مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم، شماره (۲)، پیاپی (۱۳)، پاییز و زمستان ۱۳۹۵
دریافت:۹۲/۲/۲۴ پذیرش: ۹۴/۴/۱۵
صص: ۱۱۶-۱۰۵

تعدیل روش حداقل مجذورات برای تعیین وزن شاخص‌ها در محیط فازی شهودی

عماد روغنیان[1*]
۱- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه خواجه نصیر طوسی، تهران، ایران

چکیده

تاکنون فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به طور گسترده‌ای به منظور تصمیم‌گیری در مسائل واقعی به کار گرفته شده است. اما علیرغم سادگی و کارایی بالای آن، به جهت عدم در نظرگرفتن بی‌دقتی و عدم اطمینان ذاتی ادراکات تصمیم گیرندگان، اغلب مورد انتقاد قرار گرفته است. بدین منظور در اکثر روش های حل مدل تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی از اعداد فازی برای انجام مقایسات زوجی استفاده گردیده و تابع عضویت مبنای تعیین وزن معیارها و زیر معیارها بوده است. این مقاله در صدد است تا با استفاده از داده های فازی شهودی که در آنها تابع عدم عضویت نیز در ارزیابی ها اعمال می‌شود به ارائه مدلی جدید بپردازد.

واژه‌های کلیدی: فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی، مجموعه های فازی شهودی، مقایسات زوجی.

* نویسنده مسئول
e_roghanian@kntu.ac.ir

مقدمه

فرایند تجزیه‌وتحلیل سلسله‌مراتبی[1] (AHP) در سال ۱۹۸۰ به‌همت ساعتی، ابداع و ارائه شده است. این فرایند، تصمیم‌گیرندگان را یاری می‌کند تا اولویت‌ها را براساس اهداف، دانش و تجربهٔ خود تنظیم کنند، به‌نحوی‌که احساسات و قضاوت‌های خود را به‌طور کامل در نظر گیرند. برای حل مسائل تصمیم‌گیری از طریق AHP، باید مسئله را به‌دقت و با همهٔ جزئیات، تعریف و تبیین کرد و جزئیات آن را به‌صورت ساختار سلسله‌مراتبی ترسیم کرد (مؤمنی، ۱۳۸۷). AHP یک ابزار مؤثر و کارا در دادن ساختار و مدل‌سازی مسائل چندمعیاره است که به طور موفقیت‌آمیزی در کاربردهای متنوع مدیریتی استفاده شده است (هوانگ[2] و همکاران، ۲۰۰۶).

در AHP معمولی، نظرهای تصمیم‌گیرندگان در قالب یک عدد قطعی بیان می‌شود، اما این کار ممکن است به دلیلی ابهام و عدم‌اطمینان موجود در ارزیابی به‌خوبی میسر نباشد؛ چرا که بسیاری از معیارها ذاتاً کیفی و ذهنی بوده و برای تصمیم‌گیرنده اختصاص یک عدد کمی مطلق و قطعی برای ارزیابی آن‌ها غیرممکن است. به همین دلیل تصمیم‌گیرندگان ترجیح می‌دهند از اعداد فاصله‌ای یا فازی بدین‌منظور استفاده کنند (زنجیرچی، ۱۳۹۰). ازاین‌رو تاکنون مدل‌های AHP فازی بسیاری ارائه شده است که از داده‌های فازی برای ارزیابی و انتخاب گزینه‌های مناسب استفاده می‌کنند.

بیان مسئله و ضرورت تحقیق

در مدل‌های AHP فازی ارائه شده تاکنون، استفاده از مجموعه‌های فازی به‌منظور سازگاری بیشتر با عبارات زبانی و بعضاً مبهم انسانی بوده است تا با ارائهٔ قضاوت‌های فاصله‌ای به‌جای قضاوت‌های ارزشی ثابت، تصمیم‌گیری مطمئن‌تر و معتمدتری به عمل آید، حال آنکه درجهٔ تردید و اطمینان‌نداشتن تصمیم‌گیرندگان در مقایسات زوجی شاخص‌ها و تعیین اولویت‌ها فرموله نمی‌شد.

