Archive of SID

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۱-۳۴، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۱۲۹-۱۳۶، (یادداشت فنی)

Research Note

ترکیب مدل تخصیص خطی کلاسیک با برنامه‌ریزی خطی چند هدفه برای ارزیابی رتبه‌بندی گزینه‌ها

محمد احسانی‌فر* **(استادیار)**
زهرا رضایی (کارشناسی ارشد)
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

روش تخصیص خطی کلاسیک یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در آن وزن معیارها منظور می‌شود و هر رتبه دقیقاً به یک گزینه اختصاص داده می‌شود. در این پژوهش برای اینکه نیازی به محاسبه‌ی وزن معیارها نباشد و از اولویت‌بندی شاخص‌های تصمیم‌گیری استفاده شود و نیز برای اینکه هر رتبه بتواند به بیش از یک گزینه داده شود، یک روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه پیشنهاد شده است که در آن به ازای هر شاخص، یک تابع هدف تعریف می‌شود و با توجه به اولویت‌بندی شاخص‌ها، مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با روش اولویت مطلق حل می‌شود و محدودیت اختصاص هر رتبه فقط به یک گزینه، از مدل حذف شده است. هم‌چنین با اضافه شدن شاخص‌های جدید به یک مسئله، به تعداد شاخص‌های جدید، تابع هدف به مدل اضافه می‌شود و نیازی به محاسبه‌ی دوباره‌ی وزن شاخص‌ها و انجام محاسبات روش تخصیص خطی نیست. نتایج مقایسه‌ی مدل پیشنهادی با روش‌های تاپسیس، ویکور و مورآ که متداول‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره‌اند، بیانگر سازگاری بیشتر مدل پیشنهادی با این روش‌هاست.

واژگان کلیدی: روش تخصیص خطی، برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، تصمیم‌گیری چندشاخصه، روش اولویت مطلق.

m-ehsanifar@@iau-arak.ac.ir
zahrarezaei90@yahoo.com

۱. مقدمه

در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره تعدادی گزینه وجود دارد که باید براساس مجموعه‌ی معیارهای معینی ارزیابی و رتبه‌بندی شوند. مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره معمولاً با ماتریس زیر، موسوم به ماتریس تصمیم، نشان داده می‌شود:

$$D = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{array} \\ \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \end{array} \qquad (1)$$

در ماتریس فوق $A = \{A_i | 1 \le i \le m\}$ مجموعه‌ی گزینه‌ها، $C = \{C_j | 1 \le j \le n\}$ مجموعه معیارها و x_{ij} عملکرد (امتیاز) گزینه‌ی iام از لحاظ معیار jام را نشان می‌دهند. برای بیان اهمیت نسبی معیارها، به معیار jام وزن $w_j \ge 0$ با شرط $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$ نسبت داده می‌شود. هدف از تجزیه و تحلیل مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره، رتبه‌بندی و انتخاب بهترین گزینه از بین مجموعه‌ی گزینه‌ها بر اساس عملکرد هرگزینه بر حسب تمام معیارهاست.[۱،۲،۳]

برای تجزیه و تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش‌های متعدد و متنوعی توسعه یافته و به کارگرفته شده‌اند. اما، همه‌ی این روش ها مشتمل بر سه مرحله‌ی زیر هستند:

۱. تعیین مجموعه‌ی معیارها و گزینه‌ها؛

۲. تعیین وزن عددی برای معیارها و عملکرد (امتیاز) هر یک ازگزینه‌ها از لحاظ هر معیار؛

۳. پردازش مقادیر عددی عملکردها و وزن‌ها برای تعیین رتبه‌ی هر یک ازگزینه‌ها.[۴]

برای مرحله‌ی ۳، روش‌های بسیار زیادی معرفی شده است به نحوی که دسته‌بندی این روش‌ها از جمله موضوعات پژوهشی مورد علاقه‌ی شماری از پژوهشگران این زمینه به‌شمار می‌رود. برای مرور و مقایسه‌ی روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان منابع[۵،۶،۷] را ملاحظه کرد.

در روش تخصیص خطی گزینه‌های مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره بر مبنای

---

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۱۲/۲۲، اصلاحیه ۱۳۹۵/۱۱/۱، پذیرش ۱۳۹۵/۱۲/۸.
DOI:10.24200/J65.2018.5610

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد هرگزینه بر حسب هر یک از معیارها رتبه‌بندی می‌شود و در نهایت رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها از طریق یک فرایند جبرانی خطی برای ترکیب و تعامل معیارها به دست می‌آید. در فرایند جبران خطی فقط داده‌های ترتیبی (اُردینال) به عنوان داده‌های ورودی استفاده می‌شوند و نیازی به تبدیل داده‌های کیفی به کمّی یا نرمال‌سازی داده‌ها نیست.[۳]

روش تخصیص خطی اولین‌بار به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی برای انتخاب نشان تجاری (برند) توسط مصرف‌کننده معرفی شده است.[۸]

مدل تخصیص خطی، یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک است و به‌طور گسترده‌یی در حل مسائل تخصیص به کار می‌رود. به‌طور کلی مسئله‌ی تخصیص موردی خاص از مسئله‌ی حمل‌ونقل است و به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح صفر و یک فرمول‌بندی می‌شود.[۹-۱۱] حل بهینه‌ی مسئله‌ی اختصاص n شغل به n نفر به‌طوری که کمینه‌ی هزینه یا بیشینه‌ی سود حاصل شود، کارکرد اصلی مسئله‌ی تخصیص استاندارد است. کاربردهایی از مدل تخصیص خطی در این زمینه در منابع[۱۲-۱۶] مشاهده می‌شود که از جمله موضوعات آن‌ها مدیریت خدمات شهری، زمان‌بندی تولید، مدیریت ترافیک، برنامه‌ریزی آموزشی و مسیریابی است.

