

مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم، پیاپی (۱۲)، شماره (۱)، بهار و تابستان ۱۳۹۵

دریافت: ۹۲/۱۰/۲۲ پذیرش: ۹۳/۳/۱۰

صص: ۴۹-۶۴

## مکان‌یابی چندمعیاره پیوسته با استفاده از LINMAP و PROMETHEE-IV

مجید اسماعیلیان<sup>۱\*</sup>، سمیه محمدی شاهپوردی<sup>۲</sup>، مسلم علی محمدی کمال آبادی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۳- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

### چکیده

تکنیک‌های تصمیم‌گیری معمولاً برای انتخاب بهترین راه حل استفاده می‌شوند. به منظور ساده‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری، روش‌های ریاضی بسیاری پیشنهاد شده‌اند که روش‌های رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها (PROMETHEE) و تکنیک برنامه‌ریزی خطی برای تحلیل چندبعدی ترجیحات (LINMAP) از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند. در تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، همچون مطالعات مکان‌یابی، گزینه‌های تصمیم‌گیری گسسته بوده و هدف انتخاب و یا رتبه‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیارهای چندگانه است. اما در برخی از مسائل مکان‌یابی مانند، احداث جایگاه سوخت در طول یک جاده، لازم است، با در نظر گرفتن معیارهای چندگانه و متضاد، مکان بهینه در طول یک پاره خط از اعداد حقیقی تعیین گردد. در پژوهش حاضر به بررسی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره در حالت گزینه پیوسته (گزینه‌های تصمیم در طول یک پاره خط) پرداخته شده و علاوه بر استفاده از تکنیک PROMETHEE-IV، تکنیک LINMAP نیز برای مسائل پیوسته توسعه داده شده و نتایج حاصل از دو تکنیک مقایسه گردیده است. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به یک مثال عددی با استفاده از تکنیک PROMETHEE-IV و LINMAP، به کمک نرم افزارهای اکسل و لینگو نشان‌دهنده کارایی این دو تکنیک در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره با گزینه‌های پیوسته است.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره گزینه پیوسته، مکان‌یابی پیوسته، مکان‌یابی چندمعیاره،

LINMAP, PROMETHEE-IV

## مقدمه

در سال‌های اخیر مطالعات مکان‌یابی<sup>۱</sup> به عنوان یکی از عناصر کلیدی در موفقیت و بقای مراکز صنعتی مطرح شده است. مطالعات مکان‌یابی هم در سطح ملی و هم در سطح بین‌المللی بسیار توجه شده است. در این میان شناخت هدف‌ها و روش‌های حل مسایل مکان‌یابی، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

در چند دهه گذشته، روش‌های جدیدی برای فرایند تصمیم‌گیری توسعه پیدا کرده است. مسایل تصمیم‌گیری معمولا برای انتخاب بهترین راه‌حل استفاده می‌شود. علاوه بر ارزش معیارهای واقعی در مساله تصمیم‌گیری، انتخاب بهترین راه‌حل به تصمیم‌گیرنده نیز وابسته است که همان ترجیحات شخصی اوست (پرولویس و دیگران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷). به منظور ساده‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری روش‌های ریاضیاتی بسیاری پیشنهاد شده‌اند. روش رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی<sup>۳</sup> (PROMETHEE) یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است (تومیک و دیگران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱). روش PROMETHEE تاکنون کاربردهای زیادی داشته است که می‌توان به بانکداری، مکان‌یابی صنعتی، برنامه‌ریزی نیروی انسانی، منابع آب، سرمایه‌گذاری، پزشکی، شیمی، مراقبت‌های بهداشتی و توریسم اشاره نمود. موفقیت روش ROMETHEE به خاطر ویژگی‌های ریاضیاتی و کاربرپسند بودن آن است (بهزادیان و همکاران، ۲۰۱۰). روش PROMETHEE بر مبنای تحقیقات برانس و مارشال<sup>۵</sup> به چند دسته تقسیم می‌شود، روش PROMETHEE برای عملیات رتبه‌بندی جزئی،

PROMETHEE-II برای عملیات رتبه‌بندی کامل و PROMETHEE-III برای عملیات رتبه‌بندی مبتنی بر بازه‌ها مناسب هستند (کاوالکانت و آلمیدا<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷)، PROMETHEE-IV هنگامی که گزینه‌ها پیوسته هستند (دسته‌ای نامتناهی از گزینه‌ها) و PROMETHEE-V زمانی که گزینه‌های زیادی برای انتخاب وجود دارند و محدودیت‌هایی نیز باید حفظ شوند به کار می‌رود. این نوع PROMETHEE-V یک برنامه‌ریزی صفر و یک است که در فرآیند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد (موریاس و آلمیدا<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷). برخلاف سایر روش‌های تصمیم‌گیری، PROMETHEE یک تابع مطلوبیت قطعی به هر گزینه تخصیص نمی‌دهد. این بدان معنی است که تصمیم‌گیرنده برای هر معیار یک تابع ارجحیت، برحسب اختلاف موجود بین دو گزینه، در ذهن دارد.

تاکنون روش‌های زیادی برای تعیین مکان مناسب تسهیلات استفاده شده است که در بخش پیشینه به آنها اشاره خواهد شد، اما همه آنها با تعدادی گزینه از پیش تعیین شده مواجه بوده و در یک فضای گسسته به تعیین مناسب‌ترین مکان می‌پردازند. در حالی که مسائل مکان‌یابی، مخصوصا در یک فضای پیوسته مثلا در طول یک جاده یا در سطح یک شهر، با مجموعه‌ای پیوسته از گزینه‌ها مواجه بوده و مستلزم استفاده از تکنیک‌هایی برای تعیین مکان مناسب در فضایی پیوسته هستند. پژوهش حاضر به بررسی مساله مکان‌یابی چندمعیاره پیوسته با استفاده از PROMETHEE-IV و توسعه تکنیک LINMAP، به این مسائل می‌پردازد. در ادامه، تحقیقات پیشین و تکنیک‌های PROMETHEE و LINMAP<sup>۸</sup> تشریح

شده و با ذکر یک مثال عددی نحوه استفاده از این دو تکنیک در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره پیوسته تبیین می‌گردد.

## ۲- پیشینه مکان‌یابی

کلیمبرگ و راتیک<sup>۹</sup> (۲۰۰۸)، در پژوهشی، یک مدل برای بهره‌برداری از شاخص کارایی DEA برای مکان‌یابی تسهیلات، بطور موثر و بهینه توسعه دادند. محققین معتقدند که کارایی DEA همزمان با سایر اهداف مدل مکان‌یابی، یک رویکرد غنی برای مسائل مکان‌یابی چند هدفه را فراهم می‌آورد. با ترکیب مساله DEA با مساله مکان‌یابی دو نوع از کارایی‌ها بهینه می‌شوند، کارایی فاصله‌ای، که بوسیله یافتن مکانی با کمترین هزینه اندازه‌گیری می‌شود و کارایی تسهیلات در تقاضای خدمت رسانی، که بوسیله امتیاز کارایی DEA برای تسهیلات، اندازه‌گیری می‌شود. از این طریق، این مدل روشی را برای اندازه‌گیری تعامل بین الگوهای مکان‌یابی متعدد و تاثیراتی که ویژگیهای مکان انتخاب شده ممکن است بر روی عملکرد تسهیلات داشته باشد، فراهم می‌سازد.

