



نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

ارزیابی ریسک و رتبه بندی تجهیزات با تلفیق رویکرد های AHP فازی و FMEA - مطالعه موردی: مجموعه صنایع آذرب اراک

پریسا بوالحسنی^{۱*}، آیدا اسماعیلی دوکی^۲ و محمد فلاح^۳

- ۱- دکتری، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز
- ۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی فیروزکوه
- ۳- دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز

چکیده:

امروزه ارتقای مستمر کیفیت به یک مساله مهم و حیاتی برای رقابت در بازار های داخلی و جهانی تبدیل شده است. شرکت های قطعه سازی نیز از این امر مستثنی نبوده و به دلیل ارتباط با صنایع بزرگ تولیدی نظیر شرکت های نفتی و نیرو گاه ها ناچار به رعایت استاندارد بالا هستند. در این تحقیق، یک رویکرد تلفیقی از تکنیک های FAHP و FMEA ارائه می گردد تا براساس نظر متخصصان تیم تصمیم گیری و شناسایی گروه محصولات بحرانی توسط آنها یک اولویت بندی مناسب از تجهیزات با هدف برنامه ریزی تعمیراتی دقیق تر و موثرتر ارائه شود. در نهایت با بررسی مجموعه صنایع آذرب اراک که یکی از طرح های زیر بنایی و مهم کشور می باشد به عنوان مطالعه موردی، کارایی و موثر بودن روش ارائه شده، تایید شده است، طبق نتایج به دست آمده رتبه بندی شاخص ها در روش FAHP از لحاظ اولویت و دقت با دیدگاه خبرگان و تیم تصمیم‌گیری انطباق بسیار بالایی دارد، که نتایج حاصل از شاخص MSE نیز گویای همین مطلب است.

واژه های کلیدی: رتبه بندی، عدد اولویت ریسک (RPN)، AHP فازی، FMEA سنتی

* نویسنده مسئول:

۱- مقدمه

تجزیه و تحلیل خرابی‌ها و اثرات ناشی از آن بر محصول^۱ از شیوه‌های بارز شناسایی و تجزیه و تحلیل ریشه‌ای حالت‌های خرابی بالقوه در یک محصول است، اما در اجرای سنتی این روش نواقصی از جمله موارد زیر موجود می‌باشد (رضایی، سیدی و نوری، ۱۳۸۴):

- ✓ مرز بین نمرات مشخص نیست.
- ✓ پارامترها وزن دهی نمی‌شوند.
- ✓ بحث مشتری مداری بسیار کم رنگ است.
- ✓ رابطه‌ی بین حالت خرابی و علت خرابی مد نظر قرار گرفته نمی‌شود.

رویکرد FMEA در حین مفید بودن، معایب بالا را دارا می‌باشد، لذا برای رفع این مشکلات و بهبود این روش می‌توان از رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP^۲) به منظور وزن دهی شاخص‌ها بهره‌گرفت، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد، این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد، علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید، همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد (خیری و دبیری، ۱۳۸۳).

در صنایع تولیدی هم چون آذراب شناسایی تجهیزات بحرانی که بیشترین سهم را در توقف خط تولید دارند از ارکان اصلی به حساب می‌آید. لذا شناسایی مشکلات و نواقصی که موجب توقف خط تولید در این صنایع می‌شود از اهمیت بالایی برخوردار است، هدف اصلی استفاده از FMEA نیز شناسایی حالات شکست بالقوه‌ی اجزای سیستم، ارزیابی علل و عوارض متعاقب آنها بر رفتار سیستم است و به عنوان یک تعیین‌کننده نهایی برای روش‌های از بین بردن یا کاهش احتمال وقوع، شدت و افزایش شناسایی حالت شکست است، اما پیش از استفاده از این رویکرد می‌توان با وزن دهی معیارها نتیجه کار را بهبود بخشید. از آنجایی که ابهام و عدم قطعیت، به طور ذاتی حاکم بر علوم انسانی به ویژه در محیط‌های برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری می‌باشد (امینی فسخودی، ۱۳۸۴)، مجموعه‌های فازی در مسایل تصمیم‌گیری از کارآمدترین روشها در مقایسه با مجموعه‌های کلاسیک به شمار می‌آیند (ال‌ای زاده، ۱۹۶۵).

در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای رفع این گونه ابهامات و مشکلات صورت پذیرفته که نهایتاً به کارگیری نظریه مجموعه‌های فازی در روش‌های ارزیابی چندمعیاره را منجر گردیده است (چن و هوانگ^۳، ۱۹۹۲).

