مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم، پیاپی (۱۲)، شماره (۱)، بهار و تابستان ۱۳۹۵
دریافت: ۹۲/۱۰/۲۲ پذیرش:۹۲/۳/۱۰
صص: ٦٤- ٤٩

مکان‌یابی چندمعیاره پیوسته با استفاده از PROMETHEE -IV و LINMAP

مجید اسماعیلیان[۱]*، سمیه محمدی شاهیوردی[۲]، مسلم علی محمدی کمال آبادی[۳]

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 معمولا 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

*نویسنده مسئول: m.esmaelian@ase.ui.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر مطالعات مکان‌یابی[1] 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[2] ،۲۰۰۷). به منظور ساده‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری روش‌های ریاضیاتی بسیاری پیشنهاد شده‌اند. روش رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی[3] (PROMETHEE) یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است (تومیک و دیگران[4]، 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[5] 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[6]، 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 به‌کار می‌رود. این نوع PROMETHEE-V یک برنامه‌ریزی صفر و یک است که در فرآیند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد (موریاس و المیدا[7]، 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 تکنیکLINMAP، به این مسائل می‌پردازد. در ادامه، تحقیقات پیشین و تکنیک‌های PROMETHEE و LINMAP[8] 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[۹] (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 برروی عملکرد تسهیلات داشته باشد، فراهم می‌سازد.

یانگ و همکاران[۱۰] (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 تعیین کننده 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. مثلا معیار دسترسی جاده‌ای برای هتل‌هایی که در اوایل دوره تاسیس هستند، بسیار مهم است.

چو و همکاران[۱۱](۲۰۰۸)، در مقاله‌ای با عنوان، مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای انتخاب مکان هتل های بین المللی، مدلی فازی برای انتخاب مکان هتل بین المللی توریست ارائه دادند که شامل ۲۱ معیار بوده و از روشهای فازی، ارزش زبان شناسی، تجزیه و تحلیل ساختار سلسله مراتبی و فرآیند تجزیه و تحلیل سلسه مراتبی فازی، برای وزن دهی معیارها استفاده می نماید.

گو[۱۲](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 نشان دهنده 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(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

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[۱۳](۲۰۱۰)، در پژوهشی با عنوان، سیستم پشتیبان تصمیم برای مکان‌یابی بهینه در برنامه‌های بهبود اتلافات الکترونیکی، یک سیستم حمایت از تصمیم گیری برای مکان‌یابی بهینه برنامه‌های بهبود اتلافات الکترونیکی ارائه دادند.

داتا[۱٤] (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[۱۵] (۲۰۱۲)، در پژوهشی با عنوان، تجزیه و تحلیل مدل مکان‌یابی تسهیلات با استفاده از شبکه‌های بیزی[۱٦]، رویکردی ادغامی ارائه نمود که در آن شبکه‌های بیزی و هزینه نهایی مالکیت را برای مکان‌یابی بین المللی یک کارخانه تولیدی، با هم ترکیب کرد. هدف این مدل کارایی داده‌های نامطمئن و اطلاعات مبهم و افزایش کیفیت تصمیم‌گیری بود.

۳- تکنیک PROMETHEE

روش PROMETHEE بر مبنای تحقیقات برانس و مارشال[۱۷] 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[۱۸]، ۱۹۸۹). PROMETHEE-I قادر به رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها نیست و آنرا به تصمیم‌گیرنده واگذار می‌نماید. PROMETHEE-II با محاسبه جریان خالص غیر رتبه‌ای[۱۹] منجر به رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها می‌گردد (بهزادیان و همکاران، ۲۰۱۰). پروفسور برانس و مارشال دو نسخه جدیدتر PROMOTHEE-III (رتبه‌بندی مبتنی بر بازه ها) و PROMETHEE-IV (موارد پیوسته) را توسعه دادند (برانس و همکاران، ۱۹۸٦ و ۱۹۹٤). سپس دو نسخه دیگر این روش پیشنهاد گردید که عبارت بودند از PROMOTHEE-V و PROMETHEE-VI (نمایشی از مغز انسان). PROMOTHEE-V، معمولا زمانی که گزینه‌های زیادی برای انتخاب وجود دارد و محدودیت‌هایی نیز باید حفظ شوند، به‌کار می‌رود. این نوع پرامیتی یک برنامه‌ریزی صفر و یک است که در فرآیند تصمیم‌گیری استفاده می‌گردد (موریاس و المیدا[۲۰]، 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).

