

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

خداکرم غریبی^{۱*}، آرش طهری^۲

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 می‌رسد. 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 تکنیک‌های *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 مکان‌یابی مورد بررسی قرار گرفتند. پس از تعیین گزینه‌های مناسب، برای انتخاب بهترین گزینه، ۸ معیار مورد بررسی قرار گرفت. تکنیک‌های *AHP* گروهی و *SAW*، زاهدان را به عنوان گزینه برتر شناسایی کردند. همچنین از روش ترکیبی *Borda* برای قضاوت بهتر و تلفیق روش‌های مذکور استفاده شد که در نهایت بهترین مکان برای احداث کارخانه فرآوری، شهرستان زاهدان معرفی شد.

کلید واژه‌ها

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

ارجاع به این مقاله:

غریبی، خ.، طهری، الف.، (۱۳۹۵)، ارایه یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری به منظور مکان‌یابی کارخانه فرآوری کرومیت در استان سیستان و بلوچستان، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۱۱(۱)، ۵۳-۶۳.

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

۱- مقدمه

معیاره استفاده شده است. معیارهای تصمیم‌گیری بر اساس نیازمندی‌های 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 گزینه‌ها و معیارهای مؤثر در مکان‌یابی کارخانه فرآوری، به منظور رتبه‌بندی معیارها و انتخاب بهترین گزینه از تکنیک‌های AHP^2 گروهی در محیط نرم‌افزار *Expert Choice 11* و SAW^3 استفاده شد.

۲- ضرورت تحقیق

تقاضای جهانی برای کرومیت با توجه به مصرف بالای آن در صنایع فولاد (فرو کروم)، رنگ‌سازی، 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 ویژگی‌های زمین‌شناسی ذخایر، دارای افت و خیزهای زیادی است، از این‌رو قیمت کرومیت در سال‌های اخیر نوسانات زیادی داشته است. در سال‌های 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 به صورت 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 $4/5\%$ و $0/83\%$ درصد است که همین میزان تولید هم اکثراً به صورت ماده خام و عرضه مستقیم به کشورهای خارجی از جمله 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 خام‌فروشی 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 می‌رسد. تعیین مکان کارخانه، یکی از کلیدی‌ترین گام‌های تأسیس کارخانه است، چراکه نتایج این تصمیم در دراز مدت ظاهر می‌شود و اثرات به سزایی از

بخش معدن از جمله بخش‌های زیربنایی 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 بخش‌های مختلف معدنکاری، از استخراج تا فرآوری، $2/8$ 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 مهم‌ترین 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 می‌رود. 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 این‌رو با توجه به فراوانی ذخایر در استان سیستان و بلوچستان و همچنین جلوگیری از خام‌فروشی و ایجاد ارزش افزوده مطلوب در این راستا، ایجاد یک واحد فرآوری در استان ضروری به نظر می‌رسد. امروزه روش‌های بهینه‌سازی، از پرکاربردترین روش‌های مدیریت تخصیص منابع است که در این عرصه، رفته‌رفته علم مکان‌یابی جایگاه خود را مستحکم‌تر می‌کند. به‌طور کلی هنگامی که هدف، احداث کارخانه در یک منطقه با استفاده بهینه از حداقل امکانات باشد، از علم مکان‌یابی^۱ استفاده می‌شود [۵]. مسئله مکان‌یابی کارخانه، در سطوح استراتژیک تصمیم‌گیری است. مکان مناسب نقش مهمی در اقتصاد فرایند تولید محصول موردنظر دارد و باید به گونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر دسترسی به مواد اولیه تولید، توانایی پاسخگویی به همه معیارهای تأثیرگذار تولید را دارا باشد. در این تحقیق به منظور تعیین مناسب‌ترین مکان برای احداث کارخانه از روش‌های تصمیم‌گیری چند

بعد اقتصادی، محیط‌زیست، مسائل اجتماعی و غیره دارد [۶]. یکی از جنبه‌های تأثیر درون‌سازمانی، تأثیر مستقیم آن در سوددهی کارخانه خواهد بود و از بعد برون‌سازمانی، ساخت کارخانه‌های بزرگ در یک منطقه می‌تواند شرایط مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، محیط‌زیست 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 مکان‌های بهینه و در بهترین وضعیت ممکن، نه تنها گردش مواد خام و خدمات به مشتریان را بهبود می‌بخشد، بلکه کارخانه را در یک وضعیت مطلوب قرار می‌دهد.

