مدل اولویت‌بندی طرح‌های سرمایه‌گذاری با استفاده از تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی در شرایط عدم قطعیت؛ مطالعه موردی: مکان‌یابی احداث کارخانه

مسعود نارنجی*[1]، علی فرقانی[2] و علی پورابراهیم گیل کلایه[3]

[1] دانشجوی دکترای مهندسی صنایع- دانشگاه علم و صنعت ایران

[2] کارشناسی ارشد مدیریت تکنولوژی- عضو هیات علمی پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی

[3] کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

(تاریخ دریافت 88/6/20، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده 90/3/30، تاریخ تصویب 90/7/9)

چکیده

یکی از راه‌های اولویت‌بندی طرح‌های سرمایه‌گذاری، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری است. مدل‌های تصمیم‌گیری اغلب در شرایط قطعی توسعه یافته‌اند؛ در حالی که در دنیای واقعی اغلب با شرایط عدم قطعیت مواجه هستیم. در تصمیم‌گیری سلسله مراتبی، یکی از گام‌های اصلی تعیین وزن معیارها و پس از آن، محاسبه وزن گزینه‌ها با توجه به معیارهای تعیین شده است. یکی از ساده‌ترین و متداول‌ترین راه‌های تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها، استفاده از ماتریس مقایسه‌های زوجی است. رویکرد اصلی در این مقاله، استفاده از ماتریس مقایسه‌های زوجی بازه‌ای است که نسبت به روش‌های کلاسیک واقعی‌تر است. در این مقاله دو مدل تصمیم‌گیری با عنوان‌های برنامه‌ریزی آرمانی لکسیکوگرافی (LGP) و برنامه‌ریزی آرمانی لگاریتمی دو مرحله‌ای (TLGP) برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی گزینه‌ها ارائه شده است. این دو مدل از نوع روش‌های تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی در شرایط عدم قطعیت است. سپس هر یک از این روش‌ها با استفاده از یک مثال واقعی (اولویت‌بندی طرح‌های سرمایه‌گذاری در احداث کارخانه) حل شده و نتایج آن با روش فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی در شرایط قطعی مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آرمانی، لکسیکوگرافی، برنامه‌ریزی آرمانی لگاریتمی، تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی، تصمیم‌گیری چند معیاره

مقدمه

در روش‌های کلاسیک مدل‌های تصمیم‌گیری، در هر سلول ماتریس مقایسه‌های زوجی، مقدار مشخصی در نظر گرفته می‌شد و نرخ ارجحیت گزینه‌ها مقدار ثابتی بود. در دنیای واقعی به ندرت با چنین شرایطی مواجه می‌شویم و اغلب، مواردی مشاهده می‌شود که در آنها ماتریس‌های زوجی بازه‌ای وجود دارد. در مواردی که مقایسه‌های زوجی بازه‌ای هستند، دو رویکرد برای محاسبه وزن گزینه‌ها و تعیین اولویت آنها وجود دارد، رویکرد اول اینکه وزن گزینه‌ها به طور قطعی و رویکرد دیگر اینکه به صورت بازه‌ای محاسبه شوند.

زوو و ژای [1] در مقاله خود در مورد استخراج وزن‌های فازی، از یک ماتریس مقایسه‌های زوجی بحث کرده و روشی را با عنوان کمترین مربعات لگاریتمی تعریف کرده‌اند که بر اساس آن یک فاصله در فضای فازی برای وزن‌ها تعیین می‌شود. زوو [2] یک فاصله مشابه تعریف‌شده برای توسعه یک روش اولویت‌بندی کمترین مربعات فازی را به کار برد. لیونگ و کاو [3] تعریف سازگاری فازی را پیشنهاد کردند که در آن به بررسی انحراف از خطا و تعیین وزن‌های فازی محلی و کلی پرداختند. باکلی و همکاران [4] به طور مستقیم، رویه اصلی ساعتی که برای محاسبه وزن‌ها در تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده می‌شود را فازی کرده و از آن برای محاسبه وزن‌های فازی در تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کرده‌اند. باکلی و همکاران [5] استفاده از روش λ_{max} را برای پیدا کردن وزن‌های فازی ارایه کردند و در آن به طور مستقیم به فازی کردن پارامترهای تصمیم اقدام کردند. در همه این مقالات، رویکرد فازی مطرح بوده و از جدول مقایسه‌های زوجی بازه‌ای (از نوع فازی) اقدام به استخراج وزن (فازی) برای معیارها و گزینه‌ها شده است. نکته قابل توجه در این مقالات، وجود تابع عضویت مثلثی یا ذوزنقه‌ای است، در حالی که روش‌های ارایه‌شده

* نویسنده مسئول : تلفن : 27318030 , فاکس : 22570193 ، Email: mnarenji@iust.ac.ir

در این مقاله‌ها قادر به حل مسایلی که ماتریس مقایسه‌ای زوجی بازی (غیرفازی) دارند، نیست.

