



یک رویکرد تلفیقی برای رتبه بندی ریسک با استفاده از تجزیه و تحلیل حالات نقص و اثرات آن بر پایه یک مدل تصمیم گیری چند معیاره فازی

اکبر رستم آبادی^{*۱،۲}

۱. مرکز تحقیقات سلامت محیط کار، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران

چکیده

نوع مقاله: پژوهشی اصیل

مقدمه: شناسایی و ارزیابی خطرات یکی از الزامات حیاتی به منظور پیشگیری از حوادث و حفظ سلامت نیروی انسانی در محیط کار می باشد. روش تجزیه و تحلیل حالات نقص و اثرات آن (FMEA) از جمله ابزارهای پرکاربرد جهت شناسایی و ارزیابی خطرات موجود در یک سیستم است. به دلیل برخی محدودیت ها، در سال های اخیر تمرکز محققین بر بهبود قابلیت های آنالیزی این روش معطوف شده است. در این مطالعه از روش بهترین-بدترین فازی (FBWM)، به منظور غلبه بر کاستی های مرتبط با اولویت بندی روش FMEA استفاده شده است.

روش: ابتدا نسبت به شناسایی کلیه حالات نقص سیستم اقدام شد. سپس، در گام دوم به منظور وزن دهی به پارامترهای ریسک تکنیک FBWM با روش FMEA ادغام شد. در نهایت اعداد فازی هر یک از پارامترهای ریسک باهم ترکیب و عدد اولویت ریسک فازی محاسبه شد. کاربرد رویکرد پیشنهادی جهت آنالیز خطرات یک دیگ بخار بررسی شد.

یافته ها: نقص شیر اطمینان مکانیکی، شیر اطمینان برقی و نقص اتصالات به ترتیب به عنوان پراهمیت ترین خطرات شناسایی شدند. نتایج نشان داد که برخلاف روش معمول FMEA، استفاده از رویکرد FBWM باعث می شود هر یک از حالات نقص در رتبه ریسک مجزایی قرار گیرند. **نتیجه گیری:** رویکرد پیشنهادی منجر به اولویت بندی جزئی تر ریسک ها شد و با استفاده از آن می توان مطمئن بود که اهمیت نسبی کلیه حالات نقص در آنالیز مدنظر قرار می گیرد.

کلیدواژه ها: آنالیز حالات نقص و اثرات آن، پارامترهای ریسک، روش های تصمیم گیری چندمعیاره فازی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۲

*نویسنده مسئول: اکبر رستم

آبادی، مرکز تحقیقات سلامت محیط

کار، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور،

نیشابور، ایران

تلفن: ۰۹۱۹۴۲۸۰۱۴۳

پست الکترونیک:

rostamia79@gmail.com



مقدمه

نقص تجهیزات موجود در محیط کار، یکی از عوامل ایجاد حوادث و آسیب به سلامت نیروی کار می باشد. روش تجزیه و تحلیل حالات نقص و اثرات آن (FMEA) از جمله ابزارهای مهم در مهندسی ایمنی و قابلیت اطمینان محسوب می شود که با استفاده از آن می توان حالات نقص را در یک سیستم شناسایی نموده و قبل از اینکه این نقص ها به وقوع پیوسته و منجر به حوادث و آسیب گردند راهکارهای کم هزینه به منظور رفع آن ها ارائه شود (۱). امروزه روش FMEA به عنوان یکی از تکنیک های تجزیه و تحلیل ایمنی سیستم ها شناخته شده است که به طور گسترده در حیطه ایمنی و قابلیت اطمینان استفاده می شود (۲). روش FMEA نوعی تحلیل استقرایی است که از طریق کاهش احتمال رخداد نقص یا کاهش شدت اثرات نقص و یا هر دو، منجر به کاهش ریسک و یا افزایش احتمال کشف نقص می گردد (۳). یکی از مهمترین ویژگی های FMEA، مساله آینده نگری بودن این روش است (۴).

