

رویکرد توسعه یافته برنامه‌ریزی آرمانی فازی به منظور تعیین مکان احداث کارخانه فرآوری

عزالدین بخت‌آور^{۱*}، رضا لطفیان^۲

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و مواد، دانشگاه صنعتی ارومیه

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و مواد، دانشگاه صنعتی ارومیه

(دریافت: دی ۱۳۹۴، پذیرش: آذر ۱۳۹۵)

چکیده

تعیین مکان احداث کارخانه فرآوری یکی از تصمیم‌های مهم در مکان‌یابی و جانمایی تأسیسات معدن در طراحی پروژه‌های معدنی است. مساله مکان‌یابی کارخانه فرآوری را می‌توان یک مساله چندهدفه در نظر گرفت و با روش برنامه‌ریزی آرمانی آن را حل کرد. در این مقاله، برای حل مساله مکان‌یابی کارخانه فرآوری برای اولین بار رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی آرمانی فازی توسعه و به کار گرفته شده است. به منظور تعیین کارآمدی این رویکرد در حل مساله مکان‌یابی، معدن مس سونگون مورد مطالعه قرار گرفت. در تعیین مکان کارخانه فرآوری برای این معدن، پنج آرمان نزدیکی به سنگ‌شکن، نزدیکی به سد باطله، نزدیکی به منبع برق، دوری از نقاط آتشفباری و شیب توپوگرافی در نظر گرفته شدند. همچنین، شش گزینه عملی با بررسی نقشه محدوده معدنی شناسایی شده و در نهایت گزینه‌ها رتبه‌بندی شدند. در بررسی‌های عینی از محدوده و مکان‌های مورد بررسی، مشخص شد که با توجه به سطوح آرمانی اهداف انتخاب مکان کارخانه و وزن‌های اختصاص داده شده به آرمان‌ها، گزینه تعیین شده مکان ایده‌آل برای احداث کارخانه فرآوری این معدن بوده است.

کلید واژه‌ها

مکان‌یابی، کارخانه فرآوری، برنامه‌ریزی آرمانی فازی، مدلسازی ریاضی، معدن مس سونگون

۱- مقدمه

تصمیم‌گیری چند معیاره در شرایط قطعی و فازی استفاده شده است. این روش‌ها علی‌رغم مزایایی که دارند در صورت افزایش تعداد معیارها و یا گزینه‌ها کارایی خود را از دست می‌دهند. برای مثال در روش AHP که یکی از پرکاربردترین فرآیندهای طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، در صورت تعدد معیارها و یا گزینه‌ها به دلیل استفاده از مقایسه‌های زوجی در بطن فرآیند، امکان بروز اشتباه وجود داشته و پاسخ بهینه حاصل نخواهد شد. در پژوهش حاضر، رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و تعیین بهترین گزینه احداث کارخانه فرآوری توسعه داده شده و استفاده شده است. لازم به ذکر است که برنامه‌ریزی آرمانی یک رویکرد قوی برای مدلسازی و تحلیل مسایل تصمیم‌گیری چند هدفه است که کاربرد آن برای تعیین مکان کارخانه فرآوری در بررسی منابع، مشاهده نشد. همچنین، تفاوت دیگر این نوشتار با سایر پژوهش‌های صورت گرفته در نظر گرفتن معیارهای جدید مانند فاصله ایمن‌تر مکان انتخابی تا نقاط آتشیاری است. بر این اساس، فضایی ایمن با کم‌ترین مقدار لرزش برای مکان انتخابی می‌تواند تامین شود که با وجود اهمیت بالای آن تاکنون در پژوهش‌های مشابه به‌عنوان یک معیار موثر در مکان‌یابی کارخانه فرآوری مورد توجه قرار نگرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

امروزه، روش‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه جوابگوی نیازهای مدیران نیست بلکه در دنیای واقعی دستیابی به سطح رضایت‌بخشی از چندین هدف به طور همزمان موردنظر است. در این زمینه، برنامه‌ریزی آرمانی یک ابزار قوی برای تحلیل تصمیم‌های چندهدفه است که یکی از ویژگی‌های آن، دستیابی همزمان به چندین هدف بر مبنای اولویت‌بندی است [۱۲]. چارنز و کوپر^۴ در سال ۱۹۶۱، برنامه‌ریزی آرمانی را ارایه دادند [۱۳]. برنامه‌ریزی آرمانی در دهه‌های اخیر رشد زیادی داشته و طیف گسترده‌ای را به سمت کاربردهای این رویکرد سوق داده است [۱۴-۱۶].