۳- مروری بر ادبیات تحقیق

۳-۱- مکان‌یابی

مکان‌یابی از جمله تحلیل‌های مکانی است که تأثیر فراوانی در کاهش هزینه‌های ایجاد و راه‌اندازی فعالیت‌های مختلف دارد [۷]. در زمینه مکان‌یابی کارخانه، پژوهش‌های مختلف و گسترده‌ای انجام شده است. سیدپکویی 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 *AHP* و *GIS* برای مکان‌یابی استفاده کردند [۸]. در زمینه صنایع معدنی، پژوهش مبنی بر مکان‌یابی کارخانه فرآوری به ندرت انجام شده است و محدود مطالعاتی هم در زمینه مکان‌یابی سدهای باطله در معادن صورت گرفته است که به آنها اشاره خواهد شد. از جمله مهم‌ترین مطالعات در زمینه 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 قرار گرفته است [۹]. انتخاب روش‌های معدنکاری بهینه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله 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 گل‌گهر سیرجان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره را نام برد [۱۱]. مکان‌یابی سد باطله کارخانه فرآوری مجتمع سنگ‌آهن گل‌گهر با استفاده از *TOPSIS* فازی توسط طاهری مقدر و همکاران در سال ۱۳۸۶ انجام گرفت که شاخص‌های درجه اثربخشی، فاصله و اختلاف ارتفاع نسبت به کارخانه فرآوری، وجود شکستگی و گسل، عمق آب زیرزمینی، تأثیرات لرزه‌ای ناشی از مجاورت با معدن روباز، واقع شدن در مسیرهای ارتباطی و مجاورت با معادن دیگر به عنوان ملاک‌های ارزیابی در نظر گرفته شد و در نهایت برای وزن دهی از روش *AHP* استفاده شد [۱۲]. انتخاب مکان سد باطله معدن سنگ‌آهن 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 تصمیم‌گیری 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، به طوری که ترجیحات ذهنی، دانش خیره و اطلاعات عینی

که در آن K تعداد تصمیم‌گیرندگان است. در گام آخر، فرایند ریاضی با نرمال کردن و یافتن وزن‌های نسبی برای هر ماتریس شروع می‌شود. وزن‌های نسبی با بردار ویژه تعریف می‌شوند (رابطه ۳).

$$A' \omega = \lambda_{\max} \omega \quad (3)$$

اگر مقایسات زوجی کاملاً سازگار باشند، ماتریس A رتبه ۱ دارد و $\lambda_{\max} = 1$. در این مورد وزن‌ها می‌توانند با نرمال کردن هر یک از سطرها یا ستون‌ها به دست آیند.

۳-۳- تکنیک SAW

یکی از ساده‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تکنیک SAW است که با محاسبه وزن شاخص‌ها می‌توان به راحتی از این روش استفاده کرد. این روش برای اولین بار توسط کریمون در سال ۱۹۶۸ بیان شد. اصول مباحث پایه از چرچمن و آپوف در سال ۱۹۵۴ و کلی در سال ۱۹۷۱ گرفته شده است. برای استفاده از این روش طی مراحل زیر ضروری است [۱۵]:

گام اول: نرمال کردن ماتریس تصمیم‌گیری به روش تبدیل خطی. نحوه محاسبه معیارهای مثبت و منفی به صورت زیر است (رابطه‌های ۴ و ۵):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij}\}} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \frac{\min\{x_{ij}\}}{x_{ij}} \quad (5)$$

