پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶

توسعه روش تصمیم‌گیری DANP بر اساس مجموعه‌های فازی تردیدی بازه مقدار

مهدی دیوسالار[۱]، عبدالحمید صفایی قادیکلایی[۲*]، مهرداد مدهوشی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۲- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۳- استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

دریافت: ۱۳۹۵/۶/۲۱ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۸

چکیده

روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، نقش مهمی در حل مسائل دنیای واقعی دارند. پیچیدگی مسائل، عدم اطمینان و ابهام در اطلاعات سبب می‌شود که تصمیم‌گیری برای مدیران سخت و دشوار شود. مجموعه‌های فازی ابزاری مناسب جهت رفع ابهام و مقابله با عدم قطعیت است. مجموعه‌های فازی تردیدی و مجموعه‌های فازی تردیدی بازه‌مقدار، شکل‌های توسعه‌یافته مجموعه‌های فازی هستند. در این تحقیق، روش تصمیم‌گیری DANP در فضای فازی تریدی بازه‌مقدار معرفی شده است. ابتدا رابطه ریاضی درجه انحراف IVHFE ها بیان شده و عملگر تفریق و تقسیم IVHFE ها ارائه شده است. سپس عملگر جدیدی جهت تشخیص بهتر HFE ها یا IVHFE ها معرفی شده که به‌طور همزمان مقدار تابع امتیاز و درجه انحراف را شامل می‌شود. در ادامه اصول و مبانی روش IVHF-DANP توضیح داده شده است. درنهایت، برون‌سپاری فعالیت‌های یک شرکت هواپیمایی با استفاده از روش پیشنهادی موردبررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج تحقیق، به ترتیب اهمیت، ابعاد ریسک، سازگاری، کیفیت و هزینه قرار می‌گیرند. همچنین معیار انعطاف‌پذیری در صورت‌حساب‌ها اهمیت بیشتری نسبت به سایر معیارها دارد.

---

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: ab.safaei@umz.ac.ir

واژگان کلیدی: فازی تردیدی بازه‌مقدار، تصمیم‌گیری چندشاخصه، DANP، IVHF-DANP.

۱- مقدمه

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نقش مهمی در حل مسائل دنیای واقعی دارند [۱]. با توجه به ابهام ذاتی قضاوت‌های انسانی و همچنین عدم اطمینان موجود در بسیاری از مسائل واقعی، مجموعه‌های فازی می‌توانند به‌عنوان ابزاری مناسب جهت حل مسائل تصمیم‌گیری مورداستفاده قرار گیرند [۲]. مجموعه‌های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده معرفی شده است [۳]. در سال‌های اخیر، شکل‌های مختلف مجموعه‌های فازی ازجمله مجموعه‌های فازی بازه‌مقدار[۱] [۴]، مجموعه‌های فازی شهودی[۲] [۵]، مجموعه‌های فازی نوع دو[۳] [۶] و مجموعه‌های فازی زبانی[۴] [۷] معرفی‌شده‌اند. تورا و ناروکاوا (۲۰۰۹) شکل دیگری از مجموعه‌های فازی را تحت عنوان مجموعه‌های فازی تردیدی[۵] معرفی کردند [۸]. در این شکل از مجموعه‌های فازی، درجه عضویت می‌تواند مجموعه‌ای از مقادیر ممکن بین ۰ و ۱ را شامل شود. وجود تردید در امر تصمیم‌گیری مسئله‌ای متداول است؛ بنابراین مجموعه‌های فازی تردیدی می‌توانند ابزاری مناسب جهت تشریح اطلاعات نامطمئن در فرآیند تصمیم‌گیری چندشاخصه باشند[۹].

در سال‌های اخیر، مجموعه‌های فازی تردیدی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در مسائل تصمیم‌گیری مورداستفاده قرار گرفته‌اند [۱، ۸، ۱۰].در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری واقعی به علت پیچیدگی مطالعه موردی و ناکافی بودن اطلاعات، تعیین مقداری قطعی به‌عنوان درجه عضویت دشوار است [۱۲،۱۱]. برای مقابله با چنین مشکلاتی، چن و همکاران (۲۰۱۳) مجموعه‌های فازی تردیدی بازه مقدار[۶] را معرفی کردند [۱۳]. IVHFS ها درجه عضویت اعضا را به‌صورت بازه‌های ممکن در فاصله [۰،۱] نمایش می‌دهند. آن‌ها یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره بر اساس روابط ترجیحی تردیدی بازه مقدار توسعه دادند. در سال‌های اخیر، استفاده از IVHFS نیز در حل مسائل تصمیم‌گیری رو به افزایش نهاده است.

یانگ و همکاران (۲۰۰۸) یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه ترکیبی را با در هم آمیختن فنون دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه[۷] معرفی نمودند که می‌تواند در حل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای وابسته و دارای بازخورد مفید واقع شود [۱۴]. روش دیمتل جهت تشخیص روابط پیچیده و ساخت نقشه روابط شبکه تأثیری مورداستفاده

قـرار مــی‌گیــرد و روش ANP بـرای تعیـین وزن تـأثیری بـه کـار مـی‌رود. اخیـراً، روش DANP در تحقیقات زیادی مانند ارزیابی عملکرد هتل‌های چشمه آب گـرم [۱۵]، ارزیابی عملکرد فرآیند توسعه محصـول جدیـد [۱۶]، بهبـود بازاریـابی خـدمات [۱۷]، انتخاب فروشنده مواد بازیافتی [۱۸]، بهبود عملکرد فروشـگاه‌هـای الکترونیکـی [۱۹]، انتخاب ارائه‌دهنده بـرون‌سـپاری در صـنعت هواپیمـایی [۲۰]، بـه‌کـارگیری RFID در صنعت بهداشت و سلامت [۲۱]، مدیریت کـاهش کـربن [۲۲]،ارزیـابی زیسـت‌محیطـی ساختمان‌های سـبز [۲۳] و ارزیـابی عملکـرد تـأمین‌کننـده [۲۴] اسـتفاده شـده اسـت. هیچ‌کدام از مطالعات پیشین بر استفاده از روش DANP در مسائل تصمیم‌گیری تحـت فضـای فازی تردیدی یا فازی تردیدی بازه‌مقدار متمرکز نشده‌اند. این تحقیق به دنبـال توسعه روش DANP جهت حل مسائل تصـمیم‌گیـری چندشاخصـه در فضـای فـازی تردیدی بازه‌مقدار است. مقاله حاضر در سه بخـش بـه معرفـی مجموعـه‌هـای فـازی تردیدی، روش DANP و روش DANP در فضـای فازی تردیدی مـی‌پـردازد. در پایـان یک مثال عددی برای این روش معرفی خواهد شد.

۲- مفاهیم اولیه مجموعه‌های فازی تردیدی

تعاریف و مفاهیم مقدماتی مجموعه‌های فازی تردیدی و مجموعه‌هـای فـازی تردیـدی بازه‌مقدار در این بخش ارائه می‌شود.

۲-۱- مجموعه‌های فازی تردیدی

تعریف ۱: با توجه به مجموعه مرجع X، مجموعه فازی تردیدی A روی X به‌صـورت تابعی است که وقتی روی X اعمـال مـی‌شـود یـک زیرمجموعـه از [۰،۱] را بازگشـت می‌دهد. یک HFS با معادله ریاضی زیر نمایش داده می‌شود [۲۵]:

$$A = \left\{ \langle x , h_A(x) \rangle \middle| x \in X \right\}$$

در اینجا $h_A(x)$ مجموعه‌ای از مقادیر ممکن در بازه بسته صفر و یک اسـت کـه نشان‌دهنده درجه عضویت جزء x به مجموعـه A اسـت. $h = h_A(x)$ یـک جـزء فازی تردیدی[۸] است. برای راحتی، $h = h_A(x)$ را به‌عنـوان جـزء فـازی تردیـدی و H را به‌عنوان مجموعه اجزای فازی تردیدی در نظر می‌گیریم [۲۶، ۲۷].