هدف مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی قطعی، کمینه‌سازی انحراف‌های از سطوح آرمان‌های مشخص شده توسط تیم تصمیم‌گیرنده است. تعیین دقیق سطوح آرمان برای اهداف در دنیای واقعی کاری دشوار برای تصمیم‌گیرنده است [۱۷]. در واقع، بیشتر مسایل دنیای واقعی در محیط غیرقطعی قرار

احداث کارخانه فرآوری برای یک معدن، امکان فروش محصولات معدنی به صورت تغلیظ یافته و آماده استفاده برای مرحله ذوب و پالایش را فراهم می‌کند و ضمن جلوگیری از خام فروشی، سوددهی به مراتب بالاتری را به همراه خواهد داشت. تعیین یک مکان بهینه برای این منظور، از نظر اقتصادی نقش مهمی در کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری هنگام تأسیس کارخانه داشته و علاوه بر جلوگیری از صرف هزینه‌های سرمایه‌ای کلان در طول عمر کارخانه، با کاهش هزینه‌های حمل و نقل تأثیر کلیدی در کاهش قیمت تمام شده محصول معدنی دارد. تاکنون از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری در شرایط قطعی و فازی برای مکان‌یابی واحدهای صنعتی استفاده شده است [۱-۵]. به طور خاص برای مکان‌یابی کارخانه فرآوری، می‌توان به تعیین مکان احداث کارخانه فرآوری فاز یک معدن آهن سنگان خواف ایران با استفاده از روش AHP توسط صفری و همکاران در سال ۲۰۱۰ و به کارگیری روش فازی تاپسیس برای تعیین مکان احداث کارخانه فرآوری فاز ۲ همین معدن در سال ۲۰۱۲ اشاره کرد [۷، ۶].

از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی و برنامه‌ریزی آرمانی فازی نیز در زمینه مکان‌یابی استفاده شده است. کواک و اشنایدرجانز^۱ در سال ۱۹۸۵ رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی را برای مکان‌یابی تسهیلات با هدف کمینه کردن هزینه‌های مواد اولیه، خدمات رفاهی، هزینه‌های کارگری و هزینه‌های حمل و نقل به کار بردند [۸]. باتاچاریا و همکاران^۲ در سال ۱۹۹۳ از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی با دو هدف کمینه کردن مجموع هزینه‌های حمل و نقل و فواصل تسهیلات از نقاط تقاضا برای مکان‌یابی تسهیلات استفاده کردند [۹]. چانگ و وانگ^۳ در سال ۱۹۹۶ همین رویکرد را برای برنامه‌ریزی و تعیین مکان ایستگاه‌های انتقال و دفن زباله‌های شهری به کار بردند [۱۰]. زرنندی و همکاران، دفاتر پستی جدید را در کلان شهر تهران با استفاده از ترکیب رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی و GIS و با هدف کمینه کردن فواصل مکان‌های انتخابی با نقاط تقاضا، مکان‌یابی کردند [۱۱].

همان‌طور که از پژوهش‌های مرتبط مورد بررسی پیدا است، برای مکان‌یابی واحدهای صنعتی بیشتر از روش‌های

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{if } G_i(x) \geq g_i, \\ \frac{G_i(x) - L_i}{g_i - L_i} & \text{if } L_i \leq G_i(x) \leq g_i \\ 0 & \text{if } G_i(x) \leq L_i, \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{if } G_i(x) \geq g_i, \\ \frac{U_i - G_i(x)}{U_i - g_i} & \text{if } g_i \leq G_i(x) \leq U_i \\ 0 & \text{if } G_i(x) \geq U_i, \end{cases} \quad (5)$$

که در آن L_i (or U_i) حد قابل قبول پایین (بالا) نامین هدف فازی $G_i(x) \geq g_i$ ($G_i(x) \leq g_i$) است. تیواری و همکاران مدل بیان شده در رابطه ۶ را فرموله کردند.

$$\text{Maximize } Z = [W_1\mu_1 + W_2\mu_2 + W_3\mu_3 + \dots + W_K\mu_K]$$

subject to

$$\begin{aligned} \mu_i &= \frac{G_i(x) - L_i}{g_i - L_i} \quad \text{for some } i, \\ \mu_j &= \frac{U_j - G_j(x)}{U_j - g_j} \quad \text{for some } j, j \neq i, \\ Ax &\leq b, \\ \mu_i, \mu_j &\leq 1, \\ x, \mu_i, \mu_j &\geq 0; \quad i, j \in \{1, \dots, n\}, \end{aligned} \quad (6)$$

که در آن Z برداری است از توابع خطی با درجه عضویت وزن داده شده از K آرمان، x بردار متغیرهای تصمیم گیری، μ_i درجه عضویت دسترسی به هدف i ام، $G_i(x)$ i امین آرمان فازی با یک تابع عضویت مثلثی، g_i سطح آرزوی مطلوب برای دسترسی به آرمان i ام و W_i وزن آرمان i ام و $Ax \leq b$ بردار محدودیت های قطعی در سیستم است.