الگوریتم‌های متنوعی شامل برنامه‌ریزی خطی برای حل مسئله‌ی تخصیص خطی توسعه‌یافته و به کارگرفته شده‌اند.[۱۷-۲۳]

مدل تخصیص خطی از اساس برای حل بهینه‌ی مسئله‌ی اختصاص n شغل (ماشین) به n نفر (کار) به وجود آمده است؛ اما به عنوان یکی از روش‌های حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز استفاده شده و کاربردهای متعددی از آن گزارش شده است. به عبارت دیگر، مدل تخصیص خطی برای رتبه‌بندی m گزینه‌ی موجود در یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره به کار برده شده است. در این کاربرد، m رتبه و m گزینه وجود دارد؛ بنابراین، مسئله عبارت است از یافتن i امین گزینه برای هر یک از m رتبه‌ی ممکن که بیشترین اثر را برای آن رتبه داشته باشد. در ضمن هر رتبه باید فقط به یک گزینه تخصیص داده شود و هرگزینه نیز فقط یک رتبه را احراز کند.[۲۴]

برخی از زمینه‌های کاربرد مدل تخصیص خطی در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره را می‌توان در منابع[۲۵-۴۰] مشاهده کرد که از جمله موضوعات آن‌ها می‌توان به مدل تخصیص فازی برای رتبه‌بندی برنامه‌های ارتقای صادرات، ارزیابی توان رقابتی شرکت‌ها، انتخاب خط مشی بهینه‌ی نگهداری، مدیریت آموزشی، رتبه‌بندی عوامل ریسک، مدیریت خدمات شهری، طبقه‌بندی و مدل تخصیص خطی فازی در حمل‌ونقل اشاره کرد.

در بسیاری از مسائل واقعی، تصمیم‌گیرندگان بیش از یک هدف را در نظر دارند. برای مثال اهداف بیشینه کردن سود، کمینه کردن هزینه، کمینه کردن ضایعات، بیشینه کردن سهم بازار و امثال این‌ها. برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با حل این‌گونه مسائل سر و کار دارد.[۴۱]

برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در مسائل پیچیده، زمانی که بیان حالت مطلوب برای تصمیم‌گیرندگان سخت است، به کارگرفته می‌شود. از آنجا که بیشتر مسائل تصمیم‌گیری تجاری واقعی بیش از یک هدف را دنبال می‌کنند، مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه به‌طورگسترده‌یی در زمینه‌های زیادی به کار می‌رود و به یک ابزار مفید برای تصمیم‌گیری تبدیل شده است.[۴۲،۴۳]

روش‌های متقابل ارائه شده برای حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است. یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (MOLP)[۱] بهینه کردن یک بردار از توابع خطی با وجود محدودیت‌های خطی است. زیرا چند تابع هدف وجود دارد، جواب نهایی از یک مجموعه از نقاط کارا که مجموعه‌ی کارا نامیده می‌شود انتخاب می‌گردد. برخی از روش‌های حل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه عبارت‌اند از: روش وزن‌دهی به اهداف، اولویت مطلق، معیار جامع، برنامه‌ریزی آرمانی.[۴۳-۴۶]

امروزه برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در زمینه‌های بسیاری از جمله بهینه‌سازی زنجیره‌ی تأمین گاز طبیعی، بهینه‌سازی انرژی، مسیریابی وسیله‌ی نقلیه و سیستم طبقه‌بندی به کار می‌رود که برخی از این کاربردها را می‌توان در منابع[۴۷-۵۱] مشاهده کرد.

این پژوهش در ۵ بخش شامل بخش اول مقدمه، بخش دوم روش پیشنهادی، بخش سوم مثال عددی، بخش چهارم بحث و بررسی و بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها تنظیم شده است.

۱.۱. معرفی مدل تخصیص خطی

در روش تخصیص خطی گزینه‌های یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره بر مبنای امتیاز آن‌ها از لحاظ هر معیار رتبه‌بندی می‌شود و رتبه‌ی نهایی هرگزینه با یک فرایند جبرانی خطی که ترکیب و تعامل معیارها را امکان‌پذیر می‌سازد، به دست می‌آید. از آنجا که فقط تفاوت عملکرد هر زوج از گزینه‌ها از لحاظ معیارهای تصمیم‌گیری مد نظر قرار می‌گیرد، نیازی به تبدیل داده‌های کیفی به کمّی و نیز نرمال‌سازی داده‌ها نیست.[۲۴] الگوریتم مدل تخصیص خطی به صورت زیر است:

گام ۱. تشکیل ماتریس تصمیم و تعیین وزن هر یک از معیارها.

گام ۲. مشخص‌کردن رتبه‌ی هرگزینه بر حسب هر یک از n شاخص موجود.

گام ۳. تشکیل ماتریس مرجع $\Lambda_{m\times m}$ با عناصر غیرمنفی به نحوی که هر عنصر از ماتریس مرجع از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید.

$$\sum_{j=1}^{n} h_{ij}^{k} . w_j = \lambda_{ik} \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی (۲) اگر iامین گزینه از لحاظ معیار jام در رتبه‌ی kام قرار بگیرد آنگاه $h_{ij}^{k} = 1$ و در غیر این صورت $h_{ij}^{k} = 0$. عنصر λ_{ij} از ماتریس مرجع $\Lambda_{m\times m}$ نشان‌دهنده‌ی ارزش یا شایستگی گزینه‌ی A_i برای تخصیص به رتبه‌ی نهایی kام است. بنابراین تخصیص گزینه‌ی A_i به رتبه‌ی kام باید به نحوی انجام شود که کل ارزش تخصیص گزینه‌ها به رتبه‌ها بیشینه شود.

گام ۴. محاسبه‌ی رتبه‌ی نهایی برای هر یک از گزینه‌ها. با در نظرگرفتن λ_{ik} به مثابه ارزش گزینه‌ی A_i برای تخصیص به رتبه‌ی kام، مسئله عبارت است از پیدا کردن A_i برای رتبه‌ی kام $(k = 1, \ldots, m)$ به نحوی که بیش‌ترین ارزش را برای آن رتبه داشته باشد. به این منظور مسئله‌ی تخصیص زیر با متغیرهای صفر ـ یک h_{ik} استفاده می‌شود:

$$Maximize \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m} \lambda_{ik} . h_{ik}$$

$$S.t. \quad \sum_{k=1}^{m} h_{ik} = 1, i = 1, 2, \ldots, m$$

$$\sum_{i=1}^{m} h_{ik} = 1, k = 1, 2, \ldots, m$$

$$h_{ik} = \begin{cases} 1 & If\ rank\ k\ assigns\ to\ the\ dtemative\ A_i \\ or & \\ 0 & If\ rank\ k\ does\ not\ assign to the\ dtemative\ A_i \end{cases} \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

گام ۵. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها. اگر جواب بهینه‌ی حاصل از (۳) با ماتریس مربع $H^*_{m\times m}$ نشان داده شود، آنگاه رتبه‌ی نهایی گزینه‌ها از حاصل‌ضرب $H^*_{m\times m} \times A_{m\times 1}$ به دست می‌آید ($A_{m\times 1}$ بردار ستونی گزینه‌هاست).

