots,n$) می‌باشد.

۲-۲- بی‌بعد سازی ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می‌شود معیارهای با ابعاد مختلف به معیارهای بدون بعد تبدیل شوند و ماتریس R به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

روش‌های مختلفی برای بی‌بعد کردن ماتریس وجود دارد، اما در روش شباهت به گزینه ایده‌آل معمولاً از رابطه زیر استفاده می‌شود [۲]:

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \quad (۳)$$

۲-۳- تعیین ماتریس وزن معیارها

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، ماتریس وزن معیارها به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$W=\begin{bmatrix} w_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & w_n \end{bmatrix} \quad (۴)$$

ماتریس W یک ماتریس قطری به ابعاد $n \times n$ است که فقط عناصر روی قطر اصلی آن غیر صفر و مقدار این عناصر مساوی ضریب اهمیت بردار مربوطه است [۲].

۲-۴- تعیین ماتریس تصمیم وزن‌دار

ماتریس تصمیم وزن‌دار از ضرب ماتریس تصمیم بی مقیاس شده در ماتریس وزن معیارها بدست می‌آید:

$$V=R*W=\begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

۲-۵- پیدا کردن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

اگر حل ایده ال با A^* و ضد ایده‌آل با A^- نشان داده شود در این صورت:

$$A^*=\{v_1^*,\ v_2^*,\dots,v_i^*,\dots,v_n^*\}$$
$$A^-=\{v_1^-,\ v_2^-,\dots,v_i^-,\dots,v_n^-\} \quad (۶)$$

که در آن v_i^* بهترین مقدار iامین معیار از بین تمام گزینه‌ها و v_i^- بدترین مقدار i امین معیار از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد. گزینه‌های که در A^* و A^- قرار می‌گیرند، به ترتیب نشان دهنده گزینه‌هایی کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند[۲].

۲-۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

در این مرحله برای هر گزینه، فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند [۱۱]:

$$S_j^*=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(v_{ij}-v_i^*)^2}$$
$$S_j^-=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(v_{ij}-v_i^-)^2} \quad (۷)$$

در روابط فوق اندیس‌های i و j به‌ترتیب معرف معیار و گزینه مورد نظر می‌باشند.

۲-۷- محاسبه شاخص شباهت

در آخرین مرحله شاخص شباهت (C_j^*) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_j^*=\frac{S_j^-}{S_j^*+S_j^-} \quad (۸)$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به آیده‌آل مشابه‌تر باشد مقدار شاخص شباهت آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. کاملاً واضح است که اگر $A_j=A^*$ باشد، آنگاه S_j^* مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی یک خواهد بود و در صورتی که $A_j=A^-$ آنگاه S_j^- مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی صفرخواهد بود. لذا رتبه بندی گزینه‌ها براساس مقدار شاخص شباهت خواهد بود، بدین ترتیب، گزینه‌ای که دارای بیشترین شاخص شباهت است، دارای رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کمترین شاخص شباهت، است حائز رتبه آخر خواهد بود [۲].

۳- رتبه‌بندی مواد معدنی کشور

۳-۱- معیارها و گزینه‌های ارزیابی مواد معدنی کشور

به منظور رتبه‌بندی مواد معدنی کشور، طرح جامع معادن ایران توسط نگارندگان این مقاله در وزارت صنایع و معادن انجام گرفت. برای این کار ابتدا باید معیارهای ارزیابی مواد