یانگ و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۲)، در پژوهشی به بررسی فاکتورهای بالقوه برای انتخاب مکان هتل‌ها، به‌وسیله ادغام معیارهای مکان‌یابی و هتل‌داری می‌پردازند. نتایج نشان می‌دهد که سال‌های بعد از بازگشایی، تنوع خدمات، مالکیت، اثر تراکم، پیدایش خدمات عمومی، دسترسی جاده‌ای و دسترسی به مکان‌های گردشگری، از فاکتورهای تعیین‌کننده مکان‌یابی هتل هستند. این تحقیق نشان داد که هتل‌های با اندازه کوچک تمایلی به بررسی منافع اثرات تراکم ندارند، درحالی که هتل‌های مرفه‌تر برای

دسترسی، بسیار حساس‌تر هستند. این معیارها برای هتل‌هایی با سال‌های تاسیس مختلف، متفاوت هستند. مثلاً معیار دسترسی جاده‌ای برای هتل‌هایی که در اوایل دوره تاسیس هستند، بسیار مهم است.

چو و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۸)، در مقاله‌ای با عنوان، مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای انتخاب مکان هتل‌های بین‌المللی، مدلی فازی برای انتخاب مکان هتل بین‌المللی توریست ارائه دادند که شامل ۲۱ معیار بوده و از روشهای فازی، ارزش زبان‌سناسی، تجزیه و تحلیل ساختار سلسله‌مراتبی و فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، برای وزن‌دهی معیارها استفاده می‌نماید.

گو<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۷)، در پژوهشی با عنوان، DEA فازی و کاربرد آن برای مسایل مکان‌یابی، مدل DEA فازی را برای ارزیابی کارایی اهداف با داده‌های ورودی و خروجی فازی، ارائه می‌دهد. کارایی‌های به‌دست آمده نیز اعداد فازی هستند که نشان‌دهنده ابهام ذاتی در مسائل ارزیابی در شرایط عدم اطمینان هستند. استفاده از این مدل منجر به انتخاب بهترین مکان برای تاسیس رستوران گردیده و نتایج نشان داد که مدل‌های DEA فازی می‌توانند برای حل مسائل کسب و کار در شرایط عدم اطمینان مفید باشند.

علیزاده و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۱)، در پژوهشی، مفهوم کارایی مدل‌های DEA را با مدل‌های مکان‌یابی در محیط فازی پیوند دادند. این پژوهش نشان می‌دهد که چگونه این امر، الگوی مکان‌یابی تسهیلات را تحت تاثیر قرار دهد. مدل پیشنهاد شده در قالب برنامه ریزی غیرخطی چندهدفه فازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و یک راه‌حل بر مبنای برنامه‌ریزی

### ۳- تکنیک PROMETHEE

روش PROMETHEE بر مبنای تحقیقات برانس و مارشال<sup>۱۷</sup> نخستین بار در سال ۱۹۸۲ توسعه داده شد و در کنفرانسی در دانشگاه لاوال در کانادا مطرح گردید و کاربردهای فراوانی پیدا نمود (داوینگتون و مارشال<sup>۱۸</sup>، ۱۹۸۹). PROMETHEE-I قادر به رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها نیست و آنرا به تصمیم‌گیرنده واگذار می‌نماید. PROMETHEE-II با محاسبه جریان خالص غیر رتبه‌ای<sup>۱۹</sup> منجر به رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها می‌گردد (بهزادیان و همکاران، ۲۰۱۰). پروفیسور برانس و مارشال دو نسخه جدیدتر PROMOTHEE-III (رتبه‌بندی مبتنی بر بازه‌ها) و PROMETHEE-IV (موارد پیوسته) را توسعه دادند (برانس و همکاران، ۱۹۸۶ و ۱۹۹۴). سپس دو نسخه دیگر این روش پیشنهاد گردید که عبارت بودند از PROMOTHEE-V و PROMETHEE-VI (نمایشی از مغز انسان). PROMOTHEE-V معمولاً زمانی که گزینه‌های زیادی برای انتخاب وجود دارد و محدودیت‌هایی نیز باید حفظ شوند، به کار می‌رود. این نوع پرامیتی یک برنامه‌ریزی صفر و یک است که در فرآیند تصمیم‌گیری استفاده می‌گردد (موریاس و المیدا<sup>۲۰</sup>، ۲۰۰۷).

همچنین، دو محقق مذکور در سال ۱۹۹۸ ماژول تصویری گایا را توسعه دادند. این ماژول با استفاده از یک نمایش گرافیکی موثر از PROMOTHEE پشتیبانی می‌نماید. بسیاری از کاربردهای موفق PROMOTHEE در زمینه‌های بانکداری، سرمایه‌گذاری، داروسازی، شیمی، توریسم و غیره گزارش شده است. (بهزادیان و همکاران، ۲۰۱۰).

پارامتریک فازی و روش حداقل انحرافات ارائه داده شد.

فراهانی و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهشی با عنوان، مسائل مکان‌یابی چندمعیاره، به بررسی تلاش‌های اخیر و بهبودهای مسائل مکان‌یابی چندمعیاره در سه گروه، مسائل دو هدفه، چند هدفه و چند معیاره، پرداختند.

آشیلاس و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۰)، در پژوهشی با عنوان، سیستم پشتیبان تصمیم برای مکان‌یابی بهینه در برنامه‌های بهبود اتلافات الکترونیکی، یک سیستم حمایت از تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی بهینه برنامه‌های بهبود اتلافات الکترونیکی ارائه دادند.

داتا<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۲)، مدلی ارائه نمود که قادر است سناریوهایی را برای مکان‌یابی تسهیلات مشخص شده در یک مکان و در طول یک دوره زمانی خاص به وجود آورد. این مدل به هر تعداد سناریو، به وسیله تغییرات معیارهای تسهیلات مانند هزینه و ظرفیت اجازه تعریف می‌دهد.

دوگان<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۲)، در پژوهشی با عنوان، تجزیه و تحلیل مدل مکان‌یابی تسهیلات با استفاده از شبکه‌های بی‌زی<sup>۱۶</sup>، رویکردی ادغامی ارائه نمود که در آن شبکه‌های بی‌زی و هزینه نهایی مالکیت را برای مکان‌یابی بین‌المللی یک کارخانه تولیدی، با هم ترکیب کرد. هدف این مدل کارایی داده‌های نامطمئن و اطلاعات مبهم و افزایش کیفیت تصمیم‌گیری بود.