۲.۱. معرفی روش اولویت مطلق

گاهی تصمیم‌گیرنده تمایل ندارد که وزن هر هدف را مشخص کند و روش وزن‌دهی به اهداف را روشی ذهنی می‌پندارد. ولی مایل است اهداف را اولویت‌بندی کند. در این صورت روش اولویت مطلق مطرح می‌شود. در این روش مسئله را فقط با هدفی که اولویت اول (مهم‌تر) دارد، حل می‌کنیم و جواب بهینه را مشخص می‌کنیم. در مرحله بعد تابع هدف اولویت اول را برابر جواب بهینه‌ی به دست آمده قرار می‌دهیم و به عنوان یک محدودیت به مسئله اضافه و مسئله را با در نظرگرفتن تابع هدف با اولویت دوم حل می‌کنیم. این رویه به همین صورت برای اولویت‌های بعدی تکرار می‌شود.[۲۵]

در بیشتر مطالعات از روشی مثل روش اولویت مطلق استفاده می‌شود به‌طوری که یک هدف به اهداف چندگانه اولویت داده می‌شود. در این روش مسئله‌ی اصلی این است که وزن همه‌ی اهداف باید داده شود.[۵۲]

۳.۱. معرفی روش معیار جامع

در این روش برخلاف روش‌های قبلی نیازی به اولویت‌بندی اهداف، وزن‌دهی یا تبدیل اهداف به محدودیت نیست. روش معیار جامع بسته به مورد، مجموع توان اول، دوم و ... انحرافات نسبی اهداف از مقدار بهینه‌شان را کمینه می‌کند. در این روش، تابع هدف که همواره کمینه‌سازی آن مورد توجه است بدین صورت تعریف می‌شود:

$$MinZ = \sum_{i=1}^{k} (f_i^* - f_i / f_i^*)^p \qquad (۴)$$

که در آن f_i^* مقدار بهینه‌ی تابع هدف iام (بدون در نظرگرفتن اهداف دیگر) است. پیشنهادهای مختلفی برای مقدار P وجود دارد. برخی $p = ۱$ را مناسب می‌دانند (یعنی مجموع نسبی انحرافات کمینه شود) و برخی نیز $p = ۲$ را مناسب‌تر می‌دانند (یعنی مجموع توان دوم انحرافات کمینه شود).[۲۵]

۴.۱. کاستی‌های روش تخصیص خطی کلاسیک

در روش تخصیص خطی ابتدا باید وزن شاخص‌ها به‌طور دقیق محاسبه شود؛ زیرا مقدار دقیق آن‌ها برای نوشتن مدل لازم است. از آنجا که در شرایط واقعی میزان دقیق اهمیت شاخص‌ها مشخص نیست و نیاز به انجام محاسبه دارد ـ درحالی که اولویت‌بندی شاخص‌ها از نظر تصمیم‌گیرندگان به راحتی مشخص می‌شود ـ در این پژوهش، روش برنامه‌ریزی خطی پیشنهاد می‌شود تا بدون نیاز به محاسبه‌ی دقیق وزن شاخص‌ها و با توجه به اولویت شاخص‌ها بتوان رتبه‌بندی گزینه‌ها را به دست آورد که بدین ترتیب نظر تصمیم‌گیرندگان هم در تصمیم‌گیری منظور خواهد شد.

به علاوه با روش تخصیص خطی، هر گزینه فقط یک رتبه و هر رتبه فقط یک گزینه را به خود اختصاص می‌دهد؛ حال آنکه در روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چندشاخصه یک رتبه می‌تواند به بیش از یک گزینه داده شود و ممکن است برای دو یا چند گزینه رتبه‌های یکسانی حاصل شود. پس نیاز به روشی است که این ضعف را برطرف کند. هم‌چنین اگر لازم شود که به یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره که به روش تخصیص خطی حل شده است شاخص‌های دیگری اضافه شود، نیاز به انجام محاسبات از ابتدای روش تخصیص خطی و حتی محاسبه‌ی دوباره وزن شاخص‌هاست که در این پژوهش این ضعف نیز تا حد زیادی برطرف می‌شود.

۲. روش پیشنهادی

روشی که در این پژوهش پیشنهاد می‌شود بدین ترتیب است که ابتدا متغیرها مانند روش تخصیص خطی کلاسیک تعیین می‌شوند. سپس برای این که گزینه‌ها از لحاظ هر شاخص تصمیم‌گیری بهینه شوند، به ازای هر شاخص تصمیم‌گیری یک تابع هدف بیشینه‌سازی مجموع متغیرها تعریف می‌شود تا گزینه‌ها را از لحاظ آن شاخص بهینه کند. پس به تعداد شاخص‌ها تابع هدف تعریف می‌شود. سپس محدودیت این که به هر گزینه فقط یک رتبه اختصاص یابد و محدودیت صفر و یک بودن متغیرها، به مدل اضافه می‌شود. محدودیت دیگر مدل تخصیص خطی، که محدودیت اختصاص فقط یک گزینه به هر رتبه است، به مدل اضافه نمی‌شود. بدین ترتیب روش تخصیص خطی کلاسیک با روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ترکیب می‌شود. مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه‌ی حاصل می‌تواند به روش معیار جامع یا اولویت مطلق حل شود تا جواب نهایی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها حاصل شود. در صورتی که از روش اولویت مطلق برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه‌ی به دست آمده استفاده شود، تصمیم‌گیرندگان باید شاخص‌ها را اولویت‌بندی کنند که به‌طور بدیهی همان اولویت‌بندی توابع هدف است. بدین‌ترتیب در این مدل بدون محاسبه‌ی وزن شاخص‌ها میزان اهمیت شاخص‌ها (اهداف) مؤثر است و این مدل، یک روش انعطاف‌پذیر خواهد بود که نظر تصمیم‌گیرندگان در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها مؤثر واقع می‌شود.

یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری با گزینه‌های A_i $i = ۱, ۲, \ldots, m$ و شاخص‌های C_j $j = ۱, ۲, \ldots, n$ را در نظر بگیرید. x_{ij} امتیاز عملکرد گزینه‌ی iام از لحاظ شاخص jام و مؤلفه‌ی سطر iام و ستون jام در ماتریس تصمیم است.