اگر چه امروزه روش FMEA به عنوان یک ابزار کارآمد به طور گسترده در حوزه ایمنی و ارزیابی ریسک استفاده می شود، اما دارای محدودیت هایی می باشد که باعث شده تا نتایج حاصل از آن با برخی عدم اطمینان ها همراه باشد (۵، ۶). در روش FMEA، عدد اولویت ریسک (RPN) از حاصل ضرب سه پارامتر ریسک شامل احتمال رخداد (O)، شدت پیامد (S) و قابلیت کشف (D) خطرات که هر یک دارای مقادیر قطعی هستند، محاسبه می شود. استفاده از داده های قطعی در این روش ممکن است منجر به تناقض، ابهام و اشتباه در قضاوت خبرگان و در نهایت عدم اطمینان در نتایج آنالیز شود (۷، ۸). علاوه بر این، در روش FMEA فرض بر این است که پارامترهای ریسک شامل احتمال، شدت و قابلیت کشف خطرات، اهمیت نسبی یکسانی دارند، در صورتی که در واقعیت ممکن است درجه اهمیت و وزن این پارامترها، متفاوت باشند (۹).

در سال های اخیر به منظور غلبه بر محدودیت های فوق برخی از محققان نسبت به توسعه مدل های ترکیبی اقدام نموده اند که در آن ها روش های تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM) و تئوری فازی در روش FMEA ادغام شده اند. به عنوان مثال جهانگشایی و همکاران (۱۰) به منظور محاسبه عدد اولویت ریسک و اولویت بندی خطرات ایمنی، بهداشت و محیط (HSE) در یک صنعت پتروشیمی یک مدل ترکیبی را براساس ادغام روش های استدلال فازی (FIS) و تحلیل پوششی داده ها (DEA) در روش FMEA پیشنهاد نمودند. Kumar و Panchal (۱۱) جهت شناسایی خطرات و آنالیز ریسک یک دستگاه کمپرسور در یک نیروگاه حرارتی از ادغام روش فازی و تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری (GRA) با روش FMEA استفاده کردند. Mahdi و Erzaij (۱۲) به منظور شناسایی و ارزیابی ریسک های موجود در صنایع ساخت و ساز نسبت به توسعه یک مدل ترکیبی براساس ادغام روش فازی AHP در روش FMEA اقدام نمودند. Bohrey و Chatpalliwar (۱۳) در مطالعه خود به منظور ارزیابی خطاهای انسانی، یک رویکرد ترکیبی به نام مدل تجزیه و تحلیل نقص برپایه روش AHP-TOPSIS را توسعه دادند. Lima و Magalhães (۱۴) نیز در مطالعه خود از ترکیب روش فازی تاپسیس و روش FMEA به منظور اولویت بندی ریسک ها در یک صنعت فرآیندی استفاده کردند.

روش بهترین-بدترین (BWM) یکی از روش های تصمیم گیری چندمعیاره می باشد که در سال ۲۰۱۵ توسط رضایی (۱۵) ارائه شده است. این روش علاوه بر اینکه در مقایسه با سایر روش های تصمیم گیری چندمعیاره به خصوص روش AHP نیاز به مقایسات زوجی کمتری دارد، قادر است نتایجی با نسبت سازگاری بالاتری نیز فراهم نماید (۱۶). اخیراً Guo و Zhao (۱۷) روش BWM را به محیط فازی توسعه داده اند و روشی به نام روش فازی بهترین-بدترین (FBWM) پیشنهاد نموده اند. نتایج بررسی متون نشان می دهد که مطالعات بسیار کمی در زمینه کاربرد روش FMEA در ترکیب با FBWM انجام شده

است. در این راستا، هدف از مطالعه حاضر ارائه رویکردی جهت آنالیز نقص سیستم‌های فرآیندی با استفاده از روش FMEA بر پایه رویکرد FBWM می‌باشد.

روش

در این مطالعه مقطعی-تحلیلی یک رویکرد ترکیبی با ادغام روش FBWM و روش FMEA به منظور شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های یک دیگ‌بخار صنعتی ارائه شده است. چارچوب کلی رویکرد مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین، در بخش زیر جزئیات مربوط به شیوه انجام این رویکرد ارائه شده است.

خبره، ملاک‌های اصلی مانند داشتن تخصص در زمینه سیستم مورد مطالعه، سابقه‌کاری و آشنایی با مفاهیم مربوط به خطر، ریسک و تحلیل حالت نقص و اثرات آن مدنظر قرار گرفت. پس از تشکیل تیم، کلیه حالت‌های احتمالی نقص سیستم مورد مطالعه، احتمال رخداد هر حالت نقص (O)، شدت اثرات آن‌ها (S) و قابلیت کشف حالات نقص (D) در طی چندین جلسه توسط اعضای تیم خبرگان و با استفاده از روش بارش افکار شناسایی شدند. سپس، به منظور برآورد پارامترهای ریسک با استفاده از روش FBWM به ترتیب ۸ مرحله زیر اقدام شد:

شکل ۱- چارچوب کلی رویکرد FMEA بر پایه روش FBWM



گام (۱) شناسایی حالات نقص:

براساس دستورالعمل روش FMEA نخستین گام در تحلیل حالت نقص و اثرات آن، تشکیل یک تیم ارزیابی جهت آنالیز سیستم مورد مطالعه و شناسایی حالات نقص یا شناسایی خطرات محتمل آن می‌باشد. لذا، در مطالعه حاضر ابتدا نسبت به تشکیل تیم ارزیابی تخصصی اقدام شد. جامعه آماری شامل متخصصین درگیر در راه‌اندازی، تعمیر و نگهداری، بازرسی و فرآیندهای مرتبط با سیستم مورد مطالعه بودند. انتخاب متخصصین به صورت غیر تصادفی و براساس ملاک‌های تعریف شده از متخصص (خبره) در این پژوهش و مطالعات گذشته انجام شد (۱۸). به منظور انتخاب

۱- تعیین معیارهای تصمیم‌گیری: در مرحله اول هر یک از پارامترهای ریسک به عنوان یک معیار تصمیم‌گیری در نظر گرفته شدند.

۲- تعیین بهترین و بدترین معیار: در مرحله دوم در پانل‌های تخصصی متشکل از خبرگان، از میان معیارهای تعیین شده نسبت به تعیین بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیار اقدام شد.

۳- انجام مقایسه فازی در مورد بهترین معیار: در این مرحله مقایسه فازی $\tilde{a}_{ij}$ بین معیارها در حالتی که i بهترین معیار می‌باشد، انجام شد. در این مرحله، ابتدا مقایسه فازی بهترین



$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{\tilde{w}_B}{\tilde{w}_j} - \tilde{\alpha}_{Bj} \right|, \left| \frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_w} - \tilde{\alpha}_{jw} \right| \right\}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n R(\tilde{w}_j) = 1 \\ l_j^w \leq m_j^w \leq u_j^w \\ l_j^w \geq 0 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

که در رابطه فوق:

$$\tilde{w}_B = (l_B^w, m_B^w, u_B^w), \tilde{w}_j = (l_j^w, m_j^w, u_j^w), \tilde{w}_w = (l_w^w, m_w^w, u_w^w),$$

$$\tilde{\alpha}_{Bj} = (l_{Bj}, m_{Bj}, u_{Bj}), \tilde{\alpha}_{jw} = (l_{jw}, m_{jw}, u_{jw})$$

سپس معادله ۱ به رابطه غیرخطی زیر تبدیل شد:

$$\min \xi$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \left| \frac{\tilde{w}_B}{\tilde{w}_j} - \tilde{\alpha}_{Bj} \right| \leq \xi \\ \left| \frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_w} - \tilde{\alpha}_{jw} \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \sum_{j=1}^n R(\tilde{w}_j) = 1 \\ l_j^w \leq m_j^w \leq u_j^w \\ l_j^w \geq 0 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

با در نظر گرفتن $l^\xi \leq m^\xi \leq u^\xi$ و با فرض اینکه

$$\xi^* = (k^*, k^*, k^*), k^* \leq l^\xi$$

معادله ۲ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\min \xi$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \left| \frac{l_B^w m_B^w u_B^w}{l_j^w m_j^w u_j^w} - (l_{Bj} m_{Bj} u_{Bj}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \left| \frac{l_j^w m_j^w u_j^w}{l_w^w m_w^w u_w^w} - (l_{jw} m_{jw} u_{jw}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \sum_{j=1}^n R(\tilde{w}_j) = 1 \\ l_j^w \leq m_j^w \leq u_j^w \\ l_j^w \geq 0 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (3)$$

معیار (C_B^1) نسبت به سایر معیارها انجام و سپس نتیجه مقایسه براساس اصطلاحات زبانی ارائه شده در جدول ۱ به اعداد فازی مثلثی^۲ (TFNs) تبدیل شد. در این حالت بردار بهترین معیار به سایر معیارها به صورت $B = (\tilde{\alpha}B1, \tilde{\alpha}B2, \tilde{\alpha}B3)$ می باشد که در آن $Bj\tilde{\alpha}$ ترجیح فازی بهترین معیار در مقایسه با معیار j th می باشد.

