ارایه یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری به‌منظور مکان‌یابی کارخانه فرآوری کرومیت در استان سیستان و بلوچستان

خداکرم غریبی*[1]، آرش طهری[2]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

(دریافت: خرداد ۱۳۹۴، پذیرش: خرداد ۱۳۹۵)

چکیده

یکی از اساسی‌ترین پایه‌های اقتصاد هر کشور را منابع معدنی آن تشکیل می‌دهند که با توجه به فراوانی ذخایر کرومیت در استان سیستان و بلوچستان، ایجاد یک واحد فرآوری در این استان ضروری به نظر می رسد. این پژوهش، باهدف مکان‌یابی کارخانه فرآوری کرومیت در استان سیستان و بلوچستان انجام شد. روش تحقیق از حیث هدف، کاربردی و از حیث شیوه جمع‌آوری اطلاعات پیمایشی است. جهت دستیابی به هدف مذکور، با استفاده از تکنیک های *AHP* گروهی و *SAW* و با کمک گرفتن از ۱۵ نفر از خبرگان دانشگاهی و صنعتی آگاه به علم معدن و همچنین جمع‌آوری اطلاعات از ادارات دولتی مورد نیاز، معیارهای مؤثر در مکان یابی مورد بررسی قرار گرفتند. پس از تعیین گزینه های مناسب، برای انتخاب بهترین گزینه، ۸ معیار مورد بررسی قرار گرفت. تکنیک های *AHP* گروهی و *SAW*، زاهدان را به عنوان گزینه برتر شناسایی کردند. همچنین از روش ترکیبی *Borda* برای قضاوت بهتر و تلفیق روش های مذکور استفاده شد که در نهایت بهترین مکان برای احداث کارخانه فرآوری، شهرستان زاهدان معرفی شد.

کلید واژه ها

مکان‌یابی، *AHP* گروهی، *SAW*، *Borda*

ارجاع به این مقاله:

غریبی، خ.، طهری، الف.، (۱۳۹۵)، ارایه یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری به‌منظور مکان‌یابی کارخانه فرآوری کرومیت در استان سیستان و بلوچستان، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۶(۱۱)، ۵۳-۶۳.

* عهده دار مکاتبات: *khgharibi@yazd.ac.ir*

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

بخش معدن از جمله بخش های زیر بنایی اقتصاد کشور است که به‌عنوان موتور محرکه و جزء اصلی زنجیره تأمین بسیاری از صنایع و بخش‌های اقتصادی کشور محسوب می‌شود. بر اساس مطالعات بانک جهانی به ازای هر یک دلار هزینه، در بخش های مختلف معدنکاری، از استخراج تا فرآوری، ۲/۸ دلار در اقتصاد تولید می‌شود[۱]. بر اساس مطالعات انجام‌شده، یکی از موضوعات مهم که در بحث صادرات غیرنفتی مؤثر است، بخش معادن کشور است که تاکنون آن‌طور که باید؛ به خصوص در بخش فرآوری از آنها بهره‌برداری نشده است. ظرفیت‌های بسیاری در زمینه معادن در استان سیستان و بلوچستان وجود دارد و انواع مختلفی از مواد معدنی در این استان وجود دارد، که کرومیت یکی از مهم ترین مواد معدنی موجود است. بر اساس آخرین گزارشی که سازمان توسعه تجارت از وضعیت تجارت کرومیت ایران منتشر کرده است، ایران با تولید بیش از ۹۷ هزار تن کرومیت در سال، نهمین تولیدکننده این ماده معدنی در دنیا به شمار می رود. ذخایر معادن و اندیس‌های کرومیت ایران بیش از ۱۷ میلیون تن بوده و ۴۲ معدن کرومیت در کشور شناخته شده است[۲،۳]. بر اساس آمار، سهم قابل‌توجهی از این معادن به استان سیستان و بلوچستان تعلق دارد[۴]. از این رو با توجه به فراوانی ذخایر در استان سیستان و بلوچستان و همچنین جلوگیری از خام فروشی و ایجاد ارزش افزوده مطلوب در این راستا، ایجاد یک واحد فرآوری در استان ضروری به نظر می‌رسد. امروزه روش‌های بهینه‌سازی، از پرکاربردترین روش های مدیریت تخصیص منابع است که در این عرصه، رفته‌رفته علم مکان‌یابی جایگاه خود را مستحکم‌تر می‌کند. به‌طور کلی هنگامی‌که هدف، احداث کارخانه در یک منطقه با استفاده بهینه از حداقل امکانات باشد، از علم مکان یابی[۱] استفاده می‌شود[۵]. مسئله مکان یابی کارخانه، در سطوح استراتژیک تصمیم گیری است. مکان مناسب نقش مهمی در اقتصاد فرایند تولید محصول موردنظر دارد و باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر دسترسی به مواد اولیه تولید، توانایی پاسخگویی به همه معیارهای تأثیرگذار تولید را دارا باشد. در این تحقیق به‌منظور تعیین مناسب‌ترین مکان برای احداث کارخانه از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است. معیارهای تصمیم گیری بر اساس نیازمندی های کارخانه موردنظر، نظرات خبرگان و مدیران و ملاحظات مسائل مکان‌یابی تعریف شدند. همچنین گزینه‌های موردنظر برای احداث کارخانه با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی مشخص شدند. پس از شناسایی گزینه ها و معیارهای مؤثر در مکان یابی کارخانه فرآوری، به‌منظور رتبه‌بندی معیارها و انتخاب بهترین گزینه از تکنیک‌های *AHP*[۲] گروهی در محیط نرم‌افزار *Expert Choice 11* و *SAW*[۳] استفاده شد.