۱.۲. الگوریتم روش پیشنهادی

گام ۱. تعیین رتبه‌ی هر (امتیاز عملکرد) گزینه از لحاظ هر شاخص در ماتریس تصمیم‌گیری.

گام ۲. تعریف متغیر h_{ik} به‌طوری که i شماره‌ی گزینه‌ی مورد نظر و K رتبه‌ی تعیین شده در گام اول است.

گام ۳. تعریف یک تابع هدف بیشینه‌سازی مجموع متغیرهای h_{ik} به ازای هر شاخص.

گام ۴. تعریف محدودیت‌ها به‌طوری که به هر گزینه فقط یک رتبه اختصاص یابد و متغیرها یا صفرند یا یک.

گام ۵. استفاده از روش معیار جامع یا اولویت مطلق برای حل مدل MOLP به دست آمده (در صورت به کارگیری روش اولویت مطلق، تصمیم‌گیرندگان باید شاخص‌ها را اولویت‌بندی کنند) و تعیین رتبه‌بندی گزینه‌ها.

۳. مثال عددی

در این بخش مسئله‌یی که استفاده می‌شود از چاکرابرتی[۵۳] است. در این مثال ۸

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. داده‌های کمّی برای مسئله‌ی انتخاب سیستم تولید انعطاف‌پذیر (ماتریس تصمیم).

شاخص‌ها / گزینه‌ها	C_1^+	C_2^+	C_3^+	C_4^+	C_5^+	C_6^-	C_7^-
A_1	۳۰	۲۳	۵	۰/۷۴۵	۰/۷۴۵	۱۵۰۰	۵۰۰۰
A_2	۱۸	۱۳	۱۵	۰/۷۴۵	۰/۷۴۵	۱۳۰۰	۶۰۰۰
A_3	۱۵	۱۲	۱۰	۰/۵	۰/۵	۹۵۰	۷۰۰۰
A_4	۲۵	۲۰	۱۳	۰/۷۴۵	۰/۷۴۵	۱۲۰۰	۴۰۰۰
A_5	۱۴	۱۸	۱۴	۰/۲۵۵	۰/۷۴۵	۹۵۰	۳۵۰۰
A_6	۱۷	۱۵	۹	۰/۷۴۵	۰/۵	۱۲۵۰	۵۲۵۰
A_7	۲۳	۱۸	۲۰	۰/۵	۰/۷۴۵	۱۱۰۰	۳۰۰۰
A_8	۱۶	۸	۱۴	۰/۲۵۵	۰/۵	۱۵۰۰	۳۰۰۰

گزینه وجود دارد که از لحاظ ۷ معیار ارزیابی شده‌اند. گزینه‌های ۸گانه، سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر هستند. معیارها نیز عبارت‌اند از: کاهش هزینه‌ی نیروی کار، C_1؛ کاهش کار در جریان، C_2؛ کاهش هزینه‌ی راه‌اندازی، C_3؛ افزایش پاسخگویی به بازار، C_4؛ بهبود کیفیت، C_5؛ هزینه‌های سرمایه‌یی و نگهداری، C_6؛ و فضای مورد نیاز، C_7. در جدول ۱ عملکرد (امتیاز) هر یک از گزینه‌ها به ازای هر یک از معیارها آمده است.

وزن هر یک از معیارها به روش آنتروپی محاسبه شده است. پس از تعیین رتبه‌ی هر گزینه بر حسب هر یک از ۸ شاخص موجود و سپس تشکیل ماتریس مرجع $\Lambda_{m\times m}$ با عناصر غیرمنفی که نشان‌دهنده‌ی اثر A_i $i = ۱, ۲, \ldots, ۸$ برای رتبه‌ی kام $k = ۱, ۲, \ldots, ۸$ است، مدل برنامه‌ریزی خطی تک‌هدفه حاصل از روش تخصیص خطی کلاسیک تشکیل می‌شود.

جواب بهینه‌ی مدل تخصیص خطی برای مثال با استفاده از نرم‌افزار Lingo عبارت است از:

$$h_{۱۱} = h_{۲۸} = h_{۳۷} = h_{۴۴} = h_{۵۳} = h_{۶۵} = h_{۷۲} = h_{۸۶} = ۱$$

و بقیه‌ی متغیرها برابر با صفر. بنا برگام ۵ از مدل تخصیص خطی، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها عبارت است از:

$$A_2 < A_3 < A_8 < A_6 < A_4 < A_5 < A_7 < A_1$$

حال مثال عددی با روش پیشنهادی این پژوهش حل می‌شود:

گام ۱. تعیین رتبه‌ی هر (امتیاز عملکرد) گزینه از لحاظ هر شاخص در ماتریس تصمیم‌گیری.

گام ۲. تعریف متغیر h_{ik} به‌طوری که i شماره‌ی گزینه‌ی مورد نظر و k رتبه‌ی تعیین‌شده درگام اول است که در جدول ۲ آمده است.

گام ۳. تعریف یک تابع هدف بیشینه‌سازی مجموع متغیرهای h_{ik} به ازای هر شاخص.

جدول ۲. متغیرهای مدل تخصیص خطی مثال عددی.

شاخص‌ها / گزینه‌ها	C_1^+	C_2^+	C_3^+	C_4^+	C_5^+	C_6^-	C_7^-
A_1	$h_{۱۱}$	$h_{۱۱}$	$h_{۱۷}$	$h_{۱۱}$	$h_{۱۱}$	$h_{۱۶}$	$h_{۱۴}$
A_2	$h_{۲۴}$	$h_{۲۵}$	$h_{۲۲}$	$h_{۲۱}$	$h_{۲۱}$	$h_{۲۵}$	$h_{۲۶}$
A_3	$h_{۳۷}$	$h_{۳۶}$	$h_{۳۵}$	$h_{۳۲}$	$h_{۳۲}$	$h_{۳۱}$	$h_{۳۷}$
A_4	$h_{۴۲}$	$h_{۴۲}$	$h_{۴۴}$	$h_{۴۱}$	$h_{۴۱}$	$h_{۴۳}$	$h_{۴۳}$
A_5	$h_{۵۸}$	$h_{۵۳}$	$h_{۵۳}$	$h_{۵۳}$	$h_{۵۱}$	$h_{۵۱}$	$h_{۵۲}$
A_6	$h_{۶۵}$	$h_{۶۴}$	$h_{۶۶}$	$h_{۶۱}$	$h_{۶۲}$	$h_{۶۴}$	$h_{۶۵}$
A_7	$h_{۷۳}$	$h_{۷۳}$	$h_{۷۱}$	$h_{۷۲}$	$h_{۷۱}$	$h_{۷۲}$	$h_{۷۱}$
A_8	$h_{۸۶}$	$h_{۸۷}$	$h_{۸۳}$	$h_{۸۳}$	$h_{۸۲}$	$h_{۸۶}$	$h_{۸۱}$