۳- توسعه رویکرد برنامه ریزی آرمانی فازی با کاربرد معدنی

به منظور توسعه مدل برنامه ریزی آرمانی فازی برای کاربردهای معدنی به ویژه تعیین مطلوب ترین مکان احداث کارخانه فرآوری، معدن مس سونگون مورد بررسی قرار گرفت. معدن مس سونگون در ۱۰۰ کیلومتری شمال شرقی تبریز و ۲۵ کیلومتری شمال ورزقان قرار دارد. این معدن در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی واقع شده است. ذخیره زمین شناسی کانسار حدود ۷۹۶ میلیون تن برآورد شده است. تولید سالیانه معدن در ۷ سال اول بهره برداری، ۷ میلیون تن در سال و در سال های بعدی ۱۴ میلیون تن در سال تعیین شده است که کارخانه فرآوری در فاز اول و دوم

می گیرند و یکی از ابزارهای مفید برای برخورد با عدم قطعیت، نظریه مجموعه فازی است [۱۸، ۱۹]. مدل برنامه ریزی آرمانی فازی برای اولین بار توسط ناراسیمهان^۵ در سال ۱۹۸۰ مطرح شد [۲۰]. حنان^۶ همان مدل ناراسیمهان را در نظر گرفت و یک مدل را برای حل آن توسعه داد [۲۱]. در مدلسازی به روش برنامه ریزی آرمانی فازی اغلب پژوهشگران گذشته [۲۰-۲۲] ابتدا عملگر کمینه سازی را به کار برده تا درجه های عضویت آرمان ها را کمینه کنند و سپس تابع درجه عضویت تصمیم فازی را با هدف بیشینه کردن استفاده کردند. مطابق با مدل یانگ^۷ به صورت رابطه ۱، $G_K(x)$ بیانگر K امین آرمان فازی با یک تابع عضویت مثلثی است.

$$\mu_K = \begin{cases} 0 & \text{if } G_K(x) \geq b_K + d_{k2} \\ 1 - \frac{G_K(x) - b_K}{d_{k2}} & \text{if } b_K \leq G_K(x) \leq b_K + d_{k2} \\ \frac{1}{d_{k2}} & \text{if } G_K(x) = b_K \\ 1 - \frac{G_K(x) - b_K}{d_{k2}} & \text{if } b_K - d_{k1} \leq G_K(x) \leq b_K \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

که b_K سطح آرزو (آرمانی) هدف K ام و d_{k1} و d_{k2} به ترتیب بیشینه سطح انحراف در جهت منفی و مثبت از b_K هستند. نتیجه فرمول بندی برنامه ریزی خطی به صورت رابطه ۲ است.

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } \lambda \\ &\text{subject to} \\ &\lambda \leq 1 - \frac{G_K(x) - b_K}{d_{k2}} \\ &\lambda \leq 1 - \frac{b_K - G_K(x)}{d_{k1}} \\ &\lambda, x \geq 0, \quad \text{for all } k \end{aligned} \quad (2)$$

تیواری و همکاران^۸ روشی را برای مدلسازی برنامه ریزی آرمانی فازی ارائه کردند که این روش مجموعه جواب x برای مساله برنامه ریزی آرمانی فازی که شامل m هدف فازی به صورت $G_i(x)$ است را جستجو می کند [۲۳].

$$\begin{aligned} &G_i(x) \geq g_i \quad (\text{or } G_i(x) \leq g_i); \quad i = 1, \dots, m \\ &\text{subject to} \\ &Ax \leq b; \quad x \geq 0, \end{aligned} \quad (3)$$

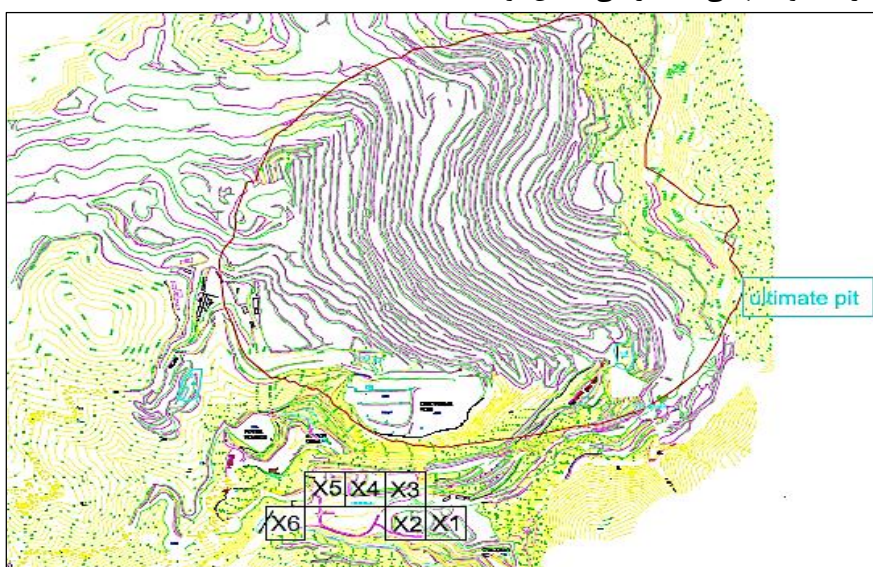
تابع درجه عضویت خطی μ_i برای نامین هدف فازی براساس پژوهش های زیمرمان^۹ [۲۴، ۲۵] به صورت رابطه های ۴ و ۵ تعریف می شود.