گام دوم: محاسبه امتیازها و مرتب کردن آنها به صورت نزولی و تعیین اولویت‌ها (رابطه ۶):

$$A^* = \left\{ A_i \max \sum_{i=1}^m w_j r_{ij} \right\} \quad (6)$$

در روش SAW مطلوبیت‌های محاسبه شده از ماتریس نرمال شده با هم جمع می‌شوند. چون همه از جنس مطلوبیت هستند، پس جمع کردن آنها مانعی ندارد.

۴- روش شناسی تحقیق (جامعه، نمونه آماری و جمع‌آوری داده‌ها)

میزان اعتبار تصمیم اتخاذی در روش AHP از نظر کیفی و کمی به پرسش‌نامه وابسته است. این پرسش‌نامه با کمک متخصصین، افراد و سازمان‌هایی که در فرایند تصمیم‌گیری دخالت داشتند، تنظیم و تکمیل شد. طبق

همگی در AHP موجود است [۱۶]. این روش یکی از روش‌های مطمئن در محاسبه اوزان شاخص‌ها است زیرا اساس کار آن نظرات تصمیم‌گیرنده است نه ماتریس تصمیم‌گیری [۱۷]. از مزایای ممتاز AHP این است که می‌توان میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیمات اتخاذ شده توسط تصمیم‌گیرندگان را در آن محاسبه کرد. به علاوه این روش از یک تئوری قوی برخوردار است و بر اساس اصول بدیهی ساخته شده است [۱۸]. روش AHP بر سه اصل پایه‌ریزی شده است: ساختار مدل، قضاوت‌های مقایسه‌ای گزینه‌ها و معیارها و تعیین ارجحیت‌ها. در اولین گام، یک مسئله، تصمیم‌گیری پیچیده به شکل سلسله‌مراتبی ساخته می‌شود. روش AHP در ابتدا مسئله پیچیده تصمیم‌گیری را به سلسله‌مراتب‌های مرتبط با اجزای تصمیم (معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری) می‌شکند. این سلسله‌مراتب حداقل دارای سه سطح است؛ سطح اول: هدف کلی مسئله؛ سطح دوم: معیارهای چندگانه و سطح سوم: گزینه‌های تصمیم [۱۹]. مرحله دوم مقایسه گزینه‌ها و معیارها است. پس از اینکه مسئله تجزیه شد و ساختار سلسله‌مراتبی شکل گرفت، روند ارجحیت با توجه به تعیین اهمیت نسبی معیارها در هر سطح شروع می‌شود. قضاوت‌های زوجی از دومین سطح شروع می‌شود و در پایین‌ترین سطح که گزینه‌ها قرار دارند تمام می‌شود [۱۹]. با این فرض که $C = \{C_j | j = 1, 2, \dots, n\}$ مجموعه معیارها باشد. همان‌طور که در رابطه (۱) نشان داده شده است، نتیجه مقایسه زوجی روی n معیار در یک ماتریس $n \times n$ خلاصه می‌شود که در آن هر درایه $a_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n)$ نسبت وزن معیارها است. در روش AHP گروهی، مقایسات زوجی به جای یک تصمیم‌گیرنده، توسط چندین تصمیم‌گیرنده انجام می‌شود و نظرات تمام تصمیم‌گیرندگان لحاظ می‌شود. در این موارد از تصمیم‌گیری گروهی می‌توان طبق رابطه (۲) از میانگین هندسی برای عناصر ماتریس استفاده کرد.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

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

$$\alpha_{ij} = \left(\prod_{l=1}^k a_{ij}^l \right)^{1/k}, I = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