$$Max\ h_{۱۱} + h_{۲۴} + h_{۳۷} + h_{۴۲} + h_{۵۸} + h_{۶۵} + h_{۷۳} + h_{۸۶}$$

$$Max\ h_{۱۱} + h_{۲۵} + h_{۳۶} + h_{۴۲} + h_{۵۳} + h_{۶۴} + h_{۷۳} + h_{۸۷}$$

$$Max\ h_{۱۷} + h_{۲۲} + h_{۳۵} + h_{۴۴} + h_{۵۳} + h_{۶۶} + h_{۷۱} + h_{۸۳}$$

$$Max\ h_{۱۱} + h_{۲۱} + h_{۳۲} + h_{۴۱} + h_{۵۳} + h_{۶۱} + h_{۷۲} + h_{۸۳}$$

$$Max\ h_{۱۱} + h_{۲۱} + h_{۳۲} + h_{۴۱} + h_{۵۱} + h_{۶۲} + h_{۷۱} + h_{۸۲}$$

$$Max\ h_{۱۶} + h_{۲۵} + h_{۳۱} + h_{۴۳} + h_{۵۱} + h_{۶۴} + h_{۷۲} + h_{۸۶}$$

$$Max\ h_{۱۴} + h_{۲۶} + h_{۳۷} + h_{۴۳} + h_{۵۲} + h_{۶۵} + h_{۷۱} + h_{۸۱}$$

گام ۴. تعریف محدودیت‌ها به‌طوری که به هر گزینه فقط یک رتبه اختصاص یابد و متغیرها یا صفرند یا یک.

$$s.to.\quad \sum_{k=۱}^{۸} h_{ik} = ۱, i = ۱, ۲, \ldots, ۸$$

$$h_{ik} = \begin{cases} ۱ & If\ rank\ k\ assigns\ to\ the\ dtemative\ A_i \\ or & \\ ۰ & If\ rank\ k\ does\ not\ assign to the\ dtemative\ A_i \end{cases}$$

گام ۵. استفاده از روش معیار جامع یا اولویت مطلق برای حل مدل MOLP به دست آمده (در صورت به کارگیری روش اولویت مطلق، تصمیم‌گیرندگان باید شاخص‌ها را اولویت‌بندی کنند) و تعیین رتبه‌بندی گزینه‌ها.

جواب بهینه‌ی حل مثال با روش پیشنهادی پژوهش حاضر به روش معیار جامع (چون در این پژوهش، هدف، معرفی یک روش برنامه‌ریزی خطی است، روش معیار جامع که در آن $P = ۱$ به کار می‌رود) که با استفاده از نرم‌افزار Lingo محاسبه شده، عبارت است از:

$$h_{۱۱} = h_{۲۵} = h_{۳۷} = h_{۴۲} = h_{۵۳} = h_{۶۵} = h_{۷۱} = h_{۸۶} = ۱$$

و بقیه‌ی متغیرها برابر با صفر. پس رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها عبارت است از:

$$A_3 < A_8 < A_6 < A_2 < A_5 < A_4 < A_7 < A_1$$

www.SID.ir

Archive of SID

جواب بهینه‌ی حل مثال با روش پیشنهادی پژوهش حاضر به روش اولویت مطلق؛ اگر تصمیم‌گیرندگان اولویت‌بندی شاخص‌ها را

$$C_۷ < C_۶ < C_۵ < C_۴ < C_۳ < C_۲ < C_۱$$

تعیین کرده باشند؛ با استفاده از نرم‌افزار Lingo عبارت است از:

$$h_{۱۱} = h_{۲۴} = h_{۳۷} = h_{۴۲} = h_{۵۸} = h_{۶۵} = h_{۷۳} = h_{۸۶} = ۱$$

و بقیه متغیرها برابر با صفر. پس رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها عبارت است از:

$$A_۵ < A_۳ < A_۸ < A_۶ < A_۲ < A_۷ < A_۴ < A_۱$$

برای حل برنامه‌ریزی خطی که از مدل به دست می‌آید؛ می‌توان از روش‌های حل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح صفر و یک مانند الگوریتم جمعی (شمارش ضمنی یا بالاس) استفاده کرد و یا از نرم‌افزار Lingo و برای مسائل با اندازه بزرگ‌تر از نرم‌افزار GAMS استفاده کرد.

۴. بحث و بررسی

مقایسه‌ی رتبه‌بندی نهایی حاصل از روش تخصیص خطی کلاسیک و روش پیشنهادی پژوهش حاضر نشان می‌دهد که رتبه‌بندی گزینه‌ها متفاوت است. در روش پیشنهادی پژوهش حاضر محدودیتی برای این‌که یک رتبه به دو یا چند گزینه داده شود، وجود ندارد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود در رتبه‌بندی حاصل از روش پیشنهادی این پژوهش، که برنامه‌ریزی خطی چندهدفه‌ی آن به روش معیار جامع حل شده است، رتبه‌ی یک به دو گزینه‌ی اول و هفتم و رتبه پنج به دو گزینه‌ی دوم و ششم داده شده است. در روش پیشنهادی این پژوهش از مقدار دقیق وزن معیارها استفاده نشده و از اولویت‌بندی شاخص‌ها در مدل بهره گرفته شده است. حال اگر لازم باشد که شاخص دیگری به شاخص‌های موجود مسئله اضافه شود و بنا باشد که مسئله به روش تخصیص خطی کلاسیک حل شود، باید وزن معیارها دوباره محاسبه شود و روش تخصیص خطی از ابتدا اجرا شود. در حالی که با روش پیشنهادی فقط کافی است که متغیرهای مربوط به آن شاخص تشکیل و تابع هدف مربوط به آن به مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه اضافه شود و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه دوباره حل شود. ملاحظه می‌شود که محاسبات در روش پیشنهادی تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

