

ادغام دو روش نگاشت شناختی فازی و فرایند ارزشیابی سلسله‌مراتبی برای ارتقای سیستم‌های تصمیم‌گیری هوشمند

مریم مهرپور^{۱*}

۱- گروه ریاضی- دانشکده علوم مهندسی - دانشگاه بزرگمهر قائنات- قائن- ایران.

چکیده

در چشم‌انداز تکنولوژیکی که به سرعت در حال تکامل است، سیستم‌های تصمیم‌گیری، عملکرد حیاتی را در بخش‌های مختلف، شامل کسب و کار، مراقبت‌های بهداشتی و مدیریت زیست‌محیطی به عهده می‌گیرند. ادغام سیستم‌های تصمیم‌گیری هوشمند، اهمیت بالایی پیدا کرده است؛ زیرا سازمان‌ها تلاش می‌کنند تا بهره‌وری و اثربخشی عملیاتی خود را افزایش دهند. بسیاری از چالش‌های پیچیده و چندوجهی که تصمیم‌گیرندگان در حوزه‌های شخصی و اجتماعی با آن مواجه هستند، به‌ویژه معضلات مرتبط با ارزشیابی چندمعیاره، اغلب نیازمند اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف بر اساس مجموعه‌ای از معیارها هستند. این معیارها به‌طور قابل توجهی به دستیابی به اهداف خاص کمک می‌کنند. یکی از مؤثرترین روش‌های موجود برای مقابله با چنین چالش‌هایی، ارزشیابی است که نه تنها رتبه‌بندی گزینه‌ها را تسهیل می‌کند، بلکه انتخاب گزینه‌هایی که کیفیت مطلوب را مطابق با معیارهای کمی و کیفی نشان می‌دهند، امکان‌پذیر می‌سازد. در این مقاله علمی با هدف پرداختن جامع به این موضوع، ابتدا رویکردی نوین به ارزشیابی سلسله‌مراتبی فازی

معرفی می‌کنیم که از طریق آن ماتریس مقایسه قطعی زوجی را به صورت سیستماتیک استخراج می‌کنیم و متعاقباً با استفاده از تکنیک نگاشت شناختی فازی، وزن‌های تعیین شده توسط کارشناسان و وابستگی متقابل و تأثیرات عوامل مختلف بر یکدیگر را با دقت تحلیل می‌کنیم.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸

واژه‌های کلیدی: اعداد فازی، فرایند ارزشیابی سلسله‌مراتبی فازی، نگاشت شناختی فازی، سیستم‌های هوشمند.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: mmehrparvar@buqaen.ac.ir

۱. مقدمه

نظریه مجموعه فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفی علی عسکرزاده؛ دانشمند ایرانی تبار و استاد دانشگاه برکلی آمریکا عرضه شد. در واقع این نظریه، روشی برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است و قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند، به صورت ریاضی بیان کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. امروزه، زندگی فردی و اجتماعی انسان‌ها بسیار وابسته به نحوه تصمیم‌گیری آن‌ها و اتخاذ تصمیم مناسب می‌باشد [۱]. بسیاری از مسائلی که تصمیم‌گیرندگان با آن مواجه هستند، مسائل ارزشیابی چند معیاره، خصوصاً با معیارهای کیفی می‌باشد؛ یعنی مسائلی که باید از میان چند گزینه یا انتخاب با توجه به معیارهای مؤثر در دستیابی به هدف، ترتیب اولویت آن‌ها را مشخص کنند. اساس ارزشیابی سلسله‌مراتبی بر مبنای مقایسه زوج به زوج عناصر، بنا نهاده شده است که امکان تلفیق معیارهای کمی و کیفی را برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌کند. در شیوه ارزشیابی که آقای ساعتی در سال ۱۹۸۰ ارائه داد [۲]، برای تعیین میزان ارجحیت عناصر بر یکدیگر و مقایسه زوجی آن‌ها از اعداد دقیق ۱ تا ۹ استفاده می‌شود. در اغلب موارد، استفاده از این اعداد دقیق، کاری دشوار و همراه با خطا خواهد بود و بایستی ابزاری برای نمایش دقیق مفاهیم دارای عدم قطعیت موجود باشد تا بتوان با آن‌ها کار کرد و پاسخگوی مسائلی که با داده‌های غیردقیق و غیر قطعی سر و کار دارد باشد. اما در بسیاری از مسائل، تعیین عدد دقیق ارجحیت، کاری مشکل و همراه با خطا و فاقد دقت مناسب می‌باشد. در مسائلی که وزن‌های نهایی گزینه‌های مسأله بسیار نزدیک به یکدیگر هستند، این سؤال پیش خواهد آمد که عددهای تعیین شده به عنوان میزان ارجحیت‌ها تا چه حد به آنچه در ذهن کارشناسان می‌گذرد، نزدیک است؟ مفهوم عدم قطعیت در میزان ارجحیت‌ها را می‌توان با به‌کارگیری نظریه مجموعه‌های فازی مدل کرد.

