



نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

انتخاب محل مناسب جهت احداث کارخانه سیمان با استفاده از روش LINMAP

با مطالعه موردی در سه حوزه صنعتی استان اصفهان

روشنک متفکر فرد^{۱*} و هادی شیرویه زاد^۱

۱- گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

چکیده:

با در نظر گرفتن روند رو به رشد مصرف و تقاضای سیمان در کشور، احداث کارخانه های سیمان متناسب با توسعه بازار ضروری به نظر می رسد و یکی از عوامل مهم در سودآوری شرکت ها می باشد. هدف اصلی این پژوهش آنست که چگونه می توان محلی مناسب را جهت احداث کارخانه سیمان با استفاده از روش LINMAP ارائه نمود. در ابتدا به جمع آوری داده ها و تحلیل بر روی آن ها پرداخته شد. سه حوزه صنعتی از استان اصفهان به عنوان نمونه انتخاب شد و الگو در آن آزمون شده است. به این منظور پرسشنامه ای با ۸ معیار و با نظر چند نفر از خبرگان صنعت سیمان طراحی گردید. جامعه آماری پژوهش شامل محل های کاندید جهت احداث کارخانه سیمان بوده است. یافته های عمده حاکی از آنست که معیارهای شرایط زیست محیطی و دسترسی به نیروی کار به ترتیب با وزنهای ۰.۸۶۲ و ۰.۱۳۸ برای تصمیم گیری انتخاب شده اند. همچنین، حوزه های مهیار با رتبه ۱ و امین آباد و نطنز با رتبه ۲ به ترتیب برای برنامه های توسعه به مدیران پیشنهاد شده اند. در پایان این پژوهش بحث تحلیل حساسیت نیز، انجام شده است.

واژه های کلیدی: مکان‌یابی کارخانه، تصمیم‌گیری چندمعیاره، LINMAP

* نویسنده مسئول:

۱- مقدمه

در چندین دهه اخیر مکان‌یابی واحدهای صنعتی توجه اکثر محققان را به خود جلب کرده است. به طور کلی پس از مرحله مطالعات مهندسی، طراحی و تعیین پارامترهای زیربنایی برای تولید محصول، اولین و مهم‌ترین نکته‌ای که می‌بایست در مورد آن مطالعه و تصمیم‌گیری شود، انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه و یا انتخاب محل ساختگاه می‌باشد (عطایی، ۱۳۸۹).

صنعت سیمان به عنوان یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان شدید انرژی در میان صنایع جهان است (یوسان و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین به عنوان یک کالای صنعتی با بیش از صد سال عمر، از جمله ضروری‌ترین محصولات برای آبادانی می‌باشد. نظر به اینکه سیمان در رسیدن به اهداف عمرانی و توسعه کشور از جمله راه، سد، راه آهن، تونل، بهداشت، اسکان و ... نقش عمده‌ای ایفا می‌کند، با در نظر گرفتن روند رو به رشد مصرف و تقاضای سیمان در کشور، احداث کارخانه‌های سیمان متناسب با توسعه بازار ضروری به نظر می‌رسد (عطایی، ۱۳۸۹). انتخاب محل مناسب هر واحد صنعتی نیاز به شناخت معیارهای موثر در این زمینه دارد تا از امکانات و توانایی‌های مناطق مختلف استفاده صحیح و مطلوبی به عمل آید. در کشورهایی که با محدودیت منابع و امکانات مواجه هستند، تعیین و شناخت این معیارها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (مهندسین مشاور کانی کاوان شرق، ۱۳۸۱). بنابراین تعیین محل کارخانه یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره است. نکته حائز اهمیت در استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، انتخاب روش مناسب است. زیرا روش‌های مختلفی که در این مدل‌های تصمیم‌گیری به کار می‌روند، هر یک دارای ویژگی‌ها و محدودیت‌های مشخصی هستند و نمی‌توان از آنها در تمام مسائل تصمیم‌گیری استفاده نمود و با توجه به این مسئله استفاده از روش LINMAP موثر است. زیرا این روش مساله را به صورت سلسله‌مراتبی فرموله می‌کند. همچنین با در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مساله، پایه ریزی آن براساس مدل برنامه‌ریزی ریاضی به منظور ایجاد یک جواب بهینه صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، کلیه فضای جواب برای یافتن گزینه برتر در نظر گرفته می‌شود. همچنین توانایی وزن دهی و اولویت بندی همزمان این روش، به منظور کاهش خطای ناشی از اعمال نظرات و قضاوت نادرست کارشناس یا خبره شکل گرفته است. مزیت دیگر این روش امکان تحلیل حساسیت روی متغیرها و محدودیت‌های مساله است (موسوی و قربانی کیا، ۱۳۹۱؛ جوزی و عطایی، ۱۳۹۴). از این رو روش فوق از یک مبنای تئوریک مناسب برخوردار بوده و براساس اصول بدیهی بنا شده است (موسوی و قربانی کیا، ۱۳۹۱).