با به کارگیری روش پیشنهادی انتظار می‌رود که رتبه‌بندی حاصل از آن اعتبار بیشتری در مقایسه با روش تخصیص خطی کلاسیک داشته باشد. برای بررسی این موضوع می‌توان نتایج را با چند روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مقایسه کرد. به‌نظر می‌رسد که روش تاپسیس [۲]، ویکور[۳] و موراَ[۴] در این زمینه مناسب باشند؛ زیرا روش تاپسیس در حال حاضر یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای تصمیم‌گیری چندمعیاره است که گزینه‌ها را بر اساس کمینه کردن فاصله از نقطه‌ی ایده‌آل و بیشینه کردن فاصله از نقطه‌ی ضد ایده‌آل رتبه‌بندی می‌کند.[۵۴-۶۲] روش ویکور نیز یک روش تصمیم‌گیری پرکاربرد است که در آن گزینه‌ها بر اساس شاخص‌های موجود به گونه‌یی رتبه‌بندی می‌شوند که به ایده‌آل نزدیک‌تر باشند[۶۳و۶۴] و روش موراَ به عنوان یک روش تصمیم‌گیری معتبر شناخته شده است که در آن پس از نرمال‌سازی ماتریس تصمیم با استفاده از نرم و سپس محاسبه‌ی شاخص (اندازه‌ی وزین) هر گزینه، رتبه‌بندی انجام می‌شود.[۵۳و۶۵]

رتبه‌بندی‌های حاصل از روش‌های تاپسیس، ویکور و موراَ، تخصیص خطی و روش پیشنهادی این پژوهش در جدول ۳ آمده است و برای مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش تخصیص خطی کلاسیک، ضریب همبستگی رتبه‌یی اسپیرمن[۵][۶۶] بین سه روش تاپسیس، ویکور و موراَ با روش تخصیص خطی کلاسیک و همین‌طور بین سه روش تاپسیس، ویکور و موراَ با روش پیشنهادی این پژوهش محاسبه شده و در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، میزان همبستگی روش تخصیص خطی کلاسیک با روش موراَ، ۰/۷۳ و میزان همبستگی روش پیشنهادی، که برنامه‌ریزی خطی آن با روش اولویت مطلق حل شده است، با روش موراَ

جدول ۳. رتبه‌بندی‌های حاصل از روش‌ها برای مثال عددی.

گزینه / روش	$A_۱$	$A_۲$	$A_۳$	$A_۴$	$A_۵$	$A_۶$	$A_۷$	$A_۸$
روش تاپسیس	۴	۳	۸	۲	۶	۵	۱	۷
روش ویکور	۳	۴	۷	۲	۵	۶	۱	۸
روش موراَ	۳	۵	۸	۲	۴	۶	۱	۷
روش تخصیص خطی	۱	۸	۷	۴	۳	۵	۲	۶
روش پیشنهادی پژوهش (اولویت مطلق)	۱	۴	۷	۲	۸	۵	۳	۶
روش پیشنهادی پژوهش (معیار جامع)	۱	۵	۷	۲	۳	۵	۱	۶

جدول ۴. ضریب همبستگی رتبه‌یی اسپیرمن بین سه روش تاپسیس، ویکور و موراَ با روش تخصیص خطی و روش پیشنهادی.

روش ۱ / روش ۲	روش تخصیص خطی	روش پیشنهادی پژوهش (اولویت مطلق)	روش پیشنهادی پژوهش (معیارجامع)
روش تاپسیس	۰/۴۰	۰/۷۶	۰/۷۱
روش ویکور	۰/۵۹	۰/۷۳	۰/۸۳
روش موراَ	۰/۷۳	۰/۶۷	۰/۹۰

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۶۷ است؛ ولی در سایر موارد، روش پیشنهادی همبستگی بیشتری با روش‌های تصمیم‌گیری تاپسیس، ویکور و موراَ دارد تا روش تخصیص خطی کلاسیک. پس روش پیشنهادی این پژوهش با سه روش تاپسیس، ویکور و موراَ مطابقت بیشتری نسبت به روش تخصیص خطی کلاسیک دارد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره معرفی شد که در آن یک برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، به نحوی که به ازای هر شاخص تصمیم‌گیری یک تابع هدف خطی تعریف شده است، ارائه شد. در این روش نیازی به محاسبه‌ی وزن معیارها نیست و از اولویت‌بندی معیارها استفاده شد. در روش پیشنهادی متغیرهای مدل مانند متغیرهای روش تخصیص خطی کلاسیک تعریف شدند، اما محدودیتی برای تخصیص فقط یک گزینه به یک رتبه وجود ندارد. به‌علاوه با اضافه شدن شاخص‌های جدید به مسئله‌ی موجود، فقط تعدادی تابع هدف به مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه‌ی مسئله‌ی موجود اضافه می‌شود و محاسبات تا حد زیادی نسبت به روش تخصیص خطی کاهش می‌یابد.

محاسبه‌ی ضریب همبستگی رتبه‌یی اسپیرمن برای روش تخصیص خطی و روش پیشنهادی با سه روش تاپسیس، ویکور و موراَ نشان داد که روش پیشنهادی اعتبار بیشتری نسبت به روش تخصیص خطی کلاسیک دارد و می‌تواند جایگزین بهتری برای روش تخصیص خطی کلاسیک باشد.

روش پیشنهادی پژوهش حاضر مانند سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌تواند در زمینه‌های مختلفی کاربرد داشته باشد. از کاربردهای متنوعی که برای روش پیشنهادی می‌توان برشمرد، می‌توان به مدیریت زنجیره‌ی تأمین و حمل و نقل، سیستم‌های تولید و طراحی و مهندسی، مدیریت بازاریابی و تجارت، مدیریت محیط و امنیت و سلامت، مدیریت منابع انسانی، مدیریت انرژی، مهندسی شیمی، مدیریت منابع آبی و امثال این‌ها اشاره کرد.

در این پژوهش از یک مدل برنامه‌ریزی خطی که مجموع متغیرها را بیشینه می‌کند، استفاده شد. در پژوهش‌های آتی می‌توان از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی استفاده کرد یا با تغییر روش تعریف متغیرها می‌توان برنامه‌ریزی خطی با متغیرهای کراندار یا متغیرهای عدد صحیح را به کار گرفت. در این پژوهش از روش اولویت مطلق و روش معیار جامع برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه استفاده شد که در پژوهش‌های آتی می‌توان روش‌های دیگری را به کار برد. هم‌چنین از آنجا که در دنیای واقعی، داده‌ها لزوماً قطعی نیستند، می‌توان روش پیشنهادی را برای داده‌های فازی نیز گسترش داد.