۲-ضرورت تحقیق

تقاضای جهانی برای کرومیت با توجه به مصرف بالای آن در صنایع فولاد (فرو کروم)، رنگ سازی، عایق و دیگر مصارف، همواره روند صعودی دارد؛ ولی عوامل زیادی بر این تقاضا اثر دارند. تولید کرومیت در کشورهای تولیدکننده آن با توجه به ویژگی های زمین شناسی ذخایر، دارای افت و خیزهای زیادی است، از این‌رو قیمت کرومیت در سال‌های اخیر نوسانات زیادی داشته است. در سال های ۱۹۷۷ تا ۱۹۵۵ و ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ با بهبود قیمت جهانی کرومیت از یک سو و برنامه ریزی صحیح در امر استخراج، تولید کرومیت در ایران رونق یافت. در این بازه زمانی سهم عظیمی از ذخایر کرومیت سیستان و بلوچستان استخراج و به‌صورت خام فروخته شد. از اواخر سال ۲۰۰۸ به علت کاهش قیمت کرومیت و نوسانات زیاد، بازار شکوفایی خود را تا حدودی از دست داد، ولی در حال حاضر روند مناسبی دارد. سهم جهانی کرومیت ایران از نظر ذخیره و تولید به ترتیب ۴/۵ و ۰/۸۳ درصد است که همین میزان تولید هم اکثراً به صورت ماده خام و عرضه مستقیم به کشورهای خارجی ازجمله چین است[۲]. با توجه به میزان تولید کم کرومیت در ایران، چشم‌انداز استخراج و فرآوری کرومیت باید رو به افزایش باشد تا علاوه بر باقی ماندن در سکوی رقابت، از خام فروشی جلوگیری شود و در نتیجه ارزش افزوده مطلوب در این راستا حاصل شود. برای رسیدن به این مهم، ایجاد یک واحد فرآوری کرومیت در استان سیستان و بلوچستان با توجه به سهم بالای ذخایر آن در استان، ضروری به نظر می رسد. تعیین مکان کارخانه، یکی از کلیدی‌ترین گام‌های تأسیس کارخانه است، چراکه نتایج این تصمیم در دراز مدت ظاهر می شود و اثرات به سزایی از

Archive of SID
www.SID.ir

بُعد اقتصادی، محیط‌زیست، مسائل اجتماعی و غیره دارد[۶]. یکی از جنبه‌های تأثیر درون‌سازمانی، تأثیر مستقیم آن در سوددهی کارخانه خواهد بود و از بُعد برون سازمانی، ساخت کارخانه های بزرگ در یک منطقه می تواند شرایط مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، محیط زیست و غیره را تحت تأثیر خود قرار دهد. تعیین محل کارخانه از نظر اقتصادی نقش مهمی در میزان سرمایه‌گذاری اولیه به هنگام تأسیس کارخانه دارد. همچنین هنگام بهره‌برداری طرح، این تصمیم‌گیری تأثیر کلیدی در قیمت تمام شده محصول دارد. احداث یک یا چند واحد صنعتی در مکان های بهینه و در بهترین وضعیت ممکن، نه تنها گردش مواد خام و خدمات به مشتریان را بهبود می بخشد، بلکه کارخانه را در یک وضعیت مطلوب قرار می‌دهد.

۳-مروری بر ادبیات تحقیق

۳-۱- مکان‌یابی

مکان یابی ازجمله تحلیل‌های مکانی است که تأثیر فراوانی در کاهش هزینه‌های ایجاد و راه‌اندازی فعالیت‌های مختلف دارد[۷]. در زمینه مکان‌یابی کارخانه، پژوهش های مختلف و گسترده‌ای انجام شده است. سیدیکویی و همکارانش در سال ۱۹۹۶ اولین کسانی بودند که *GIS* و *AHP* را برای مکان‌یابی ترکیب کردند. آنها محتوای *AHP* فضایی را با استفاده از معیارهای منتخب روی نقشه‌های *GIS* برای یافتن محل مناسب دفن زباله به کار بردند. پس از آنان جون در سال ۲۰۰۰، الدراندالی و همکارانش در سال ۲۰۰۳، کن توسن و همکارانش در سال ۲۰۰۵، سنر و همکارانش در سال ۲۰۰۶، روشنی و حیدری در سال ۲۰۰۷ و نیز گوئیگین و همکارانش در سال ۲۰۰۹، از تلفیق *GIS* و *AHP* برای مکان یابی استفاده کردند[۸]. در زمینه صنایع معدنی، پژوهش مبنی بر مکان‌یابی کارخانه فرآوری به‌ندرت انجام شده است و معدود مطالعاتی هم درزمینه مکان‌یابی سدهای باطله در معادن صورت گرفته است که به آنها اشاره خواهد شد. از جمله مهم‌ترین مطالعات درزمینه مکان‌یابی کارخانه فرآوری، انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا – سیمان در استان آذربایجان شرقی با روش ویکور توسط عطایی و همکارانش در سال ۱۳۸۶ است که در این مطالعه ۵ مکان احتمالی مورد ارزیابی قرارگرفته است[۹]. انتخاب روش‌های معدنکاری بهینه با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره ازجمله مطالعاتی است که در زمینه معدن توسط عطایی انجام گرفته است[۱۰]. از همین نویسنده می‌توان پژوهش انجام شده برای انتخاب روش استخراج مناسب برای آنومالی شماره ۳ معدن سنگ‌آهن گل گهر سیرجان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره را نام برد[۱۱]. مکان‌یابی سد باطله کارخانه فرآوری مجتمع سنگ‌آهن گل گهر با استفاده از *TOPSIS*[۴] فازی توسط طاهری مقدر و همکاران در سال ۱۳۸۶ انجام گرفت که شاخص های درجه اثربخشی، فاصله و اختلاف ارتفاع نسبت به کارخانه فرآوری، وجود شکستگی و گسل، عمق آب زیرزمینی، تأثیرات لرزه ای ناشی از مجاورت با معدن روباز، واقع شدن در مسیرهای ارتباطی و مجاورت با معادن دیگر به‌عنوان ملاک‌های ارزیابی در نظر گرفته شد و در نهایت برای وزن دهی از روش *AHP* استفاده شد[۱۲]. انتخاب مکان سد باطله معدن سنگ آهن سنگان با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری *SAW* و *TOPSIS* توسط سماواتی و همکاران در سال ۱۳۹۰ انجام گرفت. در این نوشتار بررسی ۴ مکان پیشنهادی جهت انباشت باطله‌های کارخانه فرآوری با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند شاخصه *SAW* و *TOPSIS* صورت پذیرفته است[۱۳].