ساعتی و وارگاس [6] مقایسه‌های زوجی بازه‌ای را در روش فرآیند تحلیلی سلسله‌مراتبی به عنوان راهی برای مدل‌کردن عدم قطعیت پیشنهاد داده و از شبیه‌سازی مونت کارلو برای پیدا کردن وزن‌های بازه‌ای از ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی استفاده کرده‌اند. آربل [7]، [8] مقایسه‌های زوجی بازه‌ای را به عنوان محدودیت‌های خطی در نظر گرفته و فرآیند اولویت‌بندی را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله کرده‌اند. کرس [9] نشان داد که روش آربل برای ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی که ناسازگار هستند کارآیی ندارد، چون در چنین شرایطی ناحیه امکان‌پذیری برای مسئله برنامه‌ریزی خطی وجود ندارد. سالو و همکاران [10]، [11] رویکرد آربل را به ساختار سلسله‌مراتبی بسط داده و در روش خود بیشترین و کمترین مقادیر امکان‌پذیر را برای همه بازه‌ها پیدا کرده‌اند، سپس حدود بالا و پایین به دست آمده را استنتاج کرده و در اولویت‌بندی نهایی به کار برده‌اند. روش‌های به کار رفته در این مقالات، اغلب بر پایه محاسبات ریاضی بوده و همان طور که اشاره شد، برخی از آنها در شرایطی که ناسازگاری وجود دارد ضعف‌هایی داشته‌اند، اما بزرگ‌ترین اشکالی که از این دسته از مقالات می‌توان گرفت، محاسبات بسیار پیچیده آنها است.

آربل و وارگاس [12]، [13] موضوع سلسله‌مراتبی را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی فرموله کرده‌اند و در آن همه ارجحیت‌های اولیه در سلسله‌مراتب را به عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته‌اند، همچنین ارتباطی بین روش آربل و شبیه‌سازی مونت کارلو ایجاد کرده‌اند. مورنا و همکاران [14] توزیع احتمالی گزینه‌ها را از طریق ماتریس مقایسه‌های زوجی بازه‌ای با اندازه‌های 2 یا 3 مورد مطالعه قرار داده‌اند. اسلام و همکاران [15] از روش برنامه‌ریزی آرمانی لکسیکوگرافی برای پیدا کردن وزن‌ها از ماتریس مقایسه‌های زوجی ناسازگار استفاده کرده‌اند. هاینس [16]، یک رویکرد آماری برای استخراج ارجحیت‌ها در ماتریس مقایسه‌های بازه‌ای پیشنهاد داده است. در این دسته از مقالات، رویکردهای برنامه‌ریزی غیرخطی و رویکرد آماری مطرح است که اشکالات روش‌های قبلی تا حد زیادی رفع شده است و ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی ناسازگار نیز با استفاده از این روش‌ها قابل حل هستند. اما این روش‌ها برای مسایل بزرگ قابل استفاده نیستند.

روش‌هایی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند، هر دو برای ماتریس مقایسه‌های زوجی بازه‌ای به کار رفته‌اند و حالت کلی‌تری از ماتریس مقایسه‌های زوجی فازی هستند (با اعمال برش‌های α در ماتریس‌های فازی، این ماتریس به یک ماتریس بازه‌ای تبدیل می‌شود)، همچنین این روش‌ها برای ماتریس‌های ناسازگار نیز کاربرد داشته و محاسبات آنها پیچیدگی کمتری نسبت به روش‌های قبلی دارد. از دیگر مزایای این روش‌ها این است که ارجحیت‌ها در این روش‌ها به شکل قطعی یا درصدی از 100 بیان شده است. همه مزیت‌های این دو روش، می‌تواند به عنوان نوآوری این روش‌ها نیز مطرح شود.

در ادامه پس از بیان تعاریف و روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی لکسیکوگرافی و برنامه‌ریزی آرمانی لگاریتمی دو مرحله‌ای، به بیان چگونگی کاربرد این روش‌ها در یک مسئله واقعی پرداخته شده است. در نهایت نتایج این دو روش با نتایج روش فرآیند تحلیلی سلسله‌مراتبی مورد مقایسه قرار گرفته است.

روش برنامه‌ریزی آرمانی لکسیکوگرافی (LGP)

ممکن است ارجحیت معیار i نسبت به معیار j بین l_{ij} و u_{ij} باشد که در آن l_{ij} و u_{ij} اعداد حقیقی غیر منفی و $l_{ij} \le u_{ij}$ است. بنابراین:

$$A=(a_{ij})_{n\times n}=\begin{bmatrix} 1 & [l_{12},u_{12}] & \cdots & [l_{1n},u_{1n}] \\ [l_{21},u_{21}] & 1 & \ldots & [l_{2n},u_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [l_{n1},u_{n1}] & [l_{n2},u_{n2}] & \ldots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن $l_{ij}=1/u_{ij}$ و $u_{ij}=1/l_{ij}$ و $l_{ij} \le a_{ij} \le u_{ij}$ است.