Archive of SID
www.SID.ir

جهت تعریف چارچوب‌های شفاف و یکسان جهت ارزیابی معادن فعال هر ماده تعریف می‌گردید. لذا بررسی‌های مختلفی در خصوص کارهای انجام شده قبلی صورت گرفت. در تنها تحقیق صورت گرفته، صرفا به محاسبه مقادیر امتیازات مطلوبیت ۹ ماده معدنی بر مبنای معیارهای مطلوبیت اقتصادی و استراتژیک، پرداخته شده بود[۱۲]. از این رو در این تحقیق سعی گردید تا با ارائه یک ساختار جامع و کل‌نگر جهت تعریف معیارهای ارزیابی معادن فعال مربوط به هر ماده معدنی، جنبه-های مختلف جذابیت سرمایه‌گذاری در معادن مورد توجه قرار گیرد. به عبارتی سعی گردید تا موضوع جذابیت سرمایه‌گذاری از دیدگاه‌های افراد در حوزه‌های مختلف سیاستگذاری، دانشگاهی و بنگاهی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان مثال اگر ماده معدنی آزبست صرفا بر اساس عملکرد اقتصادی آن توسط بنگاه مورد ارزیابی قرار گیرد دارای بالاترین امتیازات کسب شده می‌باشد لیکن اعمال معیارهای زیست محیطی و فنی دانشگاهیان و سیاستگذاران موجب تعدیل و منطقی شدن این ارزیابی می‌گردد. از طرف دیگر تلاش گردید تا استقلال نسبی معیارها نیز حفظ شود. بدین منظور در ابتدا بیش از ۵۰ معیار مختلف بر اساس تجارب نگارندگان مقاله تعریف گردید لیکن پس از برگزاری جلسات مختلف مشورتی با صاحبنظران و تلفیق و حذف برخی معیارهای اولیه، تعداد آنها تقلیل یافت و در نهایت، ۲۹ معیار ارزیابی جامع ماده معدنی در حوزه‌های مختلفی از قبیل اقتصاد، اشتغال، فنی و محیط‌زیست تعریف گردید. در مرحله بعد، پس از تعریف معیارهای اولیه، نیاز به تعیین اهمیت نسبی این معیارها بر اساس یک روش علمی مشخص وجود داشت لذا معیارهای تعریف شده جهت اظهار نظر و امتیازدهی بر مبنای ۱ تا ۱۰ به روش تصمیم‌گیری گروهی برای صاحب‌نظران بخش معدن و صنایع معدنی کشور ارسال شد. در این مرحله تلاش گردید تا ترکیبی متعادل از حوزه‌های مختلف مورد پرسش و نظرسنجی قرار گیرند لذا ترکیب خبرگان به‌کارگرفته شده شامل اساتید دانشگاهی، مسئولین دولتی بخش معدن، شرکت‌های دولتی، تشکل‌های معدنی و کارشناسان باتجربه بخش معدن و صنایع معدنی کشور می‌باشد. ترکیب تحصیلی این افراد، شامل ۲ نفر از هریک از حوزه‌های اکتشاف معادن، استخراج معادن، فرآوری مواد معدنی، متالورژی و محیط زیست می‌باشد. پس از دریافت و بررسی پاسخ‌ها، میانگین هندسی ارزش آنها و اوزان نرمالیزه (مجموع اوزان برابر با یک) محاسبه گردید که نتایج آن در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. لازم بذکر است که وزن نرمالیزه هریک از شاخص‌ها به عنوان یکی از داده‌های موردنیاز جهت رتبه‌بندی بکار گرفته می‌شود. همانطور که از جدول مذکور مشاهده می‌گردد بیشتر معیارها به صورت کمی و تعدادی هم به صورت کیفی تعریف شده است.

مواد معدنی مورد مطالعه، شامل ۳۳ ماده معدنی بررسی شده در طرح جامع معادن ایران می‌باشد که بر اساس کاربردهای عمده صنعتی آنها در ۷ گروه مشخص تقسیم‌بندی شده و در جدول شماره ۲ مشخص شده است. لازم بذکر است که این تقسیم‌بندی صرفاً به‌منظور سهولت در امتیازدهی کیفی آنها صورت گرفته است و هیچگونه سلسله مراتبی خاصی در آن در نظر گرفته نشده است [۱۳].

۳- ۲- انجام رتبه‌بندی مواد معدنی

با توجه به ۲۹ معیار مذکور و ۳۳ ماده معدنی مورد مطالعه (گزینه‌ها) برای رتبه‌بندی، ابتدا ماتریس تصمیم به ابعاد ۲۹×۳۳ تعریف گردید. جهت محاسبه امتیاز معیارهای کیفی در ماتریس تصمیم، امتیاز هر گزینه بر اساس میانگین هندسی امتیازدهی صورت گرفته توسط خبرگان بخش بر مبنای مقیاس ۱ تا ۱۰ تعیین گردید. به عنوان مثال امتیاز هر یک از مواد معدنی بازای معیارهای کیفی وجود دانش فنی و تکنولوژی، و سهولت فرآوری (معیارهای شماره ۲۱ و ۲۵) بر اساس نظر خبرگان در جدول شماره ۳ آورده شده است. لیکن در خصوص معیارهای کمی، محاسبه مقادیر آنها بر اساس داده‌های بدست-آمده از گزارشات فاز اول طرح جامع معادن صورت گرفت[۱۳]. بازه زمانی تحلیل در خصوص آمار داخلی، سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۱ و در خصوص تجارت خارجی، سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ می‌باشد. امتیاز گزینه‌ها برابر با متوسط مقادیر آنها بر اساس ورودی‌های تعدیل شده (به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶) در سال‌های مورد بررسی در نظر گرفته شد. لازم بذکر 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 ماتریس نهائی تصمیم به ابعاد ۲۹×۳۰ تعریف شد. در جدول شماره ۴، نتایج مقادیر محاسبه شده معیارهای بازگشت سرمایه، نسبت سرمایه‌گذاری اکتشافی، بهره‌وری نیروی کار و پشتیبانی از صنایع کلیدی (معیارهای شماره ۳، ۹، ۱۲ و ۲۲) به ازای هر یک از موادمعدنی مورد مطالعه نشان داده شده است. امتیاز برخی از مواد در رده های پایین جدول مذکور بدلیل نبود معدن فعال مربوطه صفر در نظر گرفته شد.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم بر مبنای الگوریتم روش شباهت به گزینه ایده‌آل که در بخش دوم بیان شد، برنامه‌ای در نرم‌افزار Matlab برای انجام محاسبات لازم تهیه گردید.