۳-۲- تکنیک *AHP* گروهی

یکی از ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری گروهی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی گروهی است که توانایی افزایش تأثیر متقابل و مشارکت افراد در تصمیم‌گیری را دارد[۱۴]. روش *AHP* توسط ساعتی در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شد. اساس این روش، مشابه آنچه در مغز انسان انجام می‌شود، به تجزیه و تحلیل مسائل می‌پردازد[۱۵]. علاوه بر آن، استفاده از مقایسات زوجی در *AHP* یکی از مزایای این روش به شمار می‌رود، چرا که تصمیم‌گیرنده را مجبور می‌کند تا در مورد وزن‌های عوامل بیشتر فکر کند و موقعیت را به صورت عمیق‌تری تجزیه و تحلیل کند. مزیت دیگر *AHP* در توانایی‌اش برای اندازه‌گیری موضوعات کمی و کیفی است، به‌طوری‌که ترجیحات ذهنی، دانش خبره و اطلاعات عینی

Archive of SID
www.SID.ir

همگـی در *AHP* موجـود اسـت[۱۶]. ایـن روش یکـی از روش‌های مطمئن در محاسبه اوزان شـاخص‌هـا اسـت زیـرا اساس کـار آن نظـرات تصـمیم‌گیرنـده اسـت نـه مـاتریس تصمیم‌گیری[۱۷]. از مزایـای ممتـاز *AHP* ایـن اسـت کـه می‌توان میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیمات اتخاذ شـده توسط تصمیم‌گیرندگان را در آن محاسبه کرد. به‌علاوه ایـن روش از یک تئوری قوی برخوردار است و بـر اسـاس اصـول بدیهی ساخته شـده اسـت[۱۸]. روش *AHP* بـر سـه اصـل پایه‌ریزی شده است: ساختار مدل، قضاوت‌هـای مقایسـه‌ای گزینه‌ها و معیارها و تعیین ارجحیت‌ها. در اولین گـام، یـک مسئله، تصمیم‌گیری پیچیده به شکل سلسله‌مراتبی ساخته می‌شود. روش *AHP* در ابتدا مسئله پیچیده تصـمیم‌گیـری را به سلسله‌مراتب‌های مرتبط با اجزای تصـمیم (معیارهـا و گزینه‌های تصمیم‌گیـری) مـی‌شـکند. ایـن سلسـله مراتـب حداقل دارای سه سطح است؛ سطح اول: هدف کلی مسئله؛ سطح دوم: معیارهای چندگانـه و سـطح سـوم: گزینـه‌هـای تصمیم[۱۹]. مرحله دوم مقایسه گزینه‌ها و معیارهـا اسـت. پس از اینکه مسئله تجزیه شـد و سـاختار سلسـله مراتبـی شکل گرفت، روند ارجحیت با توجه به تعیین اهمیت نسبی معیارها در هر سطح شروع می‌شود. قضـاوت‌هـای زوجـی از دومین سطح شروع مـی‌شـود و در پـایین‌تـرین سـطح کـه گزینه‌ها قرار دارند تمام می‌شـود [۱۹]. بـا ایـن فـرض کـه $C=\{C_j \mid j=1,2,\ldots,n\}$ مجموعـــه معیارهـــا باشـــد. همان‌طور که در رابطـه (۱) نشـان داده‌شـده اسـت، نتیجـه مقایسه زوجی روی n معیار در یک ماتریس $n\times n$ خلاصـه می‌شود که در آن هر درایه $aij(i,j=1,2,\ldots,n)$ نسبت وزن معیارهـا اسـت. در روش *AHP* گروهـی، مقایسـات زوجـی به‌جای یک تصمیم‌گیرنده، توسـط چنـدین تصـمیم‌گیرنـده انجـام مـی‌شـود و نظـرات تمـام تصـمیم‌گیرنـدگان لحـاظ می‌شود. در این موارد از تصمیم‌گیری گروهی می‌توان طبق رابطه (۲) از میانگین هندسی برای عناصر ماتریس اسـتفاده کرد.

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{n1} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (۱)$$

$$a_{ij}=1, a_{ji}=1/a_{ij}, a_{ij}\neq 0$$

$$\alpha_{ij}=\left(\prod_{I=1}^{k} a_{ij}I\right)^{\frac{1}{k}}, I=1,2,\ldots,k \quad (۲)$$

$$i,j=1,2,\ldots,n, i\neq j$$

که در آن K تعداد تصمیم‌گیرندگان است. در گام آخـر، فرایند ریاضی با نرمال کردن و یافتن وزن‌های نسـبی بـرای هر ماتریس شروع می‌شود. وزن‌هـای نسـبی بـا بـردار ویـژه تعریف می‌شوند (رابطه ۳).

$$A'\omega=\lambda_{\max}\omega \quad (۳)$$

اگر مقایسات زوجی کـاملاً سـازگار باشـند، مـاتریس A رتبه ۱ دارد و $\lambda_{\max}=1$. در این مورد وزن‌ها می‌تواننـد بـا نرمال کردن هر یک از سطرها یا ستون‌ها به دست آیند.

۳-۳- تکنیک *SAW*

یکی از ساده‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصـه تکنیک *SAW* است که با محاسبه وزن شاخص‌ها مـی‌تـوان به‌راحتی از این روش استفاده کرد. این روش برای اولین بـار توسط کریمون در سال ۱۹۶۸ بیان شد. اصول مباحث پایـه از چرچمن و آچوف در سال ۱۹۵۴ و کلـی در سـال ۱۹۷۱ گرفته شده است. برای استفاده از این روش طی مراحل زیر ضروری است[۱۵]:

گام اول: نرمـال کـردن مـاتریس تصـمیم‌گیـری بـه روش تبـدیل خطـی. نحـوه محاسـبه معیارهـای مثبـت و منفـی به‌صورت زیر است(رابطه‌های ۴ و ۵):

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij}\}} \quad (۴)$$

$$r_{ij}=\frac{\min\{x_{ij}\}}{x_{ij}} \quad (۵)$$

گام دوم: محاسبه امتیازها و مرتب کـردن آنهـا بـه‌صـورت نزولی و تعیین اولویت‌ها(رابطه ۶):

$$A^{*}=\left\{A_i \max\sum_{i=1}^{m} w_j r_{ij}\right\} \quad (۶)$$

در روش *SAW* مطلوبیت‌های محاسبه‌شـده از مـاتریس نرمال شـده بـاهم جمـع مـی‌شـوند. چـون همـه از جـنس مطلوبیت هستند، پس جمع کردن آنها مانعی ندارد.