جدول ۱ - اصطلاحات زبانی و توابع عضویت در روش فازی بهترین-بدترین

اصطلاحات زبانی	تابع عضویت
اهمیت یکسان (EI)	(۱, ۱, ۱)
اهمیت ضعیف (WI)	(۲/۳, ۱, ۳/۲)
نسبتا مهم (FI)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)
خیلی مهم (VI)	(۵/۲, ۳, ۷/۲)
کاملا مهم (AI)	(۷/۲, ۴, ۹/۲)

۴- انجام مقایسه فازی در مورد بدترین معیار: در این مرحله مقایسه فازی $i\tilde{a}j$ در حالتی که j بدترین معیار می باشد، انجام شد. بدین منظور، مقایسه فازی سایر معیارها نسبت به بدترین معیار (C_w^2) براساس اصطلاحات زبانی ارائه شده در جدول ۱ به اعداد فازی مثلثی تبدیل شد. در این حالت بردار سایر معیارها به بدترین معیار به صورت $W = (\tilde{\alpha}1W, \tilde{\alpha}2W, \dots, \tilde{\alpha}nW)$ می باشد که در آن $iW\tilde{\alpha}$ ترجیح فازی معیار j th در مقایسه با بدترین معیار (C_w) است.

۵- تعیین وزن های فازی بهینه^۴: با استفاده از معادله زیر وزن های فازی بهینه $(\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*)$ تعیین گردید:

³ Worst Criteria

⁴ Optimal fuzzy weights

¹ Best Criteria

² Triangular Fuzzy Numbers



گام ۳) آنالیز و اولویت بندی حالات نقص:

در این گام مقادیر FS هر یک از پارامترهای S, O, و D از طریق رابطه زیر با هم ترکیب و عدد اولویت ریسک فازی (Fuzzy-RPN) با استفاده از رابطه ۷ محاسبه گردید.

$$\text{Fuzzy-RPN} = FS_{(S)} \times FS_{(O)} \times FS_{(D)} \quad (7)$$

یافته‌ها

اعضای تیم تخصصی متشکل از پنج نفر خبره شامل یک نفر کارشناس مکانیک (دارای ۱۰ سال سابقه کار و ۳۵ سال سن)، یک نفر تکنسین تعمیر و نگهداری دیگ بخار (دارای ۱۲ سال سابقه کار و ۳۸ سال سن)، یک نفر کارشناس ارشد بهداشت، ایمنی و محیط (HSE) (دارای ۱۳ سال سابقه کار و ۴۵ سال سن)، یک نفر کارشناسی ارشد برق (دارای ۱۸ سال سابقه کار و ۴۹ سال سن) و یک نفر کارشناس شبکه (دارای ۱۵ سال سابقه کار و ۴۶ سال سن) بود. در جدول ۲، حالات نقص، علل و پیامدهای احتمالی شناسایی شده توسط خبرگان ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود در این مرحله ۱۹ حالت نقص شناسایی شد.

۶- دیفازی نمودن وزن‌های فازی: در این مرحله با استفاده از رابطه ۴ نسبت به دیفازی کردن وزن‌های فازی بهینه اقدام شد.

$$\text{GMIR} = \frac{l_i + 4m_i + u_i}{6} \quad (4)$$

۷- تعیین وزن متخصص^۱ (WF): به منظور تعیین تاثیر کیفیت پاسخ خبرگان در محاسبه وزن پارامترهای ریسک، مطابق با مطالعه Renjith و همکاران (۱۹) یک فاکتور به نام فاکتور وزن متخصص یا WF تعیین و با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$\text{WF}_{(\text{Expert } i)} = \frac{\text{weighting score (WS) of expert } i}{\sum_{i=1}^n (\text{weighting score of all expert})} \quad (5)$$

$$\text{WS of expert } i = \text{Score of A} + \text{Score of E} + \text{Score of EL} + \text{Score of PP},$$

که در رابطه فوق A سن، E میزان تجربه (سابقه کار)، EL سطح تحصیلات و PP موقعیت حرفه‌ای متخصص i می‌باشند.