مفهوم نگاشت شناختی، برای اولین بار توسط آکسلرود؛ دانشمند علوم سیاسی، در سال ۱۹۷۶ میلادی معرفی و به‌کار گرفته شد [۳]. این روش به عنوان ابزاری قدرتمند در حوزه‌های تحقیقاتی متنوعی، از جمله پزشکی، محیط زیست، علوم مهندسی، اقتصاد و مدیریت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش که در دسته روش‌های نرم تحقیق در عملیات قرار می‌گیرد، ابزاری قوی در شبیه‌سازی‌های سیستمی می‌باشد. نگاشت شناختی، علاوه بر اینکه روش مفیدی برای حل مسأله است، به تصمیم‌گیرندگان در تحلیل روابط علی

پنهان کمک کرده و دستیابی به جواب مطلوب را تسهیل می‌کند. نقشه شناخت، ترکیبی از گره‌هایی است که مهم‌ترین عوامل محیط تصمیم‌گیری هستند. علاوه بر این، نگاشت شناختی، امکان شناسایی روابط علی مختلف بین گره‌ها را فراهم می‌کند. از این رو می‌توان نقشه‌های شناخت را نوعی مدل قلمداد کرد که قوانین خاصی برای گسترش خود دارند و ویژگی عمده آن‌ها، تعریف ساختار سلسله-مراتبی برای مسائل تصمیم‌گیری است.

نگاشت شناختی فازی (FCM)^۱، روشی برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده با بهره‌گیری از دانش موجود و تجربه خبرگان است. نگاشت شناختی فازی، یک گراف جهت‌دار و موزون است که نشان‌دهنده ارتباط بین گره‌ها است. گره‌ها بیان‌گر مفاهیم یا متغیرهای توصیف‌کننده رفتار سیستم، و یال‌های موزون جهت‌دار نیز نشان-دهنده رابطه علی بین گره‌ها است.

سیستم‌های هوشمند، نقش مهمی در بهینه‌سازی تصمیم‌گیری ایفا می‌کنند و با ارائه روش‌های ساختاریافته، می‌توانند عدم اطمینان و پیچیدگی را مدیریت کنند. استفاده از نقشه‌برداری شناختی فازی، امکان نمایش بصری روابط بین عوامل مختلف را فراهم می‌کند و درک عمیق‌تری از چشم‌انداز تصمیم‌گیری را تسهیل می‌کند.

هدف اصلی این پژوهش، شناسایی عوامل مؤثر بر تعیین سیستم‌های تصمیم‌گیری هوشمند می‌باشد. این مطالعه، با استفاده از رویکرد ترکیبی از نگاشت شناختی فازی و ارزشیابی سلسله‌مراتبی، به دنبال ارائه چارچوبی است که بتواند در زمینه‌های مختلف، مورد استفاده قرار گیرد. این مقاله، زمینه را برای اکتشاف عمیق‌تر از چگونگی استفاده از این روش‌ها برای بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری در زمینه توسعه پایدار ساختمان فراهم می‌کند و در نهایت منجر به نتایج کارآمدتر و مؤثرتر در صنعت می‌شود.

ما در این مقاله، ابتدا روشی جدید برای فرایند ارزشیابی سلسله-مراتبی فازی ارائه می‌کنیم و ماتریس مقایسه زوجی نهایی را به‌دست می‌آوریم و سپس با استفاده از روش نگاشت شناختی فازی به بررسی وزن‌های خبرگان و تأثیر عوامل مؤثر بر تعیین سیستم‌های تصمیم-گیری هوشمند بر همدیگر پرداخته‌ایم و نهایتاً با یک مثال به بررسی آن پرداخته‌ایم.