۴- روش‌شناسی تحقیـق (جامعـه، نمونـه آمـاری و جمع‌آوری داده‌ها)

میـزان اعتبـار تصـمیم اتخـاذی در روش*AHP* از نظـر کیفی و کمی به پرسش‌نامه وابسته است. این پرسش‌نامه بـا کمـک متخصصـین، افـراد و سـازمان‌هـایی کـه در فراینـد تصمیم‌گیری دخالت داشتند، تنظـیم و تکمیـل شـد. طبـق

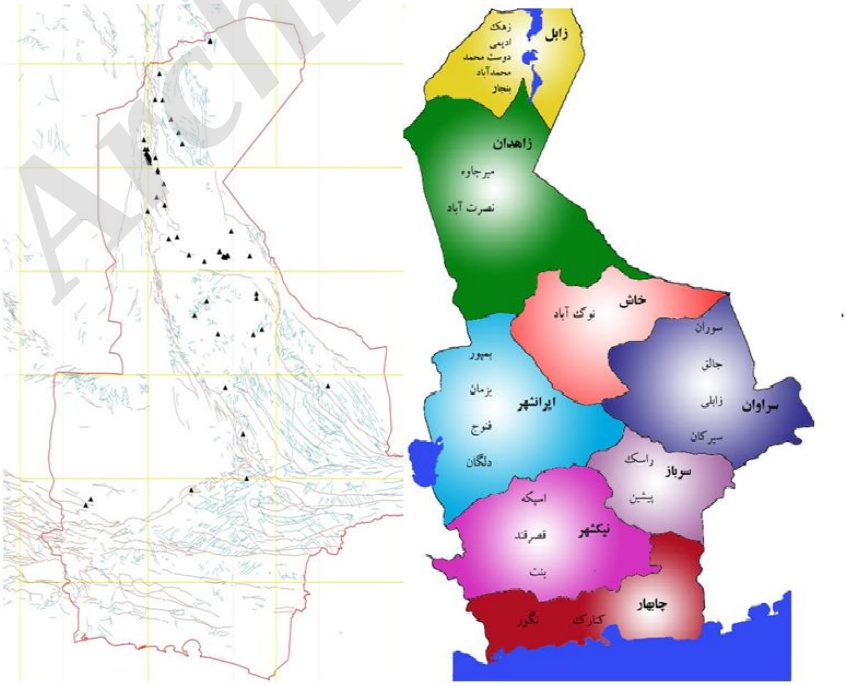
Archive of SID
www.SID.ir

این پرسش‌نامه و اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مورد اطمینان، جداول ماتریس‌های مقایسه زوجی تنظیم شدند. در این پژوهش به‌منظور تصمیم‌گیری به روش *AHP*، جهت جمع‌آوری اطلاعات لازم در خصوص انتخاب گزینه برتر، تعداد ۲۰ پرسش‌نامه بین خبرگان دانشگاهی و صنعتی درزمینه‌های مهندسی معدن و مدیریت، توزیع شده که در این بین تعداد ۱۵ پرسش‌نامه تکمیل و بازگردانده شد. این حجم نمونه در مقایسه با مطالعات اخیر در فرایند مکان‌یابی، به نظر مناسب و قابل‌قبول است. جهت تصمیم‌گیری با استفاده از تکنیک *SAW* نیاز به اطلاعات کاملی از ادارات دولتی دخیل در فرایند تصمیم‌گیری بود که به این منظور با مراجعه به این ادارات، اطلاعات لازم جمع‌آوری شد. در خلال جمع‌آوری اطلاعات به دلیل در اختیار نگذاشتن اطلاعات لازم توسط وزارت نیرو و اداره حمل‌ونقل، به‌اجبار باید معیار بسیار مهم مصرف انرژی کنار گذاشته می‌شد و معیار هزینه حمل‌ونقل را به‌صورت کیفی بیان می‌شد. جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات از سازمان صنعت، معدن و تجارت، اداره حفاظت محیط‌زیست و اداره هواشناسی به‌طور کامل انجام شد. برای انتخاب گزینه‌های مناسب در بین شهرستان‌های استان، نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ و پراکندگی ذخایر و اندیس‌های کرومیت از سازمان صنایع و معادن تهیه شد[۲۰]. معیارهایی که برای ارزیابی آنها، ارگان خاصی برای جمع‌آوری اطلاعات لازم وجود نداشت، بر اساس نظرات متخصصین سازمان صنعت، معدن و تجارت و افرادی که دارای تجربه معدنکاری بودند مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۵- بحث و نتایج

۵-۱- معیارها و گزینه‌های مکان‌یابی کارخانه فرآوری

در انتخاب بهترین مکان برای احداث کارخانه، گام اول تهیه فهرستی کامل از معیارهای مرتبط با گزینه‌ها است که قطعاً تعیین این معیارها، یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی مدل است. در انتخاب گزینه‌های موردنظر برای احداث کارخانه در استان، با در دست داشتن نقشه‌های زمین شناسی و همچنین نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ از تک‌تک شهرستان‌های استان، نقشه‌های پراکندگی ذخایر و اندیس‌های کرومیت تهیه شد. پس از بررسی‌های مهندسی و زمین‌شناسی، ذخایر و اندیس‌های کرومیت در محیط نرم‌افزار *Arc Gis9* به همراه تکتونیک موجود در منطقه در نقشه با مقیاس ۱:۳۵۰۰۰۰ رسم شد. با توجه به شکل ۱ که در آن موقعیت ذخایر مشخص‌شده است.