۸- سرانجام در مرحله آخر، نمرات فازی (FS) براساس حاصل ضرب مقادیر GMIR و کیفیت نسبی پاسخ خبرگان (WF) با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شدند.

$$\text{FSs} = \sum_{i=1}^n (\text{GMIR} \times \text{WS}) / N_E \quad (6)$$

¹ Weighting factor



جدول ۲- حالات نقص شناسایی شده و علل و اثرات آنها برای دیگ بخار مورد مطالعه			
زیر سیستم	حالات نقص	علت/علل ایجاد نقص	اثر/اثرات نقص
کوره	FM1- نقص فوتو رزیستور	تجمع گردوغبار روی چشمی	خاموش شدن دیگ بخار و توقف فرآیند تولید
		اختلال در مدار الکترونیکی	
		جابجایی (شل شدن) محل نصب سنسور	
	FM2- نقص باز شدن شیر سلنوئید مشعل شعله (بلند و کوتاه)	سوختن برد مبدل	خاموش شدن دیگ بخار و توقف فرآیند تولید
		گیر کردن مکانیکی سوپاپ ها	
		عدم دریافت ولتاژ از رله کنترلی به شیر	
	FM3- نقص باز شدن شیر سلنوئید اصلی	گیر کردن اسپول	خاموش شدن دیگ بخار و توقف فرآیند تولید
		سوختن برد تبدیل	
		قطعی سیم تغذیه برق	
		سوختن سیم پیچ	
	FM4- نقص رگولاتور	سوراخ شدن دیافراگم	خاموش شدن دیگ بخار و توقف فرآیند تولید
		آسیب دیدگی فنر	
		از تنظیم خارج شدن رگولاتور	
- کم شدن دمای کوره - خاموش شدن دیگ بخار و توقف فرآیند تولید	FM5- نقص رله کنترلی	کثیف شدن سوکت های ورود و خروج	
		آسیب دیدگی مکانیکی	
		آسیب دیدگی الکترونیکی	
نمایش غیر سطح آب درون دیگ بخار	FM6- نقص سطح سنج برقی	عمل نکردن رله فرمان	
		عمل نکردن سنسور مغناطیسی	
		از تنظیم خارج شدن لول سنج	
نمایش سطح غیر صحیح آب درون دیگ بخار	FM7- نقص سطح سنج مکانیکی	عمل نکردن شیر تخلیه لول گیج	
		آسیب دیدگی خلطکش لول گیج (گیر کردن مکانیکی)	
		رسوب گرفتن داخل لول گیج	
- انفجار دیگ بخار - مرگ و صدمه به پرسنل - آسیب به تجهیزات و اموال	FM8- نقص شیر اطمینان برقی (b 18)	عمل نکردن سنسور مغناطیسی	
		عمل نکردن رله فرمان	
		آسیب دیدگی فنرهای کنترل فشار	
- انفجار دیگ بخار - مرگ و صدمه به پرسنل - آسیب به تجهیزات و اموال	FM9- نقص شیر اطمینان مکانیکی	آسیب دیدگی رله های برقی شیر	
		از تنظیم خارج شدن شیر اطمینان	
		آسیب دیدگی اجزای مکانیکی شیر	
- کمبود آب در دیگ بخار	FM10- نقص سیستم کنترل	آسیب دیدگی برد رله فرمان	
		عمل نکردن PLC	
- از دست رفتن آب دی اریتر و کمبود آب در دیگ بخار	FM11- نقص مخزن	نشستی از اتصالات	
		سوراخ شدن مخزن	
		عمل نکردن شیر الکتریکی	
- فرسودگی بدنه دیگ بخار - کاهش دمای آب ورودی به دیگ بخار	FM12- نقص حرارتی دی اریتر (دمای نامناسب)	افت دمای کندانس	
		آسیب دیدگی پروانه ها	
		گرفتگی طبقات داخل دی اریتر	
- فرسودگی بدنه دیگ بخار	FM13- نقص اکسیژن زدایی دی اریتر	آسیب دیدگی پروانه ها	
		گرفتگی طبقات داخل دی اریتر	
- عدم پمپاژ آب به درون مخزن دی اریتر	FM14- نقص دریچه برقی آب ورودی	گیر کردن اسپول به علت رسوب مواد	
		عمل نکردن بوبین	



دوزینگ پمپ	FM15- نقص پمپ	گرفتگی نازل ها	-افزایش میزان PH - خوردگی مخزن
		کم شدن یا نبود مایع دوزینگ	
		آسیب دیدگی برقی برد	
		عمل نکردن پمپ	
	FM16- نقص رله فرمان دوزینگ پمپ	آسیب دیدگی تیغه های رله	-عدم پمپاژ آب به درون مخزن
		آسیب دیدگی برد رله	
مخزن آرو (RO tank)	FM17- نقص فلوتر	سوراخ شدن بدنه فلوتر	عدم امکان پمپاژ آب به داخل مخزن کندانس
		آسیب دیدن کلید برق فلوتر	
		قفل کردن شیر برقی	
لوله و اتصالات	FM18- نقص گسکت و اتصالات	ترک و پوسیدگی اتصالات	صدمه و آسیب به افراد و اموال
		تغییر شکل و گرم شدن بیش از حد گسکت ها به علت وجود بخار	
		پارگی اتصالات در اثر فشار بالا	
		تعمیر و نگهداری ضعیف	
	FM19- نقص لوله ها	خوردگی و ترک در لوله ها	صدمه و آسیب به افراد و اموال
		تعمیر و نگهداری ضعیف	

مقایسه ای دو رویکرد ارزیابی ریسک با روش FMEA سنتی و روش ادغام FBWM با FMEA و رتبه بندی حالات نقص در هر رویکرد در جدول ۴ ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد، رویکرد FMEA بر پایه FBWM دارای حساسیت بالاتری در رتبه بندی حالات نقص می باشد به طوری که ۱۹ حالت نقص شناسایی شده را در ۱۹ رتبه مجزا مشخص نموده است. این در حالی است که رتبه بندی با روش سنتی FMEA فاقد چنین حساسیتی بوده و ۱۹ حالت نقص شناسایی شده را در ۱۰ رتبه قرار داده است.

نمرات پارامترهای S، O و D با استفاده از رویکرد فازی و رویکرد سنتی FMEA در جدول ۳ ارائه شده است. همانگونه که نشان داده شده است، بالاترین نمره Fuzzy RPN به ترتیب مربوط به حالات نقص FM9، FM8 و FM18 بود. حالات نقص FM5، FM10 و FM11 پایین ترین نمره Fuzzy RPN را به خود اختصاص دادند. در روش سنتی نیز بالاترین نمره RPN به ترتیب مربوط به حالات نقص FM9، FM8، FM18 و FM19 بود. نتایج

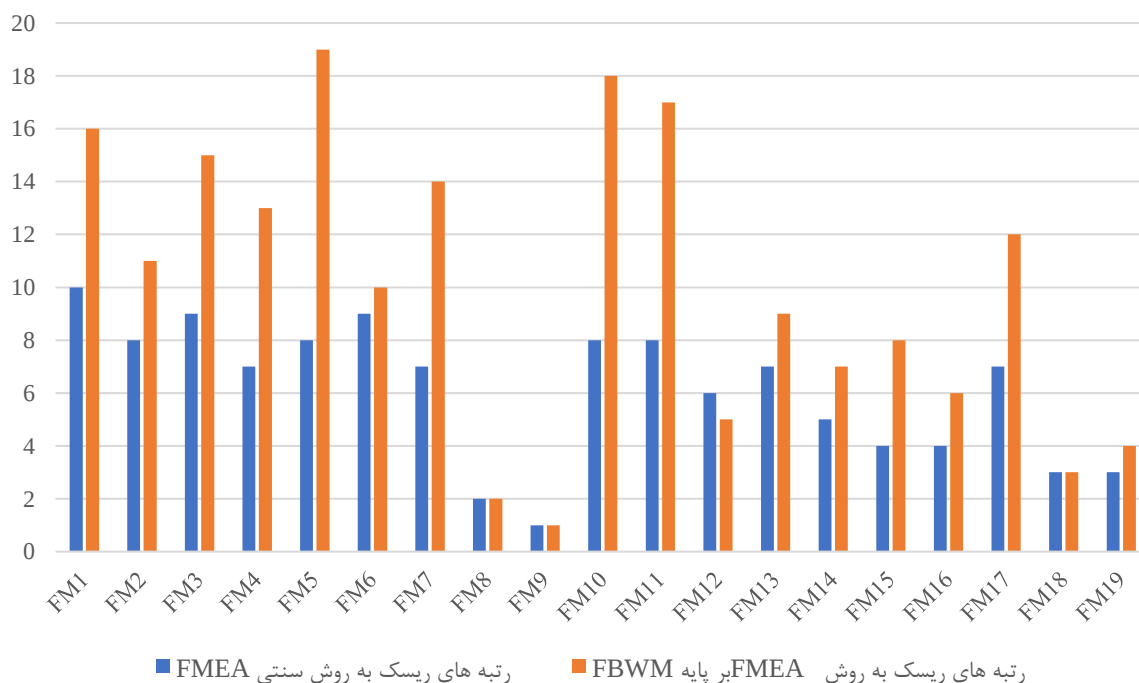
جدول ۳: نمرات پارامترهای ریسک هر یک از حالات نقص با استفاده از رویکرد FBWM و رویکرد سنتی FMEA

رویکرد FMEA سنتی			رویکرد FBWM			حالات نقص
D	S	O	FS _(D)	FS _(S)	FS _(O)	
۵	۴	۲	۵/۰۳۵	۳/۳۳۸	۲/۷۵۶	FM1
۴	۳	۴	۴/۷۷۰	۳/۴۷۰	۳/۰۹۱	FM2
۵	۳	۳	۴/۶۹۸	۳/۷۳۴	۲/۹۶۲	FM3
۶	۳	۳	۴/۵۰۱	۳/۲۵۲	۳/۳۸۴	FM4
۴	۳	۴	۳/۲۰۴	۵/۸۸۰	۲/۰۵۲	FM5
۵	۳	۳	۳/۸۱۲	۳/۹۷۰	۳/۵۰۹	FM6
۶	۳	۳	۴/۲۷۳	۲/۵۹۰	۴/۳۸۹	FM7
۵	۷	۳	۴/۶۴۱	۴/۵۴۳	۴/۶۴۱	FM8
۶	۹	۲	۴/۹۰۴	۴/۶۲۷	۴/۴۱۱	FM9



۴	۴	۳	۳/۷۶۰	۵/۲۲۳	۲/۱۵۸	FM10
۴	۳	۴	۵/۰۹۲	۳/۶۲۵	۲/۳۹۹	FM11
۴	۴	۴	۵/۱۱۹	۴/۰۶۱	۴/۱۶۹	FM12
۶	۳	۳	۴/۵۵۱	۳/۷۴۸	۳/۶۲۴	FM13
۵	۵	۳	۳/۴۱۳	۴/۱۸۴	۴/۷۳۹	FM14
۵	۴	۴	۳/۰۳۷	۵/۰۰۶	۴/۲۹۱	FM15
۵	۴	۴	۴/۴۵۰	۳/۹۸۰	۳/۹۲۵	FM16
۶	۳	۳	۳/۷۷۰	۳/۹۷۵	۳/۳۷۹	FM17
۵	۵	۴	۴/۸۲۶	۴/۰۹۲	۴/۴۲۱	FM18
۵	۴	۵	۴/۳۱۵	۳/۸۴۴	۳/۹۷۸	FM19

همچنین، در شکل ۲ اختلاف مقادیر RPN و Fuzzy RPN برای هر یک از حالات نقص شناسایی شده توسط روش سنتی FMEA و رویکرد پیشنهادی در این مطالعه به طور گرافیکی ارائه شده است.



شکل ۲- مقادیر عدد اولویت ریسک توسط روش FMEA سنتی و رویکرد FMEA بر پایه FBWM



جدول ۴: مقادیر عدد اولویت ریسک توسط روش FMEA به شیوه سنتی و روش FMEA بر پایه FBWM

FMEA بر پایه روش FBWM		FMEA سنتی		حالات نقص
رتبه	Fuzzy-RPN	رتبه	RPN	
۱۶	۴۶/۳۲	۱۰	۴۰	FM1
۱۱	۵۱/۱۷	۸	۴۸	FM2
۱۵	۴۷/۲۳	۹	۴۵	FM3
۱۳	۴۹/۵۳	۷	۵۴	FM4
۱۹	۳۸/۷۰	۸	۴۸	FM5
۱۰	۴۴/۵۹	۹	۴۵	FM6
۱۴	۴۸/۵۹	۷	۵۴	FM7
۲	۹۷/۶۹	۲	۱۰۵	FM8
۱	۱۰۰/۱۱	۱	۱۰۸	FM9
۱۸	۴۲/۳۹	۸	۴۸	FM10
۱۷	۴۴/۲۸	۸	۴۸	FM11
۵	۸۴/۶۰	۶	۶۴	FM12
۹	۶۱/۸۴	۷	۵۴	FM13
۷	۶۷/۶۸	۵	۷۵	FM14
۸	۶۵/۲۶	۴	۸۰	FM15
۶	۶۹/۵۳	۴	۸۰	FM16
۱۲	۵۰/۶۵	۷	۵۴	FM17
۳	۸۷/۳۲	۳	۱۰۰	FM18
۴	۸۶/۶۸	۳	۱۰۰	FM19

بحث

(FM8) و نقص اتصالات (FM18) به ترتیب به عنوان پراهمیت ترین خطرات شناسایی شدند که باید به منظور جلوگیری از وقوع حوادث به عنوان رویدادهای اصلی در یک برنامه جامع پیشگیری از ریسک، بیشتر مورد بررسی و توجه قرار گیرند. به طور مشابهی با استفاده از روش سنتی FMEA نیز حالات نقص FM9، FM8 و FM18 به ترتیب به عنوان ریسک ها با اولویت اول تا سوم شناسایی شدند، با این تفاوت که FM19 (نشتی لوله ها) در رتبه سوم دارای رتبه ریسک مشابه با FM18 (نقص اتصالات) بود. لازم به ذکر است که براساس رویکرد پیشنهادی، FM19 دارای رتبه ریسک مجزایی بود و در اولویت چهارم قرار داشت.