۲. تعیین تأثیر عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری بر همدیگر

۱. Fuzzy Cognitive Map.

$\tilde{X}$	A_1	...	A_i	...	A_n
A_1	$\dot{a}_{11}$	...	$\dot{a}_{1i}$	...	$\dot{a}_{1n}$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
A_i	$\dot{a}_{i1}$	...	$\dot{a}_{ii}$	...	$\dot{a}_{in}$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
A_n	$\dot{a}_{n1}$	...	$\dot{a}_{ni}$	...	$\dot{a}_{nn}$

که در آن $\forall i, j = 1, \dots, n$ و $a_{ij} = \frac{a_{ij}}{a}$ و $0 \leq a_{ij} \leq 1$ فرض کنید $x_1, x_2, \dots, x_m$ معیار متفاوت باشد، در این صورت $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m$ ماتریس‌های مقایسه زوجی نظیر آن‌ها خواهد بود و اگر از t-نرم min استفاده کنیم، داریم:

$$\mu_{\tilde{x}_1 \cap \tilde{x}_2 \cap \dots \cap \tilde{x}_m}(x, y) = \min\{\mu_{\tilde{x}_1}(x, y), \mu_{\tilde{x}_2}(x, y), \dots, \mu_{\tilde{x}_m}(x, y)\}$$

و اگر از t-نرم Algebraic product استفاده کنیم، خواهیم داشت:

$$\mu_{\tilde{x}_1 \cap \tilde{x}_2 \cap \dots \cap \tilde{x}_m}(x, y) = \mu_{\tilde{x}_1}(x, y) \cdot \mu_{\tilde{x}_2}(x, y) \cdot \dots \cdot \mu_{\tilde{x}_m}(x, y)$$

[۷، ۶، ۵]

نگاشت شناختی فازی:

حال با استفاده از روش نگاشت شناختی فازی و الگوریتم زیر به بررسی وزن‌های خبرگان و تأثیر عوامل بر همدیگر می‌پردازیم:

$$w = f\left(\sum_{k=1}^N b_k w_k\right)$$

که در آن w_k ماتریس وزنی و f تابع آستانه‌ای است که تعاریف مختلف دارد و رایج‌ترین آن به صورت

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}, \quad \lambda > 0$$

تحت عنوان تابع لجستیک است و b_k وزنی است که به هر کارشناس داده می‌شود.

۱-۲- روشی جدید برای فرایند ارزشیابی سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) در AHP^۱ استفاده از اعداد ۱ تا ۹ برای تعیین اولویت^۲ عناصر پیشنهاد شده است [۴]. اما در بسیاری از مسائل، تعیین مقدار دقیق برای اولویت‌ها، مشکل است. در مسائلی که وزن نهایی گزینه‌ها نزدیک است، این سؤال مطرح می‌شود که اعداد تعیین شده برای اولویت‌ها چقدر به آنچه کارشناسان فکر می‌کنند نزدیک است؟ روش پیشنهادی در اینجا اولویت عناصر را تعیین می‌کند، به‌طوری که از متخصصان خواسته می‌شود تا ماتریس‌های مقایسه زوجی بسازند و اولویت‌های مربوط به معیار، اثربخشی، مقبولیت یا اهمیت عناصر را در مقایسه با معیار داده شده تعیین کنند. سپس این اعداد به اعداد فازی تبدیل می‌شوند و این مشکل حل می‌شود. فرض کنید که ماتریس مقایسه یک ماتریس مربع است و ترتیب آن به تعداد اشیاء مقایسه شده بستگی دارد. به عنوان مثال، اگر در یک سطح، n عامل $A_1, A_2, \dots, A_n$ با هم از نظر معیار X مقایسه شوند، ماتریس مقایسه به صورت زیر خواهد بود (جدول ۱):

جدول ۱

X	A_1	...	A_i	...	A_n
A_1	۱	...	a_{1i}	...	a_{1n}
$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
A_i	a_{i1}	...	۱	...	a_{in}
$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
A_n	a_{n1}	...	a_{ni}	...	۱

$$a_{ij} > 0, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (۱)$$

که $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ که برتری A_i نسبت به A_j را نشان می‌دهد، حال اگر در نظر بگیریم:

$$a = \max_{i,j}\{a_{ij}\}$$

ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر تبدیل خواهد شد:

جدول ۲

۳. analytical hierarchy process.

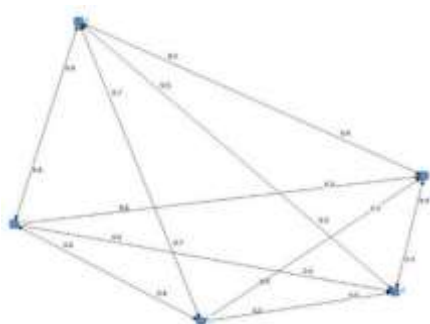
۱. Fuzzy Cognitive Map.