شکل۱: سمت چپ: نقشه‌ی رخنمون‌های کرومیت در سراسر استان و تکتونیک منطقه (مقیاس ۱:۳۵۰۰۰۰) سمت راست: نقشه استان سیستان و بلوچستان

Archive of SID
www.SID.ir

همچنین جدول ۱ که از آرشیو اطلاعات سازمان صنعت، معدن و تجارت استخراج شده است، گزینه‌های موردنظر در نقاطی انتخاب شدند که ذخایر کرومیت تمرکز بیشتری داشتند. بنابراین شهرستان‌های زاهدان، خاش، ایرانشهر و نیکشهر انتخاب شدند.

جدول۱: لیست معادن و ذخایر کرومیت استان سیستان و بلوچستان

معدن	موقعیت	میزان ذخیره(تن)	استخراج سالیانه
مکی	۱۴۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان	۳۰۰۰۰۰ قطعی	ــــــــــ
کاشی	۸۰ کیلومتری غرب زاهدان	۱۲۳۰۰ قطعی و ۲۵۰۰۰ احتمالی	۲۲۰۰ تن در سال
ذوالفقار	۲۸۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان	۸۴۶۰۰ قطعی و ۱۶۹۲۰۰ احتمالی	۳۰۰۰ تن در سال
مدامچ	۱۲۷ کیلومتری شرق زاهدان	۲۰۰۰۰ قطعی و ۴۰۰۰۰ احتمالی	۳۰۰۰ تن در سال
اهل بیت	زاهدان	۱۵۰۰۰ قطعی و ۲۸۰۰۰ احتمالی	۲۵۰۰ تن در سال
چاه حسینعلی	۴۵ کیلومتری شمال غرب زاهدان	۳۰۰۰۰۰ قطعی	ــــــــــ
آبغلامان	۱۱۵ کیلومتری شمال غرب زاهدان	۱۰۰۰۰ قطعی و ۲۰۰۰۰ احتمالی	۲۰۰۰ تن در سال
ذولفقار پشتاب	زابل	ــــــــــ	۲۴۰۰ تن در سال
چاه هزار	۲۹ کیلومتری شمال شرق خاش	۳۱۵۰۰ قطعی و ۶۳۰۰۰۰ احتمالی	۳۰۰۰ تن در سال
ایرندگان	۱۰۸ کیلومتری جنوب خاش	۱۲۰۰۰ قطعی و ۲۵۰۰۰ احتمالی	۱۵۰۰ تن در سال
گونیچ	۹۷ کیلومتری جنوب غرب خاش	۵۰۰۰۰ قطعی	۱۵۰۰ تن در سال
دومک	۶۵ کیلومتری جنوب غرب زاهدان	۱۲۳۰۰ قطعی و ۲۴۶۰۰ احتمالی	۲۰۰۰ تن در سال
چهار چاه	شمال غرب خاش	ــــــــــ	ــــــــــ
چاه زرد ۱	مسیر زاهدان-خاش	۱۲۰۰۰ قطعی و ۲۶۰۰۰ احتمالی	۱۵۰۰ تن در سال
مردار کوه	زابل	ــــــــــ	ــــــــــ
ژوژ	۱۶۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان	۱۲۵۰۰ قطعی و ۲۵۰۰۰ احتمالی	۱۵۰۰ تن در سال
شندک	۱۶۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان	ــــــــــ	ــــــــــ
مدومچ	نیکشهر	ــــــــــ	ــــــــــ
نوک آباد	۱۴۲ کیلومتری شمال غرب زاهدان	ــــــــــ	ــــــــــ
چاه زرد ۲	بین مسیر زاهدان-خاش	۱۱۵۰۰ قطعی و ۲۳۰۰۰ احتمالی	۲۳۰۰تن در سال
سفید آبه	زابل	یک میلیون تن قطعی	ــــــــــ

در مسائل مکان‌یابی فاکتورهای مختلفی باید موردمطالعه قرار گیرند که مهم‌ترین آنها عبارت هستند از: دسترسی به مواد اولیه، دسترسی به نیروی کار، آموزش (امکان دسترسی و ارتقاء علمی نیروی کار)، آب و هوا، اثرات زیست‌محیطی، برآورد بازار صادرات و مصرف داخلی، امنیت، هزینه حمل‌ونقل و انرژی مصرفی. در این تحقیق از مهم‌ترین معیارها با توجه به شرایط موجود استفاده شد و به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات کافی در زمینه هزینه‌های حمل و نقل این معیار به‌صورت کیفی در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است به دلیل ناقص ماندن اطلاعات جمع‌آوری‌شده در مورد برآورد انرژی مصرفی، این فاکتور در مدل لحاظ نشد. فاکتور امنیت به دلیل موقعیت استراتژیک و جغرافیایی استان سیستان و بلوچستان یکی از معیارهای مهم در انتخاب گزینه برتر در نظر گرفته شد و در نهایت پس از جمع‌آوری اطلاعات لازم از سازمان صنایع و معادن، اداره حفاظت محیط زیست، اداره هواشناسی، اداره برق و اداره حمل و نقل در استان، معیارهای تأثیرگذار روی انتخاب گزینه برتر همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده‌شده است، مشخص شدند. جدول ۱ اطلاعات کاملی را در مورد موقعیت معادن کرومیت به‌منظور بررسی معیار دسترسی به مواد اولیه نشان می‌دهد. برای مقایسه گزینه‌های موردنظر از نظر آب و هوا، آمار هواشناسی مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ از اداره هواشناسی شهرستان زاهدان جمع‌آوری شد. آمار گرفته‌شده به‌صورت ماهانه بود که با میانگین‌گیری از مقادیر ماه‌های هر سال، اطلاعات به‌صورت یک مقدار میانگین برای هر سال مشخص شد. ولی از آنجایی‌که قضاوت کردن در مورد آب و هوای یک منطقه با استفاده از یک داده بسیار منطقی و آسان‌تر از

Archive of SID
www.SID.ir

استفاده از تعداد زیادی از داده‌ها است، به همین دلیل برای تصمیم‌گیری از داده‌های سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹ میانگین گرفته شد(به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات هواشناسی نیکشهر، از اطلاعات این سال برای بقیه گزینه‌ها صرف‌نظر شد) و نتایج در جدول ۲ به نمایش درآمدند.