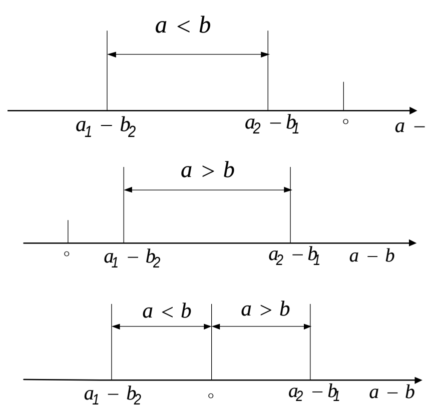
بنابر مطالعات آربل و وارگاس [12 و 13] ماتریس $A=(a_{ij})_{n\times n}$ یک ماتریس مقایسه بازه‌ای سازگار است، اگر و فقط اگر محدودیت نامعادله‌ای زیر را برآورده کند:

$$\max_k (l_{ik} l_{kj}) \le \min_k (u_{ik} u_{kj}), \qquad \forall\ i, j, k = 1, \ldots, n. \quad (2)$$

درجه ارجحیت a نسبت به b (یا a > b) به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P(a>b)=\frac{\max(0,a_2-b_1)-\max(0,a_1-b_2)}{(a_2-a_1)+(b_2-b_1)} \qquad (3)$$

اگر $a=[a_1,a_2]$ و $b=[b_1,b_2]$ وزن‌های بازه‌ای باشند، ارتباطات ممکن بین آن‌ها در شکل (1) نشان داده شده است:



شکل 1: ارتباط بین وزن‌های بازه‌ای a و b

ممکن است قضاوت‌های بازه‌ای به عنوان محدودیتی روی وزن‌ها در نظر گرفته شوند. بنابراین:

$$l_{ij} \le w_i / w_j \le u_{ij}, \quad i,j=1,...,n \qquad (4)$$

نامعادله (4) فقط برای قضاوت‌های سازگار برقرار است، در صورت وجود ناسازگاری در قضاوت‌ها، متغیرهای انحرافی p_{ij} و q_{ij} می‌توانند برای نامعادله 4 تعریف شوند:

$$l_{ij} w_j - p_{ij} \le w_i \le u_{ij} w_j + q_{ij}, \quad i,j=1,...,n \qquad (5)$$

که در آن p_{ij} و q_{ij} هر دو اعداد حقیقی غیر منفی هستند، اما همزمان نمی‌توانند مثبت شوند یعنی $p_{ij}.q_{ij}=0$ است. مطلوب است که متغیرهای انحرافی p_{ij} و q_{ij} تا حد امکان مقادیر کوچکی داشته باشند. برای دستیابی به این هدف از مدل برنامه‌ریزی آرمانی لکسیکوگرافی زیر استفاده شده است:

$$\begin{aligned}
\text{Min} \quad & J=\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}(p_{ij}+q_{ij})\\
\text{s.t} \quad & w_i - l_{ij} w_j + p_{ij} \ge 0, \quad i=1,\dots,n-1;\ j=i+1,\dots,n,\\
& w_i - u_{ij} w_j - q_{ij} \le 0, \quad i=1,\dots,n-1;\ j=i+1,\dots,n,\\
& \sum_{i=1}^{n} w_i = 1,\\
& w_i, p_{ij}, q_{ij} \ge 0, \qquad \forall i \text{ and } j.
\end{aligned} \qquad (6)$$

روش برنامه‌ریزی آرمانی لگاریتمی دو مرحله‌ای (TLGP)

ونگ و همکاران [17] محدودیت‌های افزاینده $\prod_{i=1}^{n} w_i = 1$ یا $\sum_{i=1}^{n} \ln w_i = 0$ را در ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی در فرآیند تحلیلی سلسله‌مراتبی به کار برده و مدل برنامه‌ریزی آرمانی دومرحله‌ای لگاریتمی را برای تخمین وزن‌ها توسعه داده‌اند. بنابراین:

$$\ln l_{ij} - p_{ij} \le \ln w_i - \ln w_j \le \ln u_{ij} + q_{ij}, \quad i,j=1,\dots,n \qquad (7)$$

که در آن $p_{ij}.q_{ij}=0$ است. رابطه (7) برای هر دو حالت سازگار و ناسازگار مناسب خواهد بود. لازم است ناسازگاری ماتریس مقایسه‌های بازه‌ای حداقل شود. این کار منجر به تولید تابع هدف مدل برنامه‌ریزی آرمانی زیر می‌شود:

$$\begin{aligned}
\text{Min} \quad & J=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(p_{ij}+q_{ij})\\
\text{s.t.} \quad & \ln w_i - \ln w_j + p_{ij} \ge \ln l_{ij}, \quad i,j=1,\cdots,n,\\
& \ln w_i - \ln w_j - q_{ij} \le \ln u_{ij}, \quad i,j=1,\cdots,n,\\
& \sum_{i=1}^{n} \ln w_i = 0\\
& p_{ij}, q_{ij} \ge 0 \text{ and } p_{ij} q_{ij} = 0, \quad i,j=1,\cdots,n.
\end{aligned} \qquad (8)$$

مقادیر نامنفی x و y را می‌توان به این ترتیب تعریف کرد:

$$\begin{aligned}
x_i &= \frac{\ln w_i + |\ln w_i|}{2}, \quad i=1,\cdots,n,\\
y_i &= \frac{-\ln w_i + |\ln w_i|}{2}, \quad i=1,\cdots,n.
\end{aligned} \qquad (9)$$

با تغییر متغیر بالا مدل برنامه‌ریزی آرمانی ذکرشده را می‌توان مطابق رابطه (10) ساده‌سازی کرد:

$$\begin{aligned}
\text{Min} \quad & J=\sum_{i=2}^{n}\sum_{j=1}^{i-1}(p_{ij}+q_{ij})\\
\text{s.t:} \quad & x_i - y_i - x_j + y_j + p_{ij} \ge \ln l_{ij}, i=2,\cdots,n,\ j=1,\cdots,i-1\\
& x_i - y_i - x_j + y_j - q_{ij} \le \ln u_{ij}, i=2,\cdots,n,\ j=1,\cdots,i-1\\
& \sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i) = 0,\\
& x_i, y_i \ge 0, \quad x_i y_i = 0, \quad i=1,\cdots,n,\\
& p_{ij}, q_{ij} \ge 0, \quad p_{ij} q_{ij} = 0, \quad i=2,\cdots,n,\ j=1,\cdots,i-1.
\end{aligned} \qquad (10)$$