Archive of SID
www.SID.ir

ابتدا ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شد و ماتریس وزن معیارها در دو حالت مختلف شامل وزن‌دهی بر مبنای نظرسنجی و وزن‌دهی یکسان به همه معیارها صورت گرفت. در حالت اول بر مبنای میانگین هندسی ارزش معیارها و اوزان نرمالیزه شاخص‌های ارزیابی مواد معدنی مورد مطالعه محاسبه شد که نتایج آن در ستون آخر جدول ۱ نشان داده شده است. در حالت دوم نیز وزن همه معیارها مساوی و برابر ۰/۰۳۴۵ فرض گردید.

جدول شماره ۱: معیارهای ارزیابی مواد معدنی

ردیف	نام معیار	نوع	واحد	تعداد پاسخ	میانگین هندسی ارزش معیار	وزن نرمالیزه
۱	رشد ارزش افزوده	کمی	درصد	۱۰	۷/۹۷	۰/۰۴۷
۲	ضریب ارزش افزوده	کمی	بدون بعد	۱۰	۸/۴۵	۰/۰۴۹
۳	بازگشت سرمایه	کمی	بدون بعد	۱۰	۶/۱۶	۰/۰۳۶
۴	ارزش افزوده صادراتی	کمی	میلیون ریال-	۱۰	۷/۴۸	۰/۰۴۴
۵	سهم در تولید ناخالص	کمی	درصد	۱۰	۶/۴۵	۰/۰۳۸
۶	ارزآوری صادراتی	کمی	درصد	۱۰	۶/۸۵	۰/۰۴۰
۷	رشد سرمایه‌گذاری	کمی	درصد	۱۰	۵/۱۸	۰/۰۳۰
۸	بازده سرمایه‌گذاری	کمی	میلیون ریال-	۱۰	۵/۶۰	۰/۰۳۳
۹	نسبت سرمایه‌گذاری	کمی	بدون بعد	۱۰	۵/۲۱	۰/۰۳۰
۱۰	رشد اشتغال	کمی	درصد	۱۰	۸/۷۴	۰/۰۵۱
۱۱	بازده تولیدی نیروی کار	کمی	تن بر نفر	۱۰	۶/۱۲	۰/۰۳۶
۱۲	بهره‌وری نیروی کار	کمی	میلیون-	۱۰	۴/۲۸	۰/۰۲۵
۱۳	اشتغال زایی	کمی	میلیون-	۱۰	۸/۷۴	۰/۰۵۱
۱۴	رشد تولید داخلی	کمی	درصد	۱۰	۵/۸۹	۰/۰۳۴
۱۵	رشد صادرات کشور	کمی	درصد	۱۰	۶/۱۲	۰/۰۳۶
۱۶	بزرگی بازار داخلی	کمی	درصد	۱۰	۶/۱۲	۰/۰۳۶
۱۷	سهم ایران ازتولید جهانی	کمی	درصد	۱۰	۴/۶۱	۰/۰۲۷
۱۸	سهم ایران از صادرات جهانی	کمی	درصد	۱۰	۴/۶۱	۰/۰۲۷
۱۹	میزان کفایت ذخایر قطعی	کمی	بدون بعد	۱۰	۵/۷۳	۰/۰۳۳
۲۰	شاخص بازدهی انرژی	کمی	کیلوات بر تن	۱۰	۴/۳۳	۰/۰۲۵
۲۱	وجود دانش فنی و تکنولوژی	کیفی	بدون بعد	۱۰	۴/۶۸	۰/۰۲۷
۲۲	پشتیبانی از صنایع کلیدی	کمی	بدون بعد	۱۰	۴/۹۲	۰/۰۲۹
۲۳	تأثیرات توسعه‌ای	کیفی	بدون بعد	۱۰	۵/۰۱	۰/۰۲۹
۲۴	سهولت شرایط کار	کمی	بدون بعد	۱۰	۴/۴۰	۰/۰۲۶
۲۵	سهولت فرآوری	کیفی	بدون بعد	۱۰	۵/۱۸	۰/۰۳۰
۲۶	ایمنی و بهداشت کار	کیفی	بدون بعد	۱۰	۵/۷۹	۰/۰۳۴
۲۷	تأثیرات زیست محیطی	کیفی	بدون بعد	۱۰	۵/۵۴	۰/۰۳۲
۲۸	آثاراجتماعی و اقتصادی	کیفی	بدون بعد	۱۰	۵/۳۸	۰/۰۳۱
۲۹	کمک به توسعه مناطق	کمی	بدون بعد	۱۰	۵/۷۳	۰/۰۳۳
	جمع امتیاز شاخص‌ها				۱۷۱/۲۵	۱/۰۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲: مواد معدنی مورد مطالعه [۱۳]