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

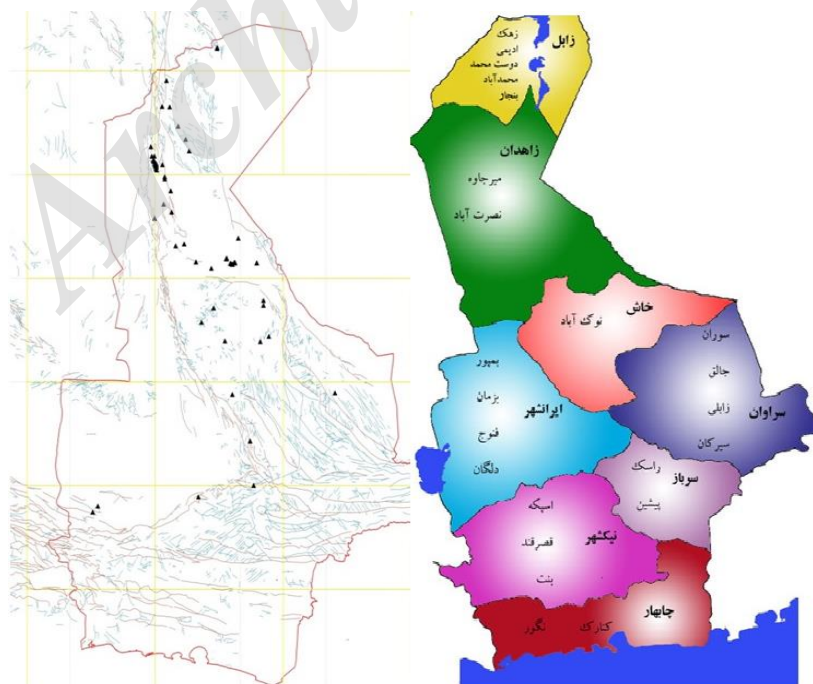
سازمان صنایع و معادن تهیه شد [۲۰]. معیارهایی که برای ارزیابی آنها، ارگان خاصی برای جمع‌آوری اطلاعات لازم وجود نداشت، بر اساس نظرات متخصصین سازمان صنعت، معدن و تجارت و افرادی که دارای تجربه معدنکاری بودند مورد ارزیابی قرار گرفتند.

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 زمین‌شناسی 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 مشخص شده است.

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 در زمینه‌های 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 قابل قبول 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، به اجبار 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



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

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.

جدول ۱: لیست معادن و ذخایر کرومیت استان سیستان و بلوچستان

معدن	موقعیت	میزان ذخیره (تن)	استخراج سالیانه
مکی	۱۴۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان	۳۰۰۰۰۰ قطعی	—————
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	—————
آبغلامان	۱۱۵ کیلومتری شمال غرب زاهدان	۱۰۰۰۰ قطعی و ۲۰۰۰۰ احتمالی	۲۰۰۰ تن در سال
ذولفقار پشتاب	زابل	—————	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
گونبچ	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	—————	—————
چاه زرد ۱	مسیر زاهدان-خاش	۱۲۰۰۰ قطعی و ۲۶۰۰۰ احتمالی	۱۵۰۰ تن در سال
مردار کوه	زابل	—————	—————
ژوژ	۱۶۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان	۱۲۵۰۰ قطعی و ۲۵۰۰۰ احتمالی	۱۵۰۰ تن در سال
شندک	۱۶۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان	—————	—————
مدومچ	نیکشهر	—————	—————
نوک آباد	۱۴۲ کیلومتری شمال غرب زاهدان	—————	—————
چاه زرد ۲	بین مسیر زاهدان-خاش	۱۱۵۰۰ قطعی و ۲۳۰۰۰ احتمالی	۲۳۰۰ تن در سال
سفید آبه	زابل	یک میلیون تن قطعی	—————

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 داده شده 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 آنجایی که قضاوت کردن در مورد آب و هوای یک منطقه با استفاده از یک داده بسیار منطقی و آسان‌تر از