برای یافتن یک بازه موجه برای هر وزن $w_i\ (i=1,....,n)$، مقدار تابع هدف بدون تغییر حفظ

می‌شود و به عنوان یک محدودیت از آن استفاده می‌شود و مدل برنامه‌ریزی آرمانی (11) شکل می‌گیرد:

$$\begin{aligned}
&\text{Min/Max} \quad \ln w_i = x_i - y_i \\
&\text{s.t:} \\
&x_i - y_i - x_j + y_j + p_{ij} \ge \ln l_{ij},\ i=1,\dots,n-1,\ j=i+1,\dots,n \\
&x_i - y_i - x_j + y_j - q_{ij} \le \ln u_{ij},\ i=1,\dots,n-1,\ j=i+1,\dots,n \\
&\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i) = 0, \\
&\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}(p_{ij}+q_{ij}) = j^*, \\
&x_i, y_i \ge 0, \quad x_i y_i = 0,\ i=1,\dots,n, \\
&p_{ij}, q_{ij} \ge 0, \quad p_{ij} q_{ij} = 0,\ i=1,\dots,n-1,\ \ j=i+1,\dots,n.
\end{aligned} \tag{11}$$

که در آن J^* مقدار بهینه تابع هدف مدل (10) است.

همچنین اگر $J^*=0$ باشد، آنگاه مدل (11) هم ارز با حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی زیر است:

$$\begin{aligned}
&\text{Min/Max} \quad \ln w_i = x_i - y_i \\
&\text{s.t:}\ x_i - y_i - x_j + y_j \ge \ln l_{ij},\ i=1,\cdots,n-1,\ j=i+1,\cdots,n \\
&\quad x_i - y_i - x_j + y_j \le \ln u_{ij},\ i=1,\cdots,n-1,\ j=i+1,\cdots,n \\
&\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i) = 0, \\
&x_i, y_i \ge 0, \quad x_i y_i = 0, \qquad i=1,\cdots,n.
\end{aligned} \tag{12}$$

با حل مدل بالا وزن‌های بازه‌ای برای معیارها و گزینه‌ها مطابق جدول (1) به دست می‌آید.

حدود بالا و پایین وزن‌های نهایی با استفاده از دو مدل برنامه‌ریزی غیرخطی (13) به دست می‌آید:

$$\begin{aligned}
&Min\, w_{A_i}^L = \prod_{j=1}^{m}(w_{A_{ij}}^L)^{w_j} \\
&s.t. \quad W \in \Omega_W \ , \\
&Max\, w_{A_i}^U = \prod_{j=1}^{m}(w_{A_{ij}}^U)^{w_j} \\
&s.t. \quad W \in \Omega_W
\end{aligned} \tag{13}$$

که در آن $W=(w_1,\dots,w_m)$ و

$\Omega_w = \left\{ W=(w_1,\dots,w_m) \mid w_j^L \le w_j \le w_j^U, \prod_{i=1}^{m} w_j = 1 \right\}$ و

$w_{A_i}^U$ و $w_{A_i}^U$ به ترتیب حد بالا و حد پایین وزن مرکب w_{A_i} هستند که به صورت بازه $w_{A_i} = [w_{A_i}^L, w_{A_i}^U]$ نشان داده می‌شود. وزن کلی برای هر گزینه با تکرار این فرآیند تا رسیدن به بالاترین سطح به دست می‌آید.

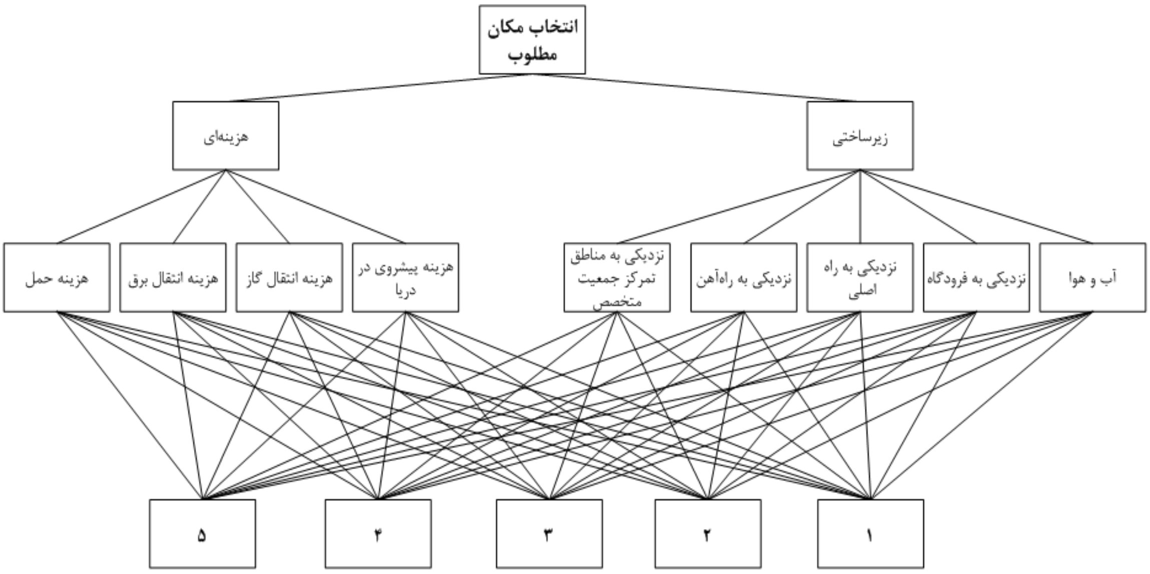
کاربرد ماتریس مقایسه‌های زوجی بازه‌ای در مسایل تصمیم‌گیری