عناصر			کانی‌ها و سنگ‌ها			
فلزی	بنیادی	گرانبها	حرارتی	دیرگدازها و کمک‌ذوب‌ها	مصارف شیمیایی و کودها	پرکننده‌ها و سرامیک
آهن	مس	طلا	ذغال	فلورین	پتاس	تالک
منگنز	سرب			کرومیت	فسفات	باریت
قلع	روی			منیزیت	سولفات سدیم	کائولن
	تیتان			گل سفید	گوگرد	پرلیت
	آنتیموان			بوکسیت	نمک	فلدسپات
	تنگستن			سیلمانیت	بر	آزبست
				دولومیت		سیلیس
						دیاتومیت
						سلستین

جدول ۳: امتیاز مواد معدنی مورد مطالعه بازای دو معیار کیفی سهولت فرآوری و وجود دانش فنی

ردیف	ماده معدنی	سهولت فرآوری		وجود دانش فنی و تکنولوژی		ردیف	ماده معدنی	سهولت فرآوری		وجود دانش فنی و تکنولوژی	
		تعداد پاسخ‌ها	متوسط امتیازات	تعداد پاسخ‌ها	متوسط امتیازات			تعداد پاسخ‌ها	متوسط امتیازات	تعداد پاسخ‌ها	متوسط امتیازات
۱	ذغال	۶	۵/۶	۵	۵/۱	۱۸	بر	۶	۴/۲	۵	۴/۲
۲	آهن	۶	۶/۳	۵	۵/۱	۱۹	فسفات	۶	۴/۰	۵	۴/۴
۳	سرب	۶	۶/۴	۵	۵/۲	۲۰	نمک	۶	۴/۷	۵	۳/۸
۴	روی	۶	۶/۷	۵	۵/۲	۲۱	سیلیس	۶	۴/۵	۵	۳/۴
۵	طلا	۶	۳/۸	۵	۴/۰	۲۲	دیاتومیت	۶	۳/۹	۵	۳/۴
۶	مس	۶	۷/۰	۵	۵/۴	۲۳	پرلیت	۶	۵/۱	۵	۳/۸
۷	کرومیت	۷	۵/۲	۶	۴/۵	۲۴	فلدسپات	۶	۴/۰	۵	۴/۷
۸	منگنز	۶	۵/۲	۵	۴/۶	۲۵	تالک	۵	۴/۹	۴	۳/۹
۹	بوکسیت	۷	۴/۶	۵	۴/۲	۲۶	آزبست	۵	۴/۵	۴	۳/۳
۱۰	آنتیموان	۵	۲/۲	۴	۲/۷	۲۷	تیتان	۶	۲/۷	۵	۳/۰
۱۱	کائولن	۷	۵/۳	۶	۴/۵	۲۸	قلع	۴	۳/۵	۳	۲/۳
۱۲	دولومیت	۷	۴/۵	۶	۴/۵	۲۹	گوگرد	۴	۳/۳	۳	۲/۹
۱۳	منیزیت	۶	۵/۵	۵	۴/۹	۳۰	تنگستن	۵	۲/۹	۴	۳/۱
۱۴	گل	۵	۵/۳	۵	۴/۹	۳۱	سلستین	۵	۳/۶	۴	۳/۶
۱۵	سولفات	۴	۳/۸	۳	۳/۳	۳۲	پتاس	۶	۳/۵	۵	۳/۴
۱۶	باریت	۵	۶/۶	۴	۴/۹	۳۳	سیلمانیت	۴	۲/۶	۳	۳/۳
۱۷	فلورین	۵	۴/۵	۴	۳/۶						

۳-۴- نتایج رتبه‌بندی مواد معدنی

در این مرحله با توجه به ماتریس تصمیم بی‌مقیاس و ماتریس وزن معیارها، ماتریس تصمیم وزن‌دار، حل ایده ال و ضد ایده‌آل محاسبه شد و برای هر یک از ۳۰ ماده معدنی فاصله از حل ایده‌ال، فاصله از ضد ایده‌آل و شاخص شباهت با استفاده از روابط ۷ و ۸ در دو حالت مختلف شامل وزن‌دهی بر مبنای نظرسنجی‌ها و وزن‌دهی یکسان به‌ازای ۲۹ معیار یا شاخص ارزیابی محاسبه گردید. جدول شماره ۵ نشانگر مقادیر فاصله از حل ایده‌ال (S_j^*)، فاصله از ضد ایده‌آل (S_j^-)، شاخص شباهت (C_j^*) و رتبه هر یک از مواد معدنی مورد مطالعه بر اساس روش شباهت به گزینه ایده‌آل در دوحالت فوق‌الذکر می‌باشد. در شکل شماره ۱ مقایسه مقادیر شاخص شباهت در هریک حالات فوق‌الذکر صورت گرفته است. در جدول شماره ۶ نیز، ده ماده معدنی اولویت‌دار نشان داده شده است. همانطور