در مسائل مکان‌یابی فاکتورهای مختلفی باید مورد مطالعه 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

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

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 تحصیل کرده 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 گاه‌ها	۱۵۰۰ - ۱۰۰۰
۲	مراکز درمانی و آموزشی	۱۰۰۰ - ۵۰۰
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	۳۰۰ - ۲۰۰
۷	چاه‌های عمیق و نیمه عمیق	۱۰۰

بی‌مقیاس کردن خطی استفاده شد. به منظور بی‌مقیاس کردن ماتریس از رابطه (۱۰) و (۱۱) استفاده شد که نتایج در جدول ۶ نشان داده شده‌اند.

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

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 گرفته شده 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 قابل استخراج کرومیت استان و نیاز فراوان

۵-۲- تحلیل مدل با استفاده از تکنیک SAW

مرحله اول تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری است که در جدول ۴ نمایش داده شده است. مرحله دوم تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی است (جدول ۵). در مرحله بعد برای بی‌مقیاس کردن ماتریس موجود در جدول ۵ از روش

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

جدول ۴: تشکیل ماتریس تصمیم

معیارها گزینه‌ها	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	(دسترسی به مواد اولیه)	(نیروی کار در دسترس)	(آموزش)	(آب‌وهوا)	(زیست محیطی)	(برآورد مصرف داخلی)	(امنیت)	(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

جدول ۵: تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی

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

جدول ۶: بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم با استفاده از روش خطی

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

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 (شکل ۴).

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).

Priorities with respect to:
Goal: PROCESS



Inconsistency=0.067
With 0 missing judgment.

شکل ۲: رتبه‌بندی معیارها در نرم‌افزار Expert Choice II

Synthesis: summary

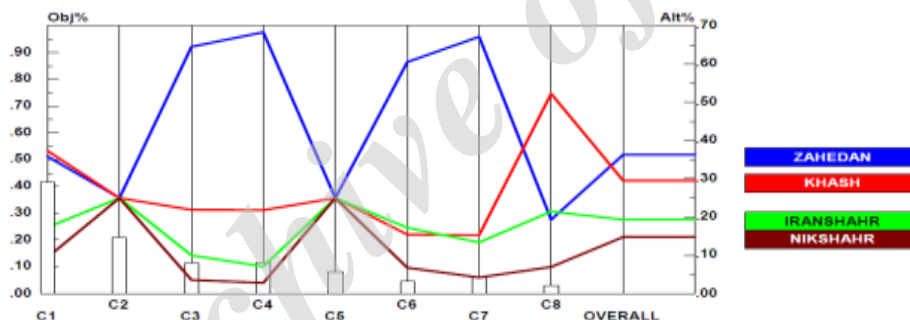
Synthesis with respect to: Goal PROCESS

Overall Inconsistency=.048



شکل ۳: رتبه‌بندی گزینه‌ها در نرم‌افزار Expert Choice II

Performance Sensitivity for nodes below: Goal: PROCESS



شکل ۴: نمودار حساسیت بر اساس کارایی

میانگین رتبه‌های به دست آمده از روش‌های SAW و AHP گروهی به منظور 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، به عنوان گزینه برتر مشخص شد که در نتیجه بر اساس جدول ۸ شهرستان‌های زاهدان به عنوان گزینه برتر شناسایی شد.

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

با توجه به اینکه تکنیک‌های SAW و AHP گروهی، زاهدان را به عنوان گزینه برتر معرفی کردند، به منظور 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 قبلاً مشاهده شد، تکنیک SAW رتبه‌بندی را به صورت $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$ 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، به کار گرفته می‌شود. مطابق جدول ۷

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 problems, 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; Mikaeli, 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

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				تعداد آرا
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	
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 قابل توجهی 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 در نهایت 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.

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 criteria decision making problems, Journal of Intelligent Manufacturing, No.15, pp. 491-503.

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

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, International Journal of Project Management 14 (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,

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