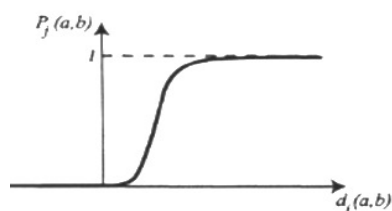
### ۳-۱- تکنیک PROMETHEE-IV

$$\begin{aligned} P_j(A_1, A_2) &= \rho(d_j(A_1, A_2)) \\ d_j(A_1, A_2) &= F_j(A_1) - F_j(A_2) \end{aligned} \quad (1)$$

و نیز برای هر معیار:

$$0 \leq P_j(A_1, A_2) \leq 1 \quad (2)$$

در حالتی که معیار  $C_j$ ، یک معیار مثبت (سود، افزایشنده) است، این تابع، ارجحیت گزینه  $A_1$  بر گزینه  $A_2$  را براساس مقدار تفاوت بین دو گزینه روی معیار  $C_j$  به دست می‌دهد. در شکل (۱) این نکته نشان داده شده است.



شکل ۱. تابع ارجحیت

برای معیارهایی منفی (هزینه، کاهشنده)، باید تابع ارجحیت معکوس شده و یا به صورت رابطه (۳) اصلاح گردد:

$$P_j(A_1, A_2) = \rho[-d_j(A_1, A_2)] \quad (3)$$

به زوج  $\{C_j, P_j(A_1, A_2)\}$  معیار تعمیم یافته مربوط به معیار  $C_j$  گویند. برای هر معیار باید ترکیب ۲ از  $m$  (تعداد گزینه‌ها) معیار تعمیم یافته، محاسبه کرد. بطور کلی ۶ نوع تابع ارجحیت پیشنهاد شده، که در جدول (۱) آورده شده است. تجربه نشان داده شده است که این شش تابع ارجحیت برای بیشتر مسائل واقعی، رضایت بخش هستند.

PROMETHEE-IV، یک رتبه‌بندی کامل ایجاد کرده و در مسائل رتبه‌بندی و انتخاب، هنگامی که گزینه‌ها پیوسته هستند، استفاده می‌شود (دسته‌ای نامتناهی از گزینه‌ها). در PROMETHEE-IV، جریان‌ات غیر رتبه‌ای نه به وسیله جمع، بلکه بوسیله ادغام گزینه‌ها ایجاد می‌شوند.  $A$ ، یک زیر مجموعه پیوسته از  $R^n$  و  $F_1, F_2, \dots, F_n$  توابع پیوسته کراندار که بر روی  $A$  تعریف شده و باید ماکسیمم گردند، را در نظر بگیرید.

$F_j(A_i)$ ، عملکرد گزینه  $i$  ام تحت معیار  $j$  است. PROMETHEE یک تابع مطلوبیت قطعی، نه به صورت کلی روی معیارها و نه روی هر معیار، به هر گزینه تخصیص نمی‌دهد. ساختار ارجحیت PROMETHEE براساس مقایسات زوجی است. اما برخلاف بسیاری از روش‌های دیگر، در PROMETHEE مقدار اختلاف دو گزینه بر روی یک معیار منظور می‌شود. تصمیم‌گیرنده ممکن است برای اختلافات اندک بین دو گزینه در یک معیار، اهمیتی قائل نباشد و یا برحسب حساسیت معیار، مقدار ارجحیت را تعیین و تنظیم کند. هرچند در روش PROMETHEE ممانعتی برای در نظر گرفتن ارجحیت‌های غیر واقع بر بازه صفر تا یک وجود ندارد، اما توصیه می‌شود که توابع ارجحیت در این بازه تعریف شوند. این بدان معنی است که تصمیم‌گیرنده برای هر معیار تابع ارجحیت (رابطه ۱) را برحسب اختلاف موجود بین دو گزینه مفروض در ذهن دارد:

جدول ۱. انواع توابع ارجحیت

$$\begin{cases} \pi(A_1, A_2) = \sum_{j=1}^n P_j(A_1, A_2) w_j \\ \pi(A_2, A_1) = \sum_{j=1}^n P_j(A_2, A_1) w_j \end{cases} \quad (۴)$$

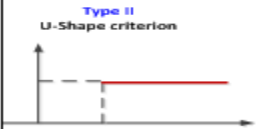
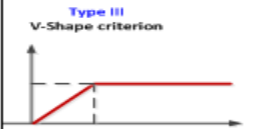
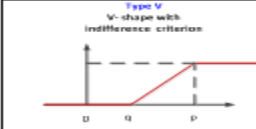
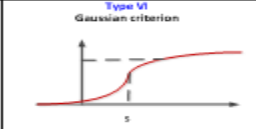
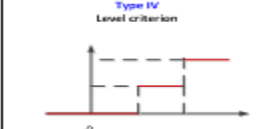

شاخص  $\pi(A_1, A_2)$  درجه ای که گزینه  $A_1$  با توجه به تمام معیارها بر گزینه  $A_2$  برتری دارد و شاخص  $\pi(A_2, A_1)$  درجه ای که گزینه  $A_2$  با توجه به تمام معیارها بر گزینه  $A_1$  برتری دارد را بیان می کند. در بیشتر موارد هر دوی شاخص های فوق مثبت هستند. بدین معنا که گزینه  $A_1$  در بعضی معیارها بر  $A_2$  و گزینه  $A_2$  هم در بعضی معیارها بر  $A_1$  برتری دارد. روابط (۵) برای شاخص ارجحیت ادغامی برقرار هستند:

$$\begin{cases} \pi(A_1, A_1) = 0 \\ 0 \leq \pi(A_1, A_2) \leq 1 \\ 0 \leq \pi(A_2, A_1) \leq 1 \\ 0 \leq \pi(A_2, A_1) + \pi(A_1, A_2) \leq 1 \end{cases} \quad (۵)$$

در روش PROMETHEE-IV، جریانات مثبت و منفی و جریان خالص غیر رتبه ای، به صورت رابطه (۶) محاسبه می شوند:

$$\begin{aligned} \phi^+(A_1) &= \int \pi(A_1, A_2) dA_2 \\ \phi^-(A_1) &= \int \pi(A_2, A_1) dA_2 \\ \phi(A_1) &= \phi^+(A_1) - \phi^-(A_1) \end{aligned} \quad (۶)$$

با توجه به اینکه محاسبه انتگرالها به صورت فوق مشکل است می توان بجای استفاده از شاخص ارجحیت ادغامی  $(\pi(a, b))$  بر روی مجموعه پیوسته  $A$ ، از تابع ارجحیت، انتگرال گرفت و به صورت رابطه (۷) عمل کرد (برانس و همکاران، ۱۹۸۴):

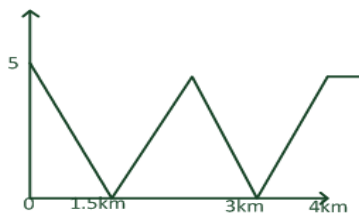
<p><b>Type II</b> U-Shape criterion</p> 	<p><b>Type III</b> V-Shape criterion</p> 
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$
<p><b>Type V</b> V-shape with indifference criterion</p> 	<p><b>Type VI</b> Gaussian criterion</p> 
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d-q}{p-q} & 0 < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{1 - e^{-\frac{d}{s}}} & d > 0 \end{cases}$
<p><b>Type IV</b> Level criterion</p> 	<p><b>Type I</b> Usual criterion</p> 
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$

در توابع ارجحیت ارائه شده در جدول (۱)، پارامتر  $p$ ، آستانه ارجحیت مطلق،  $q$  آستانه بی تفاوتی و  $s$  مقداری میانی بین  $p$  و  $q$  است.  $q$  بزرگترین اختلافی است که تصمیم گیرنده می تواند در مقایسه دو گزینه نادیده بگیرد. در حالیکه  $p$  کوچکترین مقدار اختلافی است که برای برتری مطلق گزینه ای بر دیگری کافی است.