در تئوری مجموعه‌های فازی که زاده[3] (۱۹۶۵)، ارائه داده، درجهٔ عضویت اعداد فازی بین صفر و یک بوده و درجهٔ عدم‌عضویت تنها مکمل درجه عضویت از یک است. این در حالی است که زمانی که تصمیم‌گیرنده، نظر خود را در قالب یک عنصر از مجموعهٔ فازی بیان می‌کند درجهٔ عدم‌عضویت را به‌عنوان مکمل درجهٔ عضویت از یک در نظر نمی‌گیرد و درواقع ممکن است درجهٔ تردیدی[4] وجود داشته باشد. ازاین‌رو به‌منظور گسترش مجموعه‌های فازی، مجموعه‌های فازی شهودی[5] معرفی شدند که به‌وسیلهٔ دو مفهوم درجهٔ عضویت[6] و درجهٔ عدم‌عضویت[7] نشان داده می‌شوند. این مجموعه‌ها ابزاری مناسب برای توصیف اطلاعات مبهم و نادقیق تصمیم و مواجهه با عدم‌قطعیت و ابهام موجود در فرایند تصمیم‌گیری هستند (وو و ژانگ[8]، ۲۰۱۰). هدف این مقاله، ارائهٔ یک مدل AHP مبتنی بر مجموعه‌های فازی شهودی است که قادر است نه‌تنها اطلاعات نادقیق و مبهم بلکه عدم‌اطمینان و قطعیت تصمیم را در مقایسات زوجی به‌منظور تعیین وزن و اهمیت گزینه‌ها به‌خوبی اعمال کند.

مروری بر ادبیات موضوع

تاکنون بسیاری از محققان تئوری مجموعه‌های فازی شهودی را در انواع مختلفی از مسائل

تصمیم‌گیری به کار گرفته‌اند. لیو و وانگ[9] (۲۰۰۷) روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهمعیاره‌ای را بر پایهٔ مجموعه‌های فازی شهودی ارائه کرده‌اند. آن‌ها ابتدا یک تابع ارزیابی برای اندازه‌گیری درجهٔ رضایت و عدم‌رضایت تصمیم‌گیرندگان ارائه کردند، سپس مفهوم عملگرهای نقطه‌ای فازی شهودی[10] را بیان کردند تا به‌وسیلهٔ آن درجهٔ عدم‌قطعیت را کاهش دهند. بدین‌ترتیب مجموعه‌ایی از توابع امتیازدهی جدیدی را برای مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه کردند. ژانگ و لیو[11] (۲۰۱۱) روشی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی شهودی بر پایه تجزیه‌وتحلیل روابط خاکستری[12] (GRA) ارائه کردند. آن‌ها در روش پیشنهادی خود از روش میانگین وزنی فازی شهودی[13] (IFWA) به‌منظور محاسبهٔ نقطه‌نظرات ادغامی تصمیم‌گیرندگان استفاده کردند، و در ادامه از روش آنتروپی فازی شهودی برای محاسبه اوزان معیارها و از روش GRA برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده نمودند. وو و ژانگ (۲۰۱۰) یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برپایهٔ آنتروپی وزنی فازی شهودی ارائه کردند. آن‌ها در مقالهٔ خود از چندین مقیاس آنتروپی برای مجموعه‌های فازی شهودی برای به‌دست‌آوردن اوزان معیارها در روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کردند. وانگ[14] و همکاران (۲۰۱۱) یک رویکرد AHP مبتنی بر فازی شهودی (IF-AHP) برپایهٔ تلفیق بردارهای ویژه از ماتریس مقایسات فازی شهودی[15] (IFCM) ارائه کردند و در ادامه برای اثبات اعتبار و درستی روش خود از دو مثال عددی استفاده کردند. هدف این مقاله ارائهٔ یک مدل AHP با استفاده از داده‌های فازی شهودی است که در آن علاوه‌بر تابع عضویت، به تابع عدم‌عضویت نیز در ارزیابی‌ها مدنظر واقع می‌شود تا درجهٔ اطمینان تصمیم‌گیرندگان از نظرهایی که ارائه می‌دهند به‌طور دقیق‌تری فرموله شود.

در ادامه، در بخش دوم به معرفی مجموعه‌های فازی شهودی و عملگرهای ریاضی مخصوص آن‌ها پرداخته می‌شود. در بخش سوم مدل پیشنهادی مقاله ارائه می‌گردد. در بخش چهارم یک مثال کاربردی ارائه شده و با استفاده از نرم‌افزار LINGO 8 حل می‌شود و در بخش نهایی نیز، نتیجه‌گیری مقاله بیان می شود.

مواد و روش‌ها

مجموعه‌های فازی شهودی (IFSs)

مجموعه‌های فازی شهودی را اولین‌بار اتاناسسو[16] در سال ۱۹۸۶ ارائه داده است. این مجموعه‌ها با سه تابع که درجهٔ عضویت، درجهٔ عدم‌عضویت و درجهٔ عدم‌قطعیت[17] را نشان می‌دهند، توصیف می‌شوند.