جدول ۲: میانگین اطلاعات هواشناسی مربوط به سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹

مکان	میانگین دمای هوا(c)	میانگین رطوبت (درصد)	میزان بارندگی (mm)	یخبندان (روز)	میانگین تبخیر (mm)	حداکثر سرعت باد (m/s)	میانگین ساعات آفتابی	فشار QFF
زاهدان	۱۹/۴	۲۹/۸۱	۶/۲۵	۳/۳۶	۸/۵۹	۱۸/۴۷	۹/۳۲	۱۰۰۶/۴
خاش	۲۰/۵۰	۲۹/۳۳	۱۲/۸۵	۱/۴۸	۸/۷۷	۱۷/۷۳	۹/۴۸	۱۰۰۵/۳
ایرانشهر	۲۷/۳۸	۲۸/۸۴	۹/۱۸	۰/۰۶	۱۲/۴۲	۱۴/۹۱	۹/۴۶	۱۰۰۷/۶
نیکشهر	۲۷/۹۵	۳۶/۴۵	۱۵/۲۶	۰/۰۰	۱۰/۰۵	۱۴/۷۱	۹/۲۴	۱۰۰۶/۴

به‌منظور بررسی مکان‌های تعیین شده از لحاظ ممنوعیت زیست‌محیطی از اطلاعات موجود در سازمان حفاظت محیط‌زیست استان سیستان و بلوچستان استفاده شد. این اطلاعات در جدول ۳ به نمایش درآمده‌اند. در مکان‌های در نظر گرفته‌شده به‌جز شهرستان نیکشهر (به دلیل قرار گرفتن منطقه حفاظت‌شده جنگلی به نام پوزک) موارد مذکور قابل اجرا است. بنابراین نیکشهر یک منطقه نامناسب از لحاظ زیست‌محیطی است. با توجه به محدود بودن ذخایر قابل‌استخراج کرومیت استان و نیاز فراوان مصرف داخلی به آن، از صادرات آن صرف‌نظر شد و فقط مصرف داخلی آن را مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مصارف بالای کروم در صنایع مختلف به‌خصوص صنعت فولاد، از نظر مصرف داخلی می‌توان امتیاز یکسانی به همه گزینه‌ها داد. امتیاز ویژه‌ای که احداث کارخانه، نزدیک مراکز شهری دارد دسترسی به نیروی کار و امکانات آموزشی و نیروهای تحصیل‌کرده است و هر چه جمعیت یک مرکز بیشتر باشد دسترسی به موارد مذکور بیشتر و بهتر خواهد بود.

جدول ۳: حداقل فاصله صنایع از مراکز خاص

ردیف	مراکز مختلف	فاصله صنایع از مراکز(متر)
۱	سکونت گاه ها	۱۰۰۰ - ۱۵۰۰
۲	مراکز درمانی و آموزشی	۵۰۰ - ۱۰۰۰
۳	بزرگراه و جاده ترانزیت	۲۵۰
۴	جاده اصلی	۱۵۰
۵	اثر طبیعی ملی(پارک ملی- تالاب- دریاچه)	۱۰۰۰
۶	منطقه حفاظت‌شده- رودخانه دائمی و قنات دایر	۲۰۰ - ۳۰۰
۷	چاه‌های عمیق و نیمه عمیق	۱۰۰

۵-۲- تحلیل مدل با استفاده از تکنیک *SAW*

مرحله اول تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری است که در جدول ۴ نمایش داده‌شده است. مرحله دوم تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی است (جدول ۵). در مرحله بعد برای بی‌مقیاس کردن ماتریس موجود در جدول ۵ از روش بی‌مقیاس کردن خطی استفاده شد. به منظور بی‌مقیاس کردن ماتریس از رابطه (۱۰) و (۱۱) استفاده شد که نتایج در جدول ۶ نشان داده‌شده‌اند.

در نهایت پس از تعیین وزن شاخص‌ها با استفاده از روش آنتروپی شانون و تعیین وزن هر شاخص، گزینه برتر

Archive of SID
www.SID.ir

با استفاده از رابطه (۱۲) گزینه A_1، شهر زاهدان با امتیاز ۰/۷۹۷ به عنوان گزینه برتر مشخص شد.

جدول۴: تشکیل ماتریس تصمیم

معیارها / گزینه‌ها	C_1 (دسترسی به مواد اولیه)	C_2 (نیروی کار در دسترس)	C_3 (آموزش)	C_4 (آب‌وهوا)	C_5 (زیست محیطی)	C_6 (برآورد مصرف داخلی)	C_7 (امنیت)	C_8 (هزینه حمل‌ونقل)
A_1 زاهدان	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی خوب	ضعیف	متوسط	خوب	زیاد	خیلی زیاد
A_2 خاش	زیاد	زیاد	خوب	خوب	متوسط	خوب	متوسط	متوسط
A_3 ایرانشهر	متوسط	متوسط	خوب	خوب	متوسط	خوب	متوسط	متوسط
A_4 نیکشهر	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	خوب	متوسط	کم

جدول۵: تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی

معیارها / گزینه ها	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
A_1 (زاهدان)	۹	۹	۹	۳	۵	۷	۷	۳
A_2 (خاش)	۷	۷	۷	۷	۵	۷	۵	۵
A_3 (ایرانشهر)	۷	۵	۷	۷	۵	۷	۵	۵
A_4 (نیکشهر)	۷	۵	۵	۵	۳	۷	۵	۷

جدول۶: بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم با استفاده از روش خطی