۳-۱- تکنیک PROMETHEE-IV

PROMETHEE-IV، یک رتبه‌بندی کامل ایجاد کرده و در مسائل رتبه‌بندی و انتخاب ، هنگامی‌که 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 $F_1, F_2, ... F_n$ توابع پیوسته کراندار که بر روی A تعریف شده و باید ماکسیمم گردند، را در نظر بگیرید.

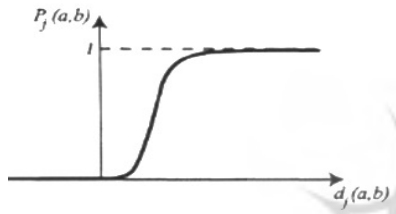
$F_j(A_i)$، عملکرد گزینه i ام تحت معیار j است. PROMETHEE یک تابع مطلوبیت قطعی، نه به صورت کلی روی معیارها و نه روی هر معیار، به هر گزینه تخصیص نمی‌دهد. ساختار ارجحیت PROMETHEE براساس مقایسات زوجی است. اما برخلاف بسیاری از روش‌های دیگر، در PROMETHEE مقدار اختلاف دو گزینه بر روی یک معیار منظور می‌شود. 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 تصمیم گیرنده برای هر معیار تابع ارجحیت (رابطه (۱) را برحسب اختلاف موجود بین دو گزینه مفروض در ذهن دارد:

$$P_j(A_1,A_2) = \rho(d_j(A_1,A_2)) \qquad (۱)$$
$$d_j(A_1,A_2) = F_j(A_1) - F_j(A_2)$$

و نیز برای هر معیار :

$$0 \le P_j(A_1,A_2) \le 1 \qquad (۲)$$

در حالتی‌که معیار C_j، یک معیار مثبت (سود، افزاینده) 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، کاهنده)، باید تابع ارجحیت معکوس شده و یا به صورت رابطه (۳) اصلاح گردد:

$$P_j(A_1,A_2) = \rho\left[-d_j(A_1,A_2)\right] \qquad (۳)$$

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 (m تعداد گزینه‌ها) معیار تعمیم یافته، محاسبه کرد. بطور کلی ٦ 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.

جدول ۱. انواع توابع ارجحیت

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

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 می‌تواند در مقایسه دو گزینه نادیده بگیرد. در حالیکه p کوچکترین مقدار اختلافی است که برای برتری مطلق گزینه‌ای 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، شاخص‌های ارجحیت ادغامی به صورت رابطه (٤) تعریف می‌گردند:

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

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 $\pi(A_2,A_1)$، درجه‌ای که گزینه A_2 با توجه به تمام معیارها بر گزینه A_1 برتری دارد را بیان می‌کند. در بیشتر موارد هر دوی شاخص‌های 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:

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

در روش PROMETHEE-IV، جریانات مثبت و منفی و جریان خالص غیر رتبه‌ای، به صورت رابطه(٦) محاسبه می‌شوند:

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

با توجه به اینکه محاسبه انتگرال‌ها به صورت فوق مشکل است می‌توان 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، ۱۹۸٤):

$$\phi_j^+(A_1)=\int P_j(A_1,A_2)dA_2 \quad j=1,2..n$$
$$\phi_j^-(A_1)=\int P_j(A_2,A_1)dA_2 \quad j=1,2..n \qquad (۷)$$