تعریف۱: یک مجموعهٔ فازی شهودی A از مجموعهٔ مرجع X به‌صورت زیر تعریف می‌شود (لیو و وانگ، ۲۰۰۷):

(۱)

$$A = \{(\mathrm{x}, \mu_A(x), \upsilon_A(x)) | \mathrm{x} \in \mathrm{X}\}$$

به‌طوری‌که توابع $\mu_A: X \to [0,1]$ و $\upsilon_A: X \to [0,1]$ به‌ترتیب درجهٔ عضویت و درجهٔ عدم‌عضویت عنصر $\mathrm{x} \in \mathrm{X}$ نامیده می‌شوند و همواره شرایط زیر برقرار است:

(۲)

$$0 \leq \mu_A(x) + \upsilon_A(x) \leq 1$$

برای هر عنصر x ، درجه عدم‌قطعیت یک مجموعه فازی شهودی A به‌صورت زیر تعریف می شود:

(۳)

$$\pi_A = 1 - \mu_A(x) - \upsilon_A(x)$$

اگر مقدار π_A کوچک باشد، دانش راجع‌به متغیر x قطعی‌تر است. اگر π_A بزرگ باشد، دانش دربارهٔ x مبهم‌تر است. بدیهی است برای تمامی عناصر مجموعهٔ مرجع، زمانی که رابطهٔ $\mu_A(x) = 1 - \upsilon_A(x)$ برقرار باشد، همان عدد فازی معمولی حاصل می‌شود (بوران[18] و همکاران، ۲۰۰۹).

تعریف۲: یک عدد فازی شهودی مثلثی[19] (TIFN) مانند $\tilde{a} = \langle(\underline{a}, a, \overline{a}); \omega_{\tilde{a}}, u_{\tilde{a}}\rangle$ بر مجموعهٔ اعداد حقیقی R، دارای تابع عضویت و عدم‌عضویتی به‌صورت زیر است (لی[20]، ۲۰۱۰):

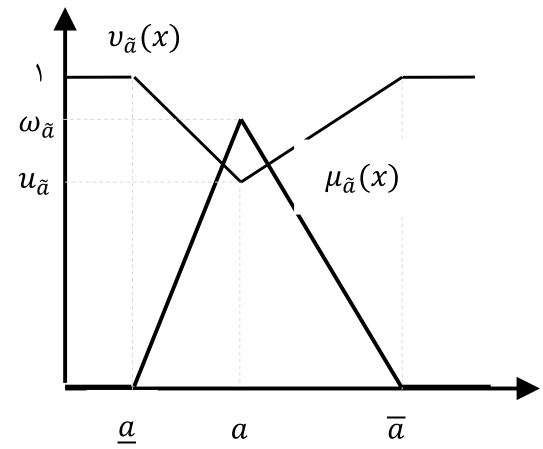
(۴)

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} (x-\underline{a})\omega_{\tilde{a}}/(a-\underline{a}) & \underline{a} \le x < a, \\ \omega_{\tilde{a}} & x = a, \\ (\overline{a}-x)\omega_{\tilde{a}}/(\overline{a}-a) & a < x \le \overline{a}, \\ 0 & x < \underline{a} \text{ یا } x > \overline{a}, \end{cases}$$

(۵)

$$\upsilon_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} [a - x + u_{\tilde{a}}(x-\underline{a})]/(a-\underline{a}) & \underline{a} \le x < a, \\ u_{\tilde{a}} & x = a, \\ [x - a + u_{\tilde{a}}(\overline{a}-x)]/(\overline{a}-a) & a < x \le \overline{a}, \\ 1 & x < \underline{a} \text{ یا } x > \overline{a}, \end{cases}$$

مجموعهٔ فازی شهودی مثلثی $\tilde{a}$ در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱) عدد فازی شهودی مثلثی $\tilde{a} = \langle(\underline{a}, a, \overline{a}); \omega_{\tilde{a}}, u_{\tilde{a}}\rangle$

تعریف۳: اگر $\tilde{a} = \langle(\underline{a}, a, \overline{a}); \omega_{\tilde{a}}, u_{\tilde{a}}\rangle$ و $\tilde{b} = \langle(\underline{b}, b, \overline{b}); \omega_{\tilde{b}}, u_{\tilde{b}}\rangle$ دو عدد فازی شهودی مثلثی باشند و λ نیز یک عدد حقیقی باشد، عملگرهای ریاضی مخصوص آن‌ها به‌صورت زیر است (لی، ۲۰۰۸) :

(۶)

$$\tilde{a} + \tilde{b} = \langle(\underline{a} + \underline{b}, a + b, \overline{a} + \overline{b}); \min\{\omega_{\tilde{a}}, \omega_{\tilde{b}}\}, max\{u_{\tilde{a}}, u_{\tilde{b}}\}\rangle$$

(۷)

$$\tilde{a} - \tilde{b} = \langle(\underline{a} - \overline{b}, a - b, \overline{a} - \underline{b}); \min\{\omega_{\tilde{a}}, \omega_{\tilde{b}}\}, max\{u_{\tilde{a}}, u_{\tilde{b}}\}\rangle,$$