تا کنون در مطالعات انجام شده جهت مکان‌یابی احداث کارخانه روشهای متعددی به کار برده شده است و برای وزن‌دهی معیارها از نظر خبرگان یا کارشناسان در این زمینه استفاده شده است. در این مقاله به کمک روش LINMAP به وزن‌دهی معیارها پرداخته و شاخص‌های مهم تری را از دیدگاه کارشناسان صنعت سیمان مورد بررسی قرار داده تا امکان محل مناسب احداث کارخانه دقیق‌تر باشد.

از اینرو در این مقاله، علاوه بر وزن دهی معیارها به کمک روش LINMAP، از میان سه حوزه موجود در استان اصفهان، به انتخاب محل مناسب احداث کارخانه سیمان با روش فوق پرداخته می‌شود و به دلیل صنعتی بودن این استان و نیاز آن به صنعت سیمان، همواره برای مدیران از اهمیت راهبردی برخوردار بوده و به عنوان محل انجام پژوهش انتخاب می‌شود.

در این مقاله، در قسمت دوم پیشینه پژوهش و کارهای انجام شده مشابه با این مقاله بیان می‌شود. در قسمت سوم و چهارم به معرفی مکان‌یابی احداث کارخانه و سپس روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره و مختصری در مورد روش LINMAP پرداخته می‌شود. در قسمت پنجم در روش شناسی پژوهش، در مورد معیارهای مهم تصمیم‌گیری در محل احداث کارخانه سیمان بحث و الگوی پیشنهادی توصیف می‌شود. سپس در قسمت ششم با مطالعه موردی در سه حوزه از استان اصفهان، اطلاعات مربوط به حوزه‌های محل احداث براساس هر معیار در یک ماتریس تصمیم‌گیری ارائه می‌شود و در ادامه به فرآیند حل مسئله به کمک روش LINMAP پرداخته می‌شود و نتایج حاصل از آن ارائه می‌شود. سرانجام در قسمت هفتم و هشتم بحث و سپس نتیجه‌گیری کلی از پژوهش ارائه می‌گردد.

۲- پیشینه‌ی پژوهش

تاکنون روش‌های متعددی برای مکان‌یابی احداث کارخانه سیمان ارائه شده است. الیاسی در سال ۱۳۹۰ در پایان‌نامه‌ای با عنوان مکان‌یابی کارخانه سیمان در استان کردستان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS، مکانهای مناسبی را که توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مشخص شده‌اند توسط روش AHP فازی با توجه به معیارهای هر کدام از گزینه‌ها تحلیل نموده و در نهایت می‌توان را به عنوان گزینه مناسب معرفی کرده است.

جعفری و کلانتری در سال ۱۳۹۳ در پژوهشی مشابه با عنوان مکان‌یابی کارخانه سیمان با رویکرد فازی، با استفاده از

روش AHP فازی، با بررسی مکان‌یابی سیمان تهران در میان پانزده کارخانه سیمان در مناطق مختلف ایران، سیمان تهران با پنج معیار زمین، سوخت، حمل و نقل، آب و برق در رتبه اول قرار گرفته است.

عطایی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در مکان‌یابی سامانه مناسب نگهداری از تونل‌های دسترسی معدن گوشفیل در جنوب غربی کشور، انتخاب سامانه نگه‌داری مناسب برای یکی از تونل‌های دسترسی به ماده معدنی معدن سرب و روی گوشفیل را که در تراز ۱۵۶۵ قرار دارد، بررسی کرده است. در این پژوهش با روش LINMAP و با توجه به معیارهای ضریب اطمینان، آسانی اجرای سامانه، جابجایی و نیاز به نیروی انسانی، سامانه نگهداری مناسب برای هر بازه‌ی این تونل، انتخاب شده است. سامانه نگهداری انتخاب شده برای هر ۴ بازه‌ی معرفی شده در این تونل، پیچ سنگ به درازای ۴ متر و با فاصله ۵/۱ متر در سقف و دیواره‌های تونل است.

اسماعیلیان و همکاران در سال ۱۳۹۵ در مقاله‌ای با عنوان مکان‌یابی چند معیاره پیوسته، به بررسی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره در حالت گزینه پیوسته (گزینه‌های تصمیم در طول یک پاره خط) با استفاده از دو روش پرامتی و LINMAP پرداخته‌اند. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط نشان‌دهنده کارایی این دو تکنیک در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره با گزینه‌های پیوسته است. با مطالعه موردی، مناسب‌ترین مکان برای احداث جایگاه سوخت، که دارای کمترین فاصله از گزینه ایده‌آل است، را در فاصله ۲ کیلومتری از شهر در نظر گرفته‌اند.