¹ Failure modes and effects analysis (FMEA)

² analytic hierarchy process (AHP)

³ Chen and Hwang

روش‌های فازی در قیاس با روش‌های کلاسیک از توانایی بیشتری در سنجش دقیق و پیش‌بینی برخوردارند (صادق‌آبادی، ساعتی، محرابیان و خدادوست، ۱۳۸۸). زیرا در تصمیم‌گیری چند معیاره سنتی وزن معیارها کاملاً شناخته شده می‌باشد، اما به علت وجود ابهام در اظهارات تصمیم‌گیرندگان، بیان داده‌ها به صورت قطعی نامناسب است. یکی از مشکلات AHP کلاسیک که معمولاً موجب نگرانی تصمیم‌گیرندگان می‌شود، وجود قضاوت‌های ذهنی در تشکیل ماتریس مقایسات زوجی است. از این رو برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر مبنای مقایسات زوجی، روش تحلیل سلسله‌مراتبی کلاسیک کارایی خوبی ندارد (زیممن^۱، ۱۹۹۶)، در واقع نظریه‌ی تصمیم‌گیری فازی تلاش می‌کند که ابهام و عدم قطعیت‌های ذاتی موجود در اهداف و محدودیت‌های موجود در مسایل تصمیم‌گیری را برطرف کند (استامتیس، ۱۹۹۵).

با توجه به این ادعا پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان دقت روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP^۲) و تجزیه و تحلیل حالات خطا جهت اولویت‌بندی محصولات و تجهیزات به کار رفته در شرکت صنایع آذرباک با در نظر گرفتن عوامل موثر انجام گرفته است.

۲- ادبیات موضوع

هدف اصلی استفاده از FMEA شناسایی حالات شکست بالقوه‌ی اجزای سیستم، ارزیابی علل و عوارض متعاقب آنها بر رفتار سیستم است، و به عنوان یک تعیین‌کننده‌ی نهایی برای روش‌های از بین بردن یا کاهش احتمال وقوع، شدت یا افزایش شناسایی حالت شکست خاص است. در گذشته محاسبه‌ی خطر حالات شکست مختلف با استفاده از FMEA و از طریق توسعه تعداد اولویت ریسک انجام می‌شد (کویی هو، یانگ چیا و تین^۳، ۲۰۱۳)، اما امروزه این روش به کمک تلفیق با سایر رویکردها بهبود پیدا کرده است که به چند نمونه از تحقیقات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود:

چانگ و همکاران، یک شیوه‌ی چند تخصصی، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۴ برای انجام محاسبات مربوط به اولویت خطر شکست در FMEA ارائه کردند که قادر است به اطلاعات ارایه شده توسط تیم طراحی رسیدگی کند. در روش آنها عوامل ریسک به عنوان معیارهای ارزیابی هنگامی تفسیر می‌شوند که حالات شکست به عنوان یک پیشنهاد انتخاب شده باشد. این روش هر معیار تصمیم‌گیری را زیر مجموعه‌ای فازی از کل مجموعه پیشنهادات انتخابی در نظر می‌گیرد. پس از جمع‌آوری ارزیابی‌های بیان شده در هر معیار برای پیشنهاد مفروض، حالت شکست با بیشترین کد اولویت ریسک (PRC) مشخص شد. اگر PRC دو یا چند حالت شکست یکسان نباشد انتخاب جزئی‌تری برای تمایز بین رتبه‌بندی نسبی آنها ارایه می‌شود.

¹ Zimmermann

² fuzzy analytical hierarchy process (FAHP)

³ Kuei Hu, Yung Chia and Tien

⁴ Multiple Criteria Decision Making (MCDM)

حسینی و همکاران نظریه ای پیشنهاد کردند که از شیوه ی رتبه بندی مجموعه ی فازی شهود گرایی، برای اولویت بندی دوباره ی شکست در یک سیستم FMECA استفاده می کند (سید حسینی و صفایی، ۲۰۰۶). سعید صفری و همکاران در سال ۱۳۹۴ در مقاله ای تحت عنوان توسعه روش FMEA به اهمیت بکار گیری تلفیق تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره فازی اشاره کردند، در این مقاله، متغیرهای زبانی، که در قالب اعداد فازی مثلثی بیان میشوند، جهت ارزیابی رتبه ها و اوزان فاکتورهای ریسک مورد استفاده قرار گرفته اند و برای تعیین اوزان هر یک از فاکتورهای ریسک از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی FAHP و برای رتبه بندی و انتخاب مهمترین حالات خرابی از روش کارای VIKOR توسعه یافته (با رویکرد فازی) استفاده شده است تا بدین ترتیب برخی از کاستیها و محدودیت‌های FMEA کلاسیک برطرف گردد (صفری و بینشیان، ۱۳۹۴).

هیوا فاروقی به همراه همکاران در مقاله ای رویکردی تلفیقی از ترکیب تکنیک‌های QFD، FMEA، AHP و تئوری فازی برای ارزیابی و انتخاب بهینه تامین کنندگان لجستیک طرف سوم ارائه نمودند. در این رویکرد معیارهای ارزیابی با استفاده از خانه های کیفیت در تناسب با الزامات ذینفعان شرکت برونسپار معرفی می شوند با استفاده از روش AHP فازی میزان اهمیت هر یک از ذینفعان در فرآیند تصمیم گیری، ارتباطات وزنی در خانه های کیفیت و میزان اهمیت هر یک از معیارهای ارزیابی در رویکرد پیشنهادی محاسبه شده و در نهایت از روش FMEA برای تجزیه و تحلیل ریسک های محتمل که عملکرد زنجیره تامین را تحت تاثیر قرار می دهند استفاده شده است (فاروقی، بدریان و منصورپور، ۱۳۹۱).

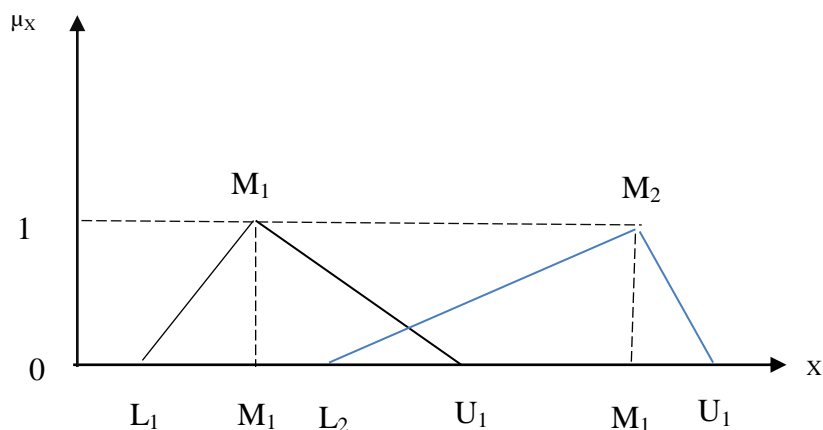
فرامرز بریمانی و هادی راستی در سال ۱۳۹۳ در مقاله ای تحت عنوان مقایسه رویکرد AHP و FAHP به منظور رتبه بندی شاخصهای مؤثر بر کیفیت زندگی مردم دهستان مهبان شهرستان نیکشهر به کارایی و دقتی تر بودن روش FAHP و تطبیق آن با معیار های واقعی اشاره کرده اند (بریمانی و همکاران، ۱۳۹۳). محسن امیدوار و همکاران در مقاله ای تحت عنوان ارایه الگویی جهت ارزیابی سطح عمل کرد سازمان مبتنی بر مهندسی رزیلینس تعهد مدیریت و آمادگی در برابر شرایط اضطراری را دو مولفه اصلی در تعیین سطح رزیلینس شناسایی کرده که میتوانند بیشترین سهم در باقی ماندن وضعیت سازمان در محدوده NEWZ را ایفا کنند (محسن امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵).

۳- مبانی نظری

۳-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

در این پژوهش از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی که در سال ۱۹۹۶ توسط یک محقق چینی به نام یونگ چانگ ارائه شد، استفاده گردیده است، که اعداد فازی آن از نوع مثلثی هستند (عادل و فرجی، ۱۳۸۹).

دو عدد فازی مثلثی $M1=(L1,m1,u1)$ و $M2=(L2,m2,u2)$ را در نظر بگیرد:



شکل ۱. اعداد فازی مثلثی (کیلینکسی و اسلو، ۲۰۱۱)

$$M_1 + M_2 = (L_1 + L_2, m_1 + m_2, U_1 + U_2)$$

$$M_1 \cdot M_2 = (L_1 L_2, m_1 m_2, U_1 U_2)$$

$$M_1^{-1} = (1/U_1, 1/m_1, 1/L_1)$$

این روابط فقط تقریبی از حاصلضرب واقعی دو عدد فازی مثلثی و معکوس یک عدد فازی مثلثی را بیان میکنند. در روش EA برای هر یک از سطرهاى ماتریس مقایسات زوجی، ارزش S_K که خود یک عدد فازی مثلثی است، به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kj} \times \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} \tag{1}$$

K بیانگر شماره سطر و i و j به ترتیب نشان دهنده ی شاخص و گزینه ها می باشند. پس از محاسبه S_K ها درجه بزرگی آن ها نسبت به هم به دست می آید. برای محاسبه وزن شاخص ها داریم:

$$W^*(x_i) = \min \{V(S_i \geq S_k)\} \quad k=1,2,\dots,k \neq 1 \tag{2}$$

که در نهایت بردار وزن شاخصها به صورت زیر حاصل می شود:

$$W^* = [W^*(x_1), W^*(x_2), \dots, W^*(x_n)]^t \tag{3}$$

W بردار ضرایب غیر بهنجار AHP فازی است. برای انجام تحلیل سلسله مراتبی فازی، مرحله اول، انجام مقایسات زوجی شاخصها است. در این مرحله مبتنی بر نظر خبرگان و تیم تصمیم گیری، امتیازات مقایسه ی زوجی برای تسهیل محاسبات فازی به اعداد فازی مثلثی متناظرشان طبق جدول زیر تبدیل می‌شوند:

جدول ۱. مقیاس تبدیل اعداد فازی مثلثی

اعداد فازی مثلثی مثبت	اعداد فازی مثلثی معکوس	متغیر های زبانی
۹،۹،۹	۱/۹، ۱/۹، ۱/۹	فوق العاده مهم
۷،۸،۹	۱/۷، ۱/۸، ۱/۹	بسیار مهم تا فوق العاده مهم
۶،۷،۸	۱/۶، ۱/۷، ۱/۸	بسیار مهم
۵،۶،۷	۱/۵، ۱/۶، ۱/۷	مهم تا بسیار مهم
۴،۵،۶	۱/۴، ۱/۵، ۱/۶	مهم
۳،۴،۵	۱/۵، ۱/۴، ۱/۳	نسبتاً مهم تا مهم
۲،۳،۴	۱/۴، ۱/۳، ۱/۲	نسبتاً مهم
۱،۲،۳	۱/۳، ۱/۲، ۱	اهمیت همسان تا نسبتاً مهم
۱،۱،۱	۱،۱،۱	اهمیت همسان

۴- روش تحقیق

هدف از انجام این پژوهش محاسبه میزان اولویت‌پذیری خطر در بین تجهیزات بحرانی به کمک تلفیق رویکرد های FMEA و FAHP و مقایسه آنها با مقادیر به دست آمده توسط روش FMEA سنتی است. مطابق روش گفته شده گام های زیر انجام می شود:

گام اول: تشکیل تیم تصمیم‌گیری

اولین مرحله در فرآیند ارزیابی سطح عمل کرد تجهیزات بحرانی بر مبنای اصول FMEA، تشکیل یک تیم تصمیم‌گیری (DMG)^۱ متشکل از متخصصین نگهداری و تعمیرات، ایمنی و اپراتورها جهت تعیین اهمیت هر یک از شاخص ها و تعیین یک ساختار سلسله مراتبی مبنای جهت رتبه بندی و اولویت بندی در واحد های مختلف می باشد. بدین منظور یک تیم ۳۰ نفره، شامل ۱۲ متخصص نت، ۸ متخصص HSE^۲ و ۱۰ اپراتور تشکیل گردید.

گام دوم: تعیین وزن معیار ها و تشکیل ساختار سلسله مراتبی

با توجه به بررسی و مشورتی که توسط تیم تصمیم‌گیری صورت گرفت ۴ شاخص تعداد فعالیت تعمیراتی انجام شده بر روی تجهیزات در سیکل زمانی مورد نظر (O₁)^۳، تشخیص توسط بردمن (D₁)^۴، توقف تولید (S₁)^۵، تولید محصول نا منطبق (S₂)، به عنوان شاخص های اصلی تاثیر گذار در رویکرد FMEA و

¹ Decision Making Grid (DMG)

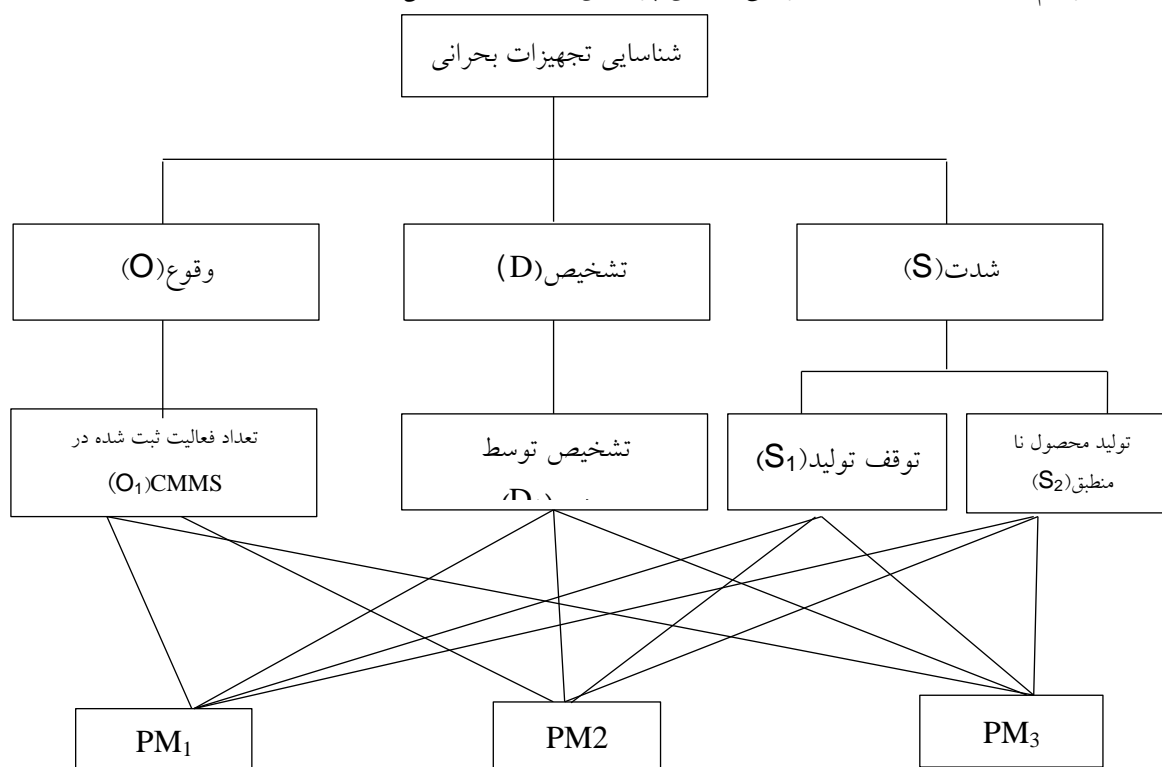
² Environment, safety & health (HSE)

³ Occurrence

⁴ Detection

⁵ Severity

معیارهای مورد نظر در این تحقیق انتخاب گردیدند. گام بعدی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد ساختاری سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی است که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آنها نشان داده می‌شود. به عبارت دیگر باید در آغاز درخت سلسله مراتبی مناسبی که بیان‌کننده موضوع مورد مطالعه باشد، فراهم شود. درخت سلسله مراتبی در این پژوهش به صورت شکل ۱ است:



شکل ۲. ساختار سلسله مراتبی شناسایی تجهیزات بحرانی

گام سوم: ایجاد ماتریس مقایسه زوجی و محاسبات مربوطه به فازی زدایی برای به دست آوردن وزن هر یک از شاخص‌های FMEA یعنی (O_1) ، (D_1) ، (S_1) و (S_2) ، ماتریس مقایسه زوجی این شاخص‌ها تشکیل می‌شود که در نهایت وزن به دست آمده برای هر شاخص پس از محاسبه و فازی زدایی به شرح جدول زیر می‌باشد:

جدول ۲. وزن به دست آمده برای هر شاخص

شاخص FMEA	معیارها	وزن
احتمال وقوع	O_1	0.517
رتبه تشخیص	D_1	0.049
رتبه شدت	S_1	0.347
	S_2	0.087

در نهایت میانگین عناصر بردار سازگاری λ_{max} ، شاخص ناسازگاری II و نرخ ناسازگاری IR طبق فرمول های زیر محاسبه می شود:

$$\lambda_{max} = 4.255 \quad (۴)$$

$$II = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}, \quad II = 0.0850 \quad (۵)$$

$$IR = \frac{II}{R.I.I}, \quad IR = 0.0759 \quad (۶)$$

با توجه به مقدار بدست آمده که شرط $IR < 0.1$ را دارا می باشد به سازگاری ماتریس مقایسه زوجی پی برده می شود.

گام چهارم: محاسبه مقدار اولویت پذیری خطر (RPN) به کمک رویکرد وزن دار

RPN^۱ عدد اولویت ریسک و نشان دهنده‌ی درجه اهمیت خرابی می باشد نمره اولویت خطرپذیری با ضرب کردن درجه شدت، درجه وقوع و درجه رخداد یا کشف در یکدیگر به دست می آید که این نمره همیشه عددی بین ۱ تا ۱۰ می باشد، به طوری که عدد ریسک بیشتر بیانگر اولویت ریسک بالاتر است (خیری و دبیری، ۱۳۸۳).

$$RPN = O_1 \times D_1 \times \left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right) \quad (۷)$$

همان طور که پیش تر اشاره شد رویکرد FMEA دارای معایبی می باشد لذا به جای استفاده از رویکرد FMEA سنتی از رویکرد وزن دار استفاده می شود که در این روش برای هر یک از شاخص ها یک وزن در نظر گرفته می شود، در این روش چون داده ها نرمال می شوند امکان وقوع ریسک تغییر می کند و نتایج دقیق تری به دست می آید.

مقدار RPN برای هر تجهیز بر اساس رویکرد فازی طبق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$RPN = W_{(O1)} \times S_{(O1)} + W_{(D1)} \times S_{(D1)} + W_{(S1)} \times S_{(S1)} + W_{(S2)} \times S_{(S2)} \quad (۸)$$

$$W_{(O1)} + W_{(D1)} + W_{(S1)} + W_{(S2)} = 1 \quad (۹)$$

ارزیابی شدت (S_1, S_2)، احتمال کشف و تشخیص خطا (D_1)، احتمال وقوع یا تعداد تکرار هر اثر (O_1) می بایستی بر اساس آگاهی و خبرگی افراد گروه انجام می شود، چرا که هر یک از افراد، برای ارزیابی این معیار ها تجربه ای از گذشته دارند و از آنجا که هر کدام از این معیار ها آثار مختلفی دارد باید آنها را درجه

^۱ Risk Priority Number(RPN)

بندی کرد. این درجه بندی طبق جداول زیر مقادیری بین ۱ تا ۱۰ را شامل می‌شود (رضایی، سیدی و نوری، ۱۳۸۴).

جدول ۳. امتیازدهی نمونه‌ای وخامت خطا

امتیاز	شرح درجه بندی وخامت
۱	اثر خطا مورد توجه مشتری قرار نمی‌گیرد
۵	اثر کم که باعث ناراحتی و آزار مشتری می‌شود ولی مشتری در پی رفع آن نیست
۱۰	اثر خطرناک بدون هشدار قبلی

جدول ۴. امتیاز دهی نمونه ای رخداد یا کشف خطا

امتیاز	معیار: احتمال تشخیص به وسیله کنترل/ماشین	تشخیص (کشف)
۱۰	کنترل های تجهیز نمی‌توانند علل و یا حالت فعالیت تعمیراتی را شناسایی کنند	کاملاً نا معلوم
۵	شانس متوسطی وجود دارد که کنترل های تجهیز بتوانند علل و یا حالات فعالیت تعمیراتی را پیدا کنند.	متوسط
۱	کنترل های تجهیز یقیناً می‌تواند علل و یا حالات فعالیت تعمیراتی را پیدا کند.	به طور قطعی

جدول ۵. امتیازدهی نمونه‌ای احتمال وقوع خطا

وقوع	رتبه	نرخ فعالیت تعمیراتی	احتمال وقوع فعالیت تعمیراتی
تقریباً قطعی	۱۰	بیش از ۱۰	فعالیت تعمیراتی حالت بحرانی دارد
نسبتاً کم	۵	۲-۱۰	گاهی اوقات فعالیت تعمیراتی دیده می‌شود
تقریباً غیر ممکن	۱	کمتر از ۲	احتمال فعالیت تعمیراتی وجود ندارد (سوابق فعالیت تعمیراتی نشان نمی‌دهد)

گام پنجم: بررسی روش پیشنهادی در مطالعه موردی

شرکت صنایع آذرآب، شرکت پیمانکاری ساخت و ساز ایرانی است، که در زمینه احداث زیرساخت‌های صنعتی، نظیر پالایشگاه‌های نفت، پالایشگاه‌های گاز و نیروگاه‌های برق‌آبی، فعالیت می‌کند. شرکت صنایع آذرآب یکی از بزرگترین شرکت‌های پیمانکاری عمومی در ایران است، که عمدتاً پروژه‌های خود را، به شیوه پیمانکار کلید در دست اجرا می‌نماید (نشریه سازمان مدیریت صنعتی، ۱۳۹۲)، محصولات و خدماتی که در شرکت صنایع آذرآب اراک ساخته می‌شود عموماً به چهار گروه عمده بویلر، توربین و تجهیزات، صنایع معدنی، مخازن و مبدل ها تقسیم می‌شود که در این میان مخازن و مبدل ها با توجه به نظر خبرگان، نوع

کارکرد و ارتباط مستقیم و تنگاتنگی که این گروه از تجهیزات با صنایع دیگر دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به عنوان نمونه مورد بررسی برای این پژوهش انتخاب شده است. طبق اعداد ریسک به دست آمده میزان سطح ریسک تجهیزات بحرانی مشخص می‌شود و طبق نظر خبرگان اگر مقدار به دست آمده بیشتر از ۸ باشد باید علت آن را به سرعت بررسی کرد زیرا RPN به عنوان شاخصی برای طبقه بندی تجهیزات و انجام اقدام اصلاحی و پیش گیرانه محاسبه می‌شود، جدول زیر به طور نمونه مخازن تحت فشار و ذخیره ای که معمولاً در صنایع آذراب ساخته می‌شود را نشان می‌دهد که بالاترین حد RPN را در میان چهار گروه محصولات مجتمع طبق فرمول (۸)، (۹) به خود اختصاص داده‌اند:

جدول ۶. RPN محاسبه شده برای هر محصول بعد از فازی‌زدایی

نام تجهیز	W(O ₁)	W(D ₁)	W(S ₁)	W(S ₂)	RPN
	0.517	0.049	0.347	0.087	
درامها	10	9	10	10	9.951
مبدل‌های حرارتی	10	9	8	10	9.257
برج‌ها	10	9	9	10	9.604
پیش گرمکن‌های نیروگاهی	9	6	10	10	9.287
راکتورهای شیمیایی	9	9	7	9	8.306
تانک ذخیره با سقف ثابت	10	9	6	10	8.563
تانک ذخیره کروی	9	8	10	10	9.385
مخزن ذخیره API 620	10	10	8	10	9.306
مخزن ذخیره API 650	9	6	8	8	8.419

گام ششم: ارزیابی RPN محاسبه شده توسط روش تلفیقی FAHP و FMEA و روش FMEA سنتی و مقایسه آنها توسط شاخص میانگین مربع خطا^۱

در این پژوهش ارزش‌گذاری برای تمامی لایه‌ها با توجه به وزن به دست آمده برای هر معیار و RPN محاسبه شده طبق هر دو روش برای هر محصول در نظر گرفته شده است، هم چنین در پژوهش حاضر برای مقایسه‌ی دقت و نزدیکی به واقعیت موجود در دو روش FAHP و FMEA سنتی از شاخص MSE استفاده شده است، که برای محاسبه آن داریم:

¹ Mean Square Error (MSE)

r_i ضریب حاصل از روش فازی یا FMEA سستی، k_i ضریب حاصل از دیدگاه خبرگان برای هر شاخص، n تعداد شاخص می‌باشد. رابطه‌ی ریاضی شاخص مذکور به صورت زیر می‌باشد (سروری، صدرالاشرفی و همکاران، ۱۳۸۶)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i - k_i)^2}{n} \quad (10)$$

لازم به ذکر است که ضرایب و رتبه‌بندی تجهیزات توسط خبرگان بر گرفته از نتایج مستندات، حاصل تجربه و سیستم اطلاعاتی در سازمان مربوطه است.

جدول ۷. مقایسه RPN محاسبه شده توسط روش های FAHP و FMEA و FMEA سستی

محصولات	FMEA کلاسیک		FMEA و FAHP		دیدگاه خبرگان	
	رتبه	ضریب	رتبه	ضریب	رتبه	ضریب
درامها	۱	۹	۱	۹/۹۵۱	۱	۹/۸۲
مبدلهای حرارتی	۴	۸/۱	۶	۹/۲۵۷	۶	۹/۱۸
برج ها	۳	۸/۵۵	۲	۹/۶۰۴	۲	۹/۵۹
پیش گرمکن های نیروگاهی	۸	۵/۴	۵	۹/۲۸۷	۵	۹/۱۹
راکتورهای شیمیایی	۷	۶/۴۸	۹	۸/۳۰۶	۹	۸/۲۶
تانک ذخیره با سقف ثابت	۶	۷/۲	۷	۸/۵۶۳	۷	۸/۵۰
تانک ذخیره کروی	۵	۷/۲	۳	۹/۳۸۵	۳	۹/۲۷
مخزن ذخیره API 620	۲	۹	۴	۹/۳۰۶	۴	۹/۲۲
مخزن ذخیره API 650	۹	۴/۳۲	۸	۸/۴۱۹	۸	۸/۳۸

در مقایسه رتبه بندی محصولات طبق جدول بالا مشاهده می شود که تنها محصول درام در هر دو روش در جایگاه اول واقع شده است و سایر محصولات در جایگاهی متفاوت در هر یک از دو روش قرار می گیرند، در روش تلفیقی چون از داده های وزن دار استفاده می شود و به مقدار SOD وزنی اختصاص داده می شود احتمال وقوع ریسک تغییر می کند و نتایج دقیق تری به دست می آید.

جدول ۸ مقایسه روش AHP فازی و FMEA کلاسیک با استفاده از شاخص MSE

روش مورد نظر	مقدار MSE	تعداد شاخص‌ها
تلفیق AHP فازی و FMEA	۰/۰۰۹۲	۹
FMEA سنتی	۴/۰۸	

همچنین بر اساس نتایج حاصل از شاخص میانگین مربع خطا فاصله بین ضریب شاخصهای روش FMEA سنتی و روش فازی با ضرایب نرمالیزه حاصل از دیدگاه خبرگان به ترتیب مقادیر ۴/۰۸ و ۰/۰۰۹۲ محاسبه گردید که مقدار MSE در روش فازی نسبت به روش FMEA سنتی خیلی کوچکتر است، که بیانگر دقت بسیار بالاتر روش فازی در رتبه بندی تجهیزات اصلی مجتمع می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

یکی از عوامل موفقیت FMEA زمان اجرای آن است. این شیوه برای آن طرح‌ریزی شده که "یک اقدام قبل از واقعه باشد، نه یک تمرین بعد از آشکار شدن مشکلات" به بیان دیگر یکی از تفاوت‌های اساس FMEA با سایر شیوه‌های کیفی این است که FMEA یک اقدام کنشی است نه واکنشی. با توجه به اهمیت این موضوع مطالعه موردی در این تحقیق مجموعه صنایع آذارب اراک است، که با توجه به دلایل ذکر شده پروژه‌ی FMEA در این سازمان از اهمیت شایانی به منظور شناسایی ریسک‌ها و اولویت‌بندی آنها برخوردار است. مساله فوق علاوه بر روش سنتی FMEA با روشی نوین یعنی تلفیق FAHP و FMEA نیز حل شده است که این روش شامل مزایای کاربردی نسبت به حالت سنتی است.

طبق نتایج به دست آمده اگر چه در هر یک از دو روش تجهیز نخست یعنی درام‌ها رتبه یک را به خود اختصاص داده است لیکن نتایج رتبه بندی شاخص‌ها در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی از لحاظ اولویت و دقت با دیدگاه خبرگان و تیم تصمیم‌گیری انطباق بسیار بالایی دارد. از دیگر نشانه‌های دقت بیشتر روش فازی نسبت به FMEA کلاسیک، نزدیکی نسبی شاخص‌ها و سازگاری بیشتر آنها با یکدیگر است، همچنین شاخص MSE در روش فازی نسبت به روش کلاسیک خیلی کوچک تر است و می‌تواند ادعای فوق را مورد تأیید قرار دهد. از آنجا که در بسیاری از مطالعات انجام شده بر برتری، دقیقت و واقعی تر بودن روش تصمیم‌گیری فازی در تعیین درجه ی اهمیت و اولویت بندی شاخصها نسبت سایر روش ها مهر تأیید نهاده شده است، نتایج این پژوهش نیز برتری، دقت بالاتر و نزدیکی بیشتر روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به واقعیت در تعیین درجه ی اهمیت شاخصها و عوامل مؤثر در این پژوهش را نسبت به روش کلاسیک تأیید می‌کند.

۶- منابع

۶-۱- منابع فارسی

- آذر، عادل و حجت فرجی، (۱۳۸۹). علم مدیریت فازی، تهران، انتشارات مهربان.
- امیدوار، م.، مظلومی، ع.، محمدفام، ا.، رحیمی فروشانی، ع. و نیرومند، ف. (۱۳۹۵)، "ارایه الگویی جهت ارزیابی سطح عمل کرد سازمان مبتنی بر مهندسی رزیلینس و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی"، فصلنامه بهداشت و ایمنی کار، شماره ۳، جلد ۶.
- امینی فسخودی، ع. (۱۳۸۴)، "کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه ریزی و توسعه منطقه‌ای"، مجله دانش و توسعه، سال ششم، شماره ۱۷.
- بریمانی، ف. و راستی، ه. (۱۳۹۳)، "بررسی تطبیقی میزان دقت روشهای FAHP و AHP برای رتبه بندی شاخصهای مؤثر بر کیفیت زندگی"، جغرافیا و توسعه شماره ۳۴، صص ۳-۱۱.
- خورشید، ص. و قانع، ح. (۱۳۸۸)، "رتبه‌بندی چالشهای بانکداری الکترونیکی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی"، مجله مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد سنندج، سال چهارم، شماره ۹.
- رضایی، ک.، سیدی، م. و نوری، ب. (۱۳۸۴). تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن، انتشارات آتنا، چاپ دوم.
- سروری، ع.ا.، صدراشرفی، س.م.، دانشورکاخکی، م. و هاتف، ح. (۱۳۸۶). "تعیین اثرات تغییر قیمت شیر بر رفاه تولیدکنندگان و مصرف کنندگان و پیش بینی آن"، مجله اقتصاد کشاورزی، شماره ۱.
- شیشه‌بری، د.، حجاز، س.ر. (۱۳۸۸)، "به کارگیری تکنیک فرآیند سلسله مراتبی فازی با هدف انتخاب کاراترین روش ارتقاء بهره وری"، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۳، شماره ۱.
- صادقی صادق آبادی، ز.، ساعتی، ص.، محرابی، س. و خدادوست، ع. (۱۳۸۸). "ترکیب AHP و DEA فازی برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری"، مجله ریاضیات کاربردی واحد لاهیجان، سال ششم، شماره ۲۰.
- صفری، س.، بینشیان، م. و صفری، م. (۱۳۹۴). "توسعه روش تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی (FMEA) با بکارگیری مدلی تلفیقی از تکنیکهای تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی"، اولین همایش بین‌المللی حسابداری، حسابرسی مدیریت و اقتصاد، اصفهان.
- فاروقی، ه.، بدریان، م. و منصورپور، س. (۱۳۹۱). "ارائه مدل تلفیقی AHP و FMEA، QFD فازی برای بهبود تصمیم‌گیری در برون‌سپاری لجستیک"، فصلنامه مدیریت زنجیره تامین، سال چهاردهم، شماره ۳۸.
- فهرست ۳۰۰ شرکت برتر ایران در سال ۱۳۹۱، (۱۳۹۲)، انتشارات سازمان مدیریت صنعتی ایران.
- ودایع خیری، ح. و دبیری، غ. (۱۳۸۳)، آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن، انتشارات سایکو.

۶-۲- منابع انگلیسی

- Chen, S. J. and Hwang, C. L. (1992). "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications". Springer, Berlin.
- Kilincici, O. and Onal, S.A. (2011). "Fuzzy AHP Approach for Supplier Selection in a Washing Machine Company", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 8, pp. 9656-9664.

Kuei-Hu, C., Yung-Chia, C. and I-Tien, T. (2013). "Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 31, No. 1, pp. 211-224.

Sankar, N.R. and Prabhu, B.S. (2001). "Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis". *Int J Qual Reliab Manage*, Vol. 18, No. 3, pp. 324-335.

Seyed-Hosseini, S.M., Safaei, N. and Asgharpour, M.J. (2006). "Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 91, No. 8, pp. 872-881 .

Stamatis, D.H. (1995). "Failure Mode and Effect Analysis FMEA from Theory to Execution", New York, ASQC Quality Press.

Zadeh, L. (1965). "Fuzzy sets". *Information and Control*, Vol. 8, No. 3, pp. 338-353.

Zimmermann, H.J. (1996). "Fuzzy set theory and its application. Kluwer Academic Publishers", Boston.