مثال: اگر $X=\{x_1,x_2,x_3\}$ یک مجموعه مرجع باشد، $h_A(x_1)=\{0/2,0/4,0/5\}$، $h_A(x_2)=\{0/3,0/4\}$ و $h_A(x_3)=\{0/2,0/3,0/5,0/6\}$ به ترتیب، HFE های $x_i(i=1,2,3)$ در مجموعه A باشند. آنگاه A به‌عنوان یک HFS به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$A=\{\prec x_1,\{0/2,0/4,0/5\}\succ,\prec x_2,\{0/3,0/4\}\succ,\prec x_3,\{0/2,0/3,0/5,0/6\}\succ\}$$

تعریف ۲: برای سه HFE داده‌شده $h=\bigcup_{\gamma\in h}\{\gamma\}$، $h_1=\bigcup_{\gamma_1\in h_1}\{\gamma_1\}$ و $h_2=\bigcup_{\gamma_2\in h_2}\{\gamma_2\}$ عملگرهای پایه بدین‌صورت تعریف می‌شود [۲۵]:

$$(1)\, h^{\lambda}=\bigcup_{\gamma\in h}\{\gamma^{\lambda}\}(\lambda\succ 0);$$
$$(2)\, \lambda h=\bigcup_{\gamma\in h}\{1-(1-\gamma)^{\lambda}\}(\lambda\succ 0);$$
$$(3)\, h_1\oplus h_2=\bigcup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\{\gamma_1+\gamma_2-\gamma_1\gamma_2\};$$
$$(4)\, h_1\otimes h_2=\bigcup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\{\gamma_1\gamma_2\};$$

همچنین عملگرهای تفریق و تقسیم به شکل زیر است [۲۵]:

$$(1)\, h_1 \,!\; h_2=\bigcup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\{\bar{\gamma}\}$$

در این حالت

$$\bar{\gamma}=\begin{cases}\dfrac{\gamma_1-\gamma_2}{1-\gamma_2}, & \text{if } \gamma_1\geq\gamma_2 \text{ و } \gamma_2\neq 1\\ 0, & \text{otherwise}\end{cases}$$

$$(2)\, h_1 \% h_2=\bigcup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\{\bar{\gamma}\}$$

در این حالت

$$\bar{\gamma}=\begin{cases}\dfrac{\gamma_1}{\gamma_2}, & \text{if } \gamma_1\leq\gamma_2 \text{ and } \gamma_2\neq 0\\ 1, & \text{otherwise}\end{cases}$$

تعریف ۳: برای مقایسه HFS ها، تابع امتیاز به شکل زیر تعریف می‌شود [۲۵]:

$$S(h)=\frac{1}{l_h}\sum_{\gamma\in h}\gamma$$

در اینجا l_h بیانگر تعداد اجزاء h است.

تابع امتیاز معادل با مقدار میانگین همه اجزای h و بیانگر میانگین عقیده تصمیم‌گیرندگان است؛ بنابراین، مقدار بزرگ‌تر s(h) بیانگر مقدار میانگین بزرگ‌تر و بهتر است [۱]. با توجه به مطالب بیان‌شده، اگر دو HFE داده‌شده دارای مقدار امتیاز برابر باشند، متفاوت از یکدیگر نخواهند بود [۲۲]. برای حل این مشکل، مفهوم درجه تردید در ادامه بیان شده است.

تعریف ۴: برای HFE داده‌شده *h*، مقدار درجه انحراف به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۱۳]:

$$\sigma(h)=\sqrt{\frac{1}{l_h}\sum_{\gamma\in h}(\gamma-s(h))^2}$$

در تعاریف بالا $\sigma(h)$ معادل انحراف استاندارد است.

برای مقایسه دو HFE از روش زیر استفاده می‌شود:

۱- اگر $s(h_1)\succ s(h_2)$ باشد، آنگاه $h_1\succ h_2$؛

۲- اگر $s(h_1)=s(h_2)$ باشد و $\sigma(h_1)\prec\sigma(h_2)$، آنگاه $h_1\succ h_2$؛

۳- اگر $s(h_1)=s(h_2)$ باشد و $\sigma(h_1)\succ\sigma(h_2)$، آنگاه $h_1\prec h_2$.

۲-۲- مجموعه فازی تردیدی بازه‌مقدار

در مجموعه‌های فازی تردیدی، درجات عضویت به‌صورت اعداد قطعی بیان می‌شود. اما در واقعیت، درجه عضویت اعضای یک مجموعه لزوماً عدد قطعی نیست و می‌تواند به‌صورت زیر بازه‌ای متعلق به بازه [۰،۱] باشد. در رویارویی با چنین وضعیتی مفهوم مجموعه‌های فازی تردیدی بازه مقدار مطرح می‌شود.

تعریف ۵: در مجموعه مرجع X، مجموعه فازی تردیدی بازه مقدار $\tilde{A}$ روی X به‌صورت تابعی تعریف می‌شود که وقتی روی X اعمال شود زیر بازه‌ای از بازه [۰،۱] را بازگشت می‌دهد. یک IVHFS به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود [۱۳]:

$$\tilde{A}=\left\{\left\langle x,\tilde{h}_{\tilde{A}}(x)\right\rangle \middle| x\in X\right\}$$

در اینجا $\tilde{h}_{\tilde{A}}(x)$ مجموعه‌ای از زیر بازه‌های متفاوت در $[0, 1]$ است که درجه عضویت ممکن هر جزء $x\in X$ به $\tilde{A}$ را نشان می‌دهد. $\tilde{h}_{\tilde{A}}(x)$ به‌عنوان جزء فازی تردیدی بازه مقدار[۹] در نظر گرفته می‌شود و با رابطه زیر نمایش داده می‌شود:

$$\tilde{h}_{\tilde{A}}(x)=\left\{\tilde{\gamma}\middle|\tilde{\gamma}\in\tilde{h}_{\tilde{A}}(x)\right\}$$

$\tilde{\gamma}=[\tilde{\gamma}^{L},\tilde{\gamma}^{U}]$ یک عدد بازه‌ای است. $\tilde{\gamma}^{L}$ و $\tilde{\gamma}^{U}$ حدود پایین و بالای $\tilde{\gamma}$ هستند.

مثال: اگر $X=\{x_۱,x_۲\}$ یک مجموعه مرجع باشد، $h_{\tilde{A}}(x_۱)=\{[۰/۲,۰/۳],[۰/۴,۰/۶],[۰/۵,۰/۷]\}$ و $h_{\tilde{A}}(x_۲)=\{[۰/۳,۰/۴],[۰/۶,۰/۸]\}$، آنگاه مجموعه فازی تردیدی بازه مقدار $\tilde{A}$ به شکل زیر نمایش داده می‌شود:

$$\tilde{A}=\left\{\left\langle x_۱,\{[۰/۲,۰/۳],[۰/۴,۰/۶],[۰/۵,۰/۷]\}\right\rangle,\left\langle x_۲,\{[۰/۳,۰/۴],[۰/۶,۰/۸]\}\right\rangle\right\}$$

تعریف ۶: برخی عملگرهای پایه برای سه IVHFE داده‌شده $\tilde{h}=\bigcup_{\gamma\in h}\left\{\gamma^{L},\gamma^{R}\right\}$، $\tilde{h}_۱=\bigcup_{\gamma\in h}\left\{\gamma_۱^{L},\gamma_۱^{R}\right\}$ و $\tilde{h}_۲=\bigcup_{\gamma\in h}\left\{\gamma_۲^{L},\gamma_۲^{R}\right\}$ به‌صورت زیر تعریف می‌شوند [۲۸،۱۳]:

$$(۱)\tilde{h}^{\lambda}=\bigcup_{\tilde{\gamma}\in\tilde{h}}\left\{[(\gamma^{L})^{\lambda},(\gamma^{R})^{\lambda}]\right\},\lambda\succ ۰;$$
$$(۲)\lambda\tilde{h}=\bigcup_{\tilde{\gamma}\in\tilde{h}}\left\{[۱-(۱-\gamma^{L})^{\lambda},۱-(۱-\gamma^{R})^{\lambda}]\right\},\lambda\succ ۰;$$
$$(۳)\tilde{h}_۱\oplus\tilde{h}_۲=\bigcup_{\tilde{\gamma}_۱\in\tilde{h}_۱,\tilde{\gamma}_۲\in\tilde{h}_۲}\left\{[\gamma_۱^{L}+\gamma_۲^{L}-\gamma_۱^{L}\gamma_۲^{L},\gamma_۱^{R}+\gamma_۲^{R}-\gamma_۱^{R}\gamma_۲^{R}]\right\};$$
$$(۴)\tilde{h}_۱\otimes\tilde{h}_۲=\bigcup_{\tilde{\gamma}_۱\in\tilde{h}_۱,\tilde{\gamma}_۲\in\tilde{h}_۲}\left\{[\gamma_۱^{L}\gamma_۲^{L},\gamma_۱^{R}\gamma_۲^{R}]\right\};$$