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی با عنوان تکنیک برنامه‌ریزی فازی مشکوک برای تجزیه و تحلیل چند بعدی اولویت‌های فازی مشکوک، با بهره‌گیری از ساختار اصلی LINMAP، به توسعه یک تکنیک جدید برنامه‌ریزی ریاضی فازی مشکوک پرداخته‌اند. در این پژوهش مدلی با دو تابع هدف در مسائل تصمیم‌گیری محیط زیست با داده‌های فازی مشکوک توسعه یافته است. سپس با مطالعه موردی به انتخاب تامین‌کننده سبز پرداخته شده است که معیار کیفیت تولید در انتخاب نقش مؤثرتری داشته است.

کین و همکاران در سال ۲۰۱۶ در مقاله‌ای با عنوان یک تصمیم‌گیری گروهی چند معیاره فازی بازه‌ای نوع دوم و کاربرد آن در انتخاب تامین‌کننده با روش LINMAP توسعه یافته، به انتخاب بهترین تامین‌کننده با پنج معیار سبز پرداخته‌اند. در این پژوهش نشان داده شده است، روش فوق‌کلی‌تر، انعطاف‌پذیرتر و آسان‌تر نسبت به روش LINMAP فازی نوع اول است.

۳- انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه سیمان

کشور ایران از لحاظ جغرافیایی در منطقه‌ای واقع شده که سلسله کوه‌های آهکی آن را احاطه نموده است، در نتیجه مواد اولیه برای تولید سیمان در داخل کشور به وفور یافت می‌شود. بنابراین دولت تصمیم به ساخت کارخانه سیمان در ایران گرفت (نشریه فن‌آوری سیمان- کتاب تخصصی سیمان). یکی از جنبه‌های تاثیرهای درون‌سازمانی، تاثیر مستقیم آن در سود دهی کارخانه خواهد بود و از بعد برون‌سازمانی، ساخت کارخانه‌های بزرگ در یک منطقه می‌تواند شرایط مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، محیط زیست و غیره را تحت تاثیر خود قرار دهد. (مهندسین مشاور کانی کاوان شرق، ۱۳۸۱). تعیین محل کارخانه سیمان از نظر اقتصادی نقش مهمی در میزان سرمایه‌گذاری اولیه به هنگام تاسیس کارخانه دارد. همچنین هنگام بهره‌برداری طرح، این تصمیم‌گیری، تاثیر کلیدی در قیمت تمام‌شده کالا و خدمت دارد. از اینرو نیاز به شناخت معیارهای موثر در این زمینه دارد.

۴- روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، مجموعه‌ای از روشهایی است که با در نظر گرفتن چندین معیار که گاه با هم متضاد هستند به انتخاب یک گزینه بهتر از بین دو یا چند گزینه متفاوت می‌پردازد و در دو دهه اخیر توجه محققین به این مدلها در تصمیم‌گیری‌های پیچیده بوده است. این فرایند دارای مراحل زیر می‌باشد:

۱- تعریف مساله

۲- شناخت راه‌حلهای ممکن

۳- ارزیابی راه‌حلهای ممکن

۴- انتخاب یک راه حل (آذر و رجب زاده، ۱۳۸۹).

این مدل‌ها شامل دو دسته: مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (غیر جبرانی و جبرانی) و مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه می‌باشد.

۴-۱- تکنیک LINMAP

تکنیک LINMAP توسط اسرینیواسان و شوکر در سال ۱۹۷۳ به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری کلاسیک در تئوری تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری مدرن شناخته شده است (برکتلی و همکاران، ۲۰۱۱). ورودی این روش به صورت روابط رتبه بندی شده از زوج مقایسه‌ها از طریق ماتریس تصمیم‌گیری و خروجی آن به صورت یک مجموعه از اوزان است (هوانگ و یون، ۱۹۸۱). این روش یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه جبرانی است و به دنبال یافتن گزینه‌ای است که کمترین فاصله را با ایده آل‌ترین حالت ممکن داشته باشد. در این روش m گزینه و n شاخص از یک مساله مفروض به صورت m نقطه برداری در یک فضای n بعدی مورد توجه است که از طریق یافتن فاصله اقلیدسی گزینه‌ها با بهترین گزینه، ارجح‌ترین گزینه انتخاب می‌شود (مومنی، ۱۳۸۹؛ راس، ۱۹۹۵).

گام‌های تکنیک LINMAP عبارتند از (هوانگ و یون، ۱۹۸۱؛ اصغرپور، ۱۳۸۸):

۱- تصمیم‌گیرنده، عناصر ماتریس تصمیم را شناسایی می‌کند. (در صورت لزوم بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری با روش خطی انجام می‌شود)

۲- تصمیم‌گیرنده، اولویت رابطه بین گزینه‌ها را با استفاده از مجموعه

$$\Omega = \{(k,L) | x_k \geq x_L, (k,L = 1,2,\dots,m)\}$$

بیان می‌کند. مجموعه Ω به طور نرمال دارای $m(m-1)/2$ (تعداد گزینه‌ها) می‌باشد.

۳- تصمیم‌گیرنده، مقدار x_{ij} گزینه‌ها (A_i) را با توجه به معیارها (C_j) تعیین می‌کند.

۴- در این گام ماتریس تصمیم تکمیل می‌شود.