پانوشت‌ها

1. multiple objective linear Programming
2. Topsis
3. Vikor
4. Moora
5. spearman rank correlation coefficient

منابع (References)

1. Rezaei, J. "Best_worst multi_criteria decision_making method", *Omega*, **53**, pp. 49-57 (2015).
2. Wallenius, J., Dyer, J.S., Fishburn, P.C., Steuer, R.E., Zionts, S. and Deb, K. "Multiple criteria decision making,multi attribute utility theory: recent accomplishments and what liesahead", *Management Science*, **54**, pp. 1336-49 (2008).
3. Hwang, C.L. and Yoon, K., *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications: a State_of_the-Art Survey*, Springer_Veriag, pp.58-191 (1981).
4. Triantphyllou, E. *Multi_Criteria Decision Making Methods: Comparative Study*, Dordrecht. Kluwer Academic Publisher, (2000).
5. Zopounidis, C. "Multi criteria decision aid in financial management", *European Journal of Operational Research*, **119**, pp. 404-15 (1999).
6. Hajkowicz, S. and Higgins, A. "A comparision of multiple criteria analysis techniques for water resources management", *European Journal of Operational Research*, **184**, pp. 225-65 (2008).
7. Zanakis, S.H., Solomon, A., Wishart, N. and Dublish, S. "Mutiple attribute decision making: a simulation comparision of select methods", *European Journal of Operational Research*, **107**, pp. 507-29 (1988).
8. Bernardo, J.J. and Blin, J.M. "A Programming Model of Consumer Choice among multi_attributed Brands", *Journal of Consumer Research*, **4**(2), PP. 111-118 (1977).
9. Gass, S.I., *Linear Programming: Methods and APPlications* fifth ed, McGraw-Hill Book Company, pp. 11-98 (1984).
10. Pfaffenberger, R.C. and Walker, D.A. "Mathematical Programming for Economics and Business", first ed, The Iowa State University Press, (1976).
11. Xian-ying, M. "Application of assignment model in PE human resources allocation", *Energy Procedia*, **16**, PP. 1720-3 (2012).
12. Campell, J.F. and Langevin, A. "The snow disposal assignment problem", *J. Oper. Res. Soc*, **48**, PP. 919-929 (1995).
13. Dessouky, M.M. and Kijowski, B.A. "Production scheduling on single-stage multiproduct batch chemical process with fixed batch sized", *IIE Trans*, **29**(5), PP. 399-408 (1997).
14. Leblanc, L.J., Farhangian, K. "Efficient algorithm for solving elastic demand traffic assignment problem and

www.SID.ir

Archive of SID

mode split-assignment problem", *Transport. Sci*, **15**(4), PP. 306-317 (1981).

15. Mckeown, P. and Workman, B. "A study in using linear programming to assign students to schools", *Interfaces*, **6**(4), PP. 96-101 (1976).
16. Soumis, F., Ferland, J. and Rousseau, J. "A model for large-scale aircraft routing and scheduling problems", *Transport. Res. Part B: Meth*, **14**(1), PP. 191-201 (1980).
17. Balinski, M.L. "A competitive (dual) simplex method for the assignment problem", *Math. Program*, **34**(2), PP. 125-141 (1986).
18. Barr, R.S., Glover, F. and Klingman, D. "The alternating basis algorithm for assignment problems", *Math. Program*, **13**(1), PP. 1-13 (1977).
19. Hung, M.S. and Rom, W.O. "Solving the assignment problem by relaxation", *Oper. Res*, **28**(4), PP. 969-982 (1980).
20. McGinnis, L.F. "Implementation and testing of a primal-dual algorithm for the assignment problem", *Oper. Res*, **31**(2), PP. 277-291 (1983).
21. Burkard, R., Dell'Amico, M. and Martello, S. "Assignment problems", Society for Industrial Mathematics, (2009).
22. Lovasz, L. and Plummar, M.D. "Matching theory- sampler: from dénes könig to the present", *Descrete Mathematics*, North-Holland, **100**(1-3), pp.177-219 (1988).
23. Schrijver, A. "Combinatorial Optimization.Polyhedra and efficiency.Algorithms and combinatorics", *Springer_Verlag,Berlin*, **24**, (2003).
24. Asgharpour, M.J. '*Multiple Criteria Decision Making*, 10^{th}. Ed, Tehran: Tehran University Press, pp.293-298 (1390).
25. Momeni, M., *New Topics in Operations Research*, 4^{th}. Ed, Tehran: Moalf publications, pp.4-30 (1391).
26. Razavi, S.H., Hashemi, S.S. and Zavadskas, E.K. "Prioritization of expert promotion programs by fuzzy linear assignment method", *Engineering Economics*, **23**(5), PP. 462-470 (2012).
27. Amiri, M., Zandieh, M., Soltani, R. and Vahdani, B. "A Hybrid multi_criteria decision_making model for firms competence evaluations", *Expert Systems with Applications*, **36**(10), PP. 12314-12322 (2009).
28. Bashiri, M., Badri, H. and Hejazi, T.H. "Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method", *Applied Mathematical Modelling*, **35**(1), PP. 152-164 (2011).
29. Komijan, A.R. and Koupaei, M.N. "A Multi_attribute decision_making and mathematical model for university examination timetabling", *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, **2**(10), PP. 10258-10262 (2012).
30. Foroughi, A. and Esfahani, M.J. "An Empirical study for ranking risk factors using linear assignment : a case study of road construction", *Management Science Letters*, **2**, PP. 615-622 (2012).
31. Norouzi, S.A. and Shariati, A.R. "Study of locating fire stations using linear assignment method: case study maku city", *Global Journal of Human Socail Science*, **13**(3), (2013).
32. Nguyen, V., Emmanuel, F., Jacques_Antoine, G., Marlene, S. and Eric, D.W. "Optimizing the marriage market: an application of the linear assignment model", *European Journal of Operational Research*, **202**, PP. 547-553 (2010).
33. Bashiri, M. and Badri, H. "A group decision making procedure for fuzzy interactive linear assignment programming", *Expert Systems with Application*, **38**, PP. 5561-8 (2011).
34. Chen, T. "A linear assignment method for multiple criteria decision analysis with interval type 2 fuzzy sets", *Applied Soft Computing*, **13**, PP. 2735-48 (2013).
35. Danchick, R. "A ranked linear assignment approaches to Bayesian classification", *Applied Mathematics and Computation*, **162**, PP. 265-81 (2005).
36. Burkard, R.E. "Selected topics on assignment problems", *Discrete Applied Mathematics*, **123**, PP. 257-302 (2002).
37. Ehsanifar, M. and Bakhtiarnezhad, S. "Selection of portfolio by using multi attributed decision making", (tehran stock exchange)", *American Journal of Scientific Research*, **44**, PP. 15-29 (2012).
38. Ehsanifar, M., Bakhtiarnezhad, S., Anvari, F., Anvari, N., Farahani, H.R., Mohajerfar, M. and et al. "Linear assignment and its application in financial management and portfolio", *Archives Des Sciences*, **65**(7), PP. 333-58 (2012).
39. Baykasoglu, A., Subulan, K. and Karaslan, F.S. "A new fuzzy linear assignment method for multi-attribute decision making with an application to spare parts inventory classification", *Applied Soft Computing*, **42**, PP. 1-17 May (2016).
40. Wang, S., Meng, O. and Lee, C.Y. "Liner container assignment model with transit-time-sensitive container shipment demand and its applications", *Transportation Research Part B: Methodological*, **90**, PP. 135-155 August (2016).
41. Marler, R.T. and Arora, J.S. "Survey of multi-objective optimization methods for engineering", *Struct Multidiscip Optimize*, **26**(6), PP. 369-95 (2004).
42. Liang, Z., Song, R., Lin, Q., Du, Z., Chen, J. and ft al. "A double-module immune algorithm for multi-objective optimization problems", *Applied Soft Computing*, **35**, PP. 161-174 October (2015).
43. Mote, J. and Olson, D.L. and Venkataramanan, M.A. "A comparative multiobjective programming study", *Mathl Comput Modelling*, **10**(10), PP. 719-29 (1988).
44. Foroughi, A.A., Jafari, Y. "A modified method for constructing efficient solutions structure of MOLP", *Applied Mathematical Modelling*, **33**, PP. 2403-10 (2009).
45. Olson, D.L. "Tchebycheff norms in multi_objective linear programming", *Mathl Comput Modelling*, **17**(1), PP. 113-124 (1993).
46. Hwang, C.L. and Masud, A.S.M., *Multiple Objectives Decision Making:Methods and Applications*, Springer Verlag, Berlin, (1979).
47. Wang, E.J., Lin, C.Y. and Su, T.S. "Electricity monitoring system with fuzzy multi-objective linear programming integrated in carbon footprint labeling system