و با رعایت تمرکز در احداث واحدهای صنعتی، فاصله‌ای منطقی از سایر تاسیسات معدن مانند سنگ‌شکن اصلی، پست برق و سد باطله داشته باشد. به‌علاوه، با توجه به توپوگرافی خشن و کوهستانی بودن منطقه، باید فاصله ایمن از دره‌ها و پرتگاه‌ها رعایت شود. با مدنظر قرار دادن همه ملاحظات، شش گزینه توسط تیم تصمیم‌گیرنده به عنوان مکان‌های احتمالی ساختگاه کارخانه شناسایی شدند و گزینه برتر باید از بین این شش گزینه انتخاب شود. در شکل ۱ نقشه محدوده معدنی و گزینه‌های موردنظر نشان داده شده است.

به ترتیب برای تولید ۱۵۰ و ۳۰۰ هزار تن کنسانتره در سال طراحی شده است.

۳-۱- گزینه‌ها و معیارهای تعیین مکان احداث کارخانه فرآوری

گام اول در فرآیند انتخاب و تعیین مکان، جمع‌آوری و ارزیابی داده‌ها است. از این‌رو، با حضور تیم تصمیم‌گیرنده در محل معدن و بررسی نقشه‌های توپوگرافی و نتایج اکتشاف‌های تفصیلی معدن، مکان‌های بالقوه برای احداث کارخانه فرآوری تعیین شدند. مکان موردنظر برای احداث کارخانه باید خارج از محدوده نهایی استخراجی معدن بوده



شکل ۱: نقشه محدوده معدنی و موقعیت گزینه‌های دارای پتانسیل

مقایسه‌های زوجی در قالب پرسشنامه توسط کارشناسان انجام شده و با روش فازی تحلیل سلسه مراتبی، وزن هر یک از آرمان‌ها که براساس آن تابع درجه عضویت آن آرمان باید بیشینه شود، به دست آمده که در جدول ۱، آرمان‌های انتخاب شده و وزن هر یک از آنها آورده شده است.

در بررسی هدف‌ها و آرمان‌های موثر در تعیین مکان احداث کارخانه فرآوری، ۵ آرمان (معیار) برای انتخاب مکان در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که به دلیل نزدیکی گزینه‌ها، دیگر معیارهای موثر در مکان‌یابی کارخانه برای همه گزینه‌ها یکسان هستند و به این دلیل در اینجا مدنظر قرار نگرفته‌اند. برای اولویت‌بندی و تعیین وزن آرمان‌ها،

جدول ۱: آرمان‌ها و وزن‌های آنها

وزن (W_i)	تعریف	آرمان
۰/۲۹۴	نزدیکی به سنگ شکن	G_1
۰/۳۶۲	دوری از نقاط آتشیاری	G_2
۰/۱۸۵	توپوگرافی (شیب متوسط) مکان انتخابی	G_3
۰/۰۸	نزدیکی به سد باطله	G_4
۰/۰۸	نزدیکی به منبع برق	G_5

ترازهای پایین تر از بالاترین تراز پیت هستند، از این رو فاصله نزدیک ترین تراز آتشفباری به ساختگاه کارخانه که در محدوده عمق بحرانی ۹۰ متری قرار می گیرد باید اندازه گیری شده و از نقطه نظر ایمنی بررسی شود، بدیهی است گزینه هایی که دورتر از آتشفباری ها هستند، ایمن ترند.

۳-۲- شرح و به کارگیری رویکرد توسعه یافته

پس از مشخص شدن گزینه ها و آرمان های مساله، باید برای هر یک از آرمان ها توابع عضویت فازی تعریف شود. دو پارامتر مهم که باید در تعریف توابع عضویت فازی مشخص شوند، تعیین سطح آرمانی و سطح قابل تحمل برای هر یک از آرمان ها است. تعیین این دو پارامتر به بحث زیاد مابین کارشناسان برای رسیدن به اتفاق آرا نیاز دارد و باید نقشه محدوده معدن و فواصل هر یک از تاسیسات از مکان های کاندیدا به دقت مورد مطالعه قرار گیرد، زیرا جواب نهایی با تغییر این سطوح تا حد زیادی تحت تأثیر قرار می گیرد [۱۱]. آرمان ها را می توان به دو دسته آرمان های با جنبه مثبت و منفی تقسیم بندی کرد. برای آرمان های با جنبه مثبت مقادیر بزرگ تر مطلوب است که لازم است این آرمان ها از نظر مقداری بیشینه شوند، بنابراین برای آنها باید یک حد پایین تعریف کرد. برعکس، آرمان های با جنبه منفی که مقادیر کوچک تر آنها مطلوب است باید از نظر مقداری کمینه شوند، از این رو برای آنها باید حد بالا تعریف کرد. از میان آرمان های در نظر گرفته شده در این پژوهش، آرمان فاصله تا نقاط آتشفباری یک آرمان با جنبه مثبت و سایر آرمان ها با جنبه منفی هستند. سطوح آرمانی و سطوح قابل تحمل برای هر یک از آرمان ها در جدول ۲ آورده شده است.