۵- مدل برنامه‌ریزی خطی با استفاده از معادله (۱) ساخته می‌شود:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{(k,l) \in \Omega} Z_{kl} \\ & s. t. \\ & \sum_{j=1}^n W_j \sum_{(k,l) \in \Omega} (x_{Lj}^2 - x_{Kj}^2) - 2 \sum_{j=1}^n V_j \sum_{(k,l) \in \Omega} (x_{Lj} - x_{Kj}) = h \\ & \sum_{j=1}^n W_j (x_{Lj}^2 - x_{Kj}^2) - 2 \sum_{j=1}^n V_j (x_{Lj} - x_{Kj}) + Z_{kl} \geq 0 \quad ((k,l) \in \Omega) \quad (1) \\ & \sum_{j=1}^n W_j = 1 \\ & Z_{kl} \geq 0 \quad ((k,l) \in \Omega) \end{aligned}$$

(مقدار ثابت دلخواه)

۶- در این گام مدل برنامه ریزی خطی با استفاده از روش سیمپلکس حل می‌گردد.

۷- وزن هریک از معیارها W_j و بردار $r_j^* (j = 1, 2, \dots, m)$ که نشان دهنده ایده آل از شاخص j ام است با استفاده از معادله (۲) به دست می‌آید.

$$V_j = W_j r_j^* \quad (2)$$

همچنین اوزان W_j به منظور تبدیل مقیاس‌های موجود به مقیاس‌های یکسان بوده که ضمناً درجه اهمیت هر شاخص را هم نشان می‌دهند.

۸- مقدار $S_i (i=1, 2, \dots, m)$ برای هر گزینه با استفاده از معادله (۳) محاسبه می‌گردد.

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j (x_{ij} - r_j^*)^2 \quad (3)$$

۹- براساس مقدار صعودی $S_i (i=1, 2, \dots, m)$ گزینه‌ها رتبه بندی می‌شوند.

۵- روش شناسی پژوهش

در این بخش ابتدا معیارهای مؤثر در مکان‌یابی صنعتی معرفی می‌شوند و مورد بررسی قرار می‌گیرند. سپس در ادامه الگوی اجرای پژوهش توصیف می‌شود. یعنی در مرحله اول به روش جمع‌آوری داده‌ها و بررسی تأیید روایی آن‌ها، با نظر خبرگان پرداخته می‌شود، سپس با ذکر جامعه آماری پژوهش، بر روی داده‌ها تحلیل صورت می‌گیرد و نتیجه‌گیری حاصل می‌شود.

بر اساس ادبیات تحقیق، چنانچه در مبانی نظری گفته شد، معیارهای مورد استفاده برای انتخاب محل مناسب جهت احداث کارخانه که از منابع شیرویه زاد و کاویانی (۱۳۹۲)، آگهی و عبدی (۱۳۸۸) و عطایی (۱۳۸۷) برداشت شده است به تفسیر ارائه می‌شوند:

۱- نزدیکی و دسترسی به مواد اولیه و هزینه حمل و نقل: در تعیین محل کارخانه برای دوری یا نزدیکی به محل مواد اولیه از یک اصل کلی پیروی می‌شود؛ یعنی هرگاه مواد اولیه حجیم، سنگین و فساد پذیر باشند و در کارخانه به مواد سبکتر و قابل حمل و نقل تبدیل شود، کارخانه را نزدیک به مواد اولیه احداث می‌نمایند.

۲- تامین آب: باید فاصله و هزینه چاه های آب تا محل احداث کارخانه مورد توجه قرار گیرد.

۳- تامین برق: باید فاصله و هزینه پست برق تا محل احداث کارخانه مورد توجه قرار گیرد.

۴- تامین گاز: باید فاصله و هزینه خط سراسری گاز تا محل احداث کارخانه مورد توجه قرار گیرد.

۵- محل بازار فروش محصولات صنعتی: نزدیکی به بازار فروش «به ویژه بازارهای محلی» برای دسترسی سریع واحد صنعتی، حائز اهمیت است، زیرا سبب کاهش هزینه حمل و نقل و قیمت تمام شده می‌گردد.

۶- دسترسی به نیروی کار: جذب عامل انسانی و نیروی کار و متخصصین محلی و منطقه ای با شرایط و تخصص مورد نیاز در رابطه با ظرفیتهای کاری کارخانه از نظر کمی و کیفی بسیار مد نظر است.

۷- شرایط زیست محیطی: گازها و دود حاصل از دستگاه ها، عوارض فیزیکی شامل صدا، گرما و لرزش که باید با وسایل به خصوصی در حد قابل تحمل آن را کاهش داد. پساب فاضلاب صنعتی با استفاده از پمپها و مجاری فاضلاب در محل دیگری تخلیه می‌شود یا در حوضچه های مخصوص تصفیه و مجدداً استفاده می‌شود.

۸- کیفیت زمین: کارخانه های دارای ماشین آلات عظیم و سنگین را نمیتوان در هر محلی مخصوصاً زمینهای شنی و رسوبی نصب کرد.