Archive of SID
www.SID.ir

که از این جداول مشاهده می‌گردد مواد معدنی مس، زغال، آهن، طلا، کرومیت و سرب و روی دارای بالاترین اولویت جهت سرمایه‌گذاری‌های آتی کشور می‌باشند. بر اساس نتایج جدول مذکور، تاثیر نظرسنجی و وزن دهی بر رتبه مواد معدنی مشخص است که این تاثیر در مورد رتبه‌های بالا بدلیل اختلاف زیاد امتیازات نهایی مواد معدنی کمتر می‌باشد لیکن در مورد رتبه‌های متوسط بدلیل نزدیکی مقادیر امتیاز نهایی به همدیگر بیشتر است. در مورد رتبه های آخر نیز بدلیل کمبود اطلاعات ثبت شده مواد، وزن‌های حاصل از نظرسنجی تاثیرات کمتری داشته است. لازم بذکر است که به‌دلیل لحاظ نکردن امتیازات این مواد به‌ازای برخی از معیارهای ارزیابی، رتبه‌های آخر جدول امکان تغییر و جابجایی دارد. در خصوص صحت‌سنجی نتایج تحقیق نیز، نظرسنجی‌های شفاهی انجام شده در خصوص اهمیت مواد معدنی نشانگر تطابق مناسب نتایج تحقیق در حالت اول (انجام نظرسنجی) به ویژه در خصوص ۱۰ ماده معدنی دارای رتبه‌های اول با نتایج این نظرسنجی‌ها دارد.

جدول ۴: امتیاز مواد معدنی مورد مطالعه بازای چهار معیار کمی

ردیف	ماده معدنی	بازگشت سرمایه (بدون بعد)	سرمایه‌گذاری اکتشافی (بدون بعد)	بهره‌وری نیروی کار (میلیون ریال بر نفر)	پشتیبانی از صنایع کلیدی (بدون‌بعد)	ردیف	ماده معدنی	بازگشت سرمایه (بدون بعد)	سرمایه‌گذاری اکتشافی (بدون بعد)	بهره‌وری نیروی کار (میلیون ریال بر نفر)	پشتیبانی از صنایع کلیدی (بدون‌بعد)
۱	زغال	۰/۳۱	۰/۰۹	۱۷/۸	۸	۱۶	بر	۰/۹۰	–	۲۲/۸۰	۳
۲	آهن	۰/۲۸	۰/۱۷	۹۴/۱	۱۰	۱۷	فسفات	۰/۱۶	۰/۰۳	۲۶/۰۰	۶
۳	سرب و روی	۰/۹۳	۰/۱۹	۴۲/۶	۱۲	۱۸	نمک	۰/۵۴	۰/۰۸	۱۵/۵۰	۶
۴	طلا (سنگ‌معدن)	۰/۱۸	۰/۰۵	۴۶/۳	۷	۱۹	سیلیس و دیاتومیت	۰/۳۸	۰/۰۱	۲۶/۱۰	۱۱
۵	مس (سنگ معدن)	۵/۳۷	۰/۰۳	۹۳/۳	۷	۲۰	پرلیت‌و پومیس	۰/۳۷	۰/۰۱	۲۴/۶۰	۸
۶	کرومیت	۱/۵۵	۰/۱۴	۱۶/۹	۱۰	۲۱	فلدسپات	۰/۶۸	۰/۰۵	۱۰/۶۰	۲
۷	منگنز	۰/۴۱	۰/۲۳	۲۵/۳	۸	۲۲	تالک	۰/۴۲	–	–	۵
۸	بوکسیت	۰/۱۰	۰/۳۲	۸/۷۰	۶	۲۳	آزبست	۰/۱۵	–	–	۸
۹	آنتیموان	۰/۱۰	–	۲۴/۴۰	۶	۲۴	تیتان	–	–	–	۶
۱۰	کائولن	۰/۲۶	۰/۰۶	۳۴/۵۰	۵	۲۵	قلع	–	–	–	۳
۱۱	دولومیت	۰/۲۴	۰/۰۱	۱۲/۱۰	۱۳	۲۶	گوگرد	–	–	–	۱۱
۱۲	منیزیت و گل‌سفید	۰/۹۳	۰/۰۵	۱۵/۷۰	۱۴	۲۷	تنگستن	–	–	–	۶
۱۳	سولفات‌سدیم	۱/۰۴	۰/۰۱	۱۶/۰۰	۳	۲۸	سلستین	–	–	–	۱
۱۴	باریت	۰/۱۴	۰/۰۴	۵۹/۱۰	۶	۲۹	پتاس	–	–	–	۲
۱۵	فلورین	۰/۴۶	۰/۰۳	۴۰/۰۰	۲	۳۰	سیلمانیت	–	–	–	۱۲