(۸)

$$\tilde{a}\tilde{b}=\begin{cases}\langle(\underline{ab},ab,\overline{ab});min\{\omega_{\tilde{a}},\omega_{\tilde{b}}\},max\{u_{\tilde{a}},u_{\tilde{b}}\}\rangle & \tilde{a}>0 \text{ و } \tilde{b}>0\\ \langle(\underline{a}\overline{b},ab,\overline{a}\underline{b});min\{\omega_{\tilde{a}},\omega_{\tilde{b}}\},max\{u_{\tilde{a}},u_{\tilde{b}}\}\rangle & \tilde{a}<0 \text{ و } \tilde{b}>0\\ \langle(\overline{ab},ab,\underline{ab});min\{\omega_{\tilde{a}},\omega_{\tilde{b}}\},max\{u_{\tilde{a}},u_{\tilde{b}}\}\rangle & \tilde{a}<0 \text{ و } \tilde{b}<0\end{cases}$$

(۹)

$$\tilde{a}/\tilde{b}=\begin{cases}\langle(\underline{a}/\overline{b},a/b,\overline{a}/\underline{b});min\{\omega_{\tilde{a}},\omega_{\tilde{b}}\},max\{u_{\tilde{a}},u_{\tilde{b}}\}\rangle & \tilde{a}>0 \text{ و } \tilde{b}>0\\ \langle(\overline{a}/\overline{b},a/b,\underline{a}/\underline{b});min\{\omega_{\tilde{a}},\omega_{\tilde{b}}\},max\{u_{\tilde{a}},u_{\tilde{b}}\}\rangle & \tilde{a}<0 \text{ و } \tilde{b}>0\\ \langle(\overline{a}/\underline{b},a/b,\underline{a}/\overline{b});min\{\omega_{\tilde{a}},\omega_{\tilde{b}}\},max\{u_{\tilde{a}},u_{\tilde{b}}\}\rangle & \tilde{a}<0 \text{ و } \tilde{b}<0\end{cases}$$

(۱۰)

$$\lambda\tilde{a}=\begin{cases}\langle(\lambda\underline{a},\lambda a,\lambda\overline{a});\omega_{\tilde{a}},u_{\tilde{a}}\rangle & \lambda>0\\ \langle(\lambda\overline{a},\lambda a,\lambda\underline{a});\omega_{\tilde{a}},u_{\tilde{a}}\rangle & \lambda<0\end{cases}$$

(۱۱)

$$\tilde{a}^{-1}=\langle(1/\overline{a},1/a,1/\underline{a});\omega_{\tilde{a}},u_{\tilde{a}}\rangle$$

ارائهٔ مدل AHP با استفاده از داده‌های فازی شهودی

در این بخش با استفاده از مفهوم مسئلهٔ اولویت‌بندی فازی[۲۱]، روشی برای حل مدل AHP با استفاده از داده‌های فازی شهودی مثلثی ارائه می‌شود. در این روش ابتدا بردار اولویت قطعی[۲۲] $w=(w_1,w_2,\dots,w_n)^T$ استخراج می‌شود به‌طوری‌که نسبت اولویت $\frac{w_i}{w_j}$ تقریباً در قضاوت‌های اولیهٔ فازی صدق کند یا به‌عبارت‌دیگر (داگدویرن و همکاران[۲۳]، ۲۰۰۸):

(۱۲)

$$\underline{a}_{ij}\le\frac{w_i}{w_j}\le\overline{a}_{ij}$$

به جای تبدیل عبارت فوق به دو نامعادلهٔ ساده خطی می‌توانیم برای هر قضاوت، تابع عضویت و عدم‌عضویتی تشکیل دهیم که نسبت به $\frac{w_i}{w_j}$ خطی باشند:

(۱۳)

$$\mu_{\tilde{a}}\left(\frac{w_i}{w_j}\right)=\begin{cases}\left(\frac{w_i}{w_j}-\underline{a}\right)\omega_{\tilde{a}}/(a-\underline{a}) & \underline{a}\le\frac{w_i}{w_j}<a,\\ \omega_{\tilde{a}} & \frac{w_i}{w_j}=a,\\ \left(\overline{a}-\frac{w_i}{w_j}\right)\omega_{\tilde{a}}/(\overline{a}-a) & a<\frac{w_i}{w_j}\le\overline{a},\\ 0 & \frac{w_i}{w_j}<\underline{a} \text{ یا } \frac{w_i}{w_j}>\overline{a},\end{cases}$$

و

(۱۴)

$$v_{\tilde{a}}\left(\frac{w_i}{w_j}\right)=\begin{cases}\left[a-\frac{w_i}{w_j}+u_{\tilde{a}}\left(\frac{w_i}{w_j}-\underline{a}\right)\right]/(a-\underline{a}) & \underline{a}\le\frac{w_i}{w_j}<a,\\ u_{\tilde{a}} & \frac{w_i}{w_j}=a,\\ \left[\frac{w_i}{w_j}-a+u_{\tilde{a}}\left(\overline{a}-\frac{w_i}{w_j}\right)\right]/(\overline{a}-a) & a<\frac{w_i}{w_j}\le\overline{a},\\ 1 & \frac{w_i}{w_j}<\underline{a} \text{ یا } \frac{w_i}{w_j}>\overline{a},\end{cases}$$