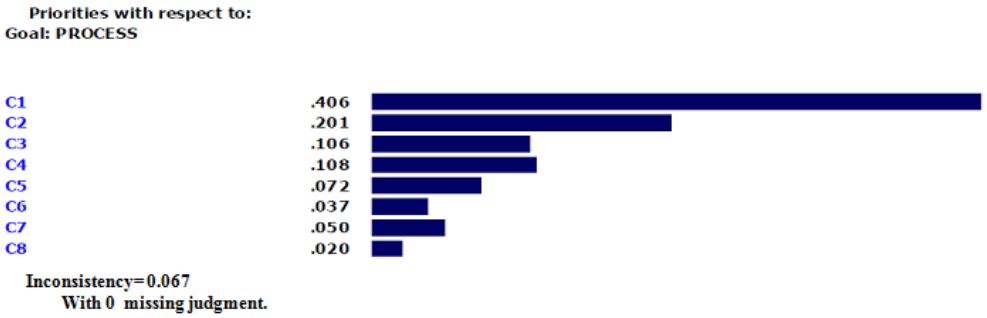
معیارها / گزینه ها	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
A_1 (زاهدان)	۱	۱	۱	۰/۴۲۸	۰/۶	۱	۱	۱
A_2 (خاش)	۰/۷۷۷	۰/۷۷۷	۰/۷۷۷	۱	۰/۶	۱	۰/۷۱۴	۰/۶
A_3 (ایرانشهر)	۰/۷۷۷	۰/۵۵۵	۰/۷۷۷	۱	۰/۶	۱	۰/۷۱۴	۰/۶
A_4 (نیکشهر)	۰/۷۷۷	۰/۵۵۵	۰/۵۵۵	۰/۷۱۴	۱	۱	۰/۷۱۴	۰/۴۲۸

۵-۳- تحلیل مدل با استفاده از تکنیک *AHP* گروهی

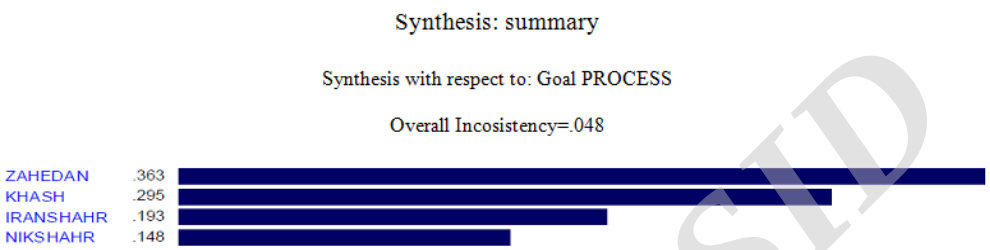
به منظور انتخاب گزینه برتر با استفاده از تکنیک *AHP* پرسش‌نامه‌هایی طراحی شد که به دست افراد خبره درزمینه‌های مدیریتی و معدنی پاسخ داده شدند و با لحاظ نمودن مندرجات پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده به عنوان ورودی نرم‌افزار *Expert Choice 11*، داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل واقع شدند. در نهایت حساسیت رتبه‌بندی گزینه‌ها نسبت به تغییرات وزن معیارها بررسی و گزینه برتر مشخص شد (شکل‌های ۲ و ۳).

پس از رتبه‌بندی گزینه‌ها و معیارها توسط نرم‌افزار، حساسیت رتبه‌بندی گزینه‌ها نسبت به تغییرات وزن معیارها بررسی شد. با توجه به اینکه مدل پیش رو یک مدل سلسله‌مراتبی سه سطحی است، تحلیل حساسیت از گره هدف (مکان‌یابی کارخانه)، حساسیت گزینه‌ها را نسبت به معیارهای موجود در زیر هدف را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار تحلیل حساسیت بر اساس کارایی، زاهدان به عنوان گزینه برتر شناسایی شد (شکل۴).

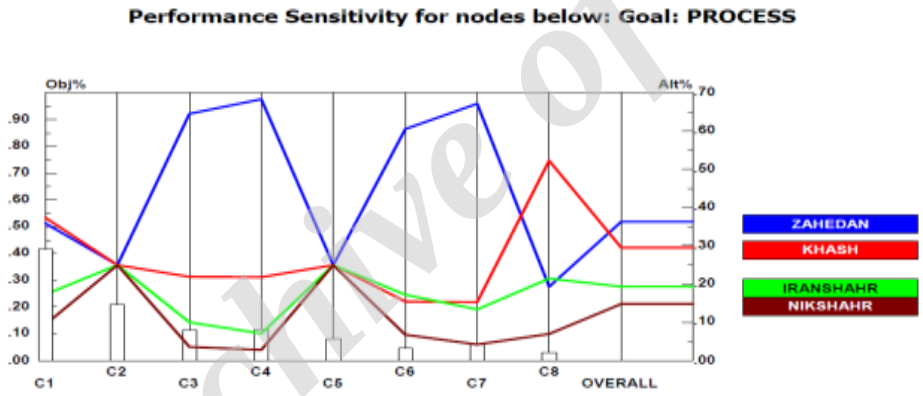
Archive of SID
www.SID.ir



شکل۲: رتبه‌بندی معیارها در نرم‌افزار *Expert Choice 11*



شکل۳: رتبه‌بندی گزینه‌ها در نرم‌افزار *Expert Choice 11*



شکل۴: نمودار حساسیت بر اساس کارایی

۵-۴- ارزیابی نتایج و ارائه مدل موردنیاز با استفاده از تکنیک *Borda*

با توجه به اینکه تکنیک‌های *SAW* و *AHP* گروهی، زاهدان را به‌عنوان گزینه برتر معرفی کردند، به‌منظور قضاوت منطقی‌تر و تلفیق تکنیک‌های مذکور از روش ترکیبی *Borda* که بر اساس قاعده اکثریت استوار است، برای انتخاب گزینه برتر استفاده شد. همانطور که قبلا مشاهده شد، تکنیک *SAW* رتبه‌بندی را به‌صورت $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$ بیان کرد و تکنیک *AHP* گروهی شهرستان زاهدان را ترجیح داد. حال روش *Borda* بر اساس قاعده ارجحیت گزینه‌ها از روش‌های مورد استفاده در این تحقیق، به‌کار گرفته می‌شود. مطابق جدول ۷ میانگین رتبه‌های به دست‌آمده از روش‌های *SAW* و *AHP* گروهی به‌منظور تعیین ارجحیت یا عدم ارجحیت گزینه‌ها نسبت به یکدیگر مشخص شدند. با توجه به مقادیر میانگین، مقایسه‌ای بین گزینه‌ها انجام شد و در نهایت برتری یک گزینه نسبت به گزینه دیگر با M و عدم ارجحیت نسبت به گزینه دیگر با X نشان داده شد. هر گزینه‌ای که تعداد M بیشتری نسبت به بقیه گزینه‌ها داشت، به‌عنوان گزینه برتر مشخص شد که در نتیجه بر اساس جدول ۸ شهرستان‌های زاهدان به‌عنوان گزینه برتر شناسایی شد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۷: میانگین رتبه گزینه‌ها در دو روش *AHP* و *SAW*