Archive of SID

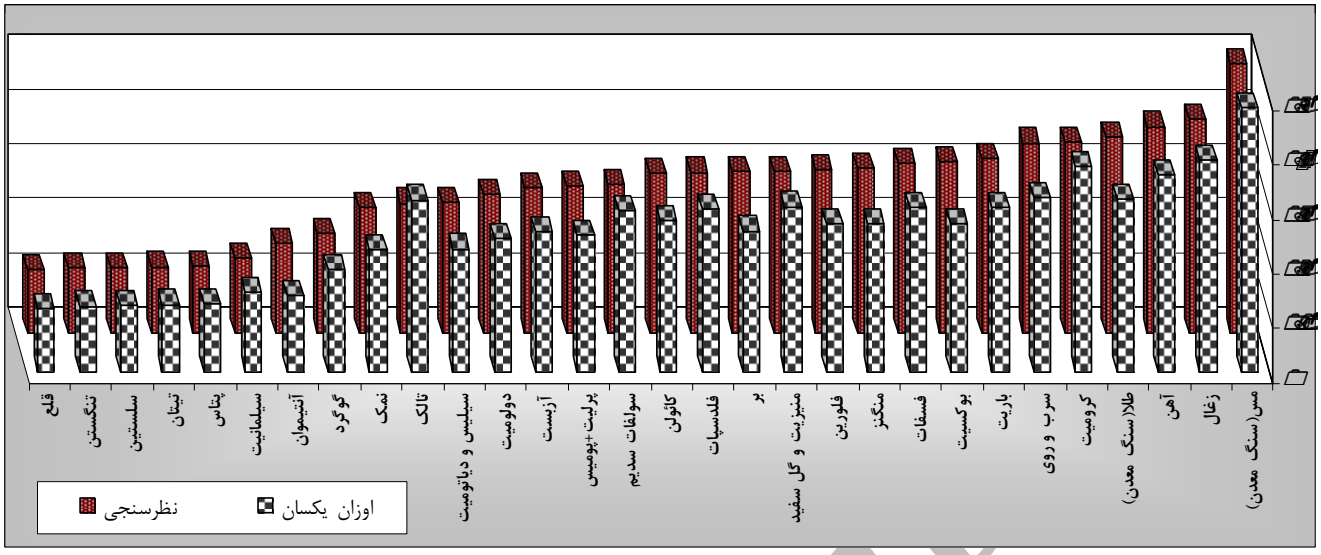
www.SID.ir

جدول ۵ : مقادیر امتیاز هریک از مواد معدنی مورد مطالعه در دو حالت وزن‌دهی بر اساس نظرسنجی و وزن‌های یکسان معیارها