به دلیل این که بخش اعظم مواد معدنی خروجی از معدن قبل از ورود به کارخانه به سنگ شکن اصلی معدن ارسال می شود، فاصله از سنگ شکن به جای فاصله از معدن به عنوان معیار اصلی لحاظ شده است. با توجه به تولید و پمپاژ حجم زیادی از پساب کارخانه به سد باطله در روز، فاصله کارخانه از سد باطله در کاهش هزینه ها حایز اهمیت است. علاوه بر این، برای سهولت پمپاژ، تراز قرارگیری کارخانه نسبت به سد باطله باید مدنظر قرار گیرد که هر شش گزینه انتخابی در ترازهای بالاتر نسبت به سد باطله قرار گرفته اند. تامین مداوم و کافی حامل های انرژی برای کارخانه فرآوری، ادامه فعالیت برای کارخانه را ممکن می سازد و از آنجایی که با توجه به طراحی ها، برق نیاز اصلی کارخانه فرآوری معدن مس سونگون است، فاصله کم تر از پست برق علاوه بر کاهش هزینه های جاری تامین انرژی، ریسک قطع برق در اثر حوادث احتمالی و آسیب دیدن شبکه انتقال برق را کاهش خواهد داد. شیب توپوگرافی، دیگر آرمان در نظر گرفته شده در احداث کارخانه است، توپوگرافی ملایم تر، وجود زمین مناسب و مسطح به منظور نیاز کم تر به تسطیح و زیرسازی را تضمین کرده و همچنین دسترسی آسان تر و ایمن تر به کارخانه را فراهم می کند.

در اثر انفجارهای بزرگ مقیاس در معدن، لرزش زمین در اثر امواج انفجار پدیده ای اجتناب ناپذیر است. بنا بر گزارش های فنی آتشفباری در معدن مس سونگون، امواج ناشی از انفجار در سطح و هم تراز با تراز آتشفباری و تا عمق ۹۰ متری از تراز آتشفباری می تواند تاسیسات را دچار خسارت جدی کند. بنابراین، فاصله تا نقاط آتشفباری به عنوان یک معیار مهم در نظر گرفته شده است. شش مکان شناسایی شده برای احداث کارخانه همگی به طور قابل ملاحظه ای در

جدول ۲: سطوح آرمانی و حد تحمل هر یک از آرمان ها

آرمان یا معیار (واحد)	سطوح آرمانی	حد تحمل	اختلاف سطح آرمانی و حد تحمل
نزدیکی به سنگ شکن (متر)	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰
دوری از نقاط آتشفباری (متر)	۱۵۰۰	۹۰۰	۶۰۰
شیب متوسط توپوگرافی (متر)	۱۵	۵۰	۳۵
نزدیکی به سد باطله (متر)	۲۰۰	۱۰۰۰	۸۰۰
نزدیکی به منبع برق (متر)	۴۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰

فرآوری برای معدن سونگون با استفاده از مدل توسعه یافته برنامه ریزی آرمانی فازی در جدول ۳ آورده شده است.

وضعیت ۶ گزینه کاندیدا با توجه به ۵ آرمان (معیار) در نظر گرفته شده برای تعیین مکان ایده آل احداث کارخانه

$$\mu_2 = \begin{cases} 1 & \sum_{j=1}^n x_j B_j \leq B_l \\ \frac{\sum_{j=1}^n x_j B_j - B_l}{B_p - B_l} & B_l \leq \sum_{j=1}^n x_j B_j \leq B_p \\ 0 & B_p \leq \sum_{j=1}^n x_j B_j \end{cases}$$

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \sum_{j=1}^n x_j D_j \leq D_p \\ \frac{D_l - \sum_{j=1}^n x_j D_j}{D_l - D_p} & D_p \leq \sum_{j=1}^n x_j D_j \leq D_l \\ 0 & D_l \leq \sum_{j=1}^n x_j D_j \end{cases}$$

$$\mu_4 = \begin{cases} 1 & \sum_{j=1}^n x_j T_j \leq T_p \\ \frac{T_l - \sum_{j=1}^n x_j T_j}{T_l - T_p} & T_p \leq \sum_{j=1}^n x_j T_j \leq T_l \\ 0 & T_l \leq \sum_{j=1}^n x_j T_j \end{cases}$$

$$\mu_5 = \begin{cases} 1 & \sum_{j=1}^n x_j P_j \leq P_p \\ \frac{P_l - \sum_{j=1}^n x_j P_j}{P_l - P_p} & P_p \leq \sum_{j=1}^n x_j P_j \leq P_l \\ 0 & P_l \leq \sum_{j=1}^n x_j P_j \end{cases}$$