تعریف ۷: تابع امتیاز IVHFE به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S(\tilde{h})=\frac{۱}{l_{\tilde{h}}}\sum_{\tilde{\gamma}\in\tilde{h}}\left(\frac{\tilde{\gamma}^{L}+\tilde{\gamma}^{R}}{۲}\right)$$

در اینجا $l_{\tilde{h}}$ نشان دهنده تعداد بازه‌های موجود در $\tilde{h}$ است.

با توجه به عملگرهای تفریق و تقسیم HFEها، این عملگرها را برای IVHFEها به ترتیب زیر تعریف می‌کنیم:

تعریف ۸: اگر $\tilde{h}_1$ و $\tilde{h}_۲$ دو IVHFE داده شده باشند، آنگاه

$$(۱)\,\tilde{h}_۱ \ominus \tilde{h}_۲ = \bigcup_{\tilde{\gamma}_۱ \in \tilde{h}_۱, \tilde{\gamma}_۲ \in \tilde{h}_۲} \left\{ \bar{\tilde{\gamma}}^L, \bar{\tilde{\gamma}}^R \right\}$$

به‌گونه‌ای که

$$\bar{\tilde{\gamma}}^L = \begin{cases} \dfrac{\tilde{\gamma}_۱^L - \tilde{\gamma}_۲^R}{۱ - \tilde{\gamma}_۲^R}, & \text{if } \tilde{\gamma}_۱^L \geq \tilde{\gamma}_۲^R \text{ and } \tilde{\gamma}_۲^R \neq ۱ \\ ۰, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\bar{\tilde{\gamma}}^R = \begin{cases} \dfrac{\tilde{\gamma}_۱^R - \tilde{\gamma}_۲^L}{۱ - \tilde{\gamma}_۲^L}, & \text{if } \tilde{\gamma}_۱^R \geq \tilde{\gamma}_۲^L \text{ and } \tilde{\gamma}_۲^L \neq ۱ \\ ۰, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$(۲)\,\tilde{h}_۱ \oslash \tilde{h}_۲ = \bigcup_{\tilde{\gamma}_۱ \in \tilde{h}_۱, \tilde{\gamma}_۲ \in \tilde{h}_۲} \left\{ \bar{\tilde{\gamma}}^L, \bar{\tilde{\gamma}}^R \right\}$$

به‌گونه‌ای که

$$\bar{\tilde{\gamma}}^L = \begin{cases} \dfrac{\tilde{\gamma}_۱^L}{\tilde{\gamma}_۲^R}, & \text{if } \tilde{\gamma}_۱^L \leq \tilde{\gamma}_۲^R \text{ and } \tilde{\gamma}_۲^R \neq ۰ \\ ۱, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\bar{\tilde{\gamma}}^R = \begin{cases} \dfrac{\tilde{\gamma}_۱^R}{\tilde{\gamma}_۲^L}, & \text{if } \tilde{\gamma}_۱^R \leq \tilde{\gamma}_۲^L \text{ and } \tilde{\gamma}_۲^L \neq ۰ \\ ۱, & \text{otherwise} \end{cases}$$

در مقایسه IVHFE ها نیز مانند مقایسه HFE ها، مقدار تابع امتیاز بزرگ‌تر بیانگر میانگین بیشتر و IVHFE بهتر است. اما در حالتی که $S(\tilde{h}_۱) = S(\tilde{h}_۲)$ باشد، این روش مقایسه کارایی لازم را جهت تشخیص IVHFE ها ندارد. در این حالت، مفهوم درجه انحراف IVHFE ها مطرح می‌شود.

تعریف ۹: درجه انحراف یک IVHFE به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sigma(\tilde{h}) = \frac{1}{l_{\tilde{h}}} \sum_{\tilde{\gamma}\in\tilde{h}} \left(\tilde{\gamma}^{U} - \tilde{\gamma}^{L}\right) \times \sqrt{\frac{1}{l_{\tilde{h}}} \sum_{\gamma\in h} (\tilde{\gamma} - s(\tilde{h}))^{2}}$$

بنا بر تعاریف ارائه‌شده جهت مقایسه دو IVHFE:

- اگر $s(\tilde{h}_1) \succ s(\tilde{h}_2)$ باشد، آنگاه $\tilde{h}_1 \succ \tilde{h}_2$ است؛
- اگر $s(\tilde{h}_1) = s(\tilde{h}_2)$ باشد، آنگاه $\begin{cases}\sigma(\tilde{h}_1) \prec \sigma(\tilde{h}_2), \tilde{h}_1 \succ \tilde{h}_2 \\ \sigma(\tilde{h}_1) = \sigma(\tilde{h}_2), \tilde{h}_1 = \tilde{h}_2\end{cases}$.

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، تابع امتیاز و درجه انحراف به ترتیب، معدل مقدار میانگین و انحراف معیار در تحلیل‌های آماری هستند. تابع امتیاز بزرگ‌تر بر درجه عضویت بزرگ‌تر و درنتیجه HFE یا IVHFE بهتر دلالت می‌کند. کوچک بودن میزان درجه انحراف بر نزدیک بودن اعداد فازی تردیدی به یکدیگر دلالت می‌کند. این بدین معناست که بین خبرگان توافق بیشتری وجود دارد، درجه تردید و عدم اطمینان پایین است و دقت و سازگاری بالاتر است. بدیهی است که HFE یا IVHFE بهتر، دارای $S(\tilde{h})$ بزرگ‌تر و $\sigma(\tilde{h})$ کوچک‌تر است. با توجه به مطالب بیان‌شده و برای تشخیص بهترHFE ها یاIVHFE ها، عملگر جدیدی در این مطالعه معرفی می‌شود که به‌طور همزمان مقدار تابع امتیاز و درجه انحراف را شامل می‌شود.

تعریف ۱۰: ضریب تغییرات HFE یا IVHFE به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CV = \frac{s}{\sigma + \varepsilon}$$

در اینجا ε یک عدد مثبت بسیار کوچک است.

۱- روش DANP

روشDANP به‌عنوان ترکیبی از فنون دیمتل و ANP در سال ۲۰۰۸ توسط یانگ و همکاران معرفی شده است و روشی مناسب جهت حل مسائل دارای معیارهای وابسته و یا بازخورد است [۱۹]. در این روش، روابط علّی و معلولی و ارتباط متقابل

بین معیارها و ابعاد مسئله توسط روش دیمتل به دست می‌آید و سپس وزن تأثیری معیارها و ابعاد با استفاده از مفهوم ANP محاسبه می‌شود. مراحل انجام روش DANP به شرح زیر است [۱۵، ۲۹]:

۱- در این مرحله ماتریس تأثیر مستقیم مانند روش دیمتل تشکیل می‌شود؛

$$G=\begin{bmatrix} g_c^{11} & \cdots & g_c^{1j} & \cdots & g_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ g_c^{i1} & \cdots & g_c^{ij} & \cdots & g_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ g_c^{n1} & \cdots & g_c^{nj} & \cdots & g_c^{nn} \end{bmatrix}$$

۲- ماتریس تأثیر مستقیم نرمال شده را با استفاده از نرمال‌سازی ماتریس تأثیر اولیه محاسبه می‌کنیم؛

$$s=\max\left(\max_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}a_{ij},\max_{1\le j\le n}\sum_{i=1}^{n}a_{ij}\right)$$

$$D=\frac{G}{s}$$

۳- ماتریس تأثیر کلی را به دست می‌آوریم؛

$$T=D+D^2+D^3+\ldots+D^m=D(I-D)^{-1}$$

۴- با محاسبه جمع سطری و جمع ستونی عناصر ماتریس T روابط بین معیارها را ارزیابی می‌کنیم؛

$$r=\left[\sum_{j=1}^{n}t_{ij}\right]_{n\times 1},\ c=\left[\sum_{j=1}^{n}t_{ij}\right]'_{n\times 1}$$

r_i نشان‌دهنده تأثیر کلی است که معیار i بر سایر معیارها می‌گذارد و c_j نشان‌دهنده تأثیری است که معیار j از دیگر معیارها می‌پذیرد. بنابراین، $(r_i + c_i)$ و $(r_i - c_i)$ به ترتیب نشان‌دهنده درجه اهمیت و درجه علیت معیار i هستند.

۵- در این مرحله با ترکیب روش دیمتل و ANP سوپر ماتریس ناموزون را به دست می‌آوریم؛

بدین منظور، ابتدا ماتریس T را نرمال می‌کنیم. برای نرمال‌سازی این ماتریس هر درایه را بر مجموع سطری درایه‌ها در بلوک مربوط به آن درایه تقسیم می‌کنیم. به‌عنوان‌مثال برای نرمال‌سازی عنصر مربوط به سطر اول و ستون اول به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

$$T_C^{nor_{11}}=\begin{bmatrix} t^{11}_{C_{11}}/d^{11}_1 & \cdots & t^{11}_{C_{1j}}/d^{11}_1 & \cdots & t^{11}_{C_{1m_1}}/d^{11}_1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t^{11}_{C_{i1}}/d^{11}_i & \cdots & t^{11}_{C_{ij}}/d^{11}_i & \cdots & t^{11}_{C_{im_1}}/d^{11}_i \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t^{11}_{C_{m_11}}/d^{11}_{m_1} & \cdots & t^{11}_{C_{m_1j}}/d^{11}_{m_1} & \cdots & t^{11}_{C_{m_1m_1}}/d^{11}_{m_1} \end{bmatrix}$$

$$d^{11}_i=\sum_{j=1}^{m_1} t^{11}_{c_{ij}},\ \ i=1,2,\ldots,m_1$$

تا درنهایت ماتریس تأثیر کلی نرمال شده تشکیل شود.

$$T_C^{nor}=\begin{bmatrix} T_C^{nor_{11}} & \cdots & T_C^{nor_{1j}} & \cdots & T_C^{nor_{1n}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_C^{nor_{i1}} & \cdots & T_C^{nor_{ij}} & \cdots & T_C^{nor_{in}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_C^{nor_{n1}} & \cdots & T_C^{nor_{nj}} & \cdots & T_C^{nor_{nn}} \end{bmatrix}$$

با محاسبه ترانهاده ماتریس تأثیر کلی نرمال شده، سوپر ماتریس ناموزون به دست می‌آید.

۶- در این مرحله سوپر ماتریس موزون را محاسبه می‌کنیم. بدین منظور ابتدا باید ماتریس تأثیر کلی مربوط به ابعاد مسئله را محاسبه کنیم. هرکدام از درایه‌های این

ماتریس برابر است با میانگین همه عناصر زیر ماتریس مربوط به آن درایه در ماتریس تأثیر کلی معیارها. اگر ماتریس تأثیر کلی معیارها به شکل زیر باشد:

$$T_C = \begin{bmatrix} T_C^{11} & \cdots & T_C^{1j} & \cdots & T_C^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_C^{i1} & \cdots & T_C^{ij} & \cdots & T_C^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_C^{n1} & \cdots & T_C^{nj} & \cdots & T_C^{nn} \end{bmatrix}$$

به‌گونه‌ای که

$$T_C^{ij} = \begin{bmatrix} t_{C_{11}}^{ij} & \dots & t_{C_{1k}}^{ij} & \dots & t_{C_{1m_j}}^{ij} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{C_{h1}}^{ij} & \dots & t_{C_{hk}}^{ij} & \dots & t_{C_{hm_j}}^{ij} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{C_{m_i1}}^{ij} & \dots & t_{C_{m_ik}}^{ij} & \dots & t_{C_{m_im_j}}^{ij} \end{bmatrix}،$$

آنگاه درایه سطر i ام و ستون j ام در ماتریس تأثیر کلی ابعاد به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$t_D^{ij} = \frac{\sum_{h=1}^{mi}\sum_{k=1}^{m_j} t_{C_{hk}}^{ij}}{m_i m_j}$$

و درنهایت ماتریس تأثیر کلی ابعاد مسئله به شکل زیر است:

$$T_D = \begin{bmatrix} t_D^{11} & \dots & t_D^{1j} & \dots & t_D^{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1} & \dots & t_D^{ij} & \dots & t_D^{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{m1} & \dots & t_D^{mj} & \dots & t_D^{mm} \end{bmatrix}$$

ماتریس به‌دست‌آمده را به‌صورت سطری نرمال می‌کنیم و سپس هر یک از عناصر این ماتریس را در همه درایه‌های بلوک متناظر با آن عنصر در سوپر ماتریس ناموزون ضرب می‌کنیم.

$$W = (T_C^{nor})'$$

$$T_D^{nor} = \begin{bmatrix} t_D^{11}/t_D^1 & \cdots & t_D^{1j}/t_D^1 & \cdots & t_D^{1m}/t_D^1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1}/t_D^i & \cdots & t_D^{ij}/t_D^i & \cdots & t_D^{im}/t_D^i \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{m1}/t_D^m & \cdots & t_D^{mj}/t_D^m & \cdots & t_D^{mm}/t_D^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_D^{nor_{11}} & \cdots & t_D^{nor_{1j}} & \cdots & t_D^{nor_{1m}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{nor_{i1}} & \cdots & t_D^{nor_{ij}} & \cdots & t_D^{nor_{im}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{nor_{m1}} & \cdots & t_D^{nor_{mj}} & \cdots & t_D^{nor_{mm}} \end{bmatrix}$$

به‌گونه‌ای که

$$t_D^i = \sum_{j=1}^{m} t_D^{ij}$$

$$W^w = T_D^{nor} W = \begin{bmatrix} t_D^{nor_{11}} \times W^{11} & \cdots & t_D^{nor_{i1}} \times W^{i1} & \cdots & t_D^{nor_{n1}} \times W^{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{nor_{1j}} \times W^{1j} & \cdots & t_D^{nor_{ij}} \times W^{ij} & \cdots & t_D^{nor_{nj}} \times W^{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{nor_{1n}} \times W^{1n} & \cdots & t_D^{nor_{in}} \times W^{in} & \cdots & t_D^{nor_{nn}} \times W^{nn} \end{bmatrix}$$

۷- سوپر ماتریس موزون به‌دست‌آمده را به توان می‌رسانیم تا جایی که همه عناصر با توجه به رابطه زیر همگرا شوند و وزن مربوط به هر عنصر را محاسبه می‌کنیم:

$$\lim_{h \to \infty} (W^w)^h$$

۲- روش IVHF-DANP

در این بخش روش DANP را تحت فضای فازی تردیدی بازه مقدار توسعه می‌دهیم. مراحل انجام این روش به شرح زیر است:

• ابتدا ماتریس تأثیر مستقیم را محاسبه می‌کنیم. بدین منظور خبرگان تأثیر مستقیم هر معیار بر معیارهای دیگر را با استفاده از IVHFE به شکل زیر تعیین می‌کنند؛

$$\tilde{G}=\begin{bmatrix} \tilde{g}^{11} & \dots & \tilde{g}^{1j} & \dots & \tilde{g}^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{g}^{i1} & \dots & \tilde{g}^{ij} & \dots & \tilde{g}^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{g}^{n1} & \dots & \tilde{g}^{nj} & \dots & \tilde{g}^{nn} \end{bmatrix}$$

در اینجا $\tilde{g}^{ij}=(\tilde{\gamma}_1^{ij},\dots,\tilde{\gamma}_t^{ij},\dots,\tilde{\gamma}_s^{ij})$ (به‌گونه‌ای که $\tilde{\gamma}_t^{ij}=[\tilde{\gamma}_t^{ijL},\tilde{\gamma}_t^{ijR}]$) نشان‌دهنده میزان تأثیر معیار i بر معیار j و s بیانگر تعداد خبرگان است. $\tilde{g}^{ij}$ یک IVHFE بین صفر و یک است. هرکدام از مقادیر ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ به ترتیب بیانگر عدم تأثیر، تأثیر کم، تأثیر متوسط، تأثیر زیاد، تأثیر خیلی زیاد و تأثیر بی‌نهایت هستند. همچنین در مواقع لزوم می‌توان از مقادیر میانی برای توصیف درجات تأثیر استفاده نمود.

• در مرحله بعد ماتریس تأثیر مستقیم را نرمال نموده و سپس ماتریس تأثیر کلی را با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$\tilde{T}=\tilde{D}+\tilde{D}^2+\tilde{D}^3+\dots+\tilde{D}^m=\tilde{D}(\tilde{I}-\tilde{D})^{-1}$$

در اینجا $\tilde{T}$ و $\tilde{D}$ به ترتیب نشان‌دهنده ماتریس تأثیر کلی و ماتریس تأثیر مستقیم نرمال شده است. با توجه به اینکه عناصر قطر اصلی ماتریس تأثیر مستقیم و به‌تبع آن ماتریس تأثیر مستقیم نرمال شده برابر صفر است، بنابراین با توجه به تعریف ۷ و ۸ ماتریس تأثیر کلی به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$(I-\tilde{D})=\begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & 1 & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & 1 & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}-\begin{bmatrix} 0 & \dots & \tilde{d}_{1j} & \dots & \tilde{d}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{d}_{i1} & \dots & \tilde{d}_{ij} & \dots & \tilde{d}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{d}_{n1} & \dots & \tilde{d}_{nj} & \dots & \tilde{d}_{nn} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & 1 & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & 1 & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

و همچنین

$$\tilde{D}(I-\tilde{D})^{-۱}=\tilde{D}.I$$
$$=\begin{bmatrix} ۰ & \cdots & \tilde{d}_{۱j} & \cdots & \tilde{d}_{۱n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{d}_{i۱} & \cdots & \tilde{d}_{ij} & \cdots & \tilde{d}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{d}_{n۱} & \cdots & \tilde{d}_{nj} & \cdots & \tilde{d}_{nn} \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} ۱ & \cdots & ۰ & \cdots & ۰ \\ \vdots & ۱ & \vdots & & \vdots \\ ۰ & \cdots & ۱ & \cdots & ۰ \\ \vdots & & \vdots & ۱ & \vdots \\ ۰ & \cdots & ۰ & \cdots & ۱ \end{bmatrix} = [۰]_{n\times n}$$

نتیجه به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که همه درایه‌های ماتریس تأثیر کلی برابر صفر خواهد بود. بنابراین نمی‌توان با استفاده از IVHFE ها ماتریس تأثیر کلی را به دست آورد. در این تحقیق، برای تشکیل ماتریس موردنظر از عملگر ضریب تغییرات که در بخش قبل معرفی شد، استفاده می‌کنیم. برای این منظور، ابتدا ماتریس تأثیر مستقیم را با استفاده از عملگر ضریب تغییرات به دست می‌آوریم.

$$\Phi=\begin{bmatrix} \varphi_{۱۱} & \cdots & \varphi_{۱j} & \cdots & \varphi_{۱n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \varphi_{i۱} & \cdots & \varphi_{ij} & \cdots & \varphi_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \varphi_{n۱} & \cdots & \varphi_{nj} & \cdots & \varphi_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\varphi_{ij}=\text{IVHFCV}(\tilde{g}^{ij})$$

سپس ماتریس تأثیر مستقیم را با استفاده از رابطه زیر نرمال می‌کنیم:

$$H=\frac{\Phi}{s}$$

$$s=\max\left(\max_{۱\le i\le n}\sum_{j=۱}^{n}\varphi_{ij},\max_{۱\le j\le n}\sum_{i=۱}^{n}\varphi_{ij}\right)$$

درنهایت، با استفاده از رابطه $Z = H + H^{2} + H^{3} + ... + H^{m} = H(I-H)^{-1}$ ماتریس تأثیر کلی را به دست می‌آوریم. ادامه مراحل انجام کار مانند روش DANP، همان‌گونه که در بخش قبل توضیح داده شد، انجام می‌شود.

۳- مثال عددی

در این بخش با ارائه یک مثال عددی به ارزیابی روش پیشنهادی می‌پردازیم. فرض می‌کنیم یک شرکت هواپیمایی تصمیم دارد برخی فعالیت‌هایش را برون‌سپاری کند[۳۱]. برای این کار معیارهای تصمیم‌گیری مختلف در چهار بعد دسته‌بندی شده‌اند: سازگاری، ریسک، کیفیت و هزینه. ابعاد بیان‌شده و معیارهای متعلق به آن‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱ ابعاد و معیارهای ارزیابی سیستم

ابعاد	سازگاری (D_1)	کیفیت (D_2)	هزینه (D_3)	ریسک (D_4)
معیارها	رابطه (C_{11}) انعطاف‌پذیری (C_{12}) اشتراک اطلاعات (C_{13})	دانش و مهارت (C_{21}) رضایت مشتری (C_{22}) نرخ به‌موقع بودن (C_{23})	صرفه‌جویی در هزینه (C_{31}) انعطاف‌پذیری در صورت‌حساب‌ها (C_{32})	اتحادیه‌های کارگری (C_{41}) از دست دادن کنترل مدیریت (C_{42}) امنیت اطلاعات (C_{43})

ابتدا ماتریس تأثیر مستقیم با استفاده ازنظر سه تن از خبرگان تشکیل شد و پس‌ازآن، ماتریس تأثیر مستقیم با استفاده از عملگر ضریب تغییرات محاسبه می‌شود (جدول ۲). در ادامه ماتریس موردنظر را نرمال‌سازی می‌کنیم و ماتریس تأثیر کلی را مطابق جدول ۳ به دست می‌آوریم و سپس ماتریس تأثیر کلی نرمال شده را محاسبه می‌کنیم و در جدول ۴ نمایش می‌دهیم. پس از محاسبه ماتریس‌های مذکور، وزن تأثیری معیارها را با استفاده از روش DANP محاسبه می‌کنیم. بدین منظور ماتریس تأثیر کلی مربوط به ابعاد مسئله را محاسبه و سپس آن را نرمال می‌کنیم. سپس میزان تأثیر و تأثر هر یک از ابعاد و معیارهای مسئله را مطابق جدول ۷ به دست می‌آوریم.

جدول ۲ ماتریس تأثیر مستقیم Φ با استفاده از ضریب تغییرات

	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{31}	c_{32}	c_{41}	c_{42}	c_{43}
c_{11}	۰	۷۶/۷۲	۱۴۷/۵۳	۷۶/۱۷	۶۲/۰۱	۵۰/۱۴	۱۸۸/۴۲	۲۴۵/۸۸	۱۰۳/۶۷	۱۲۶/۵۳	۸۸/۷۹
c_{12}	۴۲/۴۳	۰	۷۰/۶۴	۲۷/۵۰	۵۰/۳۷	۶۲/۰۱	۵۰/۱۴	۱۴۷/۵	۴۲/۴۳	۴۴/۷۱	۸۸/۷۹
c_{13}	۲۴۵/۸	۷۷/۸۵	.	۴۲/۴۳	۵۰/۱۴	۶۳/۶۴	۳/۵۵	۳/۹۲	۱۰۳/۶	۸۸/۷۹	۴۲/۴۳
c_{21}	۸۸/۷۹	۴۲/۴۳	۱۸/۲۷	۰	۷۰/۶۴	۴۴/۷۱	۴۱/۶۹	۴۱/۱۸	۶۲/۳۶	۵۰/۱۴	۶۴/۳۰
c_{22}	۱۰۳/۶	۴۲/۵۷	۲۷/۵	۷۰/۶۴	۰	۱۶۴/۱	۳۰/۴۸	۱۴۷	۴۱/۱۸	۳/۵۵	۶۴/۱۴
c_{23}	۶۲/۳۶	۶۲/۰۱	۵۰/۱۴	۶۴/۱۳	۱۶۰	۰	۴۲/۴۳	۴۲/۴۳	۲۹/۷۸	۳۰/۴۸	۴۱/۱۸
c_{31}	۱۲۶/۵	۴۱/۳۴	۵۰/۱۴	۴۱/۱۸	۳/۵۵	۱۴۸	۰	۴۴/۷۱	۶۳/۶۴	۱۴۸	۱۴۶
c_{32}	۵۰/۳۷	۱۴۸	۱۴۷	۵۳/۲۴	۴۱/۷	۴۱/۷	۴۴/۷۱	۰	۱۴۷	۳۰/۴۸	۴۱/۷
c_{41}	۴۲/۴۳	۷۰/۶۴	۱۸/۲۷	۱۱۴	۱۸/۲۷	۱۲۶/۵	۴۱/۱۸	۴۱/۷	۰	۲۴۶	۶۳/۶۴
c_{42}	۱۲۶/۵	۱/۸۳	۵۰/۳۷	۳/۵۵	۱۴۸	۴۴/۷۱	۴۴/۷۱	۱۸/۲۷	۸۸/۷۹	۰	۲۶۲
c_{43}	۴۲/۵۷	۶۴/۳۰	۱۰۳/۶۷	۷۶/۱۸	۱۴۷	۷۶/۱۸	۱۴۶	۱۰/۵۲	۴۲/۴۳	۴۲/۴۳	۰

جدول ۳ ماتریس تأثیر کلی Z

	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{31}	c_{32}	c_{41}	c_{42}	c_{43}
c_{11}	۰/۲۱	۰/۲۱۱	۰/۲۸۱	۰/۱۹	۰/۲۱۶	۰/۲۱۹	۰/۲۹۴	۰/۳۵۲	۰/۲۵۶	۰/۲۸۶	۰/۲۷۶
c_{12}	۰/۱۴۶	۰/۰۸۴	۰/۱۵	۰/۰۹۵	۰/۱۳۵	۰/۱۴۶	۰/۱۲۳	۰/۲۰۷	۰/۱۲۹	۰/۱۳۲	۰/۱۷۶
c_{13}	۰/۳۲۹	۰/۱۶	۰/۱۱۵	۰/۱۲۷	۰/۱۶	۰/۱۶۹	۰/۱۲۱	۰/۱۴۱	۰/۱۹۷	۰/۲۰۴	۰/۱۷۶
c_{21}	۰/۱۶۴	۰/۱۰۲	۰/۰۹۳	۰/۰۶۴	۰/۱۴	۰/۱۲۳	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲۸	۰/۱۲۸	۰/۱۴۸
c_{22}	۰/۱۹۵	۰/۱۲۷	۰/۱۲۳	۰/۱۳۷	۰/۱۰۳	۰/۲۱۷	۰/۱۱۶	۰/۲۲۱	۰/۱۳۳	۰/۱۰۴	۰/۱۵۸
c_{23}	۰/۱۵۴	۰/۱۲۳	۰/۱۲	۰/۱۱۹	۰/۲۱۳	۰/۰۹۴	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۹	۰/۱۳۱
c_{31}	۰/۲۴۵	۰/۱۳۴	۰/۱۶	۰/۱۲۸	۰/۱۴۳	۰/۲۴۲	۰/۱۱۸	۰/۱۵۶	۰/۱۶۸	۰/۲۴۷	۰/۲۶۹
c_{32}	۰/۱۷۵	۰/۲۱۱	۰/۲۱۶	۰/۱۲۸	۰/۱۳۹	۰/۱۴۹	۰/۱۲۸	۰/۱۰۸	۰/۲۲۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۹
c_{41}	۰/۱۶۹	۰/۱۴۳	۰/۱۱۷	۰/۱۷۲	۰/۱۴۷	۰/۲۱۳	۰/۱۳۳	۰/۱۳۸	۰/۱۰۶	۰/۳۰۷	۰/۲۰۴
c_{42}	۰/۲۴۱	۰/۱۰۳	۰/۱۵۸	۰/۱۰۴	۰/۲۴۸	۰/۱۷	۰/۱۵۹	۰/۱۳۹	۰/۱۸۲	۰/۱۲۷	۰/۳۴۵
c_{43}	۰/۱۷۴	۰/۱۴	۰/۱۷۹	۰/۱۴۵	۰/۲۲۵	۰/۱۸۳	۰/۲۰۹	۰/۱۲۱	۰/۱۳۶	۰/۱۴۹	۰/۱۲۹

جدول ۴ ماتریس تأثیر کلی نرمال شده Znor

	$c_{۱۱}$	$c_{۱۲}$	$c_{۱۳}$	$c_{۲۱}$	$c_{۲۲}$	$c_{۲۳}$	$c_{۳۱}$	$c_{۳۲}$	$c_{۴۱}$	$c_{۴۲}$	$c_{۴۳}$
$c_{۱۱}$	۰/۲۹۹	۰/۳	۰/۴۰۱	۰/۳۰۴	۰/۳۴۵	۰/۳۵۱	۰/۴۵۵	۰/۵۴۵	۰/۳۱۳	۰/۳۴۹	۰/۳۳۸
$c_{۱۲}$	۰/۳۸۴	۰/۲۲۱	۰/۳۹۵	۰/۲۵۲	۰/۳۶	۰/۳۸۸	۰/۳۷۲	۰/۶۲۸	۰/۲۹۵	۰/۳۰۱	۰/۴۰۴
$c_{۱۳}$	۰/۵۴۵	۰/۲۶۵	۰/۱۹	۰/۲۷۸	۰/۳۵	۰/۳۷۲	۰/۴۶۲	۰/۵۳۸	۰/۳۴۱	۰/۳۵۳	۰/۳۰۵
$c_{۲۱}$	۰/۴۵۷	۰/۲۸۵	۰/۲۵۸	۰/۱۹۵	۰/۴۲۹	۰/۳۷۶	۰/۴۷۹	۰/۵۲۱	۰/۳۱۷	۰/۳۱۶	۰/۳۶۷
$c_{۲۲}$	۰/۴۳۸	۰/۲۸۵	۰/۲۷۷	۰/۳	۰/۲۲۵	۰/۴۷۵	۰/۳۴۴	۰/۶۵۶	۰/۳۳۶	۰/۲۶۴	۰/۴
$c_{۲۳}$	۰/۳۸۹	۰/۳۰۹	۰/۳۰۲	۰/۲۸	۰/۴۹۹	۰/۲۲	۰/۴۵۷	۰/۵۴۳	۰/۳۰۶	۰/۳۱۶	۰/۳۷۸
$c_{۳۱}$	۰/۴۵۴	۰/۲۴۹	۰/۲۹۷	۰/۲۵	۰/۲۷۹	۰/۴۷۱	۰/۴۳۱	۰/۵۶۹	۰/۲۴۶	۰/۳۶۱	۰/۳۹۳
$c_{۳۲}$	۰/۲۹۱	۰/۳۵	۰/۳۵۹	۰/۳۰۹	۰/۳۳۳	۰/۳۵۸	۰/۵۴۱	۰/۴۵۹	۰/۴۱۷	۰/۲۸۴	۰/۲۹۹
$c_{۴۱}$	۰/۳۹۴	۰/۳۳۳	۰/۲۷۳	۰/۳۲۳	۰/۲۷۶	۰/۴	۰/۴۹۲	۰/۵۰۸	۰/۱۷۲	۰/۴۹۸	۰/۳۳۱
$c_{۴۲}$	۰/۴۸	۰/۲۰۶	۰/۳۱۵	۰/۱۹۹	۰/۴۷۵	۰/۳۲۶	۰/۵۳۳	۰/۴۶۷	۰/۲۷۹	۰/۱۹۳	۰/۵۲۸
$c_{۴۳}$	۰/۳۵۳	۰/۲۸۴	۰/۳۶۳	۰/۲۶۲	۰/۴۰۶	۰/۳۳۱	۰/۶۳۴	۰/۳۶۶	۰/۳۲۹	۰/۳۶	۰/۳۱۱

جدول ۵ ماتریس تأثیر کلی ابعاد Z

	$D_{۱}$	$D_{۲}$	$D_{۳}$	$D_{۴}$
$D_{۱}$	۰/۱۸۷	۰/۱۶۲	۰/۲۰۶	۰/۲۰۴
$D_{۲}$	۰/۱۳۴	۰/۱۳۴	۰/۱۳۴	۰/۱۲۷
$D_{۲}$	۰/۱۹	۰/۱۵۵	۰/۱۲۷	۰/۲۰۳
$D_{۴}$	۰/۱۵۸	۰/۱۷۹	۰/۱۵	۰/۱۸۷

جدول ۶ ماتریس تأثیر کلی نرمال شده ابعاد Z^{nor}

	$D_{۱}$	$D_{۲}$	$D_{۳}$	$D_{۴}$
$D_{۱}$	۰/۲۴۶	۰/۲۱۳	۰/۲۷۱	۰/۲۶۹
$D_{۲}$	۰/۲۵۳	۰/۲۵۳	۰/۲۵۳	۰/۲۴
$D_{۲}$	۰/۲۸۱	۰/۲۳	۰/۱۸۸	۰/۳۰۱
$D_{۴}$	۰/۲۳۴	۰/۲۶۶	۰/۲۲۳	۰/۲۷۷

جدول ۷ میزان تأثیر و تأثر ابعاد و معیارها

	r	c	r + c	r - c		r	c	r + c	r - c
$D_{۱}$	۰/۷۵۹	۰/۶۶۹	۱/۴۲۸	۰/۰۹	$c_{۱۱}$	۲/۷۹	۲/۲	۴/۹۹	۰/۵۹
					$c_{۱۲}$	۱/۵۲	۱/۵۴	۳/۰۶	−۰/۰۲
					$c_{۱۳}$	۱/۹	۱/۷۱	۳/۶۱	۰/۱۸
$D_{۲}$	۰/۵۲۹	۰/۶۳	۱/۱۵۹	−۰/۱۰۱	$c_{۲۱}$	۱/۳۲	۱/۴۱	۲/۷۳	−۰/۰۹
					$c_{۲۲}$	۱/۶۳	۱/۸۷	۳/۵	−۰/۲۳
					$c_{۲۳}$	۱/۴۱	۱/۹۳	۳/۳۴	−۰/۵۲
$D_{۳}$	۰/۶۷۵	۰/۶۱۷	۱/۲۹۲	۰/۰۵۸	$c_{۳۱}$	۲/۰۱	۱/۶۲	۳/۶۳	۰/۳۹
					$c_{۳۲}$	۱/۷۹	۱/۸۳	۳/۶۲	−۰/۰۵
$D_{۴}$	۰/۶۷۴	۰/۷۲۱	۱/۳۹۵	−۰/۴۷	$c_{۴۱}$	۱/۸۵	۱/۷۶	۳/۶۱	۰/۰۹
					$c_{۴۲}$	۱/۹۸	۱/۹۴	۳/۹۲	۰/۰۳
					$c_{۴۳}$	۱/۷۹	۲/۱۷	۳/۹۶	−۰/۳۸

مطابق اطلاعات جدول ۷، در بعد سازگاری ($D_{۱}$)، ارتباط ($c_{۱۱}$) دارای بیشترین میزان تأثیر و تأثر با دیگر معیارهاست و اشتراک اطلاعات ($c_{۱۳}$) و انعطاف‌پذیری ($c_{۱۲}$) در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. در بعد کیفیت ($D_{۲}$)، رضایت مشتری ($c_{۲۲}$)، نرخ به‌موقع بودن ($c_{۲۳}$) و دانش و مهارت ($c_{۲۱}$) به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم ازنظر مقدار تأثیر و تأثر قرار دارند. در بعد هزینه ($D_{۳}$)، صرفه‌جویی در هزینه ($c_{۳۱}$) میزان تأثیر و تأثر بیشتری نسبت به انعطاف‌پذیری در صورت‌حساب‌ها (۳۲) دارد. در بعد ریسک ($D_{۴}$)، امنیت اطلاعات ($c_{۴۳}$)، از دست دادن کنترل مدیریت ($c_{۴۲}$) و اتحادیه‌های کارگری ($c_{۴۱}$) دارای رتبه‌های اول تا سوم میزان تأثیر و تأثر هستند. جدول ۱۰ میزان وزن تأثیری ابعاد و معیارها را نشان می‌دهد.

جدول ۸ سوپر ماتریس موزون W^w

	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{31}	c_{32}	c_{41}	c_{42}	c_{43}
c_{11}	۰/۰۹۵	۰/۱۲۲	۰/۱۷۳	۰/۱۵	۰/۱۴۴	۰/۱۲۸	۰/۱۶۵	۰/۱۰۶	۰/۱۷۳	۰/۲۱۱	۰/۱۵۵
c_{12}	۰/۰۹۵	۰/۰۷	۰/۰۸۴	۰/۰۹۴	۰/۰۹۴	۰/۱۰۲	۰/۰۹	۰/۱۲۷	۰/۱۴۶	۰/۰۹۱	۰/۱۲۵
c_{13}	۰/۱۲۷	۰/۱۲۵	۰/۰۶	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۹	۰/۱۰۷	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۳۸	۰/۱۶
c_{21}	۰/۰۵۲	۰/۰۴۳	۰/۰۴۸	۰/۰۲۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۶	۰/۰۴۴	۰/۰۴۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۶
c_{22}	۰/۰۵۹	۰/۰۶۲	۰/۰۶	۰/۰۴۷	۰/۰۲۵	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۴۷	۰/۰۳۸	۰/۰۶۶	۰/۰۵۷
c_{23}	۰/۰۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۴	۰/۰۴۱	۰/۰۵۲	۰/۰۲۴	۰/۰۶۷	۰/۰۵۱	۰/۰۵۶	۰/۰۴۵	۰/۰۴۶
c_{31}	۰/۰۶۹	۰/۰۵۶	۰/۰۷	۰/۱۲۶	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۵۵	۰/۰۶۹	۰/۰۷۷	۰/۰۸۴	۰/۱
c_{32}	۰/۰۸۳	۰/۰۹۵	۰/۰۸۲	۰/۱۳۷	۰/۱۷۳	۰/۱۴۳	۰/۰۷۲	۰/۰۵۸	۰/۰۸	۰/۰۷۴	۰/۰۵۸
c_{41}	۰/۱۱۲	۰/۱۰۶	۰/۱۲۳	۰/۰۹۴	۰/۱	۰/۰۹۱	۰/۰۹	۰/۱۵۳	۰/۰۴۵	۰/۰۷۳	۰/۰۸۷
c_{42}	۰/۱۲۶	۰/۱۰۸	۰/۱۲۷	۰/۰۹۴	۰/۰۷۹	۰/۰۹۴	۰/۱۳۳	۰/۱۰۴	۰/۱۳۱	۰/۰۵۱	۰/۰۹۵
c_{43}	۰/۱۲۱	۰/۱۴۵	۰/۱۱	۰/۱۰۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۳	۰/۱۴۴	۰/۱۱	۰/۰۸۷	۰/۱۳۹	۰/۰۸۲

جدول ۹ اوزان تأثیری ابعاد و معیارها

ابعاد	وزن محلی	رتبه	معیارها	وزن محلی	وزن نهایی	رتبه
D_1	۰/۲۵۴	۲	c_{11}	۰/۴۰۸	۰/۱۰۳۵	۳
			c_{12}	۰/۲۸۱	۰/۰۷۱۳	۱۰
			c_{13}	۰/۳۱۲	۰/۰۷۹۲	۹
D_2	۰/۲۴	۳	c_{21}	۰/۲۶۸	۰/۰۶۴۶	۱۱
			c_{22}	۰/۳۶۲	۰/۰۸۷	۷
			c_{23}	۰/۳۷۰	۰/۰۸۹	۵
D_3	۰/۲۳۴	۴	c_{31}	۰/۴۷۳	۰/۱۱۰۵	۲
			c_{32}	۰/۵۲۷	۰/۱۲۳۳	۱
D_4	۰/۲۷۲	۱	c_{41}	۰/۳۰۵	۰/۰۸۲۸	۸
			c_{42}	۰/۳۲۷	۰/۰۸۸۸	۶
			c_{43}	۰/۳۶۸	۰/۱۰۰۱	۴

۴- نتیجه‌گیری

پیچیدگی مسائل دنیای واقعی و عدم اطمینان و ابهام موجود در اطلاعات سبب می‌شود که تصمیم‌گیری برای مدیران سخت و دشوار شود. ابزارهای زیادی جهت رفع ابهام و مقابله با عدم اطمینان ارائه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به

مجموعه‌های فازی تردیدی و مجموعه‌های فازی تردیدی بازه‌مقدار اشاره نمود. در این پژوهش یک روش تصمیم‌گیری جدید به نام روش IVHF- DANP برای حل مسائل تصمیم‌گیری در فضای فازی تردیدی بازه‌مقدار معرفی نمودیم. ابتدا درجه انحراف IVHFE و عملگر ضریب تغییرات معرفی شد و سپس مراحل انجام روش IVHF- DANP را تشریح کردیم. همچنین در ادامه یک مثال عددی برای ارزیابی روش معرفی‌شده ارائه شد. در مطالعات آتی می‌توان از دیگر مشتقات مجموعه‌های فازی تردیدی مانند مجموعه‌های فازی تردیدی دوگانه و یا انواع دیگر مجموعه‌های فازی مانند مجموعه‌های فازی شهودی جهت توسعه روش‌های تصمیم‌گیری استفاده نمود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1. Inter valued fuzzy sets
2. Intuitionistic fuzzy sets
3. Type 2 fuzzy sets
4. Linguistic fuzzy sets
5. Hesitant fuzzy sets (HFS)
6. Inter valued Hesitant fuzzy sets (IVHFS)
7. DEMATEL based ANP (DANP)
8. Hesitant fuzzy element (HFE)
9. Interval valued Hesitant fuzzy element (IVHFE)

۶- منابع

[1] Chen, N., & Xu, Z. (2015). Hesitant fuzzy ELECTRE II approach: A new way to handle multi-criteria decision making problems. *Information Sciences*, *292*, 175–197.

[2] Jiang, Y.-P., Liang, H.-M., & Sun, M. (2015). A method for discrete stochastic MADM problems based on the ideal and nadir solutions. *Computers & Industrial Engineering*, *87*, 114–125.

[3] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, *8*, 338–353.

[4] Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. *Information Sciences*, *249*, 199–249.

[5] Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, *20*(1), 87–96.

[6] Miyamoto, S. (2005). Remarks on basics of fuzzy sets and fuzzy multisets. *Fuzzy Sets and Systems*, *156*(3), 427–431.

[7] Xu, Z., & Zhang, X. (2013). Hesitant fuzzy multi-attribute decision making based on TOPSIS with incomplete weight information. *Knowledge-Based Systems*, *52*, 53–64.

[8] Torra, V., & Narukawa, Y. (2009). On hesitant fuzzy sets and decision. In Fuzzy Systems, 2009. FUZZ-IEEE 2009. *IEEE International Conference on* (pp. 1378–1382).

[9] Xia, M., Xu, Z., & Chen, N. (2013). Some Hesitant Fuzzy Aggregation Operators with Their Application in Group Decision Making. Group Decision and Negotiation, 22(2), 259–279.

[10] Xu, P., Chan, E. H. W., Visscher, H. J., Zhang, X., & Wu, Z. (2015). Sustainable building energy efficiency retrofit for hotel buildings using EPC mechanism in China: analytic Network Process (ANP) approach. *Journal of Cleaner Production*.

[۱۱] Meng, F., Wang, C., Chen, X., & Zhang, Q. (2015). Correlation Coefficients of Interval-Valued Hesitant Fuzzy Sets and Their Application Based on the Shapley Function. *International Journal of Intelligent Systems*.

[12] Wang, J., Wu, J., Wang, J., Zhang, H., & Chen, X. (2014). Interval-valued hesitant fuzzy linguistic sets and their applications in multi-criteria decision-making problems. *Information Sciences*, *288*, 55–72.

[13] Chen, N., Xu, Z., & Xia, M. (2013). Interval-valued hesitant preference relations and their applications to group decision making. *Knowledge-Based Systems*, *37*, 528–540.

[14] Yang, Y., Shieh, H., Leu, J., & Tzeng, G.-H. (2008). A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications. *Internationa Journal of Operations Research*, *5*(3), 160–168.

[15] Lee, W. S., Huang, A. Y., Chang, Y. Y., & Cheng, C. M. (2011). Analysis of decision making factors for equity investment by DEMATEL and Analytic Network Process. *Expert Systems with Applications*, *38*(7), 8375–8383.

[16] Kuan, M. J., Hsiang, C. C., & Tzeng, G. H. (2012). Probing the innovative quality system structure model for NPD process based on combining DANP with MCDM model. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, *8*(8), 5745–5762.

[17] Hung, Y.-H., Huang, T.-L., Hsieh, J.-C., Tsuei, H.-J., Cheng, C.-C., & Tzeng, G.-H. (2012). Online reputation management for improving marketing by using a hybrid MCDM model. *Knowledge-Based Systems*, 35, 87–93.

[18] Hsu, C. H., Wang, F. K., & Tzeng, G. H. (2012). The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR. *Resources, Conservation and Recycling*, *66*(2012), 95–111.

[19] Chiu, W. Y., Tzeng, G. H., & Li, H. L. (2013). A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR to improve e-store business. *Knowledge-Based Systems*, *37*, 48–61.

[20] Hsu, C. C., & Liou, J. J. H. (2013). An outsourcing provider decision model for the airline industry. *Journal of Air Transport Management*, *28*, 40–46.

[21] Lu, M.-T., Lin, S.-W., & Tzeng, G.-H. (2013). Improving RFID adoption in Taiwan's healthcare industry based on a DEMATEL technique with a hybrid MCDM model. *Decision Support Systems*, 56, 259–269.

[22] Liou, J. J. H. (2014). Building an effective system for carbon reduction management. *Journal of Cleaner Production*.

[23] Yang, Y., Shieh, H., Leu, J., & Tzeng, G.-H. (2008). A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications. *Internationa Journal of Operations Research*, *5*(3), 160–168.

[24] Safaei Ghadikolaei, A., Tabibi, M., & F. Hajiabadi. (2013). Compound method approach of fuzzy ANP-DEMATEL for making preference of green supplier performance assessment criteria (case study: Iran heavy diesel company). *Management Researches in Iran*,17(3),

[25] Xia, M., & Xu, Z. (2011). Hesitant fuzzy information aggregation in decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, *52*(3), 395–407.

[26] Farhadinia, B. (2014). A series of score functions for hesitant fuzzy sets. *Information Sciences*, *277*, 102–110.

[27] Tan, C., Yi, W., & Chen, X. (2015). Hesitant fuzzy Hamacher aggregation operators for multicriteria decision making. *Applied Soft Computing*, 26, 325–349.

[28] Van Horenbeek, A., & Pintelon, L. (2014). Development of a maintenance performance measurement framework-using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. *Omega (United Kingdom)*, *42*(1), 33–46.

[29] Lam, J. S. L. (2015). Designing a sustainable maritime supply chain: A hybrid QFD–ANP approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 78, 70–81.