	امتیاز مواد بر مبنای نظرسنجی				امتیاز مواد بر مبنای وزن‌های یکسان معیارها			
	S_j^*	S_j^-	C_j^*	رتبه نهایی	S_j^*	S_j^-	C_j^*	رتبه نهایی
زغال	۰/۰۷۸	۰/۰۵۱	۰/۳۹۴	۲	۰/۰۸۱	۰/۰۵۲	۰/۳۸۹	۲
آهن	۰/۰۷۸	۰/۰۴۷	۰/۳۸۰	۳	۰/۰۸۲	۰/۰۴۷	۰/۳۶۲	۴
سرب و روی	۰/۰۷۹	۰/۰۴۳	۰/۳۵۰	۶	۰/۰۸۳	۰/۰۳۹	۰/۳۲۰	۵
طلا (سنگ معدن)	۰/۰۸۱	۰/۰۴۶	۰/۳۶۱	۴	۰/۰۸۶	۰/۰۴۰	۰/۳۱۶	۶
مس (سنگ معدن)	۰/۰۶۷	۰/۰۶۶	۰/۴۹۶	۱	۰/۰۷۰	۰/۰۶۶	۰/۴۸۵	۱
کرومیت	۰/۰۷۸	۰/۰۴۳	۰/۳۵۲	۵	۰/۰۷۸	۰/۰۴۷	۰/۳۷۷	۳
منگنز	۰/۰۸۴	۰/۰۳۷	۰/۳۰۳	۱۰	۰/۰۸۸	۰/۰۳۳	۰/۲۷۱	۱۴
بوکسیت	۰/۰۸۵	۰/۰۳۹	۰/۳۱۶	۸	۰/۰۸۹	۰/۰۳۳	۰/۲۷۱	۱۵
آنتیموان	۰/۰۹۶	۰/۰۱۹	۰/۱۶۵	۲۴	۰/۱۰۰	۰/۰۱۶	۰/۱۴۰	۲۵
کائولن	۰/۰۸۲	۰/۰۳۴	۰/۲۹۴	۱۵	۰/۰۸۵	۰/۰۳۳	۰/۲۷۷	۱۳
دولومیت	۰/۰۸۶	۰/۰۳۰	۰/۲۵۶	۱۹	۰/۰۹۰	۰/۰۲۹	۰/۲۴۵	۲۰
منیزیت و گل‌سفید	۰/۰۸۱	۰/۰۳۴	۰/۲۹۸	۱۲	۰/۰۸۳	۰/۰۳۶	۰/۳۰۳	۸
سولفات سدیم	۰/۰۸۸	۰/۰۳۳	۰/۲۷۴	۱۶	۰/۰۸۹	۰/۰۳۷	۰/۲۹۵	۱۲
باریت	۰/۰۸۳	۰/۰۴۰	۰/۳۲۲	۷	۰/۰۸۷	۰/۰۳۸	۰/۳۰۱	۱۰
فلورین	۰/۰۸۴	۰/۰۳۶	۰/۳۰۱	۱۱	۰/۰۸۹	۰/۰۳۳	۰/۲۷۱	۱۶
بر	۰/۰۸۷	۰/۰۳۷	۰/۲۹۷	۱۳	۰/۰۹۲	۰/۰۳۲	۰/۲۵۸	۱۷
فسفات	۰/۰۸۷	۰/۰۳۹	۰/۳۱۲	۹	۰/۰۹۰	۰/۰۳۹	۰/۳۰۲	۹
نمک	۰/۰۸۷	۰/۰۲۶	۰/۲۳۱	۲۲	۰/۰۸۹	۰/۰۲۶	۰/۲۲۳	۲۲
سیلیس و دیاتومیت	۰/۰۸۷	۰/۰۲۷	۰/۲۴۰	۲۰	۰/۰۹۰	۰/۰۲۶	۰/۲۲۵	۲۱
پرلیت و پومیس	۰/۰۸۴	۰/۰۳۱	۰/۲۷۱	۱۷	۰/۰۸۷	۰/۰۲۹	۰/۲۵۱	۱۹
فلدسپات	۰/۰۸۱	۰/۰۳۴	۰/۲۹۶	۱۴	۰/۰۸۲	۰/۰۳۵	۰/۲۹۸	۱۱
تالک	۰/۰۸۶	۰/۰۲۷	۰/۲۳۹	۲۱	۰/۰۸۸	۰/۰۴۰	۰/۳۱۵	۷
آزبست	۰/۰۹۱	۰/۰۳۳	۰/۲۶۷	۱۸	۰/۰۹۳	۰/۰۳۲	۰/۲۵۶	۱۸
تیتان	۰/۱۰۰	۰/۰۱۴	۰/۱۲۲	۲۷	۰/۱۰۲	۰/۰۱۴	۰/۱۲۳	۲۷
قلع	۰/۱۰۰	۰/۰۱۳	۰/۱۱۸	۳۰	۰/۱۰۲	۰/۰۱۳	۰/۱۱۶	۳۰
گوگرد	۰/۰۹۵	۰/۰۲۱	۰/۱۸۳	۲۳	۰/۰۹۶	۰/۰۲۲	۰/۱۸۸	۲۳
تنگستن	۰/۱۰۰	۰/۰۱۴	۰/۱۲۰	۲۹	۰/۱۰۲	۰/۰۱۴	۰/۱۲۰	۲۹
سلستین	۰/۰۹۹	۰/۰۱۴	۰/۱۲۰	۲۸	۰/۱۰۱	۰/۰۱۴	۰/۱۲۱	۲۸
پتاس	۰/۱۰۰	۰/۰۱۴	۰/۱۲۴	۲۶	۰/۱۰۲	۰/۰۱۵	۰/۱۲۵	۲۶
سیلمانیت	۰/۱۰۰	۰/۰۱۶	۰/۱۳۹	۲۵	۰/۱۰۲	۰/۰۱۷	۰/۱۴۵	۲۴

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱: نمودار مقایسه‌ای مقادیر شاخص شباهت هریک از مواد معدنی در دو حالت مختلف

جدول ۶: ده رتبه اول مواد معدنی مورد مطالعه در دو حالت مختلف

رتبه نهایی	بر مبنای نظرسنجی	بر مبنای وزن‌های یکسان معیارها
۱	مس	مس
۲	ذغال	ذغال
۳	آهن	کرومیت
۴	طلا	آهن
۵	کرومیت	سرب و روی
۶	سرب و روی	طلا
۷	باریت	تالک
۸	بوکسیت	منیزیت و گل سفید
۹	فسفات	فسفات
۱۰	منگنز	باریت