گزینه‌ها	SAW	AHP	میانگین رتبه‌ها
A_1	۱	۱	۱
A_2	۲	۲	۲
A_3	۳	۳	۳
A_4	۴	۴	۴

جدول ۸: ارجحیت و عدم ارجحیت گزینه‌ها نسبت به یکدیگر

گزینه‌ها / گزینه‌ها	A_1	A_2	A_3	A_4	تعداد آرا
A_1	___	M	M	M	۳
A_2	X		M	M	۲
A_3	X	X	___	M	۱
A_4	X	X	X	___	۰

۶-نتیجه‌گیری

عوامل مختلفی در مکان‌یابی کارخانه دخالت دارند که بررسی و تحلیل تمام ابعاد آنها با روش‌های سنتی امکان‌پذیر نیست. از طرفی بی‌توجهی به این عوامل در مکان‌یابی موجب هدر رفتن سهم قابل‌توجهی از منابع مادی و از دست دادن حجم زیادی از منابع محیطی می‌شود و صدمات سنگینی را به مردم و سهام‌داران کارخانه تحمیل می‌کند. بنابراین استفاده از فناوری اطلاعات به‌خصوص سامانه اطلاعات مکانی برای تحلیل حجم وسیعی از داده‌ها، ضروری است. در این پژوهش به‌منظور مکان‌یابی کارخانه فرآوری کرومیت در استان سیستان و بلوچستان، گزینه‌های مطلوب برای قضاوت با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و تلفیق اطلاعات در محیط اطلاعات جغرافیایی، زاهدان، خاش، ایرانشهر و نیکشهر به دست آمدند. معیارهای لازم برای انتخاب گزینه برتر با بررسی‌های کارشناسی مشخص شدند که عبارت‌اند از : دسترسی به ماده اولیه، دسترسی به نیروی کار، آموزش، اثرات زیست‌محیطی، امنیت، هزینه‌های حمل‌ونقل، آب و هوا و برآورد مصرف داخلی. از تکنیک‌های *SAW* و *AHP* گروهی برای قضاوت استفاده شد که درنهایت هرکدام از این تکنیک‌ها رأی به برتری شهرستان زاهدان دادند که در این بین، معیار دسترسی به ماده معدنی بیشترین امتیاز را در بین معیارها به دست آورد و اساسی‌ترین نقش را در انتخاب گزینه برتر ایفا می‌کند. به‌منظور تلفیق روش‌های *SAW* و *AHP* گروهی و قضاوت بهینه و منطقی‌تر از روش ترکیبی *Borda* استفاده شد که این روش گزینه زاهدان را به‌عنوان گزینه برتر مشخص کرد.

مراجع

[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, Chapter8,Minerals and Economic Development, pp. 4-5.

[2] GHorbani, M. (2009) Chrome and chromite strategic metal in the metal industry and the chemical industry, Coal and Mining Journal, 11, pp: 54 (in Persian).

[3] Steel and Metal Industry News (2011) (in Persian).

[4] Archive Information Industries and Mines Organization of Sistan and Baluchestan province (in Persian).

[5] Hakimi, S. (1965) Optimum location of switching centers in a communications network and some relate graph theoretic roblems, Operations Research, 13, pp: 462-475.

[6] Partovi, F. (2006). An analytic model for locating facilities strategically, Omega، No. 34 (2006), pp: 41-55.

[7] Asgharnezhad, A. (2008), "Location of training centers", Geography and Urban Planning Master's thesis. Tehran: Tehran University (in Persian).

[8] Florida, R and Tim Gulden Charlotta Mellander, (2008), The rise of the mega-region.

[9] Ataei M; Mikaiel, M. (2007). "Choose a suitable site for a factory Cement with VIKOR", Twenty-sixth meeting of Earth Sciences, Geological Survey of Iran (in Persian).

[10] Ataei M., Sereshki F., Jamshidi M., Jalili S.M.E. (2008), Mining method selection by AHP approach, Journal of the south African institute of mining and metallurgy (SAIMM), Vol.108, December 2008, PP.741-749.

[11] Ataei M; Bitarfan, M. (2003). Choose a suitable extraction method for anomaly (3) Gohar iron ore mine after using fuzzy multi-criteria decision-making, International Journal of Engineering Sciences, University of Science and Technology14, pp: 1-12 (in Persian).

[12] Therimoghadar, M. (2007), Gol-e-Gohar Iron Ore Complex processing plant tailings dam location

Archive of SID
www.SID.ir

International Journal of Project Management, 20, PP.469-474.

[18] Asgharpour, M. (2008), Multi-criteria decision-making, Sixth Edition, Tehran University Press (in Persian).

[19] Albayrak. E., and Erensal. Y.C., (2004), Using AHP to improve human performance: An application of multiple critertia decision making problems, Journal of Intelligent Manufacturing, No.15, pp. 491-503.

[20] Archive of geological maps Sistan-Baluchistan province, Geological Country (in Persian).

1- Locationing Science
2- Analtytical Hierarchy Process
3- Simple additive weighted
4- Technique for order preference by Similarity to ideal solution

using fuzzy TOPSIS, Iran's First International Conference on Operations Research (in Persian).

[13] Samavati, A. (2011), Sangan Mine tailings dam site selection, optimal decision making techniques using SAW and TOPSIS, the thirtieth meeting of Earth Sciences (in Persian).

[14] Alidi A.S. (1996), Use of analytic hierarchy process to measure the initial viability of industrial projects, Internathional Journal of Project Management14 (4), PP.205-208.

[15] Momeni, M. (2006), New topics Operations Research, first edition, Tehran University Press, (in Persian).

[16] Al Harbi K.M., (2001), Application of AHP in project management, International Journal of Project Management 19 (4), PP.19-27.

[17] Al Khalil, M.I. (2002), Selecting the appropriate project delivery method using AHP,

Archive of SID

www.SID.ir