برای جمع‌آوری داده‌ها از روش پرسشنامه استفاده می‌شود. به این منظور پرسشنامه ای طراحی و برای تأیید روایی آن در اختیار چند نفر از خبرگان صنعت سیمان قرار گرفته تا از نظرات این متخصصان استفاده شود. روایی محتوا با استفاده از روش والتز و باسل، روایی سازه با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی بررسی و با توجه به معنی دار بودن آماره بارتلت، سازه مورد تأیید قرار گرفته است. برای تأیید روایی صوری، از جامعه اصلی استفاده شده و یک نمونه پنج نفره آنرا تأیید نموده اند.

جامعه آماری پژوهش شامل محل های کاندید جهت احداث کارخانه سیمان است. با توجه به روش مورد استفاده، از سرشماری برای جمع اوری داده ها استفاده شده است.

برای تحلیل داده ها از روش LINMAP استفاده می‌شود. به این منظور ابتدا با در نظر گرفتن ماتریس تصمیم گیری، ارجحیت بین گزینه ها تعیین می‌شود، سپس با حل مدل (۱) (مدل برنامه ریزی خطی)، مقادیر اوزان معیارها و فواصل هر کدام از گزینه ها تا گزینه ایده آل محاسبه می‌شود. نرم افزار مورد استفاده در این پژوهش، Excel (اسماعیلیان، ۲۰۰۹) است.

به منظور انجام این پژوهش، چارچوب اجرایی مطابق با شکل ۱ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده

می‌شود، در مرحله اول به جمع‌آوری داده‌ها پرداخته می‌شود، سپس بر روی داده‌ها تحلیل صورت گرفته و نتیجه‌گیری حاصل می‌شود.



شکل ۱. الگوی اجرایی پژوهش

۶- مطالعه موردی و یافته‌ها

قدیمی‌ترین کارخانه سیمان در اصفهان در سال ۱۳۳۴ تاسیس شد. این کارخانه در جنوب غربی شهر اصفهان واقع است. با توجه به نیاز این استان به این صنعت از نظر ساختار کارخانه، شامل مرکزیت، قطبیت و صنعتی بودن می‌باشد. در بین حوزه‌های این استان، سه حوزه‌ی امین‌آباد، نطنز و مهیار مورد مطالعه انتخاب شد. دلیل انتخاب این حوزه‌ها، دسترسی به اطلاعات، بلوغ دانشی نسبی بیشتر و .. می‌باشد. این حوزه‌ها دارای شرایط جغرافیایی مناسب هستند و فرآیندهایی همچون رونق اقتصادی و توسعه محصول را در پی خواهند داشت.

در گام اول براساس معیارهایی که در روش‌شناسی پژوهش آمده، داده‌ها جمع‌آوری شده و ماتریس تصمیم‌گیری مطابق جدول ۱ تشکیل شده است. در این ماتریس گزینه‌ها محل‌های احداث هستند و شامل ۸ معیار است، که در آن معیارهایی که با علامت * مشخص شده‌اند، معیارهای کیفی هستند که تبدیل به معیارهای کمی شده‌اند (ساعتی، ۲۰۰۱).

جدول ۱. ماتریس تصمیم‌گیری

معیارها	نزدیکی و دسترسی به مواد اولیه*	فاصله تا منابع آب (km)	فاصله تا منابع برق (km)	فاصله تا منابع گاز (km)	شرایط زیست محیطی*	دسترسی به نیروی کار*	نزدیکی به بازار فروش (مسافت km)	کیفیت زمین*
	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)
امین آباد	۹	۱۰۰	۸۶	۹۶.۵	۹	۵	۱۲۷	۹
نطنز	۷	۶۰	۶۵	۸۰	۹	۵	۱۰۸	۵
مهبیار	۷	۴۹.۲	۷۳	۳۱.۸	۵	۹	۶۱	۹

سپس طبق جدول ۲، ماتریس با روش خطی بی مقیاس می شود.

جدول ۲. ماتریس بی مقیاس شده

معیارها	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
امین آباد	۱	۰.۴۸	۰.۵۵۶	۱	۰.۳۳	۰.۷۵۶	۰.۴۹۲	۱
نطنز	۰.۵۵۶	۰.۵۶۵	۰.۵۵۶	۱	۰.۳۹۸	۱	۰.۸۲	۰.۷۷۸
مهبیار	۱	۱	۱	۰.۵۵۶	۱	۰.۸۹	۱	۰.۷۷۸

در گام دوم، اولویت رابطه بین گزینه ها توسط خبرگان بصورت زیر مشخص می شود

$$\Omega = \{(1,2), (3,1), (3,2)\}$$

در گام‌های بعدی، مدل برنامه‌ریزی خطی با استفاده از معادله (۱) و با توجه به مجموعه Ω ، به صورت معادله