جریان خالص غیررتبه‌ای به‌صورت رابطه (۸) محاسبه می‌گردد.

$$\phi(A_1)=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left[\phi_j^+(A_1)-\phi_j^-(A_1)\right] \qquad (۸)$$

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

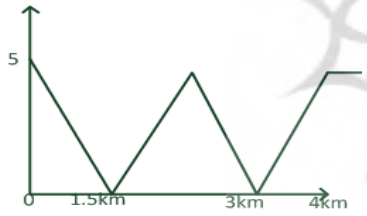
$$\phi(A_i)=\frac{1}{\sum_{j=1}^{n}w_j}\sum_{j=1}^{n}w_j\left[\phi_j^+(A_i)-\phi_j^-(A_i)\right] \qquad ۹)$$
$$i=1,..,m$$

٤- 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 به‌صورت 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 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 به‌صورت رابطه (۱۰) و نمودار تابع مانند شکل(۲) است:

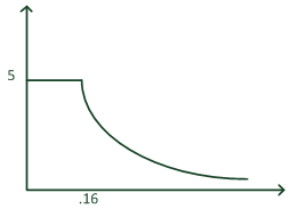
$$F_1(A_i)=\frac{-5}{1.5}A_i+5 \quad 0\le A_i\le 1.5$$
$$F_1(A_i)=\frac{4}{0.5}A_i-12 \quad 1.5\le A_i\le 2 \qquad (۱۰)$$
$$F_1(A_i)=-5A_i+15 \quad 2\le A_i\le 3$$
$$F_1(A_i)=5A_i-15 \quad 3\ge A_i\le 4$$
$$F_1(A_i)=5 \quad A_i\ge 4$$



شکل۲. 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 جایگاه ها به شهر نزدیک تر باشند به علت دسترسی بیشتر، از ارجحیت بالاتری برخوردار هستند. تابع مربوط به این معیار به‌صورت رابطه (۱۱) و نمودار تابع مانند شکل(۳) است:

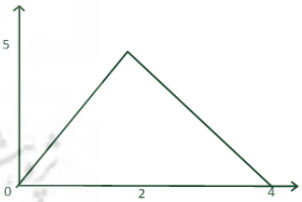
$$F_2(A_i)=5 \qquad A_i \le 1.6$$
$$F_2(A_i)=\frac{2}{\sqrt{A_i}} \qquad A_i > 1.6 \qquad (۱۱)$$



شکل۳. تابع مربوط به معیار دوم

معیار سوم، عدم نزدیکی به محل مستعد زلزله: فرض شود در ابتدای خروجی شهر و در ٤ کیلومتری از شهر گسل وجود دارد و بهتر است جایگاه سوخت حداقل به فاصله ۲ کیلومتر با گسل فاصله داشته باشد. تابع مربوط به این معیار به‌صورت رابطه (۱۲) و نمودار تابع مانند شکل(٤) است:

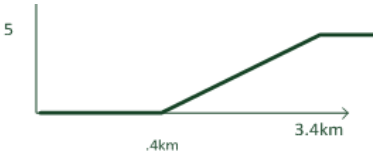
$$F_3(A_i)=\frac{5}{2}A_i \qquad 0 \le A_i \le 2$$
$$F_3(A_i)=-\frac{5}{2}A_i+10 \qquad 2 \le A_i \le 4 \qquad (۱۲)$$
$$F_3(A_i)=0 \qquad A_i \ge 4$$



شکل٤. تابع مربوط به معیار سوم

معیار چهارم، فاصله با اماکن عمومی: در ٤۰۰ 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 به‌صورت رابطه (۱۳) و نمودار تابع مانند شکل(۵) است:

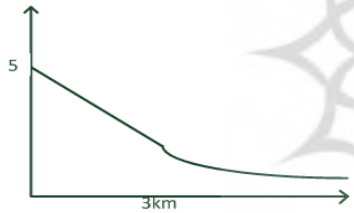
$$F_4(A_i)=0 \qquad 0 \le A_i \le 0.4$$
$$F_4(A_i)=\frac{5}{3}A_i-\frac{2}{3} \qquad 0.4 \le A_i \le 3.4 \qquad (۱۳)$$
$$F_4(A_i)=5 \qquad A_i \ge 3.4$$



شکل۵. 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 به‌صورت رابطه (١٤) و نمودار تابع مانند شکل(٦) است:

$$F_5(A_i)=\frac{-4}{3}A_i+5 \qquad 0 \le A_i \le 3$$
$$F_5(A_i)=\frac{1}{\sqrt{A_i}}+0.4 \qquad A_i > 3 \qquad (۱۴)$$



شکل٦. تابع مربوط به معیار پنجم

در پژوهش حاضر از بین ٦ نوع تابع ارجحیت ارائه شده در جدول(۱)، برای تمامی معیارها از تابع ارجحیت پله‌ای به‌صورت رابطه (۱۵) استفاده شده است:

$$P(d)=\begin{cases}0 & d<0.1\\ 0.5 & 0.1\le d\le 0.2\\ 1 & d>0.2\end{cases} \qquad (۱۵)$$

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

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:

$$P_5(A_1,A_2)=\rho(d)$$
$$d_5(A_1,A_2)=F_5(A_1)-F_5(A_2) \qquad (۱۶)$$

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 از۰/۱ باشد، تابع ارجحیت $(P_5(A_1,A_2))$ برابر صفر و اگر ۰/۲ ≤ $d_5(A_1,A_2)$ ≤ ۰/۱ 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.

$$\phi_5^+(A_1)=\int P_5(A_1,A_2)dA_2$$
$$\phi_5^-(A_1)=\int P_5(A_2,A_1)dA_2 \qquad (۱۷)$$
$$\phi(A_1)=\frac{1}{\sum_{j=1}^{n}w_j}\sum_{j=1}^{n}w_j\left[\phi_5^+(A_1)-\phi_5^-(A_1)\right]$$

نتایج به‌دست آمده به ازاء مثال فوق، با درنظر گرفتن وزن‌های ۰/۱ و ۰/۳ و ۰/۱ و ۰/٤ و ۰/۱ به ترتیب برای معیارهای اول تا پنجم، در شکل(۷) نشان داده شده است.

شکل۷. 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 می شود با استفاده از تکنیک PROMETHEE-IV ، مکانی که تمام معیارها را حداکثر می سازد، 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 گزینه ها را در نظر گرفته و از آنجایی که کلیه ابعاد برای ارزیابی گزینه‌ها را شامل می شود، 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

تصمیم‌گیرنده بوده که با محاسبه فاصله اقلیدسی از تراز بهینه به رتبه‌بندی گزینه‌ها، می‌پردازد.

این روش برای به‌دست آوردن اوزان شاخص‌ها (n شاخص) و مشخص نمودن اولویت‌بندی گزینه‌ها (m گزینه) به کار می‌رود. در این روش m گزینه با n شاخص، به‌وسیله m نقطه در فضای n بعدی نشان داده شده و فرض بر آن است که تصمیم‌گیرنده، گزینه‌های نزدیک به ایده‌آل را در این فضا انتخاب خواهد کرد. فاصله از ایده‌آل به صورت فاصله اقلیدسی وزین (d_i) برای گزینه A_i مورد توجه قرار می‌گیرد، همچنین اوزان (w_j) درجه اهمیت هر شاخص را نشان می دهند. مربع فاصله اقلیدسی گزینه A_iاز گزینه ایده آل به صورت رابطه(۱۸)است:

$$t_i = d_i^2 = \sum_{j=1}^{n} w_j (x_{ij} - x_j^*)^2 \quad , \; i = 1,2,...,m \qquad (۱۸)$$