تخمین وزن نسبی معیارها نقش مهمی را در فرآیند MCDM ایفا می‌کند. در میان بیشتر روش‌های توسعه‌یافته برای تخمین وزن، ماتریس مقایسه‌های زوجی، چارچوب مناسبی را برای استخراج وزن‌ها با استفاده از نظرات خبرگان در اختیار قرار می‌دهد. با توجه به اینکه مسایل تصمیم‌گیری در دنیای واقعی اغلب پیچیدگی و عدم قطعیت بالایی دارند که خود نتیجه طبیعت انسان در قضاوت‌های ذهنی است، گاهی دور از واقعیت است که بخواهیم قضاوت‌های انسان را دقیق و قطعی در نظر بگیریم و طبیعی‌تر و واقع‌بینانه‌تر است که همه قضاوت‌ها یا بخشی از آنها را به صورت بازه‌ای یا فازی در نظر بگیریم.

در این مقاله با استفاده از یک مطالعه موردی، علاوه بر بیان چگونگی استفاده از روش‌های توسعه‌یافته برای تحلیل ماتریس‌های بازه‌ای و استخراج اولویت طرح‌های سرمایه‌گذاری در این شرایط، نتایج به‌دست آمده، با نتایج حاصل از روش تحلیلی سلسله‌مراتبی در شرایط قطعی مقایسه شده است.

جدول 1: ترکیب وزن‌های بازه‌ای

وزن ترکیبی	معیار m	…	معیار 2	معیار 1	گزینه‌ها
	$[w_m^L, w_m^U]$	…	$[w_2^L, w_2^U]$	$[w_1^L, w_1^U]$	
$[w_{A_1}^L, w_{A_1}^U]$	$[w_{1m}^L, w_{1m}^U]$	…	$[w_{12}^L, w_{12}^U]$	$[w_{11}^L, w_{11}^U]$	A_1
$[w_{A_2}^L, w_{A_2}^U]$	$[w_{2m}^L, w_{2m}^U]$	…	$[w_{22}^L, w_{22}^U]$	$[w_{21}^L, w_{21}^U]$	A_2
$\vdots$	$\vdots$	…	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$[w_{A_n}^L, w_{A_n}^U]$	$[w_{nm}^L, w_{nm}^U]$	…	$[w_{n2}^L, w_{n2}^U]$	$[w_{n1}^L, w_{n1}^U]$	A_n



شکل 2: ساختار سلسله مراتبی معیارها برای انتخاب بهترین گزینه

جدول 2: اولویت نهایی مناطق مورد بررسی در شرایط قطعی

ردیف	منطقه مورد بررسی	امتیاز نهایی
1	منطقه پیشنهادی 1	0,256
2	منطقه پیشنهادی 2	0,117
3	منطقه پیشنهادی 3	0,427
4	منطقه پیشنهادی 4	0,115
5	منطقه پیشنهادی 5	0,084

جدول 3: ماتریس مقایسه‌های بازه‌ای برای زیرمعیارهای زیرساختی

آب و هوا	نزدیکی به فرودگاه	نزدیکی به راه اصلی	نزدیکی به راه آهن	نزدیکی به مناطق تمرکز جمعیت	
[2و4]	[0,5و1,5]	[0,5و1,5]	[1و3]	1	نزدیکی به مناطق تمرکز جمعیت
[1و3]	[0,5و1,5]	[0,33و1]	1		نزدیکی به راه آهن
[2و4]	[1و3]	1			نزدیکی به راه اصلی
[0,5و1,5]	1				نزدیکی به فرودگاه
1					آب و هوا

مثال عددی؛ طرح مکان‌یابی احداث کارخانه

طرح مکان‌یابی احداث کارخانه، با هدف تعیین مکان مناسب با کمترین هزینه و بیشترین بازدهی توسط پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی انجام شده است. مشخصات این طرح در ادامه تشریح شده است.

ساختار سلسله مراتبی معیارها

معیارهایی که برای این طرح در نظر گرفته شده است، شامل دو معیار اصلی (زیرساختی و هزینه‌ای) است و هر یک از این معیارها چندین زیرمعیار دارد. در شکل (2) همه معیارهای مورد نظر در این طرح، ترسیم شده‌اند و ساختار سلسله مراتبی آنها نمایش داده شده است.