(۴) ساخته شده و با روش سیمپلکس حل می‌شود:

$$\text{Min } Z = Z_{12} + Z_{31} + Z_{32}$$

S.t

$$-0.395W_1 + 0.430W_2 + 0.429W_3 + 0.049W_4 + 0.088W_7 - 0.69W_8 + 0.444V_1 - 0.656V_2$$

$$- 0.488V_3 - 0.136V_4 - 0.169V_7 + 0.889V_8 + Z_{12} \geq 0 \quad ; (1,2) \in \Omega$$

$$-0.395W_1 - 0.758W_2 - 0.22W_3 - 0.89W_4 + 0.691W_5 - 0.69W_6 - 0.77W_7 - 0.444V_1 +$$

$$1.016V_2 + 0.269V_3 + 1.341V_4 - 0.889V_5 + 0.889V_6 + 1.039V_7 + Z_{31} \geq 0 \quad ; (3,1) \in \Omega$$

$$-0.328W_2 + 0.207W_3 - 0.84W_4 + 0.691W_5 - 0.69W_6 - 0.68W_7 - 0.69W_8 - 0.36V_2$$

$$+ 0.219V_3 - 1.205V_4 + 0.889V_5 - 0.89V_6 - 0.87V_7 - 0.89V_8 + Z_{32}$$

$$\geq 0 \quad ; (3,2) \in \Omega$$

$$-0.655W_2 + 0.414W_3 - 1.68W_4 + 1.383W_5 - 1.38W_6 - 1.36W_7 - 1.38W_8 = 1$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7 + W_8 = 1$$

$$W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8, Z_{12}, Z_{31}, Z_{32} \geq 0$$

$$V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8 \text{ آزاد در علامت} \quad (۴)$$

با حل مدل (۴) مقادیر به دست آمده از W^* (وزن معیارها) و r^* که طبق معادله (۲) محاسبه می‌شوند، در جدول ۳ آمده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر r^* برای تمامی معیارها صفر به دست آمده و W^* نیز برای تمامی معیارها به غیر از دو معیار «شرایط زیست محیطی» و «دسترسی به نیروی کار» صفر شده است. این نشان می‌دهد، LINMAP به غیر از دو معیار فوق، بقیه معیارها را در انتخاب محل مناسب بی‌تأثیر می‌داند.

جدول ۳. نتایج مدل برنامه ریزی خطی

معیارها	دسترسی به مواد اولیه*	فاصله تا منابع آب (km)	فاصله تا منابع برق (km)	فاصله تا منابع گاز (km)	شرایط زیست محیطی*	دسترسی به نیروی کار*	نزدیکی به بازار فروش (مسافت km)	کیفیت زمین*
	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)
W^*	۰	۰	۰	۰	۰.۸۶۲	۰.۱۳۸	۰	۰
r^*	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

سپس مقدار S_i ها (فواصل گزینه‌ها از نقطه ایده آل) طبق معادله (۳) به دست می‌آیند که نتایج حاصل از آن و در نهایت رتبه بندی گزینه‌ها مطابق با جدول ۴ است. مقدار S_i به دست آمده حاکی از آن است که، حوزه مهیار محل مناسب برای احداث کارخانه است.

جدول ۴. رتبه‌بندی گزینه‌ها

رتبه	S_i	گزینه
۲	۰.۹۳۸	امین آباد
۲	۰.۹۳۸	نطنز
۱	۰.۶۱۷	مهیار

مطابق با جدول ۴ گزینه مهیار با امتیاز ۰.۶۱۷ به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. بنابراین، در مقایسه با سایر گزینه‌ها در تصمیم‌گیری از اولویت بیشتری برخوردار است. لازم به ذکر است دلیل اولویت این گزینه، مقایسه دو به دو گزینه‌ها و اولویت بندی آن‌ها توسط تصمیم‌گیرنده است. باید توجه داشت در صورتی که مقایسه دیگری بین گزینه‌ها صورت گرفته بود، ممکن بود دیگر این گزینه به عنوان گزینه اولویت دار مطرح نشود.

همچنین مطابق با جدول ۴ با توجه به اولویت یکسان گزینه‌های ۱ و ۲ به عنوان رتبه دوم، اولویت بندی بهتری با استفاده از تحلیل حساسیت می‌تواند صورت گیرد. طبق جدول ۵، نتیجه تحلیل حساسیت بر روی متغیرهای مساله (۴) حاکی از آن است که، گزینه امین آباد و نظنز با امتیازهای ۰.۶۳۲ و ۰.۶۷۲ به ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را دریافت کرده‌اند.