همچنین، متغیرها و پارامترهای مدل به شرح زیر تعریف شده‌اند:

- x_j : امتیاز (وزن) مکان λ_m
- μ_1 : تابع عضویت فاصله تا سنگ‌شکن
- μ_2 : تابع عضویت فاصله تا نقاط آتشفشانی
- μ_3 : تابع عضویت توپوگرافی (شیب متوسط) مکان انتخابی
- μ_4 : تابع عضویت فاصله تا سد باطله
- μ_5 : تابع عضویت فاصله تا منبع برق
- C_j : فاصله مکان λ_m تا سنگ‌شکن
- C_p : مقدار فاصله آرمانی تا سنگ‌شکن
- C_l : بیشترین مقدار قابل تحمل برای فاصله تا سنگ‌شکن
- T_j : فاصله مکان λ_m تا سد باطله

جدول ۳: وضعیت مکان‌های کاندید با توجه به معیارها و آرمان‌ها

فاصله تا سنگ‌شکن (متر)					
C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1
۱۷۱۹/۹	۱۵۳۱/۶	۱۳۴۱/۱	۱۱۸۲/۸	۱۲۵۵/۳	۱۱۱۳/۶
فاصله تا نقاط آتشفشانی (متر)					
B_6	B_5	B_4	B_3	B_2	B_1
۱۲۸۸/۷	۱۰۴۲/۳	۹۱۵/۹	۸۱۴/۷	۱۰۱۳/۴	۹۷۰/۱
شیب متوسط توپوگرافی مکان‌ها (درجه)					
D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1
۴۰	۴۱	۳۱/۵	۶۴	۳۲	۱۸
فاصله تا سد باطله (متر)					
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1
۹۴۳/۲	۸۰۶/۷	۶۴۸/۹	۵۰۶/۵	۴۲۴	۲۷۲/۲
فاصله تا پست برق (متر)					
P_6	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1
۴۸۳/۷	۴۲۸/۱	۵۹۴/۱	۷۳۲/۹	۸۲۷/۹	۹۶۲/۵

با اعمال وزن‌های فازی آرمان مورد بررسی مطابق با جدول ۱، مدل ریاضی چندهدفه توسعه یافته بر پایه برنامه‌ریزی آرمانی فازی ارائه شده توسط تیواری و همکاران مطابق با مدل رابطه ۶ به صورت زیر است:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^5 W_i \mu_i = 0.294\mu_1 + 0.362\mu_2 + 0.185\mu_3 + 0.08\mu_4 + 0.08\mu_5$$

s.t:

$$\sum_{j=1}^n x_j = 1$$

$$x_j \geq 0$$

در این مدل، توابع عضویت هر یک از آرمان‌ها براساس منطق فازی عبارتند از:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & \sum_{j=1}^n x_j C_j \leq C_p \\ \frac{C_l - \sum_{j=1}^n x_j C_j}{C_l - C_p} & C_p \leq \sum_{j=1}^n x_j C_j \leq C_l \\ 0 & C_l \leq \sum_{j=1}^n x_j C_j \end{cases}$$

- T_p : فاصله آرمانی تا سد باطله
- T_i : بیشترین مقدار قابل تحمل برای فاصله تا سد باطله
- P_j : فاصله مکان λ_m تا منبع برق
- P_p : فاصله آرمانی تا منبع برق
- P_i : بیشترین مقدار (حد) قابل تحمل برای فاصله تا منبع برق
- B_j : فاصله مکان λ_m تا نقاط آتشیاری
- B_p : فاصله آرمانی تا نقاط آتشیاری
- B_i : کمترین مقدار قابل تحمل برای فاصله تا نقاط آتشیاری
- D_j : متوسط شیب توپوگرافی مکان λ_m
- D_p : شیب توپوگرافی آرمانی
- D_i : بیشترین شیب توپوگرافی قابل تحمل
- W_i : وزن هر یک از معیارهای تصمیم گیری ($i=1, 2, \dots, 5$)
- n : تعداد مکان های مورد نظر

شایان ذکر است که تابع هدف تعریف شده طبق مدل تیواری و همکاران با بیشینه سازی توابع عضویت آرمانها تلاش می کند بیشترین سطح دسترسی را برای هر آرمان با در نظر گرفتن اولویت آن آرمان که با وزن تخصیص داده شده به آن مشخص شده، ایجاد کند. x_j ها نیز متغیرهای تصمیم هستند که مقادیر بین صفر تا یک اختیار می کنند، x_i ای که دارای مقدار بیشتر باشد نشان دهنده آن است که مکان λ_m