حل مسئله در شرایط داده‌های قطعی

برای رتبه‌بندی و تعیین اولویت مناطق مختلف، از مدل رتبه‌بندی سلسله‌مراتبی یا فرآیند تحلیلی سلسله‌مراتبی استفاده شده است. برای مقایسه زوجیِ معیارها از جدول مقایسه‌های بازه‌ای استفاده شده و

میانگین بازه ارایه‌شده در هر سلول به عنوان مقدار قطعی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه جدول مقایسه‌های بازه‌ای در مقیاس 9 نقطه‌ای بوده است، در حالت قطعی نیز می‌توان جدول مقایسه‌های زوجی را در مقیاس 9 نقطه‌ای در نظر گرفت. پس از ورود اطلاعات در نرم‌افزار Expert Choice اولویت مناطق مورد بررسی طبق جدول (2) به دست آمده است.

حل مسئله در شرایط داده‌های بازه‌ای با استفاده از روش LGP

در این روش، از ماتریس مقایسه‌های زوجی بازه‌ای که از نظرات خبرگان گرفته شده، استفاده شده است. جدول (3) نمونه‌ای از داده‌های بازه‌ای را نشان می‌دهد.

پس از بررسی سازگاری همه ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی با استفاده از رابطه (2)، وزن معیارها با استفاده از رابطه (6) استخراج شده و نتایج آن مطابق جدول (4) است. برای بررسی سازگاری و استخراج وزن‌ها از نرم‌افزار LINGO استفاده شده است.

جدول 4: وزن‌های به دست آمده از مقایسه‌های زوجی بازه‌ای با استفاده از روش *LGP*

شاخه‌ی اصلی	عنوان معیار	وزن معیار
اهداف زیرساختی (0,143)	وضعیت آب و هوایی محل اجرای طرح	0,12
	نزدیکی محل اجرای طرح به فرودگاه	0,16
	نزدیکی محل اجرای طرح به راه‌های اصلی کشور	0,36
	نزدیکی محل اجرای طرح به خطوط راه‌آهن	0,12
	نزدیکی محل اجرای طرح به مناطق تمرکز جمعیت متخصص	0,24
اهداف هزینه‌ای (0,857)	هزینه حمل	0,181
	هزینه‌ی انتقال برق	0,09
	هزینه‌ی انتقال گاز	0,181
	هزینه پیش‌روی در دریا به منظور دست‌یابی به عمق آبخور مناسب	0,548

با استفاده از وزن‌های ارایه‌شده در جدول (4)، نتیجه نهایی اولویت‌بندی مناطق مطابق جدول (5) به دست می‌آید.

با استفاده از روش LGP، منطقه پیشنهادی 3 با 0,25 امتیاز رتبه اول را کسب کرده است؛ پس از آن منطقه‌های پیشنهادی 4 و 1 با امتیازهای 0,21 رتبه‌های دوم و سوم و در نهایت منطقه‌های پیشنهادی 2 و 5 به ترتیب با امتیازهای 0,17 و 0,16 رتبه‌های چهارم و پنجم را کسب کرده‌اند.

جدول 5: اولویت نهایی مناطق مورد بررسی در شرایط عدم قطعیت با استفاده از روش *LGP*

ردیف	منطقه مورد بررسی	امتیاز نهایی
1	منطقه پیشنهادی 1	0,21
2	منطقه پیشنهادی 2	0,17
3	منطقه پیشنهادی 3	0,25
4	منطقه پیشنهادی 4	0,21
5	منطقه پیشنهادی 5	0,16

حل مسئله در شرایط داده‌های بازه‌ای با استفاده از روش TLGP

برای به دست آوردن وزن‌های بازه‌ای ابتدا ناسازگاری معیارهای اصلی و زیرمعیارها بررسی شده است. پس از بررسی، در نهایت اهداف هزینه‌ای از معیارهای اصلی و سه زیرمعیار، دارای ناسازگاری هستند. زیر معیارهای ناسازگار عبارت‌اند از: وضعیت آب و هوایی محل اجرای طرح، هزینه انتقال برق و هزینه پیشروی به دریا. در ادامه با توجه به سازگار یا ناسازگار بودن ماتریس‌ها از مدل‌های 11 و 12 استفاده شده و وزن‌های بازه‌ای و وزن‌های ترکیبی برای معیارهای هزینه‌ای و زیرساختی به صورت جداول (6) و (7) به دست آمده است.

جدول 6: وزن‌های بازه‌ای معیارهای هزینه‌ای در روش *TLGP*

گزینه‌ها	معیارها				وزن‌های بازه‌ای ترکیبی هزینه‌ای
	حمل [1و0,5946]	انتقال برق [0,4507و0,6597]	انتقال گاز [0,8124و1,1891]	پیشروی در دریا [1,9999و2,9273]	
منطقه 1	[1,5155و2,1462]	[0,7154و0,9440]	[0,7809و0,9936]	[1,0237و1,6436]	[0,8047و8,4646]
منطقه 2	[1,2887و1,5886]	[1,8441و2,2734]	[0,8744و1,6436]	[0,6431و0,9767]	[0,3627و3,8416]
منطقه 3	[0,4659و0,6597]	[0,7579و1]	[0,3806و0,4720]	[1,4308و2,4962]	[0,281و6,0678]
منطقه 4	[0,8797و1,1366]	[1,2587و1,5517]	[1,6020و2,0384]	[0,5173و1,0237]	[0,2096و0,8849]
منطقه 5	[0,6294و0,7760]	[0,4503و0,5296]	[1,0958و1,3943]	[0,5744و0,8705]	[0,0963و0,6670]