جدول ۵. رتبه بندی گزینه‌ها با تحلیل حساسیت

رتبه	S_i	گزینه
۲	۰.۶۳۲	امین آباد
۳	۰.۶۷۲	نظنز
۱	۰.۴۸۴	مهیار

یافته‌های این پژوهش از نظر نوع متغیرهای مورد مطالعه نسبت به پژوهش الیاسی (۱۳۹۰) و جعفری و کلاتتری (۱۳۹۳)، متغیرهای میزان دسترسی به مواد اولیه، فاصله تا منابع انرژی و کیفیت زمین را در بر نمی‌گیرد. دلیل این تفاوت آن است که در تحقیق حاضر، با اضافه شدن متغیرهای دیگر همچون شرایط زیست محیطی و دسترسی به نیروی کار و مورد اهمیت قرار دادن متغیرهای فوق توسط روش LINMAP با در نظر گرفتن حوزه‌های مورد مطالعه، تعداد آن‌ها و با توجه به میزان آلاینده‌گی کارخانه‌های سیمان و شرایط جغرافیایی هر منطقه با یافته‌های تحقیق‌های قبلی، فاصله دارد. در پژوهش‌های قبلی جهت وزن دهی معیارها از روش پرسشنامه استفاده شد؛ این درحالیست که در این پژوهش از LINMAP به این منظور استفاده شد.

۸- نتیجه‌گیری

از آنجایی که صنعت سیمان به عنوان یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان شدید انرژی در میان صنایع جهان است و با توجه به مسأله مکان‌یابی واحدهای صنعتی، که در چندین دهه اخیر توجه اکثر محققان را به خود جلب کرده است، مطالعه و تصمیم‌گیری انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه سیمان امری مهم و ضروری به حساب می‌آید.

هدف این پژوهش انتخاب محل مناسب احداث کارخانه سیمان بود. به این منظور بر روی سه حوزه انجام شد. الگوی LINMAP پیشنهاد شد. استان اصفهان به عنوان استان مورد مطالعه انتخاب شد. یافته‌های عمده حاکی از آنست که معیارهای شرایط زیست محیطی و دسترسی به نیروی کار به ترتیب با وزنهای ۰.۸۶۲ و ۰.۱۳۸ برای تصمیم‌گیری انتخاب شدند. همچنین، حوزه‌های مهیار با رتبه ۱ و امین‌آباد و نظنز با رتبه ۲ به ترتیب انتخاب شدند. همچنین برای نتیجه‌گیری بهتر در اولویت‌های بعدی، با استفاده از تحلیل حساسیت حوزه‌های امین‌آباد و نظنز با رتبه‌های ۲ و ۳ به ترتیب برای برنامه‌های توسعه به مدیران پیشنهاد شدند.

بر اساس یافته‌های جدول ۳ و ۴ به مدیران پیشنهاد می‌شود با توجه به شرایط زیست محیطی و دسترسی به نیروی کار حوزه مهیار را در اولویت قرار دهند. چرا که چنین انتخابی سبب پایداری و تثبیت بیشتر دستاوردهای بهبود در استان اصفهان می‌شود و رونق اقتصادی بیشتری در پی خواهد داشت. به لحاظ نظری، الگوی LINMAP این پژوهش را از سایر پژوهش‌ها متمایز می‌سازد. از جنبه کاربردی، یافته‌ها مورد استفاده مدیران در استان اصفهان خواهد بود. با توجه به تاثیر یافته‌ها بر کیفیت محل احداث، مدیران و شهروندان احساس رضایت بیشتری خواهند داشت. به این ترتیب، کارخانه سیمان در پاسخ‌گویی اجتماعی خود موفق‌تر خواهد بود و با توجه به آنکه پاسخگویی اجتماعی به لحاظ حکمرانی شرکتی دارای اهمیت ویژه است، می‌تواند باعث شود تا تمایز رقابتی در بین سایر مناطق پیدا کند. از محدودیت‌های پژوهش می‌توان به محدود بودن معیارهای تصمیم‌گیری به شرایط زیست محیطی و دسترسی به نیروی کار اشاره کرد. زیرا با توجه به اینکه در این پژوهش ۸ معیار مورد بررسی قرار گرفته، روش LINMAP تنها دو معیار فوق‌را اثرگذار دانسته است. همچنین، روش تحلیل در این پژوهش نیز، LINMAP بود. یافته‌های این پژوهش محدود به سه حوزه صنعتی استان اصفهان بود که بر این اساس باید در تعمیم یافته‌ها به حوزه‌های دیگر استان اصفهان احتیاط نمود.

به پژوهشگران پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، گزینه‌های بیشتری را نیز از استان‌های همجوار در تحقیق خود بررسی نمایند. همچنین، به جای روش LINMAP از رویکردهای دیگر تصمیم‌گیری چند معیاره مانند الکره و AHP نیز استفاده نموده و نتایج خود را با این پژوهش مقایسه نمایند. در صورتی که روش پیشنهادی در مناطق دیگر استان اصفهان مورد بررسی قرار گیرد و نتایج آن با این تحقیق مقایسه شود، روش پیشنهادی اعتبارسنجی بیشتری خواهد داشت. بالاخره آنکه انجام این تحقیق در فصول دیگر می‌تواند زمینه لازم را برای تحلیل تاثیر پذیری روش پیشنهادی از گذشت زمان فراهم سازد.

۹- قدردانی

نویسندگان این مقاله از کارشناسان سیمان اصفهان برای تأمین داده‌های لازم، سپاس‌گزاری می‌نمایند.