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_lاست، به طوری که گزینه A_k بر گزینه A_lارجح است. مجموعه S به طور نرمال دارای $m(m-1)/2$ عنصر خواهد بود. جواب (W, X^*) برای هر زوج مرتب شده $(k,l) \in S$سازگار با مدل فاصله وزین است اگر $t_k \le t_l$ باشد. مشخص نمودن جواب (W, X^*) باید چنان باشد که تجاوز از شرط $t_k \le t_l$ (باتوجه به ماتریس تصمیم‌گیری موجود و مجموعه مرتب شده S) در حداقل ممکن واقع شود. اگر $t_k \ge t_l$ 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 می‌توان مد نظر قرار داد :

$$(t_l - t_k)^- = \max\{0, (t_k - t_l)\} \qquad (۱۹)$$

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

$$P = \sum_{(k,l) \in s} (t_l - t_k)^- \qquad (۲۰)$$

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

$$G = \sum_{(k,l) \in s} (t_l - t_k)^+ \qquad (۲۱)$$

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

$$(t_l - t_k)^+ = \begin{cases} (t_l - t_k) & if \quad t_k \le t_l \\ 0 & if \quad t_k > t_l \end{cases} \qquad (۲۲)$$
$$= \max\{0, (t_l - t_k)\}$$

بنابراین باید رابطه (۲۳) برقرار باشد:

$$\begin{cases} G > P \\ or \\ G - P = h \end{cases} \qquad (۲۳)$$

به طوری که h یک مقدار ثابت دلخواه و مثبت است. باتوجه به تعاریف فوق در رابطه (۲٤) خواهیم داشت:

$$(t_l - t_k)^+ - (t_l - t_k)^- =$$
$$\begin{cases} (t_l - t_k) - 0 = (t_l - t_k) & if \quad t_k \le t_l \\ 0 - (t_k - t_l) = (t_l - t_k) & if \quad t_k > t_l \end{cases} = t_l - t_k \qquad (۲۴)$$

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

$$G-P=\sum_{(k,l)\in s}(t_l-t_k)=h \qquad (۲۵)$$

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

$$\begin{aligned}&\min: P=\sum_{(k,l)\in s}(t_l-t_k)^-=\sum_{(k,l)\in s}\max\{0,(t_k-t_l)\}\\&s.t\quad G-P=\sum_{(k,l)\in s}(t_l-t_k)=h\end{aligned} \qquad (۲۶)$$

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

$$\begin{aligned}&\min:\sum_{(k,l)\in s}\alpha_{k,l}\\&s.t\quad \alpha_{k,l}\geq t_k-t_l\quad \forall(k,l)\in S\\&\sum_{(k,l)\in s}(t_l-t_k)=h\\&\alpha_{k,l}\geq 0\end{aligned} \qquad (۲۷)$$

رابطه (۲۸) را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned}t_l-t_k=&\sum_{j=1}^{n}w_j(x_{lj}-x_j^*)^2-\sum_{j=1}^{n}w_j(x_{kj}-x_j^*)^2=\\&\sum_{j=1}^{n}w_j(x_{lj}^2-x_{kj}^2)-2\sum_{j=l}^{n}w_jx_j^*(x_{lj}-x_{kj})\end{aligned} \qquad (۲۸)$$

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

$$\begin{aligned}&\min:\sum_{(k,l)\in s}\alpha_{k,l}\\&\sum_{j=1}^{n}w_j(x_{lj}^2-x_{kj}^2)-2\sum_{j=l}^{n}u_j(x_{lj}-x_{kj})+\alpha_{k,l}\geq 0\ \ \forall(k,l)\in S\\&\sum_{j=1}^{n}w_j\sum_{(k,l)\in s}(x_{lj}^2-x_{kj}^2)-2\sum_{j=l}^{n}u_j\sum_{(k,l)\in s}(x_{lj}-x_{kj})=h\\&\alpha_{k,l}\geq 0\ ,\ w_j\geq 0\quad u_j:free\end{aligned} \qquad (۲۹)$$