پس از محاسبه اوزان  $w_j$  و معیارهای تعمیم یافته  $\{C_j, P_j(A_1, A_2)\}$  به ازاء تمامی مقادیر  $i$  و  $j$ ، تکنیک PROMETHEE قابل به کارگیری است. در این تکنیک، شاخص های ارجحیت ادغامی به صورت رابطه (۸) تعریف می گردند:

و موجب مزاحمت و مانع انجام فعالیت‌های یکدیگر نگردند. فرض کنید دو ایستگاه در دو مکان مختلف وجود دارند. در ضمن فاصله خیلی کم و فاصله خیلی زیاد بین دو ایستگاه، هر دو نامطلوب هستند. فاصله تا ایستگاه بعدی باید حداقل ۱/۵ کیلومتر باشد. پس اگر نقطه شروع را خروجی شهر در نظر بگیریم و فرض کنیم در ۱/۵ کیلومتری و ۳ کیلومتری شهر جایگاه سوخت وجود دارد. تابع مربوط به این معیار به صورت رابطه (۱۰) و نمودار تابع مانند شکل (۲) است:

$$\begin{aligned}
 F_1(A_i) &= \frac{-5}{1.5}A_i + 5 & 0 \leq A_i \leq 1.5 \\
 F_1(A_i) &= \frac{4}{0.5}A_i - 12 & 1.5 \leq A_i \leq 2 \\
 F_1(A_i) &= -5A_i + 15 & 2 \leq A_i \leq 3 \\
 F_1(A_i) &= 5A_i - 15 & 3 \leq A_i \leq 4 \\
 F_1(A_i) &= 5 & A_i \geq 4
 \end{aligned}
 \quad (10)$$



شکل ۲. تابع مربوط به معیار اول

معیار دوم، معیار دسترسی (فاصله از شهر): راه‌ها، مهمترین عنصر تشکیل دهنده شهر و محل اتصال و ارتباط فضاها و کاربری‌های شهری به یکدیگر به شمار می‌روند. بنابراین طبق رابطه (۱۱)، هر چه جایگاه‌ها به شهر نزدیک تر باشند به علت دسترسی بیشتر، از ارجحیت بالاتری برخوردار هستند. تابع مربوط به این معیار به صورت رابطه (۱۱) و نمودار تابع مانند شکل (۳) است:

$$\begin{aligned}
 \phi_j^+(A_1) &= \int P_j(A_1, A_2) dA_2 & j = 1, 2, \dots, n \\
 \phi_j^-(A_1) &= \int P_j(A_2, A_1) dA_2 & j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

جریان خالص غیررتبه‌ای به صورت رابطه (۸) محاسبه می‌گردد.

$$\phi(A_1) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [\phi_j^+(A_1) - \phi_j^-(A_1)] \quad (8)$$

رابطه (۸) با احتساب اهمیت (وزن) برابر برای معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که معیارهای پیوسته دارای درجه اهمیت (وزن) متفاوت باشند، جریان خالص غیر رتبه‌ای از طریق رابطه (۹) محاسبه می‌گردد:

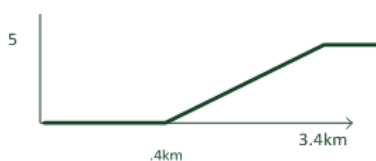
$$\phi(A_i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n w_j} \sum_{j=1}^n w_j [\phi_j^+(A_i) - \phi_j^-(A_i)] \quad (9)$$

$i = 1, \dots, m$

#### ۴- مثال عددی

با توجه به توضیحات روش PROMETHEE-IV، به حل یک مثال عددی با استفاده از این تکنیک می‌پردازیم. مثال عددی، مکان‌یابی برای احداث پمپ گاز در طول یک جاده است. برخلاف سایر روش‌های مکان‌یابی که ارزیابی‌ها بر روی تعداد محدودی گزینه و در یک محیط گسسته صورت می‌گیرد، در این مقاله، معیارهای مورد بررسی به صورت توابعی پیوسته و کران‌دار بر روی مجموعه‌ای پیوسته از گزینه‌ها (بازه  $[0, 4]$ ) است. معیارهای مورد بررسی برای مکان‌یابی بهینه و تابع ارجحیت تصمیم‌گیرنده در زیر ارائه شده اند:

معیار اول، فاصله تا ایستگاه بعدی: کاربری‌هایی که در حوزه نفوذ یکدیگر قرار می‌گیرند باید از نظر هماهنگی و همخوانی فعالیت با یکدیگر منطبق بوده

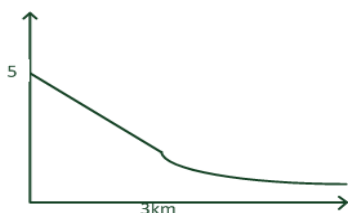


شکل ۵. تابع مربوط به معیار چهارم

معیار پنجم، ریسک سرمایه گذاری: هرچه از جاده‌های اصلی و اتوبان‌ها دورتر می‌شویم ریسک سرمایه‌گذاری بیشتر شده و با نزدیک شدن به جاده‌های اصلی ریسک کمتر می‌گردد. بر اساس میزان دسترسی و نزدیکی به جاده‌های اصلی، تابع مربوط به این معیار به صورت رابطه (۱۴) و نمودار تابع مانند شکل (۶) است:

$$F_5(A_i) = \frac{-4}{3}A_i + 5 \quad 0 \leq A_i \leq 3 \quad (14)$$

$$F_5(A_i) = \frac{1}{\sqrt{A_i}} + 0.4 \quad A_i > 3$$



شکل ۶. تابع مربوط به معیار پنجم

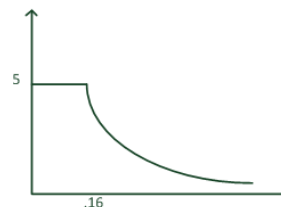
در پژوهش حاضر از بین ۶ نوع تابع ارجحیت ارائه شده در جدول (۱)، برای تمامی معیارها از تابع ارجحیت پله‌ای به صورت رابطه (۱۵) استفاده شده است:

$$P(d) = \begin{cases} 0 & d < 0.1 \\ 0.5 & 0.1 \leq d \leq 0.2 \\ 1 & d > 0.2 \end{cases} \quad (15)$$