به‌منظور تعیین مقادیر w_i و w_j می‌توان منطقهٔ موجهی را از فصل مشترک محدودیت‌ها و با استفاده از عملگرهای min یا max تعیین و با استفاده از رویکرد max-min یا min-max جواب مدل را محاسبه کرد. با توجه به فرضیات ارائه‌شده، گام‌های رسیدن به مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

گام ۱ : تعریف بردار اولویتی برای توابع عضویت، به‌طوری‌که درجهٔ کلی عضویت را حداکثر کند.

قانون تصمیم‌گیری حداکثر[۲۴]، برگرفته از تئوری بازی‌ها را برای اولین‌بار بلمن و زاده[۲۵] (۱۹۷۰) برای حل مسائل تصمیم‌گیری در محیط فازی به کار گرفته‌اند. زیمرمن[۲۶] (۱۹۹۰) نیز با به‌کارگیری این ایده برای مسائلی با اهداف و محدودیت‌های فازی خطی، نشان داد که مسئلهٔ خطی فازی با تابع حداکثر، می‌تواند به مسئلهٔ خطی عادی تبدیل شود. از همین رو داگدویرن و همکارانش (۲۰۰۸) از روش اولویت‌بندی فازی به‌منظور حداکثرسازی جواب بهینهٔ برنامه‌ریزی خطی برای به‌دست‌آوردن اوزان شاخص‌ها در روش AHP استفاده کردند. در این مقاله نیز روش عمومی‌یافتن جواب حداکثر برای مسائل تصمیم‌گیری با اهداف و محدودیت‌های فازی، با استفاده از عملگر max-min پیشنهاد می‌شود. بنابراین متغیر λ به‌صورت زیر تعریف می شود:

(۱۵)

$$\lambda = min\{\mu_1(R_1w),\mu_2(R_2w),\dots,\mu_m(R_mw)\}$$

که (R_kw)، kامین سطر از مجموعهٔ محدودیت‌های فازی تابع عضویت را نشان می‌دهد. بنابراین تابع هدف برای حداکثر توابع عضویت به‌صورت زیر است:

(۱۶)

$$\begin{aligned}&\max\ \lambda\\&\lambda\le\mu_k(R_kw)\\&k=1,2,\dots,m\end{aligned}$$

گام ۲: تعریف بردار اولویتی برای توابع عدم‌عضویت به‌طوری‌که درجهٔ کلی عدم‌عضویت را حداقل کند.

بدین‌منظور روش عمومی‌یافتن جواب حداقل برای مسائل تصمیم‌گیری با اهداف و محدودیت‌های فازی، با استفاده از عملگر min-max پیشنهاد می‌شود و این بار متغیر β به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

(۱۷)

$$\beta = min\{v_1(R_1w),v_2(R_2w),\dots,v_m(R_mw)\}$$

بنابراین تابع هدف برای حداقل‌کردن توابع عدم‌عضویت به‌صورت زیر است:

(۱۸)

$$\begin{aligned}&\min\ \beta\\&\beta \geq \upsilon_k(R_k w)\\&k=1,2,\dots,m\end{aligned}$$

گام ۳ : حل مدل نهایی چندهدفه با توجه به دو مدل حاصل‌شده در گام‌های قبل:

(۱۹)

$$\begin{aligned}&\max\ \lambda\\&\min\ \beta\\&\beta \geq \upsilon_k(R_k w)\\&\lambda \leq \mu_k(R_k w)\\&w_1+w_2+\dots+w_n=1\\&k=1,2,\dots,m\end{aligned}$$

برای حل این مدل ابتدا برای هر λ یک بار مدل مینیمم ($f_0\!:\min \lambda$) و یک بار مدل ماکزیمم ($f_1\!:\max \lambda$) محاسبه می‌شوند تا حداکثر و حداقل جواب قابلِ‌قبول برای λ حاصل شود. سپس برای β نیز مدل مینیمم ($g_0\!:\min \beta$) و ماکزیمم ($g_1\!:\min \beta$) جداگانه حل می‌شوند تا حداقل و حداکثر جواب قابل قبول برای β نیز به دست آید. در ادامه با توجه به جواب‌های به‌دست‌آمده برای مدل‌های ذکرشده، توابع عضویت دو متغیر λ و β به‌صورت زیر حاصل می‌شوند.