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج بکارگیری روش شباهت به گزینه ایده‌آل با لحاظ‌کردن ۲۹ شاخص ارزیابی در حوزه‌های اقتصادی، اشتغال، فنی و محیط زیست نشانگر آن است که مواد معدنی مس، زغال و سنگ آهن رتبه‌های اول تا سوم را در بین مواد معدنی مورد مطالعه اخذ نموده‌اند. با عنایت به این که ترکیب متعادلی از اساتید دانشگاهی، مدیران بخش‌های خصوصی و دولتی و کارشناسان باتجربه بخش معدن و صنایع معدنی جهت مصاحبه و تکمیل فرم‌ها انتخاب گردیده بود، لیکن بالاترین اهمیت به شاخص‌های مربوط با اقتصاد تولیدات معدنی و کمترین میزان اهمیت به معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی اختصاص یافته است که نشانگر توجه بیشتر صاحبنظران بخش معدن به پارامترهای مرتبط با سودآوری تولید موادمعدنی و اقتصادی بودن تولید می‌باشد.

پیشنهاد می‌گردد جهت بررسی دقیق‌تر موضوع، روش‌های دیگری از قبیل تاکسونومی و یا فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[5] نیز بکار گرفته شوند. همچنین با عنایت به وجود پاره‌ای مشکلات از جمله مشکلات تامین بودجه و محدویت زمانی، امکان نظرسنجی از صاحب‌نظران بیشتری میسر نگردید. لذا پیشنهاد می‌گردد تا تعداد افراد بیشتری مورد مصاحبه و نظرسنجی قرار گیرند.

۵- منابع

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

[2] Hwang, C.L, Yoon.K; 1981; "*Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*", Springer-Verlag, Berlin.

[3] Ma, R. G, Yang, S.L , Li, T.Q ; 2004; "*Evaluation and decision making method of preference matter element based on TOPSIS*"; Journal of Traffic and Transportation Engineering, 4, pp. 76–78.

[4] Deng, H, Yeh.C.H, Willis, R.J; 2000; "*Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights*", Computers and Operations Research 27, pp. 963–973.

Archive of SID
www.SID.ir

[5] Abo-Sinna, M.A, Amer.A.H; 2005; "*Extensionsof TOPSIS for Multiobjective large-scale nonlinear programming problems*"; Applied Mathematics and Computation, 162, pp. 243–256.

[6] K.Chen, R. Blonga , C.Jacobson; 2001;"*MCE-RISK:Integrating multicriteria valuation and GIS for risk decision-making in natural hazards*"; Environmental Modeling & Software,Volume 16, Issue 4, Pages 387-397.

[۷] عطائی، محمد؛ (۱۳۸۴) ؛**"استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل برای تعیین روش استخراج مناسب"** ، مجموعه مقالات بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین شناسی، سازمان زمین شناسی کشور

[۸] عطائی، محمد؛ (۱۳۸۴) ؛**"انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا - سیمان با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل"** ، فصلنامه علمی و پژوهشی امیرکبیر، شماره ۱۶، ص ۷۷ تا ۸۴

[9] Aghajani A, Osanloo M; (2007); "*Application of AHP-TOPSIS Method for Loading-Haulage Equipment Selection in Open pit Mines*"; XXVII International Mining Convention, Veracruz, Mexico.

[۱۰] منجزی، مسعود؛ دهقان جان‌آبادی، حسام؛ (۱۳۸۵) ؛**"محاسبه الگوی آتشباری مناسب به منظور کاهش پرتاب سنگ توسط روش تصمیم گیری چند متغیره TOPSIS"**؛ مجموعه مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین شناسی، سازمان زمین شناسی کشور.

[11] Chen, S.J, Hwang, C.L.; 1992; "*Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*", Springer-Verlag, Berlin.

[۱۲] دانشگاه صنایع و معادن ایران؛ (۱۳۸۱) ؛ **تعیین معیارهای مطلوبیت ۹ ماده معدنی** ، معاونت برنامه‌ریزی توسعه و فناوری، وزارت صنایع و معادن.

[۱۳] بصیری، محمدحسین؛ (۱۳۸۳) ؛ **گزارشات مطالعات تفضیلی ۳۳ ماده معدنی** ، طرح جامع معادن ایران، وزارت صنایع و معادن.

زیرنویس‌ها

[1]- Multiple attributes decision-making
[2] - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
[3] - Hwang and Yoon
[4] - Geographical Information System (GIS)
5- Analytical Hierercy Process (AHP)

Archive of SID
www.SID.ir