فرایند تحلیل مثال فوق با استفاده از تکنیک PROMETHEE-IV، در نرم افزار اکسل پیاده سازی شده است. به عنوان نمونه، مراحل تکنیک PROMETHEE-IV برای معیار ریسک سرمایه

$$F_2(A_i) = 5 \quad A_i \leq 1.6 \quad (11)$$

$$F_2(A_i) = \frac{2}{\sqrt{A_i}} \quad A_i > 1.6$$



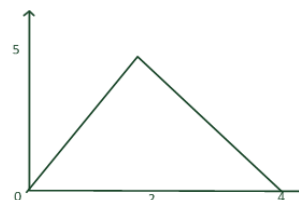
شکل ۳. تابع مربوط به معیار دوم

معیار سوم، عدم نزدیکی به محل مستعد زلزله: فرض شود در ابتدای خروجی شهر و در ۴ کیلومتری از شهر گسل وجود دارد و بهتر است جایگاه سوخت حداقل به فاصله ۲ کیلومتر با گسل داشته باشد. تابع مربوط به این معیار به صورت رابطه (۱۲) و نمودار تابع مانند شکل (۴) است:

$$F_3(A_i) = \frac{5}{2}A_i \quad 0 \leq A_i \leq 2 \quad (12)$$

$$F_3(A_i) = -\frac{5}{2}A_i + 10 \quad 2 \leq A_i \leq 4$$

$$F_3(A_i) = 0 \quad A_i \geq 4$$



شکل ۴. تابع مربوط به معیار سوم

معیار چهارم، فاصله با اماکن عمومی: در ۴۰۰ متری خارج از شهر یک مرکز خرید وجود دارد. بهتر است پمپ گاز حداقل ۳۰۰۰ متر با این مکان عمومی فاصله داشته باشد. تابع مربوط به این معیار به صورت رابطه (۱۳) و نمودار تابع مانند شکل (۵) است:

$$F_4(A_i) = 0 \quad 0 \leq A_i \leq 0.4 \quad (13)$$

$$F_4(A_i) = \frac{5}{3}A_i - \frac{2}{3} \quad 0.4 \leq A_i \leq 3.4$$

$$F_4(A_i) = 5 \quad A_i \geq 3.4$$



شکل ۷. جریان خالص گزینه‌ها بروی معیارها با احتساب وزن معیارها

در شکل (۷)، محور عمودی نشان دهنده جریان خالص غیر رتبه‌ای و محور افقی مجموعه پیوسته از گزینه‌ها (فاصله صفر تا چهار کیلومتری) است. همانطور که در نمودار بالا مشاهده می‌شود با استفاده از تکنیک PROMETHEE-IV، مکانی که تمام معیارها را حداکثر می‌سازد، در نقطه ۱/۹ کیلومتری و نزدیک به آن (فاصله ۱/۸ تا ۲ کیلومتری) قرار دارد. در ادامه تکنیک LINMAP برای مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره پیوسته توسعه داده شده و مثال فوق با آن حل گردیده است. در نهایت، جواب‌های حاصل از دوتکنیک با هم مقایسه می‌گردد.

#### ۵- روش برنامه ریزی خطی برای تحلیل چند بعدی ترجیحات

روش برنامه‌ریزی خطی برای تحلیل چند بعدی ترجیحات (LINMAP) روشی است که ارجحیت تصمیم‌گیرنده در مورد گزینه‌ها را در نظر گرفته و از آنجایی که کلیه ابعاد برای ارزیابی گزینه‌ها را شامل می‌شود، به آن تحلیل چندبعدی ترجیحات می‌گویند. فرض کنید که مجموعه قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده در خصوص مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس مجموعه  $S = \{(k, l)\}$  نشان داده شود. طبق این روش می‌توان وزن شاخص‌ها  $(w_j)$  را تعریف و تراز بهینه  $(x_j^*)$  را مشخص کرد، تعریف بردارهای  $X^*$  و  $w$  بر اساس اعمال مجموعه  $S$  است. تکنیک LINMAP، یک روش تعاملی با

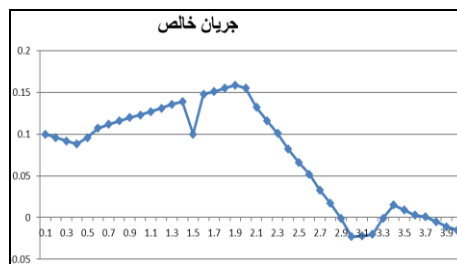
گذاری به صورت رابطه (۱۶) است. در مرحله اول بازه  $[0, 4]$  را با فواصل ۰,۱ گسسته کرده و  $P_5(A_1, A_2)$  را محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{aligned} P_5(A_1, A_2) &= \rho(d) \\ d_5(A_1, A_2) &= F_5(A_1) - F_5(A_2) \end{aligned} \quad (16)$$

با استفاده از تابع ارجحیت مشخص شده برای این معیار، به محاسبه جریان‌های غیر رتبه‌ای مثبت، منفی و خالص می‌پردازیم. در صورتی که اختلاف به‌دست آمده از رابطه بالا، به ازای گزینه‌های مختلف کمتر از ۰/۱ باشد، تابع ارجحیت  $(P_5(A_1, A_2))$  برابر صفر و اگر  $0/1 \leq d_5(A_1, A_2) \leq 0/2$  باشد، تابع ارجحیت برابر با مقدار ۰/۵ و در غیر این‌صورت، برابر با ۱ می‌گردد. در نهایت، برای تمامی معیارها، جریان خالص غیر رتبه‌ای، در یک بازه پیوسته از گزینه‌ها، به صورت رابطه (۱۷) به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned} \phi_5^+(A_1) &= \int P_5(A_1, A_2) dA_2 \\ \phi_5^-(A_1) &= \int P_5(A_2, A_1) dA_2 \\ \phi(A_1) &= \frac{1}{\sum_{j=1}^n w_j} \sum_{j=1}^n w_j [\phi_5^+(A_1) - \phi_5^-(A_1)] \end{aligned} \quad (17)$$

نتایج به‌دست آمده به ازاء مثال فوق، با در نظر گرفتن وزن‌های ۰/۱ و ۰/۳ و ۰/۱ و ۰/۴ و ۰/۱ به ترتیب برای معیارهای اول تا پنجم، در شکل (۷) نشان داده شده است.