جدول 7: وزن‌های بازه‌ای برای معیارهای زیرساختی در روش *TLGP*

وزن‌های بازه‌ای ترکیبی زیرساختی	معیارها					گزینه‌ها
	آب و هوا [0,5053و0,7155]	نزدیکی به فرودگاه [0,7230و1,0481]	نزدیکی به راه اصلی [1,1883و2,3565]	نزدیکی به راه‌آهن [0,6281و1,2753]	تمرکز جمعیت [1,0591و1,5355]	
[0,2888و14,9842]	[0,5065و0,8451]	[1,1635و2,1688]	[0,8705و1,6436]	[0,5296و0,9665]	[1,0823و1,6862]	منطقه 1
[0,0397و2,8904]	[1,4308و2,5118]	[0,5065و0,8451]	[0,3487و0,6598]	[1,2166و2,2204]	[0,8219و1,1509]	منطقه 2
[0,3850و38,0195]	[0,5433و0,8414]	[2,0039و3,1289]	[0,5152و1,2481]	[0,9540و1,8248]	[1,5517و2,1688]	منطقه 3
[0,0394و3,2638]	[1,9163و2,9921]	[0,5755و0,9125]	[1و2,0515]	[0,4243و0,8219]	[0,3313و0,4610]	منطقه 4
[0,1789و9,4848]	[0,4074و0,6084]	[0,4260و0,6598]	[1,0591و2,1731]	[0,7659و1,5548]	[0,9221و1,2215]	منطقه 5

جدول 8: وزن‌های بازه‌ای نسبی و کلی با استفاده از روش *TLGP*

وزن‌های بازه‌ای ترکیبی نهایی	معیارها		گزینه‌ها
	زیرساختی [0,4082و0,5000]	هزینه‌ای [1,9999و2,4492]	
[0,3481و564,816]	[0,2888و14,9842]	[0,8047و8,4646]	منطقه 1
[0,0223و41,6666]	[0,0397و2,8904]	[0,3627و3,8416]	منطقه 2
[0,0302و365,5123]	[0,3850و38,0195]	[0,281و6,0678]	منطقه 3
[0,0058و1,4148]	[0,0394و3,2638]	[0,2096و0,8849]	منطقه 4
[0,0016و1,3702]	[0,1789و9,4848]	[0,0963و0,6670]	منطقه 5

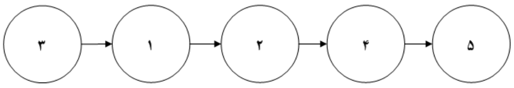
وزن‌های بازه‌ای نسبی و کلی با استفاده از رابطه غیرخطی 13 مطابق جدول (8) استخراج شده است و با استفاده از نتایج جدول (8) و رابطه (3) ارجحیت مناطق به این صورت به دست می‌آید:

جدول 9: ارجیت مناطق برای روش *TLGP*

	1	2	3	4	5
1		0,93	0,61	0,99	0,99
2			0,11	0,97	0,97
3				0,99	0,99
4					0,51
5					

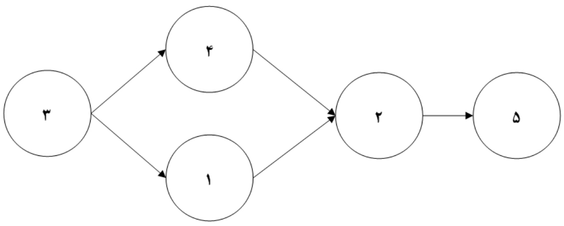
تحلیل و مقایسه نتایج

از آنجایی که قضاوت‌ها در یک ماتریس مقایسه‌های بازه‌ای مبهم هستند، طبیعی‌تر و منطقی‌تر است که به جای یک بردار تقدم قطعی که تخمین نقطه‌ای به شمار می‌آید، یک بردار وزن بازه‌ای تولید شود. در این مقاله از دو رویکرد متفاوت برای حل مسایل تصمیم‌گیری استفاده شده است. در رویکرد اول، مسئله در شرایط قطعی و داده‌های معین حل شده است که برای آن، روش کلاسیک فرآیند تحلیلی سلسله‌مراتبی به کار رفته است. همان طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود برای مثال ذکرشده، ارجحیت مناطق به ترتیب مناطق به این ترتیب است:



شکل 3: ارجحیت مناطق از روش *AHP* در شرایط قطعی

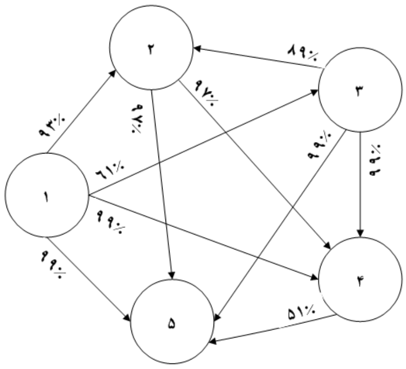
در رویکرد دوم، مسئله با شرایط عدم‌قطعیت و داده‌های بازه‌ای بررسی شده است. روش LGP که در شرایط خاصی قابل استفاده است، نتایج (وزن‌های) نهایی را به شکل قطعی محاسبه می‌کند. در این مثال شرایط سازگاری برقرار بوده و نتایج تقریبا مشابهی با روش فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی کسب شده است. همان طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، ترتیب ارجحیت مناطق به‌این شکل است:



شکل 4: ارجحیت مناطق از روش *LGP* در شرایط عدم قطعیت

در ادامه در روش TLGP ارایه شده است که با استفاده از آن، مسئله در شرایط عدم قطعیت و ناسازگاری حل شده است. در ضمن نتایج کسب‌شده (وزن‌های خروجی) نیز به شکل بازه‌ای هستند. به دلیل اینکه

وزن‌های خروجی به شکل بازه‌ای هستند، ارجحیت‌ها را می‌توان به شکل درصد بیان کرد:



شکل 5: ارجحیت مناطق از روش *TGLP* در شرایط عدم قطعیت:

جمع‌بندی

بیشتر مسایل تصمیم‌گیری در در دنیای واقعی با استفاده از معیارهای متنوعی ارزیابی و بررسی می‌شوند که اغلب این معیارها تناقضاتی دارند و می‌توان برداشت‌های مختلفی از آنها داشت که باعث بروز شرایط عدم قطعیت می‌شود. همچنین در بسیاری از موارد، تصمیم‌گیری‌ها به شکل گروهی انجام می‌گیرد که خود باعث بروز اختلاف در تصمیم‌گیری شده و ماهیت غیرقطعی به آن می‌دهد. استفاده از مدل‌های کلاسیک در شرایطی که نظرات کاملا متفاوت و گاهی متناقضی وجود دارد، باعث می‌شود که جواب‌های حاصله به سمت نظر خاصی اریب شده و از دقت آنها کاسته شود. بنابراین برای رفع این اشکال استفاده از مدل‌هایی که تصمیم‌گیری‌ها را در شرایط غیرقطعی در نظر می‌گیرند مناسب است. این مدل‌ها می‌توانند با داده‌های غیرقطعی، خروجی قطعی (مانند مدل TGP) یا خروجی غیرقطعی (مانند مدل TLGP) تولید کنند.

همان طور که در مثال بالا مشاهده شد، استفاده از روش کلاسیک، نتایج قطعی و صریحی را می‌دهد که با نتایج حاصل از روش‌های توسعه‌یافته، اندکی تفاوت دارد. در این مقاله با استفاده از یک مثال در دنیای واقعی، تفاوت میان نتایج این روش‌ها نشان داده شده است. با توجه به غیرقطعی بودن ورودی‌ها در روش TLGP، غیرقطعی بودن نتایج نهایی از اعتبار بیشتری برخوردار بوده و نتایج منطقی‌تری را ارایه می‌کند.

مراجع

1- Xu, R. and Zhai, X. (1996). “Fuzzy logarithmic least squares ranking method in analytic hierarchy process.” *Fuzzy Sets and Systems*, 77, 175–190.

2- Xu, R. (2000). “Fuzzy least-squares priority method in the analytic hierarchy process.” *Fuzzy Sets and Systems* 112, 359–404.

3- Leung, L.C. and Cao, D. (2000). “On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP.” *European J. of Operational Research.* 124, 102–113.

4- Buckley, J. J. (2001). “Fuzzy hierarchical analysis.” *Fuzzy Sets and Systems*, 17, 233–247.

5- Buckley, J.J., Feuring, T. and Hayashi, Y. (2001). “Fuzzy hierarchical analysis revisited.” *European J. of Operational Research*, 129, 48–64.

6- Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (1987). “Uncertainty and rank order in the analytic hierarchy process.” *European J. of Operational Research.* 32, 107–117.

7- Arbel, A. (1989). “Approximate articulation of preference and priority derivation.” *European J. Operational Research.* 43, 317–326.

8- Arbel, A. (1991). “A linear programming approach for processing approximate articulation of preference.” *Multiple Criteria Decision Support, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 356, Springer, Berlin, pp. 79–86.

9- Kress, M. (1991). “Approximate articulation of preference and priority derivation-A comment.” *European J. of Operational Research.* 52, 382–383.

10- Salo, A. and H?m?l?inen, R.P. (1992). "Processing interval judgments in the analytic hierarchy process." in: A. Goicoechea, L. Duckstein, S. Zoints, (Eds.), *Multiple Criteria Decision Making*, Proc. 9th Internat. Conf. held in Fairfax,Virginia,1990;Springer, NewYork,pp.359–372.

11- Salo, A. and H?m?l?inen, R.P. (1995). "Preference programming through approximate ratio comparisons." *European J. of Operational Research.* 82, 458–475.

12- Arbel, A. and Vargas, L.G. (1992). "The analytic hierarchy process with interval judgments." Multiple criteria decision making, Proc. 9th Internat. Conf. held in Fairfax, Virginia, *Springer, New York*, pp.61–70.

13- Arbel, A. and Vargas, L.G. (1993). "Preference simulation and preference programming: robustness issues in priority deviation." *European J. of operational Research*. 69, 200–209.

14- Moreno-Jiménez, J.M. (1993). "A probabilistic study of preference structures in the analytic hierarchy process within terval judgments." *Mathematic Computer Modeling*, 17 (4/5), 73–81.

15- Islam, R., Biswal, M.P. and Alam, S.S. (1997). "Preference programming and inconsistent interval judgments." *European J. of Operational Research.* 97, 53–62.

16- Haines, L. M. (1998). "A statistical approach to the analytic hierarchy process with interval judgments. Distributions on feasible regions." *European J. of Operational Research.* 110, 112–125.

17- Wang, Y.M., Yang, J.B. and Xu, D.L. (2005). "A two-stage logarithmic goal programming method for generating weights from interval comparison matrices" *Fuzzy Sets and Systems*, 152, 475–498.