قابلیت ایجاد بیشترین سطح دسترسی به آرمانها را داشته و مکان ایده آل برای احداث کارخانه فرآوری است. به همین ترتیب گزینه ها بر اساس امتیازشان رتبه بندی می شوند. مزیت این نوع رده بندی نسبت به حالت صفر و یک یعنی در حالتی که متغیر تصمیم فقط دو مقدار صفر و یک را بتواند اختیار کند این است که در این حالت فقط بحث انتخاب مفهوم پیدا می کند، چرا که با یک شدن هر کدام از x_j ها، بقیه باید مقدار صفر را اختیار کنند. اما در رویکرد اتخاذ شده در این پژوهش علاوه بر مفهوم انتخاب، با توجه به امتیاز کسب شده توسط هر گزینه، گزینه ها رتبه بندی می شوند. این رویکرد در صورت تعدد گزینه ها این قابلیت را دارد که مثلاً دو یا سه گزینه ای را که امتیاز بالاتری دارند را به عنوان بهترین مکانها برای ساختگاه کارخانه پیشنهاد کند. نتایج حاصل از حل مدل توابع داده شده برای رتبه بندی گزینه های احداث کارخانه فرآوری سونگون در Solver موجود در نرم افزار Excel در جدول ۴ آمده است. در این جدول، امتیاز (وزن) هر گزینه (x_j) تعیین شده است و بر این اساس مطلوب ترین گزینه مکان شماره ۱ (x_1) است و سایر گزینه ها به ترتیب اولویت عبارتند از: مکان ۲، مکان ۶، مکان ۴ و ۵ (با رتبه یکسان) و مکان ۳ (آخرین رتبه).

جدول ۴: رتبه بندی گزینه ها با استفاده از رویکرد توسعه یافته

گزینه ها	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
امتیاز	۰/۳	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	۰/۲
رتبه	۱	۲	۵	۴	۴	۳

بررسی های عینی از محدوده معدنی و مکان های مورد بررسی حاکی از این است که مکان انتخاب شده با توجه به آرمان های در نظر گرفته شده، مکان ایده آل برای احداث کارخانه است. با نگاهی دقیق تر به تابع هدف بدست آمده و با توجه به ضرایب متغیرهای تصمیم و ماهیت بیشینه سازی تابع هدف، انتخاب مکان ۱ قابل پیش بینی است. همچنین، با دقت بیشتر در مقادیر ضرایب متغیرهای تصمیم در تابع هدف می توان گزینه ها را به صورت اجمالی رتبه بندی کرد. مسلماً متغیر تصمیمی که ضریب مثبت و بزرگ تری در تابع هدف داشته باشد بیشترین مقدار را (از صفر تا یک) اتخاذ خواهد کرد و به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود. به همین ترتیب، تمامی گزینه ها رتبه بندی می شوند. اما وزن هر مکان در واقع قابلیت آن مکان را برای احداث کارخانه سنجیده و

فاصله امتیازی مکانها را نسبت به یکدیگر مشخص می کند که این مهم تنها با وارد کردن مدل در نرم افزار و محاسبه متغیرهای تصمیم حاصل شده است. این پژوهش ضمن تایید اهمیت مکان یابی کارخانه فرآوری و معرفی معیارهای جدید، امکان پذیری طراحی مدل های ریاضی را برای بحث تعیین مکان احداث واحدهای صنعتی نشان می دهد. با این تفسیر، به کارگیری سایر مدل های برنامه ریزی ریاضی برای تعیین مکان احداث واحدهای صنعتی مانند برنامه ریزی تصادفی که قابلیت مدل کردن عدم قطعیت شرایط واقعی را دارند برای پژوهش های آتی پیشنهاد می شود. همچنین، رویکرد اتخاذ شده در این نوشتار می تواند در پژوهش های مشابه از جمله انتخاب مکان

International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 66(9-12), 1219-1229.

[4] Choudhary, D., & Shankar, R. (2012). An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India. *Energy*, 42(1), 510-521.

[5] Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Heydar, M., & Ebrahimnejad, S. (2013). Multi-criteria decision making for plant location selection: an integrated Delphi-AHP-PROMETHEE methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(5), 1255-1268.

[6] Safari, M., Ataei, M., Khalokakaie, R., & Karamozian, M. (2010). Mineral processing plant location using the analytic hierarchy process—a case study: the Sangan iron ore mine (phase 1). *Mining Science and Technology (China)*, 20(5), 691-695.

[7] Safari, M., Kakaei, R., Ataei, M., & Karamoozian, M. (2012). Using fuzzy TOPSIS method for mineral processing plant site selection. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(5), 1011-1019.

[8] Kwak, N. K., & Schrienderjans, M. J. (1985). A Goal Programming model for selecting a facility location site. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 19(1), 1-14.

[9] Bhattacharya, U., Rao, J. R., & Tiwari, R. N. (1993). Bi-criteria multi facility location problem in fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 56(2), 145-153.