(۲۰)

$$\mu_\lambda=\begin{cases}0 & \lambda\leq f_0\\ \dfrac{\lambda-f_0}{f_1-f_0} & f_0\leq\lambda\leq f_1\\ 1 & \lambda\geq f_1\end{cases}$$

و

(۲۱)

$$\mu_\beta=\begin{cases}0 & \beta\leq g_0\\ \dfrac{g_1-\beta}{g_1-g_0} & g_0\leq\beta\leq g_1\\ 1 & \beta\geq g_1\end{cases}$$

حال با استفاده از عملگر max-min مدلی برای توابع عضویت فوق تعریف می‌شود که در آن متغیر M به‌صورت زیر مفروض است:

(۲۲)

$$M=min\{\mu_\lambda,\mu_\beta\}$$

بنابراین تابع هدف برای حداکثر توابع عضویت ذکر شده به‌صورت زیر می باشد:

(۲۳)

$$\begin{aligned}&\max\ M\\&M\leq\mu_\lambda\\&M\leq\mu_\beta\\&\lambda \leq \mu_k(R_k w)\\&\beta \geq \upsilon_k(R_k w)\\&w_1+w_2+\dots+w_n=1\\&k=1,2,\dots,m\end{aligned}$$

درنهایت،با توجه به روابط (۱۳)، (۱۴) ،(۲۰) و (۲۱)، مدل نهایی تحقیق به‌صورت زیر خواهد بود :

(۲۴)

$$\begin{aligned}&\max\ M\\&\lambda - M(f_1-f_0)\geq f_0\\&\beta + M(g_1-g_0)\leq g_1\\&\lambda w_j\big(a-\underline{a}\big)-(w_i-\underline{a}w_j)\omega_k\leq 0\\&\lambda w_j(\overline{a}-a)-(\overline{a}w_j-w_i)\omega_k\leq 0\\&aw_j-w_i+\big(w_i-\underline{a}w_j\big)u_k-\beta w_j\big(a-\underline{a}\big)\leq 0\\&w_i-aw_j+\big(\overline{a}w_j-w_i\big)u_k-\beta w_j\big(\overline{a}-a\big)\leq 0\\&w_1+w_2+\dots+w_n=1\\&k=1,2,\dots,m\end{aligned}$$

مثال کاربردی

در این بخش با ارائهٔ مثالی کاربرد مدل پیشنهادی ارائه‌شده نشان داده می شود. این مثال برای اندازه‌گیری سطح رقابت‌پذیری یک سازمان در چهارچوب تحلیل مدل نیروهای پنجگانه رقابتی پورتر با استفاده از رویکرد سلسله‌مراتبی AHP فازی است. در ابتدا با استقرار تیم ارزیابی، معیارها و

زیرمعیارها را شناسایی می‌کند و ساختار مدل تصمیم‌گیری به دست می‌آید. این معیارها و زیر معیارها به شکل زیر هستند:

– رقبای موجود : (C)

– مهارت رقبا (C1)

– درک قدرت رقبا (C2)

– نرخ رشد بازار (C3)

– شرایط افزایش ظرفیت (C4)

– افراد و رقبای بالقوه (PE)

– ویژگی‌های سرمایه‌گذاری‌های ثابت (PE1)

– درجۀ اهمیت از لحاظ مقیاس اقتصادی (PE2)

– وفاداری مشتریان محصولات موجود به مارک خاص تجاری (PE3)

– واکنش رقبای موجود (PE4)

– محصولات جانشین (SP)

– قیمت پرداخت‌شده توسط خریداران برای محصولات جایگزین (SP1)

– قیمت محصولات جایگزین (SP2)

– کیفیت محصولات جایگزین (SP3)

– مکان محصولات عمده و اصلی در منحنی عمر محصول (SP4)

– خریداران (B)

– درجۀ شدت رقابت در بازار محصول (B1)

– شرایط جایگزینی محصولات اصلی و عمده (B2)

– درجۀ وفاداری سازمان به مشتریان خود (B3)

– تعداد مشتریان برای محصولات اصلی و عمده (B4)

– تأمین‌کنندگان (S)

– درجۀ شدت رقابت در بازار عرضه‌کنندگان (S1)

– درجۀ وفاداری به سازمان تأمین‌کنندگان موجود (S2)

– شرایط جایگزینی محصولات عرضه‌شده برای سایر محصولات (S3)

نمودار سلسله‌مراتبی حاصل از مدل پورتر به‌صورت شکل(۲) است.