۱۰- مراجع

۱۰-۱- مراجع فارسی

آذر، عادل؛ رجب زاده، علی. (۱۳۸۹). تصمیم‌گیری کاربردی: رویکرد MADM (ویرایش اول). چ ۴. تهران: نگاه دانش.

آگهی، ح. عبدی، ف. (۱۳۸۸)، « مکان یابی و ظرفیت‌سنجی کارخانه قند سوم استان کرمانشاه»، مجله بین‌المللی اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال هفدهم، شماره ۶۸.

اسماعیلیان، م. محمدی شاهپوردی، س. علی محمدی کمال آبادی، م. (۱۳۹۵)، « مکان یابی چند معیاره پیوسته با استفاده از PROMETHEE-IV و LINMAP»، مجله مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم، پیاپی ۱۲، شماره ۱.

اصغرپور، محمدجواد. (۱۳۸۸). تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، چاپ هفتم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
 الیاسی، س. ف. (۱۳۹۰). مکان‌یابی کارخانه سیمان در استان کردستان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS. مقطع کارشناسی ارشد، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، مهندسی معدن، ژئوفیزیک و نفت.
 پایگاه اینترنتی مقالات سیمان، نشریه فناوری سیمان-کتاب تخصصی سیمان.
<http://www.cementtechnology.ir>

جعفری، د. کلانتری، س. (۱۳۹۳)، « مکان‌یابی کارخانه سیمان با رویکرد فازی»، کنفرانس بین‌المللی مدیریت در قرن ۲۱، ۱۶-۱۷ مرداد، ایران.

جوزی، س. ع. عطایی ص. (۱۳۹۴)، « بررسی آثار محیط‌زیستی کارخانه ایران خودرو دیزل به روش تلفیقی Entropy و LINMAP»، مجله محیط‌شناسی، دوره ۴۱، شماره ۲، صفحه ۳۸۷-۳۷۳.

شیرویه زاد، ه. و کاویانی باغبادرانی، ط. (۱۳۹۲)، « مکان‌یابی یک واحد تولیدی محصولات فولادی در شهرک‌های صنعتی استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری با استفاده از AHP و TOPSIS»، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستمها، ۶-۷ اسفند، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.

عطایی، م. (۱۳۸۷)، « انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا-سیمان با استفاده از روش الکتیره»، مجله بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ویژه‌نامه مهندسی مواد، معدن و عمران، جلد ۱۹، شماره ۹، صفحات ۷۳-۶۵.

عطایی، م. حیاتی، م. و رنجبر، ز. (۱۳۹۲)، «انتخاب سامانه مناسب نگهداری از تونل‌های دسترسی معدن گوسفیل با روش LINMAP»، مجله علمی-پژوهشی «عمران مدرس»، دوره سیزدهم، شماره ۲.

عطایی، م. (۱۳۸۹). تصمیم‌گیری چند معیاره، چاپ اول، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

موسوی، س. م. قربانی کیا، آ. (۱۳۹۱)، «مدیریت و تحلیل ریسک‌های تدارکات پروژه‌های احداث با استفاده از تکنیک LINMAP»، کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، ایران.

مهندسین مشاور کانی کاوان شرق (۱۳۸۱).، پروژه خدمات مهندسی انتخاب مقدماتی ساختگاه کارخانه تولید آلومینا از نفلین سینیت.

مؤمنی، منصور. (۱۳۸۹). مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

۱۰-۲- مراجع لاتین:

Berketli, I., Genevois, M. E., Albayrak, Y. E. and Ozyol, M. (2011). "WEEE treatment strategies' evaluation using fuzzy LINMAP method". *Expert systems with Applications*, Vol. 38, No. 36, pp. 71-79.

Esmaelian, M. (2009). Excel application in mathematical modeling and statistical analysis. Isfahan: Islamic Azad University of Najaf Abad.

Hwang C.L. Paul Yoon, K.(1981). "Lecture Notes in Economics and Mathematical System", pp. 154-168.

Hwang, C.L. and Yoon, K. (1981). "Multiple Attribute Decision Making methods and applications". Springer.

Qin, J., Liu, X. and Pedrycz, W. (2016). "A multiple attribute interval type-2 fuzzy group decision making and its application to supplier selection with extended LINMAP method". Springer-verlag, Berlin, Heidelberg.

Ross, T. J. (1995). Fuzzy logic with engineering applications (International ed.). New York: McGraw-Hill.

Saati, T.L. (2001), "Decision Making for Leaders", Rws Publication, P315

Uson AA, Lopez-Sabiron AM, Ferreira G, Sastresa EL. (2013). "Uses of alternative fuels and raw aterials in the cement industry as sustainable waste management options". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 23, No. 1, pp. 242-260.

Zhang, X., Xu, Z. and Xing, X. (2015). "Hesitant fuzzy programming technique for multidimensional analysis of hesitant fuzzy preferences". Springer-verlag, Berlin, Heidelberg.