۲. fuzzy analytical hierarchy process.

$$Wave = W$$

$$= \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$$

با استفاده از نرم افزار ucinet به صورت زیر درمی آید:



شکل ۱

[۸, ۹, ۱۰, ۱۱]

نتایج

زندگی فردی و اجتماعی انسان‌ها امروزه به شدت وابسته به نحوه تصمیم‌گیری و اتخاذ تصمیمات مناسب است. بسیاری از این تصمیمات، مبتنی بر عوامل کیفی هستند. به همین دلیل، ما ابتدا روشی جدید برای فرایند ارزشیابی سلسله‌مراتبی فازی ارائه داده‌ایم و از آن روش برای مشخص کردن اولویت عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری استفاده کرده‌ایم. سپس با بهره‌گیری از نگاشت شناختی فازی، که نقشه‌ای از گره‌هایی است که بیانگر مهم‌ترین عوامل محیط تصمیم‌گیری هستند، به بررسی روابط بین عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری پرداخته و گراف موزون جهت‌دار روابط و وزن‌های نهایی را تعیین کرده‌ایم. بینش‌های حاصل از این تحقیق برای زمینه‌های مختلف بسیار ارزشمند است، مانند مراقبت‌های بهداشتی، امور مالی و مدیریت زیست‌محیطی که بسیار مهم است. در حالی که این مطالعه درک اساسی از عوامل مؤثر بر سیستم‌های تصمیم‌گیری هوشمند را فراهم می‌کند، نیز راه‌هایی را برای تحقیقات آینده باز می‌کند. اکتشاف بیشتر تعامل‌های پویا بین عوامل و همچنین کاربرد چارچوب پیشنهادی در سناریوهای دنیای واقعی، می‌تواند بینش عمیق‌تری را به ارمغان بیاورد. علاوه بر این، بررسی تأثیر فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین بر فرایندهای تصمیم‌گیری می‌تواند ارتباط این تحقیق را افزایش دهد.

اگر تعداد وزن‌ها با علامت یکسان کمتر از $\pi * N$ باشد، یعنی وزن‌ها باید تغییر داده شوند و در غیر این صورت الگوریتم ادامه داده می‌شود و وزن پیشنهادی استفاده می‌شود [۸, ۵].

مراحل الگوریتم به صورت زیر است:

- ۱- ابتدا برای همه کارشناسان $b_k = 1$
 - ۲- برای $i, j = 1$ تا N مراحل زیر را پیش می‌رویم:
 - ۳- برای هر اتصال $N, (c_i \rightarrow c_j)$ وزن، w_{ij}^k که توسط k امین خبره بررسی شده را بررسی کنیم.
 - ۴- اگر برای وزن‌های w_{ij}^k با علامت‌های مختلف وجود دارد و تعداد وزن‌ها با آن علامت کمتر از $\pi * N$ باشد از خبره‌ها درخواست می‌کنیم که وزن‌ها را تغییر بدهند و به مرحله ۳ برمی‌گردیم.
 - ۵- برای وزن‌ها با علامت یکسان $w_{ij}^{ave} = \frac{\sum_{k=1}^N b_k w_{ij}^k}{N}$
 - ۶- اگر $|w_{ij}^k - w_{ij}^{ave}| \geq w_1$ آنگاه وزن w_{ij}^k را حذف می‌کنیم و k امین خبره را جریمه می‌کنیم $(b_k = \mu_1 b_k)$ و به مرحله ۵ برمی‌گردیم.
 - ۷- اگر همه $n * n$ گره بررسی نشده‌اند به مرحله ۲ برو، در غیر این صورت ماتریس وزن جدید w_{ij}^{ave} را در نظر می‌گیریم و پایان.
- مثال: نظرات ۶ خبره در مورد تأثیر ۵ عامل مؤثر در سیستم‌های هوشمند برهمدیگر به صورت زیر آمده است (وزن‌های پیشنهادی خبره‌ها) برای

$$c_i \rightarrow c_j$$

$$\begin{aligned} w_{12} &= [-0.5, 0.6, 0.66, 0.7, 0.65, 0.25] \\ \pi &= \frac{5}{6} = 0.8, w_1 = 0.2, \mu_1 = \mu_2 = 0.9 \\ b_1 &= 0.9b_1, w_{ij}^{ave} = 0.572 \\ |0.6 - 0.572| &= 0.028 < 0.2 \\ |0.66 - 0.572| &= 0.088 < 0.2 \\ |0.7 - 0.572| &= 0.122 < 0.2 \\ |0.65 - 0.572| &= 0.078 < 0.2 \\ |0.25 - 0.572| &= 0.322 > 0.2 \end{aligned}$$

از محاسبه خارج و کارشناس جریمه می‌شود

$$b_6 = 0.9b_6$$

$$w_{12} = [-, 0.6, 0.66, 0.7, 0.65, -]$$

$$w_{12}^{ave} = 0.652$$

برای بقیه گره‌ها هم به همین صورت عمل می‌کنیم و نهایتاً داریم:

به طور خلاصه، تحقیق ارائه شده در این مقاله بر نقش حیاتی درک عوامل مؤثر بر سیستم‌های تصمیم‌گیری هوشمند تأکید دارد. با استفاده از نقاط قوت FCM و AHP، سازمان‌ها می‌توانند توانایی‌های تصمیم‌گیری خود را افزایش دهند و در نهایت منجر به بهبود نتایج در دنیای پیچیده و داده محور می‌شود. یافته‌ها نه تنها گفتمان دانشگاهی را به پیش می‌برد بلکه راهنمایی عملی برای اجرای چارچوب‌های تصمیم‌گیری مؤثر در بخش‌های مختلف ارائه می‌دهند.

مراجع

- [۱] L.A. Zadeh, "Fuzzy sets, Information and Control," Vol. ۸, Issue. ۳, PP. ۳۳۸-۳۵۳, ۱۹۶۵.
- [۲] T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process," McGraw-Hill, New York, ۱۹۸۰.
- [۳] R. Axelrod, "Structure of decision: the cognitive map of political elites, Princeton university press," ۱۹۷۶.
- [۴] Zimmermann, (۱۹۹۲), "Fuzzy Set Theory," ۱۹۹۲.
- [۵] T. C. Chang & S. H. Chuang, "Performance implications of knowledge management processes: Examining the roles of infrastructure capability and business strategy. Expert Systems with Applications," vol. ۳۶, pp. ۴۰۸۷-۴۱۰۰, ۲۰۱۱.
- [۶] J. E. MARTÍNEZ & R. SILVA, "discusses the applications of fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process)," Revista de Investigación en Ingeniería, vol. ۱۲, pp. ۴۵-۶۰, ۲۰۲۰.
- [۷] فازی AHP م. خان و س. الشهرانی، (۲۰۲۱). "مروری جامع بر کاربردهای AHP صص ۱-۱۵، در تصمیم‌گیری،" مجله سیستم‌های هوشمند و فازی، دوره ۴۰
- [۸] L. Salmerón & F. Amadieu, "Concept Maps for Comprehension and Navigation of Hypertexts," pp. ۴۱-۵۹, ۲۰۱۳.
- [۹] G. Felix, G. Nápoles, G. R. Falcon., W. Froelich., K. Vanhoof & R. Bello, "A review on methods and software for fuzzy cognitive maps. Artificial Intelligence Review," vol. ۵۲, pp. ۱۷۰۷-۱۷۳۷, ۲۰۱۹.
- [۱۰] M. N. Huda, "Analysis the Critical Factors of Mgovernment Service Acceptance: An Integrating Theoretical Model between TAM and ECM. Policy & Governance Review," vol. ۷, pp. ۱۰۹-۱۲۴, ۲۰۲۳.
- [۱۱] D. I. Inan., A. N. Hidayanto., R. Juita., A. Firman., A. Muktiyanto., H. W. Arifin., M. R. Darmawan., N. Y. Shafira & C. Michelle, "MGovernment Adoption in Indonesia: SelfDetermination Theory," Seventh International Conference on Informatics and Computing (ICIC), PP. ۱-۶, ۲۰۲۲.

Integration of two methods: fuzzy cognitive mapping and the analytic hierarchy process for enhancing intelligent decision-making systems

Maryam mehrparvar^{۱*}

۱- Department of Mathematics - Faculty of Engineering Sciences - Bozormehr Qaenat University - Qaen – Iran.

Abstract

In a rapidly evolving technological landscape, decision-making systems play a vital role across various sectors, including business, healthcare, and environmental management. The integration of intelligent decision-making systems has gained significant importance as organizations strive to enhance their operational efficiency and effectiveness. Many complex and multifaceted challenges that decision-makers face in both personal and societal realms, particularly dilemmas related to multi-criteria evaluation, often require the prioritization of different options based on a set of criteria. These criteria substantially contribute to achieving specific goals. One of the most effective methods available for addressing such challenges is evaluation, which not only facilitates the ranking of options but also enables the selection of alternatives that demonstrate optimal quality according to both quantitative and qualitative criteria. In this academic article, with the aim of comprehensively addressing this topic, we first introduce a novel approach to fuzzy hierarchical evaluation, through which we systematically extract the pairwise comparison matrix. Subsequently, using fuzzy cognitive mapping techniques, we accurately analyze the weights determined by experts as well as the interdependencies and influences of various factors on each other.

Key words: Fuzzy numbers; fuzzy analytic hierarchy process; fuzzy cognitive mapping; intelligent systems.