حال با توجه به نمودار سلسله‌مراتبی فوق و طراحی مقایسات زوجی، وزن هریک از معیارها و زیرمعیارها با استفاده از تکنیک AHP فازی شهودی پیشنهادی، به دست آورده می‌شود. مقایسات زوجی ۵ معیار اصلی پورتر نسبت به هدف در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): ماتریس مقایسات زوجی ابعاد پنج‌گانه مدل پورتر

	C	PE	SP	B	S
C	(۱،۱،۱)	۰/۳، ۰/۶؛ (۲،۱/۲،۳)	۰/۳، ۰/۶؛ (۲،۱/۲،۳)	۰/۲، ۰/۶؛ (۱/۲، ۱، ۳/۲)	۰/۲، ۰/۶؛ (۱/۲، ۱، ۳/۲)
PE	۰/۳، ۰/۶؛ (۱/۲، ۲/۳، ۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	۰/۳، ۰/۶؛ (۱/۲، ۲/۳، ۱)	۰/۲، ۰/۶؛ (۲/۳، ۱، ۲)
SP	۰/۳، ۰/۶؛ (۱/۲، ۲/۳، ۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	۰/۲، ۰/۶؛ (۲/۳، ۱، ۲)	۰/۲، ۰/۶؛ (۲/۳، ۱، ۲)
B	۰/۲، ۰/۶؛ (۲/۳، ۱، ۲)	۰/۳، ۰/۶؛ (۱، ۳/۲، ۲)	۰/۲، ۰/۶؛ (۱/۲، ۱، ۳/۲)	(۱،۱،۱)	۰/۲، ۰/۶؛ (۲/۳، ۱، ۲)
S	۰/۲، ۰/۶؛ (۲/۳، ۱، ۲)	۰/۲، ۰/۶؛ (۱/۲، ۱، ۳/۲)	۰/۲، ۰/۶؛ (۱/۲، ۱، ۳/۲)	۰/۲، ۰/۶؛ (۱/۲، ۱، ۳/۲)	(۱،۱،۱)

امروزه بسیاری از مدل‌های بهینه‌سازی، اعم از خطی و غیرخطی به کمک نرم‌افزارهای کامپیوتری به‌سادگی تجزیه و تحلیل می‌شوند. یکی از این نرم‌افزارها LINGO 8 [۲۷] است. این نرم‌افزار فرایند

ایجاد و حل مسئلهٔ بهینه‌سازی ریاضی را ساده‌تر و مؤثرتر می‌کند (راهنمای کاربران لینگو، ۲۰۰۸). برنامه‌نویسی گام‌به‌گام مدل‌های این تحقیق نیز با استفاده از نرم‌افزار LINGO 8 صورت گرفته است.

وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها با استفاده از مدل AHP فازی شهودی پیشنهادی به‌صورت جدول (۲) تعیین شده است.

جدول(۲) وزن‌های نهایی زیرمعیارهای مدل پورتر با استفاده از مدل پیشنهادی

Factor	Local weight	Sub factors	Local weight	Global weight
C	۰/۲۲۴۰۹۰۲	C۱	۰/۳۹۱۴۵۷۱	۰/۰۸۸
		C۲	۰/۲۲۰۶۴۷۱	۰/۰۴۹
		C۳	۰/۲۶۹۴۲۲۹	۰/۰۶۰
		C۴	۰/۱۱۸۴۷۲۹	۰/۰۲۷
PE	۰/۱۹۲۸۳۸۷	PE۱	۰/۱۲۷۱۸۰۲	۰/۰۲۵
		PE۲	۰/۱۹۹۰۶۴۷	۰/۰۳۸
		PE۳	۰/۲۷۵۶۲۵۷	۰/۰۵۳
		PE۴	۰/۳۹۸۱۲۹۴	۰/۰۷۷
SP	۰/۱۹۲۸۳۸۷	SP۱	۰/۲۲۴۴۶۲۶	۰/۰۴۳
		SP۲	۰/۲۵۶۹۴۵۵	۰/۰۵۰
		SP۳	۰/۲۹۱۲۹۲	۰/۰۵۷
		SP۴	۰/۲۲۴۶۲۶	۰/۰۴۳
B	۰/۲۱۶۱۹۶۶	B۱	۰/۳۴۳۲۹۲۵	۰/۰۷۴
		B۲	۰/۲۴۲۶۱۹۲	۰/۰۵۲
		B۳	۰/۲۴۲۶۱۹۲	۰/۰۵۲
		B۴	۰/۱۷۱۴۶۹۱	۰/۰۳۷
S	۰/۱۷۴۰۳۵۸	S۱	۰/۴۶۱۵۳۸۵۰	۰/۰۸۰
		S۲	۰/۳۰۷۶۹۲۳	۰/۰۵۴
		S۳	۰/۲۳۰۷۶۹۲	۰/۰۴۰

نتیجه‌گیری

تاکنون در روش‌های AHP فازی موجود، اوزان شاخص‌ها بدون درنظرگرفتن درجهٔ عدم‌عضویت اعداد فازی تعیین می‌شد و درجهٔ اطمینان تصمیم‌گیرندگان از نظرهایی که ارائه می‌دادند را تنها با یک درجهٔ عضویت بیان می‌کردند. ازاین‌رو هدف مقالهٔ حاضر ارائهٔ روشی برای حل مدل AHP با استفاده از داده‌های فازی شهودی بوده که علاوه‌بر تابع عضویت، تابع عدم‌عضویت را در انجام مقایسات زوجی استفاده شود، تا با استفاده از اعداد

فازی شهودی درجهٔ اطمینان تصمیم گیرندگان را با درجهٔ عضویت و عدم‌عضویت به‌صورت دقیق‌تری فرموله کند.