[10] Chang, N. B., & Wang, S. F. (1997). A fuzzy goal programming approach for the optimal planning of metropolitan solid waste management systems. *European journal of operational research*, 99(2), 303-321.

[11] Zarandi, M. H. F., Davari, S., Hamidifar, M., & Türksen, I. B. (2011). Locating Post Offices Using Fuzzy Goal Programming and Geographical Information System (GIS). In *AMCIS*.

[12] Aouni, B., Kettani, O., & Martel, J. M. (1997). Estimation through the imprecise goal programming model (pp. 120-128). Springer Berlin Heidelberg.

[13] Charnes, A., & Cooper, W.W., (1961), *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, Wiley, New York.

[14] Jones, D. F., & Tamiz, M. (2002). Goal programming in the period 1990–2000. In *Multiple Criteria Optimization: State of the art annotated bibliographic surveys* (pp. 129-170). Springer US.

[15] Tamiz, M., Jones, D. F., & El-Darzi, E. (1995). A review of goal programming and its applications. *Annals of Operations Research*, 58(1), 39-53.

زیرساخت‌ها و تأسیسات گوناگون در طراحی پروژه‌های معدنی مورد استفاده قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

تعیین مکان احداث کارخانه فرآوری، اولین و اساسی‌ترین گام در فرآیند احداث و راه‌اندازی یک کارخانه فرآوری است. انتخاب مکانی بهینه برای کارخانه، موجب کاهش هزینه‌ها شده و بهره‌وری را افزایش می‌دهد. در فرآیند تعیین مکان کارخانه فرآوری اهداف گوناگون با اولویت‌های متفاوتی دنبال می‌شود که بدین منظور می‌توان از روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه برای این مهم استفاده کرد. از این‌رو در این پژوهش، یک مدل ریاضی چندهدفه بر مبنای برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای تعیین و اولویت‌بندی گزینه‌های (مکان‌های) مطلوب برای احداث کارخانه فرآوری توسعه داده شد. در این راستا، تیم تصمیم‌گیرنده با حضور در محل محدوده معدنی مورد مطالعه و بررسی دقیق آخرین نقشه‌های توپوگرافی، آتشیاری و اکتشاف‌های تفصیلی منطقه، نخست، شش مکان احتمالی را برای احداث کارخانه شناسایی کردند. سپس، سطوح آرمانی، حدود تحمل و توابع عضویت برای هر یک از آرمان‌ها مشخص شد. پس از آن، مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی با الهام گرفتن از مدل تیواری و همکاران و با هدف بیشینه‌سازی تابع هدف مطابق با آرمان‌ها و گزینه‌های موردنظر برای مطالعه موردی توسعه داده شد. در نهایت، مدل توسعه داده شده توسط نرم‌افزار Solver حل شد که مطابق با آن، به ترتیب اولویت گزینه‌های ۱، ۲، ۶، ۴ و ۵ (با اولویت یکسان) و در نهایت ۳ رتبه‌بندی شدند.

مراجع

[1] Ataei, M. (2005). Multicriteria selection for an alumina-cement plant location in East Azerbaijan province of Iran. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 105(7), 507-514.

[2] Yong, D. (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8), 839-844.

[3] Devi, K., & Yadav, S. P. (2013). A multicriteria intuitionistic fuzzy group decision making for plant location selection with ELECTRE method. *The*

- [21] Hannan, E. L. (1981). ON FUZZY GOAL PROGRAMMING*. Decision Sciences, 12(3), 522-531.
- [22] Yang, T., Ignizio, J. P., & Kim, H. J. (1991). Fuzzy programming with nonlinear membership functions: piecewise linear approximation. Fuzzy sets and systems, 41(1), 39-53.
- [23] Tiwari, R. N., Dharmar, S., & Rao, J. R. (1987). Fuzzy goal programming—an additive model. Fuzzy sets and systems, 24(1), 27-34.
- [24] Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. Fuzzy sets and systems, 1(1), 45-55.
- [25] Zimmerman, H. J. (1983). Using fuzzy sets in operational research. European Journal of Operational Research, 13(3), 201-216.
- [16] Tamiz, M., Jones, D., & Romero, C. (1998). Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. European Journal of operational research, 111(3), 569-581.
- [17] Yaghoobi, M. A., & Tamiz, M. (2007). A method for solving fuzzy goal programming problems based on MINMAX approach. European Journal of Operational Research, 177(3), 1580-1590.
- [18] Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. Management science, 17(4), B-141.
- [19] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, 8(3), 338-353.
- [20] Narasimhan, R. (1980). Goal programming in a fuzzy environment. Decision sciences, 11(2), 325-336.

⁶- Hannan

⁷- Yang

⁸- Tiwari et al.

⁹- Zimmermann

¹- Kwak and Schniederjans

²- Bhattacharya et al.

³- Chang and Wang

⁴- Charnes and Cooper

⁵- Narasimhan