www.SID.ir

Archive of SID

for manufacturing decision making", *Journal of Cleaner Production*, **112**, PP. 3935-3951 January (2016).

48. Demirci, M. and Bettinger, p. "Using mixed integer multi-objective goal programming for stand tending block designation:A case study from turkey", *Forest Policy and Economics*, **55**, PP. 28-36 June (2015).
49. Yalcin, G.DM., Erginel, N., "Fuzzy multi-objective programming algorithm for vehicle routing problems with backhauls", *Expert Systems with Applications*, **42**, PP. 5632-5644 August (2015).
50. Charitopoulos, V.M. and Dua, V. "A unified framework for model-based multi-objective linear process and energy optimization under uncertainty", *Applied Energy*, **186**, PP. 539-548 January (2017).
51. Azadeh, A., Raoofi, Z. and Zarrin, M. "A multi-objective fuzzy linear programming model for optimization of natural gas supply chain through a greenhouse gas reduction approach", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **26**, PP. 702-710 September (2015).
52. Minella, G., Ruiz, R. and Ciavota, M. "A review and evaluation of multi objective algorithms for the flowshop scheduling problem", *INFORMS Journal on Computing*, **20**(3), pp. 451-471 (2007).
53. Chakraborty, S. "Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment", *Int J Adv Manuf Technol*, **54**, PP. 1155 - 66 (2011).
54. Barros, C.P. and Wanke, P. "An analysis of African airlines efficiency with two-stage TOPSIS and neural networks", *Journal of Air Transport Management*, **44-45**, pp. 90-102 May-June (2015).
55. Dymova, L., Sevastjanov, P. and Tikhonenko, A. "An interval type-2 fuzzy extension of the TOPSIS method using alpha cuts", *Knowledge-Based Systems*, **83**, PP. 116-127 July (2015).
56. Hwang, C.L., Lai, Y.J. and Liu, T.Y. "A new approach for multiple objective decision making", *Computers & Operations Research*, **20** , PP. 889-99 (1993).
57. Lai, Y.J., Liu, T.Y. and Hwang, C.L. "TOPSIS for MODM", *European Journal of Operational Research*, **76**, PP. 486-500 (1994).
58. Olson, D. "Comparison of weights in TOPSIS models", *Mathematical and Computer Modeling*, **40**, PP. 721-7 (2004).
59. Yoon, K. "A reconciliation among discrete compromising solutions", *The Journal of the Operational Research Society*, **38**, PP. 277-86 (1987).
60. Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M. and Ignatius, J. "A state-of the-art survey of TOPSIS applications", *Expert Systems with Applications*, **39**(17), PP. 13051-13069 December (2012).
61. Chen, T-Y. "The inclusion-based TOPSIS method with interval-valued intuitionistic fuzzy sets for multiple criteria group decision making", *Applied Soft Computing*, **26**, PP. 57-73 January (2015).
62. Sun, L., Miao, C.L. and Yang, L. "Ecological-economic efficiency evaluation of green technology innovation in strategic emerging industries based on entropy weighted TOPSIS method", *Ecological Indicators*, **73**, PP. 554-558 February (2017).
63. Opricovic, S. and Tzeng, G.H. "Extended VIKOR method in comparison with outranking methods", *European Journal of Operational Research*, **178**, PP. 514-529 April (2007).
64. Mohsen, O. and Fereshteh, N. "An extended VIKOR method based on entropy measure for the failure modes risk assessment - A case study of the geothermal power plant (GPP)", *Safety Science*, **92**, PP. 160-172 February (2017).
65. Patel, J.D. and Maniya, K.D. "Application of AHP/MOORA method to select wire cut electrical discharge machining process parameter to cut EN31 alloys steel with brasswire", *Materials Today: Proceedings*, **2**, PP. 2496-2503 (2015).
66. Gauthier, T.D. "Detecting trends using spearman's rank correlation coefficient", *Environmental Forensics*, **2**(4), pp.359-362 (2001).

www.SID.ir