$$(t_l - t_k)^- = \max\{0, (t_k - t_l)\} \quad (19)$$

بدین صورت  $(t_l - t_k)^-$  نشان دهنده میزان عدم تطابق برای زوج  $(k, l) \in S$  می باشد و به طور کلی مجموع عدم تطابق کل  $(P)$  بر روی مجموعه  $S$ ، به صورت رابطه (۲۰) است:

$$P = \sum_{(k,l) \in S} (t_l - t_k)^- \quad (20)$$

$P$  غیر منفی است، زیرا  $(t_l - t_k)^-$  غیر منفی است، بدین جهت برای مشخص نمودن جواب  $(w, x^*)$ ، مقدار  $P$  باید حداقل شود. در مقابل  $P$  ارزش جدیدی به نام  $G$  (میزان تطابق کل) به صورت رابطه (۲۱) تعریف می شود:

$$G = \sum_{(k,l) \in S} (t_l - t_k)^+ \quad (21)$$

به طوری که در رابطه (۲۲) مشاهده می شود:

$$(t_l - t_k)^+ = \begin{cases} (t_l - t_k) & \text{if } t_k \leq t_l \\ 0 & \text{if } t_k > t_l \end{cases} \quad (22)$$

$$= \max\{0, (t_l - t_k)\}$$

بنابراین باید رابطه (۲۳) برقرار باشد:

$$\begin{cases} G > P \\ \text{or} \\ G - P = h \end{cases} \quad (23)$$

به طوری که  $h$  یک مقدار ثابت دلخواه و مثبت است. باتوجه به تعاریف فوق در رابطه (۲۴) خواهیم داشت:

$$(t_l - t_k)^+ - (t_l - t_k)^- = \begin{cases} (t_l - t_k) - 0 = (t_l - t_k) & \text{if } t_k \leq t_l \\ 0 - (t_k - t_l) = (t_l - t_k) & \text{if } t_k > t_l \end{cases} = t_l - t_k \quad (24)$$

تصمیم گیرنده بوده که با محاسبه فاصله اقلیدسی از تراز بهینه به رتبه بندی گزینه ها، می پردازد.

این روش برای به دست آوردن اوزان شاخص ها ( $n$  شاخص) و مشخص نمودن اولویت بندی گزینه ها ( $m$  گزینه) به کار می رود. در این روش  $m$  گزینه با  $n$  شاخص، به وسیله  $m$  نقطه در فضای  $n$  بعدی نشان داده شده و فرض بر آن است که تصمیم گیرنده، گزینه های نزدیک به ایده آل را در این فضا انتخاب خواهد کرد. فاصله از ایده آل به صورت فاصله اقلیدسی وزین ( $d_i$ ) برای گزینه  $A_i$  مورد توجه قرار می گیرد، همچنین اوزان ( $w_j$ ) درجه اهمیت هر شاخص را نشان می دهند. مربع فاصله اقلیدسی گزینه  $A_i$  از گزینه ایده آل به صورت رابطه (۱۸) است:

$$t_i = d_i^2 = \sum_{j=1}^n w_j (x_{ij} - x_j^*)^2, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

$x_j^*$  مقدار ایده آل شاخص  $j$ ام است. فرض کنید مجموعه  $S = \{(k, l)\}$  نشان دهنده مقایسات زوجی گزینه  $A_k$  و گزینه  $A_l$  است، به طوری که گزینه  $A_k$  بر گزینه  $A_l$  ارجح است. مجموعه  $S$  به طور نرمال دارای  $\frac{m(m-1)}{2}$  عنصر خواهد بود. جواب  $(w, X^*)$  برای هر زوج مرتب شده  $(k, l) \in S$  سازگار با مدل فاصله وزین است اگر  $t_k \leq t_l$  باشد. مشخص نمودن جواب  $(w, X^*)$  باید چنان باشد که تجاوز از شرط  $t_k \leq t_l$  (باتوجه به ماتریس تصمیم گیری موجود و مجموعه مرتب شده  $S$ ) در حداقل ممکن واقع شود. اگر  $t_k \geq t_l$  باشد آنگاه مقدار  $t_k - t_l$  بیانگر مقدار انحرافی است که شرط مورد تخطی واقع می شود. از این رو به طور کلی تعریف رابطه (۱۹) را می توان مد نظر قرار داد:

با حل مساله (۲۹) بردار وزن شاخصها ( $w$ ) و  $X^*$  به دست آمده و بر اساس مقادیر  $w_j$  و  $x_j^*$ ، فاصله اقلیدسی گزینه‌ها از راه حل ایده‌آل ( $t_i$ ) را محاسبه می‌نمائیم. گزینه‌ای که به راه حل ایده‌آل نزدیکتر باشد، گزینه برتر است. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر  $t_i$ ها انجام شده و گزینه برتر گزینه‌ای است که  $t_i$  آن کوچکتر باشد.

در مثال مطرح شده در پژوهش حاضر، بازه صفر تا چهار با تقریب ۰/۱ گسسته شده و به عنوان گزینه‌ها در یک بازه پیوسته، مد نظر قرار گرفتند. براساس روش LINMAP مجموعه  $S = \{(k, l)\}$  شامل زوج مرتب‌های  $(k, l)$ ، به گونه‌ای که گزینه  $k$  بر گزینه  $l$  ارجح باشد، مشخص گردید. برای محاسبه مجموعه  $S$  از روابط زیر استفاده شده است. ابتدا مجموعه  $C_{kl}$  که شامل معیارهایی است که در مقایسه دو گزینه  $K$  و  $L$ ، گزینه  $K$  بر  $L$  ارجحیت دارد و مجموعه  $C_{lk}$  که شامل معیارهای است که گزینه  $L$  بر  $K$  ارجحیت دارد، مطابق رابطه (۳۰) محاسبه می‌گردند.

$$C_{KL} = \begin{cases} j / x_{kj} > x_{Lj} \forall j \in j^+ \\ j / x_{kj} < x_{Lj} \forall j \in j^- \end{cases} \quad (30)$$

$$C_{LK} = \begin{cases} j / x_{Lj} > x_{Kj} \forall j \in j^+ \\ j / x_{Lj} < x_{Kj} \forall j \in j^- \end{cases}$$

با استفاده از مجموعه  $C_{kl}$  و  $C_{lk}$ ، مقادیر،  $w_{kl}$  و  $w_{lk}$  را به شکل رابطه (۳۱) محاسبه می‌کنیم:

$$w_{KL} = \left[ \sum_{j \in C_{KL}} w_j \right] \quad (31)$$

$$w_{LK} = \left[ \sum_{j \in C_{LK}} w_j \right]$$

بنابراین رابطه (۲۳) را می‌توان به صورت رابطه (۲۵) نوشت:

$$G - P = \sum_{(k,l) \in S} (t_l - t_k) = h \quad (25)$$

با توجه با اینکه هدف حداقل کردن عدم تطابق است، جواب ( $w, X^*$ ) از حل یک مساله به صورت رابطه (۲۶) حاصل می‌شود:

$$\min : P = \sum_{(k,l) \in S} (t_l - t_k)^- = \sum_{(k,l) \in S} \max\{0, (t_k - t_l)\}$$

$$st \quad G - P = \sum_{(k,l) \in S} (t_l - t_k) = h \quad (26)$$

این مساله به مساله برنامه‌ریزی خطی رابطه (۲۷) تبدیل می‌گردد:

$$\min : \sum_{(k,l) \in S} \alpha_{k,l}$$

$$st \quad \alpha_{k,l} \geq t_k - t_l \quad \forall (k,l) \in S \quad (27)$$

$$\sum_{(k,l) \in S} (t_l - t_k) = h$$

$$\alpha_{k,l} \geq 0$$

رابطه (۲۸) را در نظر بگیرید:

$$t_l - t_k = \sum_{j=1}^n w_j (x_{lj} - x_j^*)^2 - \sum_{j=1}^n w_j (x_{kj} - x_j^*)^2 =$$

$$\sum_{j=1}^n w_j (x_{lj}^2 - x_{kj}^2) - 2 \sum_{j=1}^n w_j x_j^* (x_{lj} - x_{kj}) \quad (28)$$