با حل مساله (۲۹) بردار وزن شاخص‌ها (W) و X^* به‌دست 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_iها 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.

$$\begin{aligned}C_{KL}&=\begin{bmatrix}j/x_{kj}>x_{Lj}\forall j\in j^+\\ j/x_{kj}<x_{Lj}\forall j\in j^-\end{bmatrix}\\C_{Lk}&=\begin{bmatrix}j/x_{Lj}>x_{Kj}\forall j\in j^+\\ j/x_{Lj}<x_{Kj}\forall j\in j^-\end{bmatrix}\end{aligned} \qquad (۳۰)$$

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

$$\begin{aligned}w_{KL}&=\left[\sum_{j\in C_{kL}}w_j\right]\\w_{LK}&=\left[\sum_{j\in C_{LK}}w_j\right]\end{aligned} \qquad (۳۱)$$

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

$$\begin{cases} w_{KL} > w_{LK} \Rightarrow (K,L) \in S \\ w_{LK} > w_{KL} \Rightarrow (L,K) \in S \end{cases} \quad S = \{(K,L)\} \qquad (۳۲)$$

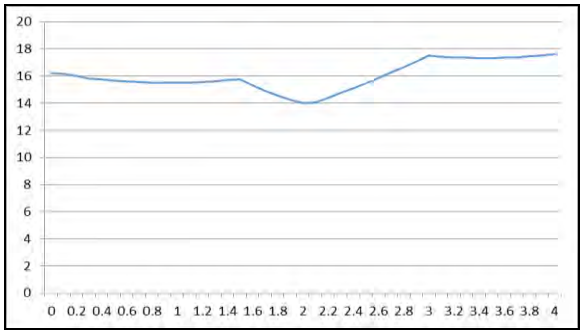
با استفاده از مجموعه S، مدل برنامه‌ریزی خطی LINMAP نوشته شده و با حل آن گزینه ایده‌آل (X^*)و بردار وزن (W) تعیین می‌گردد. در نهایت فاصله اقلیدسی گزینه‌ها از راه‌حل ایده‌آل محاسبه شده و بر اساس آن نقطه ارجح مشخص می‌شود. در مثال فوق مدل برنامه‌ریزی خطی برای حداقل‌سازی عدم تطابق‌ها، با ۵۸٤ محدودیت و ٦۰۳ متغیر تصمیم در نرم افزار lingo حل شده و جواب‌نهایی به صورت جدول(۲) محاسبه گردید:

جدول۲. نقطه ایده‌آل و وزن شاخص‌ها براساس تکنیک LINMAP

Cj	C1	C2	C3	C4	C5
w_j^*	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/٤	۰/۱
x_j^*	۱۳/۷۷٦	۵/۲٦۷	۱/۳۵	۱۱/۳٤	۷/۳٤

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



شکل۸. 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.

٦- 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

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 تصمیم گیری 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 تکنیکPROMETHEE-IV و توسعه سایر تکنیک‌های MADM برای حل این نوع از مسائل بپردازند.

PROMETHEE-IV به دنبال حداکثرسازی معیارهای مثبت (افزاینده) وحداقل 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، 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 به‌دست 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 ۰/٤) بر نتیجه به‌دست 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

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. & Banias, 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 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*

Resources, Conservation and Recycling, 52, 441-459.

Prvulovi ,S., Manasijevi ,D., & Blagojevi ,Z. (2007). Teorija odlu ivanja sa primerima.

Tomi , V., Marinkovi ,Z. & Jano evi , D. (2011)." PROMETHEE method implementation with multi-criteria decision". Journal of Mechanical Engineering 9(2), 193 - 202

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.

3 preference ranking organization method for enrichment of evaluations
4 Tomi 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 Achillas et al.
14 Datta
15 Dogan
16 Bayesian
17 Brans and Mareschal
18 Davignon and Mareschal
19 Outranking
20 Morais and Almeida

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پی‌نوشت

1 Facility Location
2 Prvulovi et al

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی