

## مدلی جهت اولویت‌بندی پویای تجهیزات و حالات شکست بحرانی

محمدرضا محمودی<sup>۱\*</sup>، احمد جعفرنژاد چقوشی<sup>۲</sup>، حنان عموزاد مهدرجی<sup>۳</sup>،  
حسین صفری<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، پردیس بین الملل کیش، دانشگاه تهران، کیش، ایران
- ۲- استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۴- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۷

دریافت: ۱۳۹۷/۱/۱۷

### چکیده

یکی از روش‌هایی که در تحلیل ریسک عملیات نگهداری و تعمیرات توسط پژوهشگران به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است، تجزیه و تحلیل اثر و حالات شکست است؛ اما رویکرد مرسوم تجزیه و تحلیل اثر و حالات شکست (FMEA) برای اولویت‌بندی تجهیزات و حالات شکست، با اشکالات اساسی روبرو است. هدف این مقاله اولویت‌بندی پویای تجهیزات در محیط فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای به منظور شناسایی تجهیزات بحرانی است. به طوری که نواقص رویکرد مرسوم تجزیه و تحلیل اثر و حالات شکست را نداشته باشد. بدین منظور ابتدا روش وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW) ارائه شده است. در این روش، وزن‌های پویای متناسب با هر تجهیز محاسبه شده و بنابراین رتبه‌بندی پویایی جهت تجهیزات ارائه می‌گردد. همچنین ضمن بهبود عملکرد تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای و بهبود روش مقایسه محدوده تقریبی مرزی چندنگر (MABAC)، این دو روش بهبودیافته با روش وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW) در هم ادغام شده و یک مدل تجزیه و تحلیل اثر و حالات شکست قوی پیشنهاد گردیده که در آن نقاط ضعف اصلی

تجزیه و تحلیل اثر و حالات شکست مرسوم برطرف شده است. برای نشان دادن قابلیت کاربردی بودن، این مدل در یک مطالعه موردی برای اولویت‌بندی تجهیزات یک بارچ جرثقیل HL5000 به‌کارگیری شده است. در پایان نتایج حاصل از این مدل با چندین روش اولویت‌بندی مقایسه و تحلیل شده و نشان داده شده است که مدل ارائه‌شده در محاسبه وزن و رتبه‌بندی پویای تجهیزات و حالات شکست بحرانی، بسیار منعطف‌تر عمل می‌کند و نتایج رتبه‌بندی منطقی‌تری را ارائه می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** اثر و حالت شکست، تجهیز بحرانی، مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای، روش MABAC، وزن دهی پویا

### ۱- مقدمه

پژوهشگران همواره در حال توسعه راه‌حل‌های مناسبی بوده‌اند که بتوانند به بهترین نحو ممکن برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات (نت) و بازرسی را در سازمان‌ها بهبود دهند. در سال‌های اخیر استفاده از رویکردهای ریسک محور مانند نت مبتنی بر قابلیت اطمینان و بازرسی مبتنی بر ریسک، مورد توجه پژوهشگران واقع شده است. تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست (FMEA) یکی از فنون سیستماتیک اولیه جهت تحلیل ریسک است [۱]. FMEA برای توصیف شاخص‌های ریسک رخداد (O)، شدت اثر (S) و شناسایی شکست (D) بکارگیری می‌شود و آن‌ها را در هم ضرب کرده و یک معیار تک قطبی از رتبه‌بندی را ایجاد می‌نماید [۲]. این معیار عدد اولویت‌بندی ریسک (RPN) نامیده می‌شود (معادله (۱)).

$$RPN_i = (O * S * D)_i \quad (1)$$

برای استفاده از FMEA پژوهش‌های وسیعی صورت گرفته است. در این پژوهش‌ها متدولوژی اصلی، محاسبه RPN یا RPN در محیط فازی، و در نهایت ضرب آن‌ها مطابق با معادله (۱) است ([۱؛ ۳-۷]).

اما رویکرد مرسوم جهت FMEA و محاسبه عدد اولویت‌بندی ریسک توسط پژوهشگران با انتقادات جدی مواجه شده است [۲؛ ۸-۱۵]. محدودیت‌های اصلی که FMEA مرسوم با آن مواجه است عبارت‌اند از:

۱- ارزیابی کامل و دقیق ریسک، به خاطر عدم اطمینان و ابهام در قضاوت‌های اعضای تیم FMEA، مشکل است [۸]. برای ارزیابی ریسک حالت‌های شکست از اعداد

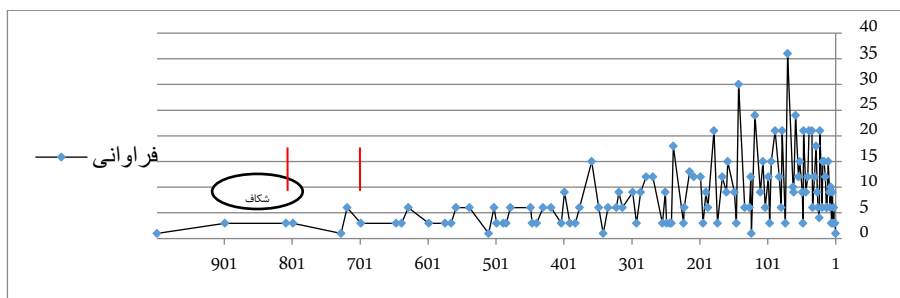
قطعی استفاده می‌شود، درحالی‌که در بسیاری از برنامه‌های کاربردی، به دلیل کمبود داده‌ها و تخصص محدود افراد، ارزیابی خرابی‌ها با استفاده از مقادیر دقیق سخت یا غیرممکن است [۱۱].

۲- استفاده از RPN برای تعیین رتبه‌بندی ریسک حالات شکست سؤال‌برانگیز است [۸]. فرمول ریاضی جهت محاسبه RPN قابل‌تردید بوده و فاقد اساس علمی جامعی است [۱۰].

۳- فرمول ریاضی RPN به‌شدت به تغییرات نرخ عوامل ریسک بستگی دارد [۱۱]. در معادله (۲) اگر  $\delta o$ ،  $\delta s$  و  $\delta d$  به ترتیب خطاهای ناشی از تخمین یا قضاوت باشند، ضرب این سه می‌تواند بسیار اغراق‌آمیز باشد. [۲].

$$\begin{aligned} \Delta RPN &= [(O + \delta o)] * [(S + \delta s)] + [(D + \delta D)] - O * S * D \\ \Delta RPN &= (S * \delta o * D) + (\delta s * O * D) + (\delta s * \delta o * D) + \dots + (S * O * \delta d) \\ &\quad + (S * \delta o * \delta d) + (S * \delta o * \delta d) + (\delta s * O * \delta d) \end{aligned} \quad (2)$$

۴- شکل ۱، منحنی RPN در برابر تناوب ترکیب تصادفی O، S و D را نشان می‌دهد. وجود فواصل دربرگیرنده بخش بزرگی از مقیاس اندازه‌گیری RPN است درحالی‌که مقادیر RPN تکراری با ترکیبات متفاوت از امتیازات O، S و D وجود دارد [۲]. ارزیابی‌های مختلف از شاخص‌های ارزیابی ریسک منجر به عدد اولویت‌بندی ریسک مشابهی شود؛ [۱۰].



شکل ۱ نشان دادن شکاف منحنی RPN در برابر تناوب ترکیب تصادفی S، O و D [۲]

۵- یکی دیگر از انتقادات وارده که فنون فعلی تحلیل شکست، آن را به‌طور کامل نادیده گرفته‌اند، تأثیر متفاوتی است که O، S و D می‌توانند بر روی شکست هر تجهیز داشته باشند [۱۴]. کی منتا و دیگران (۱۹۹۹) پیشنهاد می‌کنند که اهمیت کمتری به پارامتر عدم قدرت تشخیص خرابی (D) داده شود و یا حتی در مورد تجهیزات با بحرانی، این پارامتر از محاسبات حذف گردد [۱۵].

۶- در FMEA مرسوم اهمیت سه عامل ریسک O، S و D یکسان فرض می‌شود. بنابراین، این رویکرد قادر به مدیریت شرایطی نیست که عوامل ریسک وزن‌های مختلفی دارند [۱۱]. همچنین قادر به ارزیابی حالتی که در آن اطلاعات وزن‌ها ناکامل هستند، نخواهد بود [۹].

فنون تصمیم‌گیری به‌طور گسترده وارد تحقیقات نگهداری و تعمیرات شده‌اند و توانسته‌اند به‌طور اثربخشی عمل کنند. همزمان با تعریف مجموعه‌های فازی، شرایط استفاده این روش‌ها از داده‌های فازی در تصمیم‌گیری نیز فراهم گردید و پژوهشگران توانستند برآوردهای واقعی‌تری را از وزن هر یک از معیارها صورت دهند. استفاده از داده‌های فازی در تصمیم‌گیری تا حدود زیادی در ارزیابی مناسب ریسک، به خاطر کنترل عدم اطمینان و ابهام‌های موجود در داده‌ها [۱۶]، مؤثر بوده است. همچنین تعمیم‌های دیگری مانند، مجموعه‌های فازی شهودی [۱۷]، مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای [۱۸] و مجموعه‌های فازی مردد [۱۹] از این نظریه ایجاد شده‌اند و به‌طور گسترده، با اثربخشی بالا در توصیف اطلاعات مبهم و غیردقیق، در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پژوهشگران با استفاده روش‌هایی مانند AHP و ANP در محیط‌های فازی به تخمین وزن‌های O، S و D پرداخته‌اند ([۸؛ ۱۰؛ ۲۰-۲۲]). در خصوص اولویت بندی تجهیزات و تصمیم‌گیری تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. برای مثال ژائو و دیگران (۲۰۱۷) به تجزیه و تحلیل اثر و حالت شکست با استفاده از روش مولتی مورا با آنتروپی وزنی پیوسته تحت شرایط فازی شهودی با مقادیر فاصله‌ای پرداخته‌اند [۱۰]. لیو و دیگران (۲۰۱۷) رویکرد یکپارچه‌ای را جهت تجزیه و تحلیل اثر و حالت شکست تحت محیط فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای، با استفاده از یکپارچه‌سازی IVIFs و روش MABAC برای تعیین اولویت‌های ریسک حالات شکست به‌کارگیری نموده‌اند [۹]. بایکاسوگلو و گلکوک (۲۰۱۷) به ارتقای FMEA فازی به‌وسیله ارائه یک مدل تصمیم‌گیری

چندمعیاره ترکیبی از طریق ادغام برنامه‌ریزی ترجیحی فازی، ترسیم شناختی فازی و ماتریس گراف-تئوریک فازی (FGTMA<sup>۲</sup>) پرداخته‌اند [۲۳]. تورانلو و آیت اله (۲۰۱۶) بر اساس واژه‌های زبانی و اعداد فازی شهودی و روش TOPSIS فازی شهودی، مدلی را برای تجزیه و تحلیل اثرات و حالت شکست بر اساس رویکرد فازی شهودی ارائه داده‌اند [۲۴]. ونگ و دیگران (۲۰۱۶) یک مدل FMEA جدید را از طریق ترکیب ارزیابی تناسبی مختلط (COPRAS) و روش ANP برای ارزیابی ریسک حالات شکست تحت محتوای فازی شهودی با مقادیر فاصله‌ای ارائه داده‌اند [۸]. لیو (۲۰۱۷) با ارائه عملگرهای تجمیع هرونیان توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای و عملگر تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIFPWA)، یک روش جدید برای حل مسائل تصمیم‌گیری گروهی چندنگرشته ارائه نموده است [۲۵]. پاموکار و سیرویک (۲۰۱۵) به کاربرد مدل DEMATEL- MABAC در اتخاذ تصمیمات سرمایه‌گذاری بر روی منابع حمل‌ونقل، در مراکز لجستیک پرداخته‌اند [۲۶]. در تمامی تلاش‌های صورت گرفته جهت رتبه‌بندی و وزن دهی گزینه‌ها، وزن‌های ثابت محاسبه و بکارگیری شده است. اما در ادبیات، پژوهشی که بتواند به انتقاد پنجم وارده به FMEA پاسخگو باشد، یافت نگردید. به‌منظور پاسخگویی به این چالش، مدل وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW) ارائه شده است. با استفاده از این مدل وزن‌های پویای اولیه و وزن‌های پویای نهایی محاسبه شده‌اند.

هدف این مقاله رتبه‌بندی پویای تجهیزات و حالات شکست در محیط فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای برای غلبه بر انتقادات وارده به FMEA مرسوم، به‌ویژه انتقاد پنجم، است. در این پژوهش عملگر تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای [۲۵] بهبود داده شده و برای تجمیع اطلاعات استفاده شده است. جهت بهبود، این عملگر، با جایگزینی معادله (۲۰) به جای معادله‌های (۲۱)، (۲۲) و (۲۳)، اصلاح شده و مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین روش مقایسه محدوده تقریبی مرزی چندنگرشته (MABAC) در محیط فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای که توسط لیو و دیگران (۲۰۱۷) ارائه گردیده است، برای انتخاب گزینه‌ها استفاده شده است. از روش وزن دهی پویای

مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW) برای ایجاد وزن‌های پویای متناسب با وضعیت هر تجهیز/حالت شکست استفاده‌شده و در نهایت با ترکیب این سه روش، یک مدل FMEA قوی پیشنهاد شده است که در آن نقاط ضعف اصلی RPN مرسوم حذف گردیده است. روش وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW)، عملگر هرونیان فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای و روش IVIF-MABAC برای اولین بار با یکدیگر ترکیب شده‌اند و الگویی یکپارچه به‌منظور اولویت‌بندی تجهیزات ایجاد نموده‌اند. در ادامه، این مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش ۲ به بیان تعاریف اولیه در مورد مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای پرداخته ایم. در بخش ۳ به معرفی اجمالی روش مقایسه محدوده تقریبی مرزی چندنگر (MABAC) پرداخته ایم. در بخش ۴ روش جدید وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW) ارائه گردیده است. مدل‌سازی ریاضی این روش در بخش پنجم ارائه شده است. در بخش ۵ روش اولویت‌بندی پیشنهادی به همراه فرمول ریاضی و مفاهیم اساسی رویکرد FMEA جدید، تحت شرایط عدم اطمینان ارائه‌شده و الگوریتم یکپارچه‌ای برای به‌کارگیری این روش ارائه گردیده است. برای نشان دادن قابلیت اجرای مدل پیشنهادی، این مدل در مطالعه موردی جهت اولویت‌بندی تجهیزات یک بارج جرثقیل HL5000، به‌کارگیری شده است. در بخش ۶ نتایج مدل پیشنهادی را با روش‌های مرسوم مقایسه شده است. در نهایت، در بخش ۷ نتایج این پژوهش به همراه پیشنهادهایی جهت پژوهش‌های آتی ارائه گردیده است.

## ۲- مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای

نظریه مجموعه‌های فازی که به‌وسیله زاده (۱۹۶۵) ارائه شد، کاربردهای بسیار مفیدی را در بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی داشته است [۲۸]. زاده (۱۹۶۵) مجموعه‌های فازی را ارائه داد تا اطلاعات فازی را با تابع عضویت یکتا نشان دهد [۲۸]. مجموعه‌های فازی فقط دارای یک تابع عضویت هستند و گاهی اوقات، توصیف بیشتر برخی از اطلاعات فازی مشکل است؛ بنابراین، آتاناسوف (۱۹۸۶) مجموعه‌های فازی شهودی را به‌وسیله اضافه کردن یک تابع عدم عضویت ارائه داد [۱۷؛ ۲۵]. آتاناسوف و گارگو (۱۹۸۹) و آتاناسوف (۱۹۹۴) مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای را تعریف نمودند که با

یک تابع عضویت بازه‌ای، یک تابع عدم عضویت بازه‌ای و یک تابع مردد بازه‌ای مشخص می‌شوند [۱۸؛ ۲۹]. مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای نسبت به مجموعه‌های فازی و مجموعه‌های فازی شهودی، توصیف دقیق‌تری از اطلاعات فازی را ارائه می‌دهند [۲۵].

### ۲-۱- تعاریف و قواعد عملیاتی مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای

تعریف ۱- [۱۸؛ ۲۹]. فرض کنید مجموعه  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  یک مجموعه مرجع باشد. یک مجموعه فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIFS) در  $X$  به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\tilde{A} = \{ \langle x, \tilde{\mu}_A(x), \tilde{\nu}_A(x) \rangle | x \in X \} \quad (2)$$

جایی که در آن  $\tilde{\nu}_A(x) = [v_A^L(x), v_A^U(x)] \subseteq [0, 1]$  و  $\tilde{\mu}_A(x) = [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)] \subseteq [0, 1]$  به معنای فواصل درجات عضویت و عدم عضویت عنصر  $x \in X$  به  $\tilde{A}$  است، با این شرط که برای تمامی  $x \in X$

$$\mu_A^U(x) + v_A^U(x) \leq 1 \quad (3)$$

برای هر عنصر  $x \in X$  مقدار بازه درجه تردید مرتبط با  $\tilde{A}$  به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\tilde{\pi}_A(x) = [\pi_A^L(x), \pi_A^U(x)] = [1 - \mu_A^U(x) - v_A^U(x), 1 - \mu_A^L(x) - v_A^L(x)] \quad (4)$$

زوج  $\tilde{a} = (\tilde{\mu}_a, \tilde{\nu}_a)$  نیز یک عدد فازی شهودی با مقدار بازه‌ای (IVIFN) نامیده می‌شود.

تعریف ۲- [۱۸؛ ۲۹]. فرض کنید  $\tilde{a} = [\mu_a^L, \mu_a^U], [v_a^L, v_a^U]$  و  $\tilde{b} = [\mu_b^L, \mu_b^U], [v_b^L, v_b^U]$  دو عدد فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای و  $\lambda > 0$  باشد. آنگاه داریم:

$$\tilde{a} + \tilde{b} = ([I - (1 - \mu_a^L)(1 - \mu_b^L), I - (1 - \mu_a^U)(1 - \mu_b^U)], [v_a^L v_b^L, v_a^U v_b^U]); \quad (5)$$

$$\tilde{a} \otimes \tilde{b} = ([\mu_a^L \mu_b^L, \mu_a^U \mu_b^U], [I - (1 - v_a^L)(1 - v_b^L), I - (1 - v_a^U)(1 - v_b^U)]); \quad (6)$$

$$\lambda \tilde{a} = [1 - (1 - \mu_{\tilde{a}}^L)^\lambda, 1 - (1 - \mu_{\tilde{a}}^U)^\lambda], [v_{\tilde{a}}^{L\lambda}, v_{\tilde{a}}^{U\lambda}]; \quad (7)$$

$$\tilde{a}^\lambda = ([\mu_{\tilde{a}}^{L\lambda}, \mu_{\tilde{a}}^{U\lambda}], [1 - (1 - v_{\tilde{a}}^L)^\lambda, 1 - (1 - v_{\tilde{a}}^U)^\lambda]); \quad (8)$$

## ۲-۲- عملگر تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای

در این پژوهش از عملگر تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای ارائه شده به وسیله لیو [۲۵] استفاده شده است. این عملگر در قالب تعاریف زیر بیان می‌شود:  
 تعریف ۳- [۲۵]. فرض کنید  $\tilde{a} = ([a_j, b_j], [c_j, d_j]) (j = 1, 2, \dots, n)$  مجموعه‌ای از اعداد فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIFNs)،  $p, q \geq 0$  و  $IVIFPWWHA: \Omega^n \rightarrow \Omega$  باشند. اگر

$$IVIFPWWHA^{p,q} = (\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) \\ = \left( \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \left( \frac{n\bar{w}_i w_i}{\sum_{k=1}^n \bar{w}_k w_k} \tilde{a}_i \right)^p \otimes_n \left( \frac{n\bar{w}_j w_j}{\sum_{k=1}^n \bar{w}_k w_k} \tilde{a}_j \right)^q \right)^{\frac{1}{p+q}} \quad (9)$$

$$\bar{w}_k = \frac{(1+T(\tilde{a}_j))}{\sum_{k=1}^n (1+T(\tilde{a}_k))} \quad \text{و} \quad \sum_{k=1}^n \bar{w}_k = 1. \quad (10)$$

$$T(\tilde{a}_k) = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n SUP(\tilde{a}_k, \tilde{a}_i) \quad (11)$$

و  $SUP(\tilde{a}_k, \tilde{a}_i)$ ، درجه پشتیبان برای  $\tilde{a}_k$  از  $\tilde{a}_i$  است که ویژگی‌های زیر را دارد:  
 (۱)  $SUP(\tilde{a}_k, \tilde{a}_i) \in [0, 1]$ ؛ (۲)  $SUP(\tilde{a}_i, \tilde{a}_k) = SUP(\tilde{a}_k, \tilde{a}_i)$ ؛ (۳)  $SUP(\tilde{a}, \tilde{b}) \geq SUP(\tilde{a}_k, \tilde{a}_i) = SUP(\tilde{a}_i, \tilde{a}_k)$ ؛ (۴) اگر  $d(\tilde{a}, \tilde{b}) < d(\tilde{x}, \tilde{y})$ ،  $SUP(\tilde{x}, \tilde{y})$  با مقادیر بازه‌ای  $\tilde{a}$  و  $\tilde{b}$  است. به علاوه  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  بردار وزنی مربوط به  $\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n$ ،  $w_j \in [0, 1]$  و  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  است و یک پارامتر تعادل است.  
 تعریف ۴- [۲۵]. فرض کنید  $\tilde{a} = ([a_j, b_j], [c_j, d_j])$  مجموعه‌ای از اعداد فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIFNs) و  $p, q \geq 0$  باشد، آنگاه داریم:



$$\begin{aligned}
 & IVIFPWA^{p,q}(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) \\
 & = \left( \left[ \left( 1 - \left( \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n \left( 1 - \left( 1 - (1 - \tilde{a}_i)^{\frac{n\tilde{\omega}_i w_i}{\sum_{k=1}^n \tilde{\omega}_k w_k} \right)^p \left( 1 - (1 - \tilde{a}_j)^{\frac{n\tilde{\omega}_j w_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{\omega}_k w_k} \right)^q \right) \right)^{\frac{2}{n(n+1)}} \right]^{\frac{1}{p+q}} \right), \right. \\
 & \left. \left( 1 - \left( \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n \left( 1 - \left( 1 - (1 - \tilde{b}_i)^{\frac{n\tilde{\omega}_i w_i}{\sum_{k=1}^n \tilde{\omega}_k w_k} \right)^p \left( 1 - (1 - \tilde{b}_j)^{\frac{n\tilde{\omega}_j w_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{\omega}_k w_k} \right)^q \right) \right)^{\frac{2}{n(n+1)}} \right]^{\frac{1}{p+q}} \right), \right. \\
 & \left. \left( 1 - \left( 1 - \left( \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n \left( 1 - \left( 1 - \tilde{c}_i^{\frac{n\tilde{\omega}_i w_i}{\sum_{k=1}^n \tilde{\omega}_k w_k} \right)^p \left( 1 - \tilde{c}_j^{\frac{n\tilde{\omega}_j w_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{\omega}_k w_k} \right)^q \right) \right)^{\frac{2}{n(n+1)}} \right)^{\frac{1}{p+q}} \right), \right. \\
 & \left. \left( 1 - \left( 1 - \left( \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n \left( 1 - \left( 1 - \tilde{d}_i^{\frac{n\tilde{\omega}_i w_i}{\sum_{k=1}^n \tilde{\omega}_k w_k} \right)^p \left( 1 - \tilde{d}_j^{\frac{n\tilde{\omega}_j w_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{\omega}_k w_k} \right)^q \right) \right)^{\frac{2}{n(n+1)}} \right)^{\frac{1}{p+q}} \right) \right] \right) \\
 & \tag{12}
 \end{aligned}$$

### ۳-۲- تابع دقت<sup>۳</sup>

در محاسبات فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای از مفهوم تابع دقت استفاده می‌شود. در این پژوهش از تابع دقت زیر (معادله ۱۳) استفاده شده است. تعریف ۱۰- ساهین (۲۰۱۶) تابع دقت K را تعریف کرد که در آن  $K(\tilde{a}) \in [0,1]$  است [۳۰]:

$$K(\tilde{a}) = \frac{\mu^L + \mu^U(1 - \mu^L - v^L) + \mu^U + \mu^L(1 - \mu^U - v^U)}{2} \tag{13}$$

۳-۴ معیار فاصله<sup>۴</sup> و همانندی در مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای تعریف ۱۱- [۳۱]. فرض کنید S نگاشتی بدین‌صورت باشد:  $S: (\Phi(X))^2 \rightarrow [0,1]$ . آنگاه درجه همانندی (سیمیلاریتی) بین  $\tilde{A}: \tilde{\Phi}(X)$  و  $\tilde{B}: \tilde{\Phi}(X)$  به‌عنوان  $s(\tilde{A}, \tilde{B})$  تعریف می‌شود که ویژگی‌های زیر را برآورده می‌سازد:

$$1) 0 \leq s(\tilde{A}, \tilde{B}) \leq 1; \tag{14}$$

۳. Accuracy Function

۴. Distance

$$2) s(\tilde{A}, \tilde{B}) = 1 \text{ if and only if } \tilde{A} = \tilde{B}; \quad (15)$$

$$3) s(\tilde{A}, \tilde{B}) = s(\tilde{B}, \tilde{A}); \quad (16)$$

$$4) \text{ if } \tilde{A} \subseteq \tilde{B} \subseteq \tilde{C}, \tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C} \in \Phi(X) \text{ then } s(\tilde{A}, \tilde{C}) \leq s(\tilde{A}, \tilde{B}) \text{ و } s(\tilde{A}, \tilde{C}) \leq s(\tilde{B}, \tilde{C}); \quad (17)$$

تعریف ۱۲- [۳۱]. با توجه به اینکه  $s(\tilde{A}, \tilde{B}) = 1 - d(\tilde{A}, \tilde{B})$  خواهد بود، داریم:

$$s(\tilde{A}, \tilde{B}) = 1 - \left[ \frac{1}{4} \sum_{j=1}^n w_j \left( \begin{array}{l} (|\mu_{\tilde{A}}^L(x_1) - \mu_{\tilde{B}}^L(x_2)|)^2 + \\ (|\mu_{\tilde{A}}^U(x_1) - \mu_{\tilde{B}}^U(x_2)|)^2 + \\ (|v_{\tilde{A}}^L(x_1) - v_{\tilde{B}}^L(x_2)|)^2 + \\ (|v_{\tilde{A}}^U(x_1) - v_{\tilde{B}}^U(x_2)|)^2 \end{array} \right) \right]^{1/2} \quad (18)$$

فرض کنید  $\tilde{a}_1 = ([a_1, b_1], [c_1, d_1])$  و  $\tilde{a}_2 = ([a_2, b_2], [c_2, d_2])$  دو عنصر فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای باشند، آنگاه بر اساس تعریف بالا در مورد همانندی داریم:

$$s_1(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = 1 - \sqrt{\frac{1}{4}((a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2 + (d_1 - d_2)^2)} \quad (19)$$

همچنین لیو (۲۰۱۷) از طریق بسط تعریف ارائه‌شده توسط انگوین (۲۰۱۵) به اعداد فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای تعریف زیر را ارائه داده است [۲۲، ۲۵].  
تعریف ۱۳- [۲۵]. فرض کنید  $\tilde{a}_1 = ([a_1, b_1], [c_1, d_1])$  و  $\tilde{a}_2 = ([a_2, b_2], [c_2, d_2])$  دو عدد فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای باشند، آنگاه جهت محاسبه همانندی بین این دو عدد داریم:

$$s_2(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = 1 - |K_F(\tilde{a}_1) - K_F(\tilde{a}_2)| \quad (20)$$

جایی که در آن  $K_F(\tilde{a}_1)$  و  $K_F(\tilde{a}_2)$ ، به ترتیب معیارهای دانش  $\tilde{a}_1$  و  $\tilde{a}_2$  هستند.

$$K_F(\tilde{a}_1) = \sqrt{\frac{(a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 + d_1^2 + (a_1 + c_1)^2 + (b_1 + d_1)^2)}{4}} \quad (21)$$

$$K_F(\tilde{a}_2) = \sqrt{\frac{(a_2^2 + b_2^2 + c_2^2 + d_2^2 + (a_2 + c_2)^2 + (b_2 + d_2)^2)}{4}} \quad (22)$$

توابع  $s_1$  و  $s_2$  با چندین عدد فازی محاسبه شده است در نتایج جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ محاسبه همانندی (سیمیلاریتی) مربوط به روش‌های مختلف

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵
	$\tilde{a}_1 = ([0, 1], [0, 0])$ $\tilde{a}_2 = ([0, 0], [0, 1])$	$\tilde{a}_1 = ([0/3, 0/3], [0/4, 0/4])$ $\tilde{a}_2 = ([0/4, 0/4], [0/3, 0/3])$	$\tilde{a}_1 = ([0, 0/5], [0, 0/5])$ $\tilde{a}_2 = ([0, 0/5], [0, 0/5])$	$\tilde{a}_2 = ([0, 0/5], [0, 0/5])$ $\tilde{a}_3 = ([0/5, 0/5], [0, 0/5])$	$\tilde{a}_1 = ([0, 0/5], [0, 0/5])$ $\tilde{a}_3 = ([0/5, 0/5], [0, 0/5])$
$s_1$	۰/۲۹۲۸۹۳	۰/۹	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۶۴۶۴۴۷
$s_2$	۱	۱	۰/۷۴۱۱۸۱	۰/۸۵۳۵۵۳	۰/۸۸۷۶۲۸

همان‌طور که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد،  $s_2$  در ستون‌های اول و دوم برابر با یک شده است و این در حالی است که در این دو مورد  $\tilde{a}_1$  برابر با  $\tilde{a}_2$  نیست. همچنین در ستون‌های سوم تا پنجم جدول ۱،  $\tilde{a}_1 \subseteq \tilde{a}_2 \subseteq \tilde{a}_3$  است. طبق شرط مورد اشاره در معادله (۱۸)، باید داشته باشیم  $s(\tilde{a}_1, \tilde{a}_3) \leq s(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2)$  و  $s(\tilde{a}_1, \tilde{a}_3) \leq s(\tilde{a}_2, \tilde{a}_3)$  در  $s_2$  همان‌طور که دیده می‌شود:

$$s_2(\tilde{a}_1, \tilde{a}_3) = 0/887628 \geq s_2(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = 0/741181 \text{ و } s_2(\tilde{a}_1, \tilde{a}_3) = 0/887628 \geq s_2(\tilde{a}_2, \tilde{a}_3) = 0/853553$$

بنابراین  $s_2$ ، شرط مورد اشاره در معادله (۱۶) و معادله (۱۸) را برآورده نمی‌کند و جهت محاسبه همانندی، با اشکال مواجه است.

در این پژوهش با جایگزینی معادله (۲۰) به جای معادله‌های (۲۱)، (۲۲) و (۲۳) عملگر تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای اصلاح گردیده و استفاده شده است.

### ۳- روش مقایسه محدوده تقریبی مرزی چندنگ‌رشته (MABAC<sup>۵</sup>)

لیو و دیگران (۲۰۱۷) از روش MABAC در محیط فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای برای انتخاب گزینه‌ها استفاده کرده‌اند [۹]. در پژوهشی پاموکار و سیرویک (۲۰۱۵) آنالیز حساسیت روش MABAC در سه فاز را صورت داده اند [۲۶]. نتایج نشان داده است که که SAW، COPRAS، MOORA، VIKOR و TOPSIS حداقل در یکی از مجموعه شرایط، سازگاری لازم را ندارند، درحالی‌که روش MABAC در تمامی موارد دارای سازگاری است و بنابراین روش مناسبی جهت اولویت بندی تجهیزات است. در این پژوهش جهت رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی، از روش MABAC در محیط فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای استفاده شده است.

### ۴- روش وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW)

مفروضات مورداستفاده جهت مدل‌سازی این روش برای برنامه‌ریزی مناسب نگهداری و تعمیرات و به‌صورت زیر است:

۱- اطلاعات مربوط به وزن‌های ثابت شاخص‌های O، S و D (گام اول این روش) برای حالتی جمع‌آوری می‌شود که تجهیز فرضی از نظر هر سه معیار در پایین‌ترین حد قرار داشته باشند؛ یعنی احتمال وقوع خرابی نزدیک به صفر، پیامد خرابی نزدیک به صفر و عدم قدرت تشخیص خرابی نیز نزدیک به صفر باشد.

۲- فرض بر این است که تأثیر وزن‌های O، S و D بر اساس وضعیت هر تجهیز در دو شاخص O و S متفاوت است. مدل‌سازی بر اساس این فرض ایجاد وزن‌های اولیه پویا بر اساس وضعیت هر تجهیز/حالت شکست در شاخص‌های O، S و D را ممکن می‌سازد.

۳- با توجه به اینکه با افزایش پیامد خرابی یا احتمال وقوع خرابی تجهیز، وزن عدم قدرت تشخیص خرابی کاهش می‌یابد، به منظور کنترل کاهش بیش‌ازحد این شاخص، از

---

۵. Multi-Attributive Border Approximation area Comparison

متغیر حداقل مقدار مجاز وزن شاخص عدم قدرت تشخیص خرابی ( $MAW_D$ ) استفاده شده است. در مورد این شاخص همواره رابطه زیر برقرار است.

$$MAW_D \leq W_{D_i}(F) \leq W_D \quad (23)$$

۴- در این مدل فرض می‌شود که وزن دو شاخص  $S$ ،  $O$ ، از مقدار وزن ثابت محاسبه شده ( $W_S$  و  $W_O$ ) پایین تر نیاید. بعد از محاسبه وزن‌های پویای اولیه سه شاخص  $S$ ،  $O$  و  $D$  الگوریتمی تعریف شده است که وزن‌های پویای نهایی مبتنی بر وضعیت را محاسبه کرده و اجازه کاهش این دو شاخص از مقدار وزن ثابت محاسبه شده را نمی‌دهد. بنابراین داریم:

$$W_{O_i}(F) \geq W_O \quad (24)$$

$$W_{S_i}(F) \geq W_S \quad (25)$$

روش وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW) برای اولین بار ارائه گردیده است. الگوریتم این روش، در بخش ۵ تشریح گردیده است.

## ۵- مدل اولویت‌بندی پویای تجهیزات و حالات شکست بحرانی

در این بخش با ادغام روش وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW)، عملگر تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای و روش MABAC، مدل اولویت‌بندی پویای تجهیزات، در قالب سه مرحله ارائه گردیده است. شکل ۲ چارچوب اجرایی این مدل را نشان می‌دهد. این مدل در اولویت‌بندی تجهیزات یک بارچ جرثقیل HL5000 پیاده‌سازی شده است. ۳۲ تجهیز دوار و ثابت شناسایی شده‌اند و بر اساس مدل پیشنهادی، اولویت‌بندی لازم صورت پذیرفت. کلیه مراحل و گام‌ها در نرم‌افزار متلب کد نویسی شده، و با انجام تحلیل‌های لازم، تجهیزات به‌طور پویا اولویت‌بندی شده‌اند.

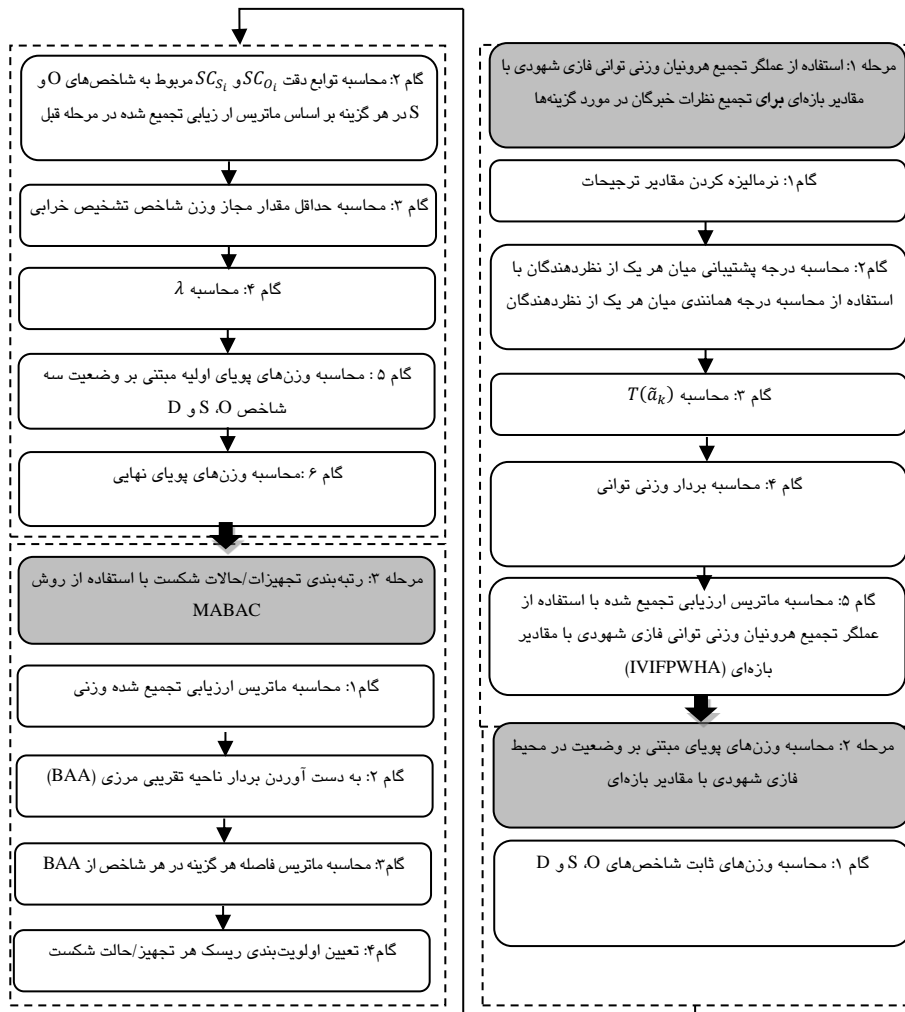
مرحله ۱: استفاده از عملگر تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای برای تجمیع نظرات در مورد گزینه‌ها

### گام ۱: نرمالیزه کردن مقادیر ترجیحات

برای نرمالیزه کردن مقادیر ترجیحات، چنانچه مقادیر از نوع منفعت باشند بدون تغییر باقی می‌مانند و چنانچه از نوع هزینه باشند به‌صورت زیر به نوع منفعت تبدیل می‌شوند:

تعریف ۱۴- فرض کنید  $\tilde{r}_{ij}^k = ([a_{ij}^k, b_{ij}^k], [c_{ij}^k, d_{ij}^k])$  و  $i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, t$  مقادیر مربوط به  $z$  امین نگرش  $C_j$  از نوع هزینه باشد. این مقدار می‌تواند با استفاده از فرمول زیر به منفعت تبدیل شود. (مقدار ترجیح تبدیل‌شده، هنوز به وسیله  $\tilde{r}_{ij}^k$  بیان می‌گردد):

$$\tilde{r}_{ij}^k = ([c_{ij}^k, d_{ij}^k], [a_{ij}^k, b_{ij}^k]) \quad (26)$$



شکل ۱ چارچوب اجرایی مدل اولویت‌بندی پویای تجهیزات و حالات شکست بحرانی

نظرات خبرگان پیرامون تجهیزات یک بارج جرثقیل HL5000 اخذ گردیده و در نشان داده شده اند.<sup>۶</sup> برای تسهیل در ارائه اطلاعات، از واژه های زبانی (جدول ۲) استفاده شده است.

جدول ۳ واژه های زبانی و اعداد فازی شهودی با مقادیر بازه ای مرتبط با آن ها [۹]

واژه های زبانی	اعداد فازی شهودی با مقادیر بازه ای	واژه های زبانی	اعداد فازی شهودی با مقادیر بازه ای
مطلقاً بالا	[۰/۹۹, ۰/۹۹], [۰/۰۱, ۰/۰۱]	متوسط	[۰/۵۰, ۰/۵۰], [۰/۵۰, ۰/۵۰]
به شدت بالا	[۰/۹۰, ۰/۹۰], [۰/۱۰, ۰/۱۰]	متوسط به پایین	[۰/۳۵, ۰/۴۵], [۰/۴۰, ۰/۵۵]
خیلی بالا	[۰/۷۵, ۰/۸۵], [۰/۰۵, ۰/۱۵]	پایین	[۰/۲۵, ۰/۳۵], [۰/۵۰, ۰/۶۰]
بالا	[۰/۶, ۰/۷۵], [۰/۱, ۰/۲]	خیلی پایین	[۰/۱۵, ۰/۲۰], [۰/۶, ۰/۷۵]
متوسط به بالا	[۰/۴۵, ۰/۶۰], [۰/۱۵, ۰/۲۵]	به شدت پایین	[۰/۱۰, ۰/۱۰], [۰/۹۰, ۰/۹۰]

جدول ۳ نظرات خبرگان

نظر دهنده	نام تجهیز	احتمال وقوع خرابی (O)	پیامد خرابی (S)	عدم قدرت تشخیص خرابی (D)
تیم شماره ۱	ژنراتور اصلی شماره یک	۰/۲۵ ۰/۳۵ ۰/۵ ۰/۶	۰/۹ ۰/۹ ۰/۱ ۰/۱	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵
	ژنراتور کمکی	۰/۳۵ ۰/۴۵ ۰/۴ ۰/۵۵	۰/۵ ۰/۵ ۰/۵ ۰/۵	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵
	جرثقیل اصلی	۰/۲۵ ۰/۳۵ ۰/۵ ۰/۶	۰/۹ ۰/۹ ۰/۱ ۰/۱	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵
تیم شماره ۲	ژنراتور اصلی شماره یک	۰/۵ ۰/۵ ۰/۵ ۰/۵	۰/۹ ۰/۹ ۰/۱ ۰/۱	۰/۲۵ ۰/۳۵ ۰/۵ ۰/۶
	ژنراتور کمکی	۰/۴۵ ۰/۶ ۰/۱۵ ۰/۲۵	۰/۵ ۰/۵ ۰/۵ ۰/۵	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵
	جرثقیل اصلی	۰/۵ ۰/۵ ۰/۵ ۰/۵	۰/۹ ۰/۹ ۰/۱ ۰/۱	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵
تیم شماره ۳	ژنراتور اصلی شماره یک	۰/۳۵ ۰/۴۵ ۰/۴ ۰/۵۵	۰/۹ ۰/۹ ۰/۱ ۰/۱	۰/۳۵ ۰/۴۵ ۰/۴ ۰/۵۵
	ژنراتور کمکی	۰/۳۵ ۰/۴۵ ۰/۴ ۰/۵۵	۰/۵ ۰/۵ ۰/۵ ۰/۵	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵
	جرثقیل اصلی	۰/۳۵ ۰/۴۵ ۰/۴ ۰/۵۵	۰/۹ ۰/۹ ۰/۱ ۰/۱	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵
تیم شماره ۴	ژنراتور اصلی شماره یک	۰/۲۵ ۰/۳۵ ۰/۵ ۰/۶	۰/۹ ۰/۹ ۰/۱ ۰/۱	۰/۲۵ ۰/۳۵ ۰/۵ ۰/۶
	ژنراتور کمکی	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵	۰/۵ ۰/۵ ۰/۵ ۰/۵	۰/۱۵ ۰/۲ ۰/۶ ۰/۷۵
	جرثقیل اصلی	۰/۲۵ ۰/۳۵ ۰/۵ ۰/۶	۰/۹ ۰/۹ ۰/۱ ۰/۱	۰/۲۵ ۰/۳۵ ۰/۵ ۰/۶

۶. به منظور خلاصه نمودن اطلاعات با توجه به حجم جداول، از ۳۲ تجهیز تحلیل شده، فقط اطلاعات مربوط به سه تجهیز در جداول نشان داده شده اند.

۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۹	۰/۹	۰/۶	۰/۵	۰/۳۵	۰/۲۵	ژنراتور اصلی شماره یک	تیم شماره ۵
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۳۵	۰/۲۵	ژنراتور کمکی	
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۹	۰/۹	۰/۶	۰/۵	۰/۳۵	۰/۲۵	جرتقیل اصلی	

با توجه به سه شاخص O، S و D، نیازی به نرمالیزه کردن ماتریس نظرات نیست.

### گام ۲: محاسبه درجه پشتیبان

در این گام درجه پشتیبان بین  $\tilde{r}_{ij}^k, \tilde{r}_{ij}^l$  همانندی  $\tilde{r}_{ij}^k, \tilde{r}_{ij}^l$  در نظر گرفته شده و بر اساس تعریف همانندی (معادله (۲۰))، به صورت زیر محاسبه می‌شود. نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

$$SUP(\tilde{r}_{ij}^k, \tilde{r}_{ij}^l) = 1 - \sqrt{\frac{1}{4}((a_{ij}^k - a_{ij}^l)^2 + (b_{ij}^k - b_{ij}^l)^2 + (c_{ij}^k - c_{ij}^l)^2 + (d_{ij}^k - d_{ij}^l)^2)} \quad (27)$$

جدول ۴ محاسبه درجات پشتیبان

S2S3			S1S5			S1S4			S1S3			S1S2			نام تجهیز
D	S	O	D	S	O	D	S	O	D	S	O	D	S	O	
۰/۹۶۸	۰/۸۴۲	۰/۹۶۶	۰/۹۰۶	۱	۱	۰/۹۵۵	۱	۱	۰/۹۲۴	۱	۰/۹۶۸	۰/۹۵۵	۱	۰/۹۴۶	ژنراتور اصلی شماره یک
۰/۹۲۱	۰/۹۶۶	۰/۹۲۴	۰/۹۰۶	۱	۰/۹۶۸	۱	۱	۰/۹۲۴	۰/۹۰۶	۱	۱	۰/۸۵۲	۱	۰/۹۲۴	ژنراتور کمکی
۰/۹۲۱	۰/۸۴۲	۰/۹۶۶	۰/۹۰۶	۱	۱	۰/۹۵۵	۱	۱	۰/۸۵۲	۱	۰/۹۶۸	۰/۹۰۶	۱	۰/۹۴۶	جرتقیل اصلی
S4S5			S3S5			S3S4			S2S5			S2S4			نام تجهیز
D	S	O	D	S	O	D	S	O	D	S	O	D	S	O	
۰/۹۴۶	۱	۱	۰/۹۶۶	۰/۸۱۲	۰/۹۶۸	۰/۹۶۸	۰/۸۱۲	۰/۹۶۸	۰/۹۴۶	۰/۸۱۲	۰/۹۴۶	۱	۰/۸۱۲	۰/۹۴۶	ژنراتور اصلی شماره یک
۰/۹۰۶	۱	۰/۹۵۵	۱	۰/۹۴۶	۰/۹۶۸	۰/۹۰۶	۰/۹۰۶	۰/۹۲۴	۰/۹۲۱	۰/۹۴۶	۰/۸۹۶	۰/۸۵۲	۰/۹۰۶	۰/۸۵۲	ژنراتور کمکی





جدول ۷ ماتریس ارزیابی تجمیع شده

نام تجهیز	D			S			O					
ژنراتور اصلی شماره یک	۰/۵۸۸	۰/۴۹۳	۰/۳۸۹	۰/۳۳۲	۰/۱۰۳	۰/۱۰۳	۰/۸۹۷	۰/۸۹۷	۰/۵۶۹	۰/۴۷۹	۰/۴۰۵	۰/۳۳۹
ژنراتور کمکی	۰/۴۹۵	۰/۴۲۱	۰/۴۴۳	۰/۳۹۷	۰/۵۰۱	۰/۵۰۱	۰/۴۹۹	۰/۴۹۹	۰/۴۹۶	۰/۳۷۳	۰/۴۳۸	۰/۳۳۱
جرثقیل اصلی	۰/۴۸۳	۰/۴۱۱	۰/۴۵۵	۰/۴۰۱	۰/۱۰۳	۰/۱۰۳	۰/۸۹۷	۰/۸۹۷	۰/۵۶۹	۰/۴۷۹	۰/۴۰۵	۰/۳۳۹

مرحله ۲: محاسبه وزن‌های پویای مبتنی بر وضعیت در محیط فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (روش وزن دهی پویای مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای)

گام ۱- محاسبه وزن‌های ثابت شاخص‌های  $D$  و  $S$ ،  $O$  و  $(W_D, W_S, W_O)$

در این گام بر اساس روش‌های مختلف وزن دهی موجود در مبانی نظری وزن‌های ثابت شاخص‌های  $D$  و  $S$ ،  $O$  محاسبه می‌شود. در این پژوهش وزن‌های ثابت شاخص‌های  $D$  و  $S$ ،  $O$  با استفاده از روش روابط ترجیحی فازی مردد<sup>۷</sup> بهبودیافته محاسبه شده است و مقادیر  $W_D$  و  $W_S$ ،  $W_O$  به ترتیب 0/33، 0/424 و 0/246 محاسبه گردیده است.

گام ۲: محاسبه توابع دقت  $SC_{S_i}$  و  $SC_{O_i}$  مربوط به شاخص احتمال وقوع خرابی و پیامد خرابی جهت هر تجهیز/حالت شکست در این گام از معادله (۱۴) استفاده و نتایج در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸ توابع دقت  $SC_{S_i}$  و  $SC_{O_i}$  مربوط به شاخص احتمال وقوع خرابی و پیامد خرابی

$K(\bar{a})$		نام تجهیز
S	O	

۰/۸۹۷	۰/۴۱۴	ژنراتور اصلی شماره یک
۰/۴۹۹	۰/۴۶	ژنراتور کمکی
۰/۸۹۷	۰/۴۱۴	جرتقیل اصلی

**گام ۳: محاسبه حداقل مقدار مجاز وزن شاخص عدم قدرت تشخیص خرابی**  
 تعریف ۱۵- حداقل مقدار مجاز وزن شاخص عدم قدرت تشخیص خرابی ( $MAW_D$ )  
 مقداری است که وزن شاخص عدم قدرت تشخیص خرابی از آن کمتر نمی‌شود. این شاخص بنا به ترجیح تصمیم‌گیرنده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MAW_D = \beta * (W_S + W_O)/2 \quad (27)$$

جایی که در آن  $\beta = [0,1]$  ضریب ترجیح تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته می‌شود.  
 $W_O$  و  $W_S$  نیز به ترتیب وزن ثابت پیامد خرابی و احتمال وقوع خرابی محاسبه شده در گام یک هستند.

در این پژوهش مقدار  $\beta$  برابر با ۰,۲۵ است. با استفاده از معادله (۲۹) داریم:

$$MAW_D = 0/25 * (0/424 + 0/33)/2 = 0/0942$$

#### گام ۴: محاسبه ثابت وزن دهی پویا ( $\lambda$ )

تعریف ۱۶- ثابت وزن دهی پویا ( $\lambda$ )، با استفاده از حل معادله خطی زیر محاسبه می‌شود.

$$W_D(MAW_D - 1) + (MAW_D * W_S * \lambda) + (MAW_D * W_O * \lambda) = 0 \quad (28)$$

جایی که  $W_D, W_O, W_S$  به ترتیب وزن ثابت پیامد خرابی و وزن ثابت احتمال وقوع خرابی و وزن ثابت عدم قدرت تشخیص خرابی محاسبه شده در مرحله یک هستند و  $MAW_D$  حداقل مقدار مجاز وزن شاخص عدم قدرت تشخیص خرابی است.

توجه: اگر در فرمول بالا بعد از محاسبه،  $\lambda \leq 1$  باشد، آنگاه  $\lambda = 1$  در نظر گرفته می‌شود.

با استفاده از معادله (۳۰) و قراردادن مقادیر  $W_D$ ،  $W_S$ ،  $W_O$  و  $MAW_D$  که در گام‌های قبلی محاسبه شده‌اند، داریم:

$$\begin{aligned} W_D(MAW_D - 1) + (MAW_D * W_S * \lambda) + (MAW_D * W_O * \lambda) &= 0 \\ 0/246(0/0942 - 1) + (0/0942 * 0/424 * \lambda) + (0/0942 * 0/33 * \lambda) &= 0 \Rightarrow \lambda \\ &= 3/135 \end{aligned}$$

**گام ۵:** محاسبه وزن‌های پویای اولیه مبتنی بر وضعیت سه شاخص S، O و D  
تعریف ۱۷- وزن‌های پویای اولیه مبتنی بر وضعیت سه شاخص S، O و D  
به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$W_{O_i}(P) = (W_O * (\lambda^{SC_{O_i}}) / ((W_O * (\lambda^{SC_{O_i}}) + (W_S * (\lambda^{SC_{S_i}}) + W_D)))) \quad (29)$$

$$W_{S_i}(P) = (W_S * (\lambda^{SC_{S_i}}) / ((W_O * (\lambda^{SC_{O_i}}) + (W_S * (\lambda^{SC_{S_i}}) + W_D)))) \quad (30)$$

$$W_{D_i}(P) = 1 - W_{O_i}(P) - W_{S_i}(P) \quad (31)$$

جایی که در آن  $W_{O_i}(P)$ : وزن اولیه محاسبه شده جهت شاخص احتمال وقوع خرابی گزینه  $i$ ،  $W_{S_i}(P)$ : وزن اولیه محاسبه شده جهت شاخص پیامد خرابی گزینه  $i$ ،  $W_{D_i}(P)$ : وزن اولیه محاسبه شده جهت شاخص عدم قدرت تشخیص خرابی گزینه  $i$ ،  $\lambda$  ثابت وزن دهی پویا،  $SC_{O_i}$  و  $SC_{S_i}$  به ترتیب توابع دقت مربوط به شاخص احتمال وقوع خرابی و پیامد خرابی جهت هر تجهیز/حالت شکست و  $W_S$ ،  $W_O$  و  $W_D$  به ترتیب وزن ثابت پیامد خرابی و وزن ثابت احتمال وقوع خرابی و وزن ثابت عدم قدرت تشخیص خرابی هستند.

با استفاده از معادله‌های (۳۱)، (۳۲) و (۳۳) وزن‌های پویای اولیه سه شاخص S، O و D محاسبه و نتایج در جدول ۹ آورده شده است.

**گام ۶:** محاسبه وزن‌های پویای نهایی مبتنی بر وضعیت سه شاخص S، O و D

وزن‌های پویای نهایی مبتنی بر وضعیت هر تجهیز/حالت شکست به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} W_{S_i}(F) = W_{O_i}(F) = W_{O_i}(P) \text{ آنگاه } W_{S_i}(P) \geq W_S \text{ و } W_{O_i}(P) \geq W_O \\ W_{D_i}(F) = W_{D_i}(P) \text{ و } W_{O_i}(P) \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} W_{O_i}(F) = W_{O_i}(P) - (W_S - W_{S_i}(P)) \text{ آنگاه } W_{S_i}(P) < W_S \text{ و } W_{O_i}(P) > W_O \\ W_{D_i}(F) = W_{D_i}(P) \text{ و } W_{S_i}(F) = W_S \text{ و } W_{S_i}(P) \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} W_{S_i}(F) = W_{S_i}(P) - (W_O - W_{O_i}(P)) \text{ آنگاه } W_{S_i}(P) > W_S \text{ و } W_{O_i}(P) < W_O \\ W_{D_i}(F) = W_{D_i}(P) \text{ و } W_{O_i}(F) = W_O \text{ و } (W_O - W_{O_i}(P)) \end{aligned} \quad (34)$$

نتایج محاسبه وزن‌های پویای نهایی مبتنی بر وضعیت در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۹ وزن‌های پویای اولیه سه شاخص S, O و D

D	S	O	نام تجهیز
۰/۱۲۶	۰/۶۰۴	۰/۲۷۱	ژنراتور اصلی شماره یک
۰/۱۵۸	۰/۴۸۳	۰/۳۹۵	ژنراتور کمکی
۰/۱۲۶	۰/۶۰۴	۰/۲۷۱	جرتقیل اصلی

جدول ۱۰ وزن‌های پویای نهایی سه شاخص S, O و D

D	S	O	نام تجهیز
۰/۱۲۶	۰/۵۴۴	۰/۳۳۰	ژنراتور اصلی شماره یک
۰/۱۵۸	۰/۴۸۳	۰/۳۹۵	ژنراتور کمکی
۰/۱۲۶	۰/۵۴۴	۰/۳۳۰	جرتقیل اصلی

مرحله ۳: رتبه‌بندی تجهیزات/حالات شکست با استفاده از روش MABAC

گام ۱: محاسبه ماتریس ارزیابی تجمیع شده وزنی

برای محاسبه ماتریس ارزیابی تجمیع شده وزنی از معادله (۸) استفاده می‌کنیم. بنابراین به ترتیب برای تجمیع وزنی داده‌های مربوط به شاخص‌های O، S و D داریم:

$$W_{O_i}(F) * \tilde{a} = \left[ 1 - (1 - \mu_{\tilde{a}_{ij}}^L)^{W_{O_i}(F)}, 1 - (1 - \mu_{\tilde{a}_{ij}}^U)^{W_{O_i}(F)} \right], \left[ (v_{\tilde{a}_{ij}}^L)^{W_{O_i}(F)}, (v_{\tilde{a}_{ij}}^U)^{W_{O_i}(F)} \right] \quad (35)$$

$$W_{S_i}(F) * \tilde{a} = \left[ 1 - (1 - \mu_{\tilde{a}_{ij}}^L)^{W_{S_i}(F)}, 1 - (1 - \mu_{\tilde{a}_{ij}}^U)^{W_{S_i}(F)} \right], \left[ (v_{\tilde{a}_{ij}}^L)^{W_{S_i}(F)}, (v_{\tilde{a}_{ij}}^U)^{W_{S_i}(F)} \right] \quad (36)$$

$$W_{D_i}(F) * \tilde{a} = \left[ 1 - (1 - \mu_{\tilde{a}_{ij}}^L)^{W_{D_i}(F)}, 1 - (1 - \mu_{\tilde{a}_{ij}}^U)^{W_{D_i}(F)} \right], \left[ (v_{\tilde{a}_{ij}}^L)^{W_{D_i}(F)}, (v_{\tilde{a}_{ij}}^U)^{W_{D_i}(F)} \right] \quad (37)$$

نتایج به‌کارگیری معادله‌های (۳۷)، (۳۸) و (۳۹) در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱ ماتریس ارزیابی تجمیع شده وزنی

نام تجهیز	D			S			O					
	ژنراتور اصلی شماره یک	۰/۹۳۵	۰/۹۱۵	۰/۰۶	۰/۰۴۹	۰/۲۹۱	۰/۲۹۱	۰/۷۰۹	۰/۷۰۹	۰/۸۳	۰/۷۸۴	۰/۱۵۸
ژنراتور کمکی	۰/۸۹۵	۰/۸۷۲	۰/۰۸۹	۰/۰۷۷	۰/۷۱۶	۰/۷۱۶	۰/۲۸۴	۰/۲۸۴	۰/۷۷۸	۰/۷۰۲	۰/۱۸۷	۰/۱۳۴
جرتفیل اصلی	۰/۹۱۲	۰/۸۹۴	۰/۰۷۴	۰/۰۶۲	۰/۲۹۱	۰/۲۹۱	۰/۷۰۹	۰/۷۰۹	۰/۸۳	۰/۷۸۴	۰/۱۵۸	۰/۱۲۸

### گام ۲: به دست آوردن بردار ناحیه تقریبی مرزی (BAA)

جهت تعیین بردار محدوده تقریبی مرزی (BAA) از عملگر هندسی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (معادله (۴۰)) استفاده می‌شود.

تعریف ۱۸- [۳۳]. فرض کنید  $A = ([\mu_{A_j}^L, \mu_{A_j}^U], [v_{A_j}^L, v_{A_j}^U])$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) مجموعه‌ای از اعداد فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIFNs) و  $IVIG: \Omega^n \rightarrow \Omega$  باشند  
آنگاه:

$$IVIG(A_1, A_2, \dots, A_m) = \left\langle \left[ \prod_{j=1}^m (\mu_{A_j}^L)^{1/m}, \prod_{j=1}^m (\mu_{A_j}^U)^{1/m} \right], \left[ 1 - \prod_{j=1}^m (1 - v_{A_j}^L)^{1/m}, 1 - \prod_{j=1}^m (1 - v_{A_j}^U)^{1/m} \right] \right\rangle \quad (38)$$

بنابراین اگر بردار محدوده تقریبی مرزی،  $\bar{G}$  در نظر گرفته شود، داریم:

$$\bar{G} = [g_1, g_2, \dots, g_n] \quad (39)$$

نتایج محاسبه بردار محدوده تقریبی مرزی در جدول ۱۲ آورده شده است.

جدول ۱۲ بردار ناحیه تقریبی مرزی (BAA)

D				S				O				
۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۰۷	۰/۰۵۳	۰/۶۱۴	۰/۵۴	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۱۷۹	۰/۱۴۱	BBA

### گام ۳: محاسبه ماتریس فاصله هر گزینه در هر شاخص از BAA

در اینجا با استفاده از عملگر فاصله اقلیدسی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای، فاصله ماتریس تجمعی و بردار محدوده تقریبی مرزی ماتریس  $D = ([d_{ij}])_{n \times m}$  ساخته می‌شود. جایی که:

$$d_{ij} = \begin{cases} d(\tilde{r}_{ij}, \tilde{g}_j) & \text{if } \tilde{r}_{ij} \geq \tilde{g}_j \\ -d(\tilde{r}_{ij}, \tilde{g}_j) & \text{if } \tilde{r}_{ij} < \tilde{g}_j \end{cases} \quad (40)$$

$$d(\tilde{r}_{ij}, \tilde{g}_j) = \sqrt{\frac{1}{4}((a_{ij} - \bar{a}_j)^2 + (b_{ij} - \bar{b}_j)^2 + (c_{ij} - \bar{c}_j)^2 + (d_{ij} - \bar{d}_j)^2)} \quad (41)$$

که در آن  $\tilde{r}_{ij} = ([a_{ij}, b_{ij}], [c_{ij}, d_{ij}])$  و  $\tilde{g}_j = ([\bar{a}_j, \bar{b}_j], [\bar{c}_j, \bar{d}_j])$  و  $(i = 1, 2, \dots, n)$ ،  $(j = 1, 2, \dots, m)$  است.

برای تعیین اینکه  $\tilde{r}_{ij}$  بزرگ‌تر یا مساوی و یا کوچک‌تر از  $\tilde{g}_j$  است، از تابع دقت استفاده می‌شود. از معادله (۱۴) جهت محاسبه تابع دقت استفاده می‌شود. با استفاده از معادله‌های (۴۲) و (۴۳) فاصله ماتریس تجمعی و بردار محدوده تقریبی مرزی (BAA) محاسبه گردیده و نتایج در جدول ۱۴ آورده شده است. در معادله (۴۲)، برای مقایسه مقادیر  $\tilde{r}_{ij}$  و  $\tilde{g}_j$  از تابع دقت استفاده می‌شود. جهت محاسبه تابع دقت از معادله (۱۴) استفاده می‌شود. نتایج در جدول ۱۳ و جدول ۱۵ آورده شده است.

جدول ۱۳ تابع دقت مربوط به ماتریس ارزیابی تجمعی شده وزنی

D	S	O	نام تجهیز
۰/۰۶	۰/۷۰۹	۰/۱۵	ژنراتور اصلی شماره یک
۰/۰۹	۰/۲۸۴	۰/۱۷۸	ژنراتور کمکی
۰/۰۷	۰/۷۰۹	۰/۱۵	جرثقیل اصلی

جدول ۱۴ ماتریس فاصله هر گزینه در هر شاخص از BAA

D	S	O	نام تجهیز
--/۰۱	۰/۳۴۳	--/۰۳	ژنراتور اصلی شماره یک
۰/۰۲	--/۱۱	۰/۰۱۹	ژنراتور کمکی
۰/۰۱	۰/۳۴۳	--/۰۳	جرثقیل اصلی



جدول ۱۵ تابع دقت مربوط به بردار ناحیه تقریبی مرزی (BAA)

D	S	O	بردار G
۰/۰۶	۰/۳۵۵	۰/۱۷۳	G

گام ۴: تعیین اولویت‌بندی ریسک هر تجهیز/حالت شکست

جهت رتبه‌بندی تجهیزات/حالات شکست از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$RPV_i = \sum_{i=1}^n d_{ij} \quad (42)$$

نتایج رتبه‌بندی نهایی تجهیزات در جدول ۱۶ نشان داده شده‌اند. هشت اولویت اول در این جدول، به‌عنوان تجهیزات بحرانی انتخاب گردیده‌اند.

جدول ۱۶ رتبه‌بندی نهایی تجهیزات

رتبه‌بندی	امتیاز	نام تجهیز	رتبه‌بندی	امتیاز	نام تجهیز
۱۰	۰/۰۰۲	تاگر وینچ های هیدرولیک و پنوماتیک (هفت مورد)	۱	۰/۳۶۷	مورینگ وینچ های یک الی چهار
۱۱	۰/۰۳۴	کمپرسورهای هوای شماره یک و دو	۲	۰/۳۶۴	کمپرسور هوای سولار و دوسان
۱۲	۰/۰۶۴	ژنراتور کمکی	۳	۰/۳۴۸	جرثقیل متحرک
۱۳	۰/۱۲۶	لنگر سینه (FWD)	۴	۰/۳۱۷	جرثقیل اصلی
۱۴	۰/۱۴	تصفیه‌کننده سوخت	۵	۰/۳۰۲	سیستم پاورپک بوم
۱۵	۰/۲۲۹	پمپ بالاست شماره ۱ و ۲	۶	۰/۲۹۶	ژنراتورهای اصلی شماره یک و دو
۱۶	۰/۲۶۶	بیلج پمپ شماره ۱ و ۲	۷	۰/۲۸۱	سازه جرثقیل

۱۷	۰۰/۲۶۸	لنگر و متعلقات	۸	۰/۱۴۹	سطح زیر شناور
۱۸	۰۰/۳۱۲	عرشه	۹	۰/۰۵۴	دیزل ژنراتور اضطراری

## ۶- بحث و بررسی

در این بخش برای بررسی قابلیت اطمینان مدل ارائه‌شده در رتبه‌بندی ریسک و منطقی بودن آن، نتایج اولویت‌بندی روش پیشنهادی، با روش FMEA مرسوم، روش تاپسیس فازی، روش لیو [۲۵] و روش اصلاح‌شده لیو، مقایسه شده و نتایج در جدول ۱۹ نشان داده شده است. لازم به ذکر است در روش اصلاح‌شده لیو، از معادله (۲۰) به جای معادله‌های (۲۱)، (۲۲) و (۲۳) برای محاسبه همانندی استفاده شده است. در اولویت‌بندی بر اساس روش FMEA مرسوم از مقیاس ده‌تایی با اعداد قطعی ۱ الی ۱۰ (جدول ۱۷) استفاده شده است. همچنین در روش تاپسیس فازی، اطلاعات با استفاده از متغیرهای زبانی فازی (جدول ۱۸) تکمیل و تحلیل گردیده است. در روش لیو [۲۵] و روش اصلاح‌شده لیو نیز، از واژه‌های زبانی و اعداد فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (جدول ۲) استفاده شده است. همان‌طور که در جدول ۱۹ نشان داده شده است، این روش‌ها اولویت‌بندی ریسک یکسانی را ارائه نداده‌اند. اما برای بررسی میزان منطقی بودن مدل ارائه‌شده ضریب همبستگی بین روش‌های اولویت‌بندی مذکور، محاسبه شده و نتایج در جدول ۲۰ آمده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است، ضریب همبستگی نتایج روش پیشنهادی با روش تاپسیس فازی 0/981، با روش FMEA مرسوم ۰/۹۶۶، با روش لیو [۲۵] ۰/۸۸۷ و با روش اصلاح‌شده لیو، ۰/۹۹۲ است. با توجه به جدول ۱۹، نتایج اولویت‌بندی تجهیزات بین روش پیشنهادی و روش تاپسیس فازی در ۷ مورد، روش FMEA مرسوم در ۶ مورد و روش اصلاح‌شده لیو در ۸ مورد کاملاً یکسان است. بنابراین، ضریب همبستگی بالا و وجود سازگاری نتایج اولویت‌بندی ریسک تجهیزات بین روش پیشنهادی و سایر روش‌ها، اعتبار روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. نقایص روش FMEA مرسوم می‌تواند باعث برخی از تمایزات میان نتایج اولویت‌بندی ریسک به روش پیشنهادی و روش FMEA مرسوم باشد. به‌عنوان مثال در مورد سطح زیر شناور، نتیجه اولویت‌بندی با روش پیشنهادی ۸ است درحالی‌که با روش FMEA مرسوم ۱۱ ارزیابی شده است. مقدار شاخص پیامد خرابی جهت این

تجهیز با استفاده از روش FMEA مرسوم برابر با  $7/6$  است و این نشان می‌دهد که پیامد خرابی این تجهیز بالا است. تابع دقت ماتریس ارزیابی وزنی شاخص پیامد خرابی نیز  $0/62$  محاسبه شده است. این موضوع نیز تأیید کننده بالا بودن پیامد خرابی در سطح زیر شناور است. بنابراین دلیل اینکه این تجهیز با استفاده از روش پیشنهادی دارای اولویت بالاتری است این است که با توجه به وزن پیامد خرابی ( $0/424$ ) و تأثیر آن در اولویت‌بندی، طبیعی است این تجهیز با اولویت بالاتری نسبت به روش FMEA مرسوم ارزیابی شود. در مقایسه روش پیشنهادی و روش تاپسیس فازی، با توجه به دقیق تر بودن اطلاعات فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای، این امکان به خبرگان داده شده است که اطلاعات را به طور دقیق تر توصیف نمایند. درحالی‌که در روش تاپسیس فازی، اطلاعات ارزیابی تیم‌های FMEA در طول تحلیل ریسک مبتنی بر منطق فازی، ممکن است از بین رفته باشد. این موضوع می‌تواند ناشی از تردیدهایی باشد که تابع عضویت منطق فازی آن‌ها را نادیده می‌گیرد. در مورد روش ليو [۲۵]، ضریب همبستگی این روش با سایر روش‌ها متفاوت است. ضریب همبستگی این روش با روش‌های تاپسیس فازی، FMEA مرسوم، روش اصلاح‌شده ليو و همچنین روش پیشنهادی در این پژوهش، به ترتیب برابر با  $0/884$ ،  $0/91$ ،  $0/881$  و  $0/888$  است. به نظر می‌رسد این موضوع به دلیل اشکال محاسبه همانندی در شکل‌دهی تابع تجميع هرونیان وزنی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای است؛ به طوری‌که با اصلاح آن و جایگزینی معادله (۲۰) به جای معادله‌های (۲۱)، (۲۲) و (۲۳)، ضریب همبستگی روش اصلاح‌شده ليو با روش‌های تاپسیس فازی، FMEA مرسوم، و همچنین روش پیشنهادی در این پژوهش، به ترتیب برابر با  $0/983$ ،  $0/973$  و  $0/992$  گردیده و به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته است. همچنین، با توجه به اینکه هر دو روش پیشنهادی و روش اصلاح‌شده ليو از داده‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای و تابع تجميع هرونیان وزنی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای استفاده می‌کنند ضریب همبستگی بین نتایج بالا است ( $0/992$ ). تفاوت‌های جزئی در محاسبه برخی از اولویت‌ها می‌تواند به دلیل استفاده از مدل وزن دهی پویا و افزایش انعطاف‌پذیری روش پیشنهادی در این پژوهش نسبت به روش اصلاح‌شده ليو باشد. بنابراین به نظر می‌رسد روش پیشنهادی در این پژوهش نسبت به سایر روش‌ها منطقی تر و قابل‌اطمینان تر است.

جدول ۱۷ واژه‌های زبانی و اعداد مرتبط با آن‌ها در مقیاس ۱ الی ۱۰

اعداد مرتبط	واژه‌های زبانی	اعداد مرتبط	واژه‌های زبانی
۵	متوسط	۱۰	مطلقاً بالا
۴	متوسط به پایین	۹	به شدت بالا
۳	پایین	۸	خیلی بالا
۲	خیلی پایین	۷	بالا
۱	به شدت پایین	۶	متوسط به بالا

جدول ۱۸ واژه‌های زبانی و اعداد فازی مرتبط با آن‌ها

اعداد فازی	واژه‌های زبانی	اعداد فازی	واژه‌های زبانی
(۳.۵.۷)	متوسط	(۹.۱۰.۱۰)	مطلقاً بالا
(۱.۳.۵)	متوسط به پایین	(۹.۹.۱۰)	به شدت بالا
(۰.۱.۳)	پایین	(۷.۹.۱۰)	خیلی بالا
(۰.۱.۱)	خیلی پایین	(۷.۹.۹)	بالا
(۰.۰.۱)	به شدت پایین	(۵.۷.۹)	متوسط به بالا

جدول ۱۹ مقایسه رتبه‌بندی روش پیشنهادی با روش رتبه‌بندی FMEA مرسوم و روش تاپسیس فازی

مدل پیشنهادی	روش اصلاح شده لیو [۱۹]	روش اولویت	روش اولویت	روش مرسوم FMEA				روش تاپسیس فازی				نام تجهیز	ردیف	
				RPN	D	S	O	اولویت	CC	d+	d-			
اولویت	اولویت	اولویت	اولویت											
۶	۵	۳	۶	۱۱۰/۱۶	۳/۴	۹	۳/۶	۶	۰/۶۰۲۰/۲۴۸۰/۳۷۵	ژنراتور اصلی شماره یک و دو	۱			
۱۲	۱۱	۱۲	۱۰	۷۶	۴	۵	۳/۸	۱۰	۰/۴۸۴۰/۲۷۹۰/۲۶۲	ژنراتور کمکی	۳			
۴	۴	۲	۴	۱۳۶/۰.۸	۴/۲	۹	۳/۶	۴	۰/۶۴۲۰/۲۱۶۰/۳۸۷	جرتقیل اصلی	۳			
۱	۱	۷	۳	۱۸۶/۴۸	۴/۲	۷/۴	۶	۲	۰/۷۹۴۰/۱۲۰۰/۴۶۲	مورینگ وینچ‌ها	۴			
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۲۰/۴	۲	۳	۳/۴	۱۵	۰/۲۳۶۰/۴۴۶۰/۱۳۸	پمپ بالاست شماره یک و دو	۵			
۱۶	۱۶	۱۶	۱۷	۱۶/۳۲	۲	۲/۴	۳/۴	۱۶	۰/۲۰۰/۴۴۴۰/۱۱۱	بیلج پمپ شماره یک و دو	۶			

7	لنگر سینه (FWD)	۰/۳۰۳۰/۴۱۷۰/۱۸۱	۱۴	۳/۸	۳/۸	۲/۴	۳۴/۶۵۶	۱۴	۱۴	۱۴	۱۳
8	کمپرسور هوای سولار و دوسان	۰/۷۴۸۰/۱۵۳۰/۴۵۶	۳	۴/۸	۸/۲	۵/۴	۲۱۲/۵۴۴	۱	۱	۳	۲
9	تصفیه کننده سوخت	۰/۳۶۱۰/۳۸۲۰/۲۱۶	۱۳	۳/۴	۳/۸	۴/۴	۵۶/۸۴۸	۱۲	۱۳	۱۳	۱۴
10	کمپرسور هوای شماره یک و دو	۰/۴۴۰۰/۳۲۲۰/۲۵۲	۱۲	۳	۵/۶	۲/۶	۴۳/۶۸	۱۳	۱۱	۱۲	۱۱
11	دیزل ژنراتور اضطراری	۰/۴۵۵۰/۴۵۹۰/۳۸۳	۱۱	۵/۸	۳/۴	۴/۲	۸۲/۸۲۴	۸	۹	۸	۹
12	سیستم پاورپک بوم	۰/۶۱۲۰/۲۴۰۰/۳۷۹	۵	۳/۲	۹	۴	۱۱۵/۲	۵	۴	۶	۵
13	تاگر وینچ ها	۰/۴۹۹۰/۲۸۷۰/۲۸۶	۹	۴	۵/۴	۳/۶	۷۷/۷۶	۹	۱۰	۱۰	۱۰
14	سطح زیر شناور	۰/۵۴۵۰/۳۰۱۰/۳۶۰	۸	۲/۴	۷/۶	۳/۴	۶۲/۰۱۶	۱۱	۸	۹	۸
15	عرشه	۰/۱۵۴۰/۴۵۷۰/۰۸۴	۱۷	۲/۴	۲	۲/۸	۱۳/۴۴	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
16	سازه جرتقیل	۰/۶۰۰۰/۲۵۱۰/۳۷۷	۷	۲/۶	۹	۴/۲	۹۸/۲۸	۷	۷	۵	۷
17	لنگر و متعلقات	۰/۱۱۷۰/۴۸۳۰/۰۶۴	۱۸	۲/۶	۲/۴	۲/۸	۱۷/۴۷۲	۱۶	۱۷	۱۷	۱۷
18	جرتقیل متحرک	۰/۸۰۱۰/۱۱۳۰/۴۵۴	۱	۵/۴	۷/۸	۴/۶	۱۹۳/۷۵۲	۲	۶	۲	۳

جدول ۲۰ ضریب همبستگی نتایج اولویت بندی ریسک روش پیشنهادی و سایر روشها

روش تاپسیس فازی	روش FMEA سنتی	روش پیشنهادی	روش لیو [۲۵]	روش اصلاح شده لیو
۱/۰۰۰	۰/۹۷۴	۰/۹۸۱	۰/۸۸۴	۰/۹۸۳
۰/۹۷۴	۱/۰۰۰	۰/۹۶۶	۰/۹۱۰	۰/۹۷۳
۰/۹۸۱	۰/۹۶۶	۱/۰۰۰	۰/۸۸۷	۰/۹۹۲
۰/۸۸۴	۰/۹۱۰	۰/۸۸۷	۱/۰۰۰	۰/۸۸۱
۰/۹۸۳	۰/۹۷۳	۰/۹۹۲	۰/۸۸۱	۱/۰۰۰

## ۷- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد جهت پژوهش‌های آتی

در این مقاله، ضمن بحث، نقد و نتیجه‌گیری پیرامون مفاهیم مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای، مدل اولویت‌بندی پویایی را ارائه دادیم که به ما اجازه می‌دهد بتوانیم تجهیزات و حالات شکست را به صورتی کاملاً پویا و بر اساس وضعیت هر تجهیز/حالت شکست اولویت‌بندی کنیم. این مدل به اشکالات وارده بر FMEA مرسوم غلبه می‌کند. جهت اینکه بتوانیم اطلاعات ارزیابی ریسک نامطمئن و غیردقیق را استخراج کنیم و در محاسبات مورد استفاده قرار دهیم از اصول و تعاریف مجموعه‌های فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای استفاده کرده‌ایم. در این مقاله برای جمع اطلاعات، تابع تجمیع هرونیان وزنی توانی فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای [۲۵] را بهبود داده و از آن استفاده کرده‌ایم. برای وزن دهی پویایی هر تجهیز/حالت شکست، روش وزن دهی پویایی مبتنی بر وضعیت فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای (IVIF-CBDW) را ارائه داده‌ایم که وزن هر تجهیز/حالت شکست را بر اساس وضعیت آن تجهیز در شاخص‌های  $S$ ،  $O$  و  $D$  تعیین می‌کند. برای اولویت‌بندی تجهیزات/حالات شکست ضمن بهبود روش MABAC در محیط فازی شهودی که توسط [۹] ارائه شده است، از این روش استفاده کرده‌ایم. برای تحلیل اطلاعات، مدل ارائه شده را در نرم‌افزار قوی متلب کد نویسی کرده و در یک نمونه واقعی بارچ جرثقیل HL5000 به‌کارگیری نموده‌ایم. در پایان نیز این روش را با چندین روش مقایسه نموده‌ایم. نتایج قابلیت کاربرد، قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری روش ارائه شده را جهت مدل‌سازی الزامات واقعی اولویت‌بندی تجهیزات/حالات شکست نسبت به رویکردهای مشابه نشان می‌دهد. برای تداوم این پژوهش، پیشنهادها زیر جهت پژوهش‌های آتی ارائه می‌گردد. اول، در کاربردهای آتی مدل اولویت‌بندی پویایی ارائه شده، ترکیب این مدل با دیگر مدل‌های وزن دهی مانند روابط ترجیحی فازی مردد (HFPR) برای استخراج وزن‌های اولیه می‌تواند مناسب باشد. همچنین با تغییر مفروضات مرتبط با سه شاخص  $S$ ،  $O$  و  $D$ ، می‌توان این مدل را برای اولویت‌بندی کلیه گزینه‌ها، مدل‌سازی مجدد کرد تا استحکام و کارایی این مدل بیشتر نشان داده شود.

## ۸- منابع

- [1] Dickerson, Deborah E., Paul J. Ackerman. "Risk-based Maintenance Management of U.S. Public School Facilities". *Procedia Engineering*, no. 145, 2016, pp. 685-692.
- [2] Okoro, Uzoma, Athanasios Kolios, Lin Cui." Multi-criteria risk assessment approach for components risk ranking – The case study of an offshore wave energy converter". *International Journal of Marine Energy*, no. 17, 2017, pp. 21-39.
- [3] Sainz, J.A. &M.A. Sebastián. "Methodology for the Maintenance Centered on the Reliability on facilities of low accessibility" *Procedia Engineering*, no. 63, 2013, pp. 852-860.
- [4] Kiran S., Prajeeth, Kumar K.P., Sreejith B., Muralidharan M. "Reliability evaluation and Risk based maintenance in a process plant". *Procedia Technology*, no. 24, 2016, pp. 57-583.
- [5] Mkandawire, Burnet O'Brien, Nelson Ijumba, Akshay Saha. "Transformer risk modeling by stochastic augmentation of reliability-centered maintenance". *Electric Power Systems Research*, no. 119, 2015, pp. 471-477.
- [6] Adar, Elanur, Mahir \_Ince, Buket Karatop, Mehmet Sinan Bilgili. "The risk analysis by failure mode and effect analysis (FMEA) and fuzzy-FMEA of supercritical water gasification system used in the sewage sludge treatment". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, no. 5, 2017, pp. 1261-1268.
- [7] Ahn, Junkeon, Yeelyong Noh, Sung Ho Park, ByungIl Choi, Daejun Chang. "Fuzzy-based failure mode and effect analysis (FMEA) of a hybrid molten carbonate fuel cell (MCFC) and gas turbine system for marine propulsion". *Journal of Power Sources*, no. 364, 2017, pp. 233-226.
- [8] Wang, Li-En, Hu-Chen Liu., Mei-Yun Quan. "Evaluating the risk of failure modes with a hybrid MCDM model under interval-valued intuitionistic fuzzy environments". *Computers & Industrial Engineering*, no. 102, 2016, pp. 175–185.

- [9] Liu, Hu-Chen, Jian-Xin You, Chun-Yan Duan. "An integrated approach for failure mode and effect analysis under interval valued intuitionistic fuzzy environment. *International Journal of Production Economics*, 2017, In Press. <http://dx.doi.org/11/0016/j.ijpe.2017.03.008>
- [10] Zhao, Hao, Jian-Xin You, Hu-Chen Liu. "Failure mode and effect analysis using MULTIMOORA method with continuous weighted entropy under interval-valued intuitionistic fuzzy environment". *Soft Comput*, no.21, 2017, pp.5355–5367.
- [11] Huang, Jia, Zhaojun (Steven) Li, Hu-Chen Liu. "New approach for failure mode and effect analysis using linguistic distribution assessments and TODIM method". *Reliability Engineering and System Safety*, no. 167, 2017, pp. 302–309.
- [12] Certa, Antonella, Fabrizio Hopps, Roberta Inghilleri, Concetta Manuela La Fata " A Dempster-Shafer Theory-based approach to the Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) under epistemic uncertainty: application to the propulsion system of a fishing vessel". *Reliability Engineering and System Safety*, no. 159, 2016, pp. 69–79.
- [13] Mirghafoori, Seyed Habibollah, Faezeh Asadian Ardakani, Fatemeh Azizi. "Developing a Method for Risk Analysis in Tile and Ceramic Industry Using Failure Mode and Effects Analysis by Data Envelopment Analysis". *Iranian Journal of Management Studies (IJMS)*, vol.7, no.2, 2014, pp. 363<sup>۳۴۳</sup>-.
- [14] Carmignani, Gionata. "An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority-cost FMECA". *Reliability Engineering and System Safety*, no. 94, 2009, pp. 861–871.
- [15] Kmenta S., Fitch P., Ishii K. "Advanced failure modes and effect analysis of complex processes". ASME design engineering technical conference, September, Las Vegas, 1999.



- [16] Garg, Harish. "A new generalized improved score function of interval valued intuitionistic fuzzy sets and applications in expert systems". *Applied Soft Computing*, no. 38, 2016, pp.988–999.
- [17] K.T. Atanassov. "Intuitionistic fuzzy sets". *Fuzzy Sets and Systems*. vol. 2, no.1, 1986, pp. 87\_96.
- [18] K.T. Atanassov, G. Gargov. "Interval-valued intuitionistic fuzzy sets". *Fuzzy Sets Systems*, vol. 31, no.3, 1989, pp. 343–349.
- [19] V.Torra, "Hesitant fuzzy sets". *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 25, no.6, 2010, pp. 529–539.
- [20] Hamidi, N., akbari shemirani, r., Shirdel, G., & Taleshi, B. Selection of optimal supplier using a hybrid fuzzy model based on criteria interrelationship: A case study of an Iranian braking system manufacturer company. *Management Research in Iran*, vol.16, no.3, 2012, pp. 59-81.
- [21] Jafari, S. M., Zarei Matin, H., & Jokar, S. Identifying and Prioritizing the Values of E-governance in Municipalities. *Management Research in Iran*, vol. 20, no.3,2016, pp. 73-104.
- [22] Parsaei, m., & Nili Ahmadabadi, m. Prioritizing Maintenance Strategies with a Combination Approach DEMATEL-ANP-COPRAS in Auto Parts Manufacturing Industry Case Study: Milad Company of Qom. *Modern Researches in Decision Making*, vol. 2no. 1, 2017, pp. 29-50.
- [23] Baykasoglu, Adil, Ilker Golcuk, " Comprehensive fuzzy FMEA model: a case study of ERP implementation risks". *Operational Research*, vol.17no. 1, 2017, pp. 1-32.
- [24] Tooranloo, Hossein Sayyadi, Arezoosadat Ayatollah. "A model for failure mode and effects analysis based on intuitionistic fuzzy approach". *Applied Soft Computing*, no. 49, 2016, pp. 238–247.
- [25] Liu, Peide."Multiple attributes group decision making method based on interval-valued intuitionistic fuzzy power Heronian aggregation". *Computers & Industrial Engineering*, no. 108, 2017, pp. 199–212.

- [26] Pamucar, Dragan, Goran Cirovic. "The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC)". *Expert Systems with Applications*, no. 42, 2015, pp. 3016–3028.
- [27] Ejegwa, P. A., S.O. Akowe, P.M. Otene, J.M. Ikyule. "An Overview on Intuitionistic Fuzzy Sets". *international journal of scientific & technology research*, vol. 3no. 3, 2014(, pp. 142-145.
- [28] L. Zadeh. "Fuzzy sets". *Information and Control* 8 (1965) 338–353.
- [29] K. Atanassov. "Remark on intuitionistic fuzzy expert systems". *BUSEFAL*, no. 59, 1994 pp. 71–76.
- [30] Sahin, R. Fuzzy multi criteria decision making method based on the improved accuracy function for interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Soft Computing*, no. 20, 2016, pp. 2557–2563.
- [31] Z.S. Xu, J. Chen. "An overview of distance and similarity measures of intuitionistic fuzzy sets ". *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 16, no.4, 2008, pp529–555..
- [32] Nguyen, H. "A new knowledge-based measure for intuitionistic fuzzy sets and its application in multiple attribute group decision making". *Expert Systems with Applications*, no. 42, 2015, pp. 8766–8774.
- [33] Z.S. Xu, J. Chen, "On geometric aggregation over interval-valued intuitionistic fuzzy information". In *Proceedings of the fourth international conference on fuzzy systems and knowledge discovery, (FSKD 2007)*, Haikou,china, no. 9909269, 2007, pp. 466–471. doi: 10.1109/FSKD.2007.427.