با جایگذاری  $w_j \times x_j^* = \mu_j$ ، مساله خطی رابطه (۲۹) نتیجه می‌شود:

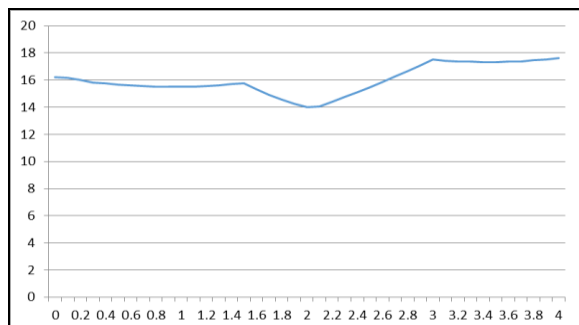
$$\min : \sum_{(k,l) \in S} \alpha_{k,l}$$

$$\sum_{j=1}^n w_j (x_{lj}^2 - x_{kj}^2) - 2 \sum_{j=1}^n \mu_j (x_{lj} - x_{kj}) + \alpha_{k,l} \geq 0 \quad \forall (k,l) \in S$$

$$\sum_{j=1}^n w_j \sum_{(k,l) \in S} (x_{lj}^2 - x_{kj}^2) - 2 \sum_{j=1}^n \mu_j \sum_{(k,l) \in S} (x_{lj} - x_{kj}) = h \quad (29)$$

$$\alpha_{k,l} \geq 0, w_j \geq 0 \quad u_j : free$$

کیلومتری) قرار داشته و این نقاط دارای بالاترین اولویت نسبت به سایر گزینه‌ها هستند.



شکل ۸. فاصله اقلیدسی گزینه‌ها از نقطه ایده آل

پاسخ به دست آمده از تکنیک LINMAP بسیار نزدیک به پاسخ به دست آمده از روش PROMETHEE-IV است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تکنیک LINMAP توسعه داده شده، از صحت لازم برخوردار بوده و در مواردی که مجموعه‌ای از گزینه‌ها به صورت پیوسته هستند، می‌توان از این روش برای اولویت‌بندی و انتخاب بهترین گزینه استفاده کرد.

## ۶- بحث و نتیجه گیری

روش رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی (PROMETHEE) و روش تکنیک برنامه‌ریزی خطی برای تحلیل چند بعدی ترجیحات (LINMAP)، از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند.

پژوهش حاضر، با استفاده از PROMETHEE-IV که مربوط به معیارهایی با توابع پیوسته است و توسعه تکنیک LINMAP، به بررسی مساله مکان‌یابی پیوسته می‌پردازد. روش PROMETHEE-IV بر خلاف سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که به

مقادیر  $w_{lk}$  و  $w_{kl}$  مقایسه شده و مجموعه S به صورت رابطه (۳۲) تشکیل می‌گردد. به عبارت دیگر اگر  $w_{lk} \leq w_{kl}$  باشد، زوج  $(k, l)$  و اگر  $w_{lk} > w_{kl}$  باشد، زوج  $(l, k)$  متعلق به مجموعه S خواهد بود.

$$\begin{cases} w_{KL} > w_{LK} \Rightarrow (K, L) \in S \\ w_{LK} > w_{KL} \Rightarrow (L, K) \in S \end{cases} \quad S = \{(K, L)\} \quad (32)$$

با استفاده از مجموعه S، مدل برنامه‌ریزی خطی LINMAP نوشته شده و با حل آن گزینه ایده‌آل  $(x^*)$  و بردار وزن  $(w)$  تعیین می‌گردد. در نهایت فاصله اقلیدسی گزینه‌ها از راه‌حل ایده‌آل محاسبه شده و بر اساس آن نقطه ارجح مشخص می‌شود. در مثال فوق مدل برنامه‌ریزی خطی برای حداقل‌سازی عدم تطابق‌ها، با ۵۸۴ محدودیت و ۶۰۳ متغیر تصمیم در نرم افزار lingo حل شده و جواب‌نهایی به صورت جدول (۲) محاسبه گردید:

جدول ۲. نقطه ایده‌آل و وزن شاخص‌ها براساس

### تکنیک LINMAP

Cj	C1	C2	C3	C4	C5
$w_j^*$	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۴	۰/۱
$x_j^*$	۱۳/۷۷۶	۵/۲۶۷	۱/۳۵	۱۱/۳۴	۷/۳۴

در مرحله آخر فاصله اقلیدسی تمامی نقاط موجود در بازه صفر تا چهار از گزینه ایده‌آل  $(x^*)$ ، با احتساب وزن معیارها محاسبه گردید، که نتایج آن در شکل (۸) نشان داده شده است.

براساس روش LINMAP مناسب‌ترین گزینه، گزینه‌ای است که دارای کمترین فاصله با گزینه ایده‌آل باشد. بنابراین، بهترین مکان در نقطه ۲ کیلومتری و نزدیک به آن (فاصله ۱/۹ تا ۲/۱

بهترین مکان برای احداث جایگاه، در فاصله ۱/۵ تا ۳ کیلومتری است که این معیار وزنی برابر با ۰/۱ دارد. از نظر معیار دوری از گسل، فاصله ۲ کیلومتری از شهر برای احداث جایگاه مناسب است و این معیار در این نقطه حداکثر می‌گردد و وزنی برابر با ۰/۳ دارد. از نظر معیار دسترسی به شهر، هرچه از شهر دورتر می‌شویم این معیار در وضعیت غیر بهینگی قرار می‌گیرد و مکان مناسب برای احداث جایگاه نزدیک‌ترین نقطه به شهر است و این معیار وزنی برابر با ۰/۱ دارد. با توجه به تمامی معیارهای در نظر گرفته شده، بهترین مکان در فاصله ۱/۹ کیلومتری شهر قرار داشته و دارای بیشترین جریان خالص غیر رتبه‌ای به میزان ۰/۱۵۹ است. برای تحلیل نتیجه به دست آمده می‌توان گفت که همه معیارها به جز ریسک سرمایه‌گذاری و دسترسی به شهر، در فاصله ۱/۹ کیلومتری در بیشترین مقدار خود قرار دارند و وزن کمتر این دو معیار، منجر به تاثیر کمتر آنها بر انتخاب بهترین مکان گردیده است. همچنین، وزن بالای معیار دوری از گسل (با وزن ۰/۳) و فاصله با اماکن عمومی (با وزن ۰/۴) بر نتیجه به دست آمده در فاصله ۱/۹، تاثیر بسزایی داشته است.

برای اثبات روایی روش PROMETHEE-IV، به حل مثال عددی مطرح شده با روش برنامه‌ریزی خطی برای تحلیل چند بعدی ترجیحات (LINMAP) نیز پرداخته شده است. براساس این روش، پاسخی مشابه روش PROMETHEE به دست آمده و مناسب ترین مکان برای احداث جایگاه سوخت، که دارای کمترین فاصله از گزینه ایده‌آل است، در فاصله ۲ کیلومتری از شهر قرار دارد. در پژوهش حاضر علاوه بر ارائه روش حل

بررسی گزینه‌های محدود و از پیش تعیین شده می‌پردازند، گزینه‌ها را در یک فضای پیوسته بررسی کرده و امکان دسترسی به مناسب‌ترین گزینه را فراهم می‌کند. علاوه بر تکنیک PROMETHEE سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند LINMAP و ELECTER که در آنها گزینه‌ها به صورت زوجی مقایسه می‌گردند، همچنین، سیستم استنتاج فازی (FIS) را می‌توان برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره پیوسته، توسعه داد. در این پژوهش به بررسی گزینه‌ها در فضای یک بعدی (نقطه در خط) پرداخته شده درحالی که می‌توان به بررسی گزینه‌ها در فضای دوبعدی پرداخت. از جمله مسائل مکان‌یابی پیوسته می‌توان به مسائل مکان‌یابی نقطه در صفحه، مانند مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش نشانی در سطح شهر و یا تعیین محل استقرار یک دستگاه در سالن تولید و همچنین مسائل تعیین خط در صفحه مانند تعیین مکان مناسب یک جاده در یک ناحیه اشاره کرد. پیشنهاد می‌گردد محققین در تحقیقات آتی به بررسی و تحلیل این مسائل با استفاده از تکنیک PROMETHEE-IV و توسعه سایر تکنیک‌های MADM برای حل این نوع از مسائل بپردازند.

PROMETHEE-IV به دنبال حداکثرسازی معیارهای مثبت (افزاینده) و حداقل سازی معیارهای منفی (کاهنده) بر روی گزینه‌های پیوسته (مجموعه‌ای پیوسته از گزینه‌ها در طول یک جاده) است. بر طبق تکنیک مورد نظر و با استفاده از نرم افزار اکسل، داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج نشان داد که بهترین مکان برای احداث جایگاه سوخت در فاصله ۱/۹ کیلومتری واقع است. طبق معیار اول،

- PROMETHEE III for preventive maintenance planning under uncertain conditions". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, (13)4, 385-397.
- Chou, S.Y., Chang, Y.H. & Shen, Ch.U. (2008). "A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes". *European Journal of Operational Research*, 189, 132-145.
- Datta, S. (2012). "Multi-criteria multi-facility location in Niwai block, Rajasthan". *Journal of IIMB Management Review*, 24, 16-27.
- Davignon, G. & Mareschal B. (1989). "Specialization of hospital services in Quebec – An application of the PROMETHEE and GAIA methods". *Journal of Mathematical and Computer Modelling*, 12(10), 1393–1400.
- Dogan, I. (2012). "Analysis of facility location model using Bayesian Networks". *Journal of Expert Systems with Applications*, 39, 1092-1104.
- Drezner, E. (1996). "Facility location: A survey of applications and methods". *Journal of the Operational Research Society*, 47(11), 1421-1421.
- Esmaelian, M. (2009). Excel application in mathematical modeling and statistical analysis. Isfahan: Islamic Azad University of Najaf Abad.
- Farahani, R., SteadieSeifi, M. & Asgari, N. (2010). "Multiple criteria facility location problems". *Journal of Applied Mathematical Modelling*, 34, 1689-1709.
- Guo, P. (2009). "Fuzzy data envelopment analysis and its application to location problems". *Journal of Information Sciences*, 179, 820-829.
- Klimberg, R.K. & Ratick, S.J. (2008). "Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decisions". *Journal of Computers & Operations Research*, 35, 457-474.
- Morais, D.C. & Almeida, A.T. (2007). "Group decision-making for leakage management strategy of water network". *Journal of*
- PROMETHEE-IV ، در یک مثال عددی، تکنیک LINMAP نیز برای حل مسائل چندمعیاره پیوسته توسعه داده شده است، که یکی دیگر از جنبه‌های نوآوری در این پژوهش است.

## منابع

- Achillas, Ch., Vlachokostas, Ch., Moussiopoulos, N. & Baniyas, G. (2010). "Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants: A case study in Greece". *Journal of Waste Management*, 30, 870-879.
- Alizadeh, H.M., Rasouli, S.M. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). "The use of multi-criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location-allocation problems in a fuzzy environment". *Journal of Expert Systems with Applications*, 38, 5687-5695.
- Behzadian, M, Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A. & Aghdasi, M. (2010). "PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications". *European Journal of Operational Research*, 200, 198–215
- Brans, J.P. & Mareschal, B. (2005), PROMETHEE methods, in Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M. (Eds), Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. New York: Springer, 163-195.
- Brans, J.P., Mareschal, B & Vincke, Ph. (1986). "How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method". *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228–238.
- Brans, J.P., Mareschal, B. & Vincke, Pb. (1984). "Prpmethee: A new family of methods outranking in multi-criteria analysis". *Journal of Operational Research*, 84.
- Brans, J.P. & Mareschal. B. (1994). "The PROMETHEEGAIA decision support system for multicriteria investigations". *Journal of Investigation Operativa*, (4)2, 107–117.
- Cavalcante, C.A.V & de Almeida, A.T. (2007). "A multi-criteria decision-aiding model using

- Yanga, Y., Wong, K.F. & Wang, T. (2012). "How do hotels choose their location? Evidence from hotels in Beijing". *International Journal of Hospitality Management*, 31, 675-685.
- Resources, *Conservation and Recycling*, 52, 441-459.
- Prvulović, S., Manasijević, D., & Blagojević, Z. (2007). Teorija odlučivanja sa primerima.
- Tomić, V., Marinković, Z. & Janošević, D. (2011). "PROMETHEE method implementation with multi-criteria decision". *Journal of Mechanical Engineering* 9(2), 193 - 202

- 3 preference ranking organization method for enrichment of evaluations
- 4 Tomić et al
- 5 Brans and Mareschal
- 6 Cavalcante and Almeida
- 7 Morais and Almeida
- 8 Linear Programming Technique for Multidimensional Analysis of Preference
- 9 Klimberg and Ratick
- 10 Yanga et al
- 11 Chou et al
- 12 Guo
- 13 Achilles et al.
- 14 Datta
- 15 Dogan
- 16 Bayesian
- 17 Brans and Mareschal
- 18 Davignon and Mareschal
- 19 Outranking
- 20 Morais and Almeida

پی نوشت

- 
- 1 Facility Location
  - 2 Prvulović et al