در همین راستا ابتدا با ارائه تعاریفی از مجموعه های فازی شهودی و عملگرهای ریاضی آنها، گام های رسیدن به مدل پیشنهادی بیان گردیده و سپس با ارائه یک مثال کاربردی نحوه بکارگیری مدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار LINGO 8 تشریح گردیده است. نتایج حاکی از آن است که مدل پیشنهادی مقاله که هر دو تابع عضویت و عدم عضویت را در انجام مقایسات زوجی مبنای محاسبات قرار داده است، با محاسبه دقیق تر درجه اطمینان تصمیم گیرندگان نسبت به مدل های پیشین از نتایج دقیق تری برخوردار می باشد.

به منظور بهبود کیفیت تحقیقات آتی در زمینه تصمیم گیری در محیط فازی شهودی پیشنهاد می گردد از اعداد فازی شهودی ارزش فاصله ای۲۸ (IVIFNs) در این نوع تصمیم گیری ها استفاده شود و نتایج با تحقیقات حاضر مقایسه گردد.

منابع

زنجیرچی، سید محمود (۱۳۹۰). فرایند تحلیل سلسه مراتبی فازی، انتشارات صانعی شهمیرزادی.

مؤمنی، منصور (۱۳۸۷). مباحث نوین تحقیق در عملیات، انتشارات دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران، چاپ دوم.

Atanassov, K,. (1986) "Intuitionistic fuzzy sets". *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87–96.

Bellman, R., & Zadeh, L. A. (1970), "Decision-making in a fuzzy environment". *Management Science*, 17, 141–164.

Boran, F.E, Genç, S, Kurt, M., & Akay, D, (2009) "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method". *Expert Systems with Applications*. 36, 11363-11368.

Dağdeviren, M., Yüksel, _I., & Kurt, M. (2008). "A fuzzy analytic network process (ANP) model to identify faulty behaviors risk (FBR) in work Systems. Safety Sciences, 34, 96–107.

Huang, Ch. Ch., Chu, P.Y., & Chiang, Y.H. (2006). "A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection". *The International Journal of Management Science*, 15.

Li, D.F. (2008) "A note on using intuitionistic fuzzy sets for fault-tree analysis on printed circuit board assembly". *Microelectronics Reliability*, 48, 1741.

Li, D.F. (2010) " A ratio ranking method of triangular intuitionistic fuzzy numbers and its application to MADM problems". *Computers and Mathematics with Applications*, 60, 1557-1570.

Lingo User's Guide. 2008. Lindo System Inc.

Liu, H.W., & Wang, G.J. (2007) "Multi-criteria decision-making methods based on intuitionistic fuzzy sets". *European Journal of Operational Research*, 179, 220–233.

Wang, H., Qian, G,. & Feng, X. (2011) "An intuitionistic fuzzy AHP based on synthesis of eigenvectors and its application". *Information technology journal*, 10, 1850-1866.

Wu, J.Z., & Zhang, Q. (2010) "Multicriteria decision making method based on intuitionistic fuzzy weighted entropy". *Expert Systems with Applications*,

Zadeh, L.A., (1965) "Fuzzy sets". *Information and Control*, 8, 338–356.

Zimmermann, H.-J. (1990). Fuzzy set theory and its applications. New York: Kluwer Publication.

Zhang, S., & Liu, S, (2011). 'A GRA-based intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method for personnel selection". *Expert Systems with Applications*, 38, 11401–1140

پی‌نوشت

1 Analytic Hierarchy Process
2 Huang .
3 Zadeh
4 Hesitation degree
5 Intuitionistic Fuzzy Sets
6 Degree of membership
7 Degree of non-membership
8 Wu and Zhang
9 Liu and Wang
10 Intuitionistic fuzzy point operators
11 Zhang and Liu
12 Grey Relational Analysis
13 Intuitionistic fuzzy weighted averaging
14 Wang.
15 Intuitionistic Fuzzy Comparison Matrix
16 Atanassov
17 Degree of uncertainty
18 Boran
19 Triangular Intuitionistic Fuzzy Number
20 Li
21 Fuzzy prioritisation problem
22 Crisp priority vector
23 Dağdeviren
24 Maximum decision rule
25 Bellman and Zadeh
26 Zimmermann
27 Language For INteractive General Optimization
28 Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Numbers