در این مطالعه یک رویکرد ترکیبی معرفی شد که در آن از یک مدل تصمیم گیری چند معیاره به نام FBWM به منظور غلبه بر برخی محدودیت های روش FMEA استفاده شد. یافته های مطالعه نشان داد که توسط رویکرد پیشنهادی می توان رتبه بندی کامل و جامع تری را از حالات نقص شناسایی شده در یک سیستم در مقایسه با روش سنتی FMEA فراهم نمود. براساس نتایج مطالعه، در مجموع ۱۹ حالت نقص در سیستم مورد مطالعه (دیگ بخار) شناسایی شد. نتایج آنالیز با استفاده از رویکرد پیشنهادی (روش FMEA بر پایه FBWM)، نشان داد که نقص شیر اطمینان مکانیکی (FM9) نقص شیر اطمینان برقی



و تفاوت در تعداد حالات نقص شناسایی شده، باید با رعایت احتیاط انجام شود.

در رویکرد پیشنهادی در این مطالعه، مجموع ۱۹ حالت نقص شناسایی شده در ۱۹ رتبه مجزا قرار گرفتند به طوری که توسط این روش هیچ دو حالت نقص را نمی توان یافت که دارای رتبه مشترک و یکسانی باشند. این به علت استفاده از مجموعه های فازی در روش FBWM می باشد (۱۷). در روش سنتی FMEA، مقادیر امتیاز پارامترهای O، S و D براساس داده های قطعی و یک عدد از گستره ۱ تا ۱۰ تعیین می گردد. در این روش امتیازدهی، معمولاً اعضای تیم FMEA قادر نیستند تا به طور صحیحی ارزیابی های خود را براساس مقادیر داده های قطعی انجام دهند. بنابراین، به علت عدم اطمینان های حاصل از کاربرد اعداد قطعی و محدودیت های موجود در محاسبه و ارزیابی مقادیر پارامترهای ریسک، برخی از حالات نقص ممکن است از رتبه یا اولویت یکسانی برخوردار شوند (۱۸). از سوی دیگر در رویکرد پیشنهادی در این پژوهش، اهمیت پارامترهای ریسک به جای اعداد قطعی با استفاده از اصطلاحات های زبانی بیان گردید. در این حالت، معمولاً خبرگان برآورد و برداشت دقیق تری از این اصطلاحات زبانی در مقایسه با داده های قطعی دارند (۲۳، ۲۴). علاوه بر این، اعداد فازی مثلثی (TFNs) که براساس توابع عضویت در روش FBWM به منظور مقایسه معیارها مورد استفاده قرار می گیرد باعث می شود تا میانگین فازی نظرات خبرگان در فرآیند ارزیابی لحاظ گردد و بدین ترتیب ابهام و عدم اطمینان های موجود در بیان نظر خبرگان به حداقل ممکن کاهش یابد (۱۸).

از محدودیت های مطالعه حاضر این واقعیت است که رویکرد پیشنهادی بر این فرض استوار بود که حالات نقص، علل و اثرات نقص از هم مستقل بوده و هیچ ارتباطی بین آنها وجود نداشته باشد. در حالی که در شرایط و موقعیت های واقعی ممکن است بین حالات نقص، علل و اثرات آنها

درمورد کلیت اولویت بندی توسط روش سنتی و رویکرد پیشنهادی نکته قابل توجه این است که در روش سنتی FMEA، مجموع ۱۹ حالت نقص شناسایی شده تنها در ۱۰ رتبه قرار گرفتند. علت این موضوع این واقعیت است که در روش سنتی برخی از حالات نقص شناسایی شده دارای رتبه یکسانی بودند. به عنوان مثال عدد اولویت ریسک حالات نقص شامل FM2، FM5، FM10، FM11 برابر با ۴۸ و همگی در رتبه ۸ قرار گرفتند. در مورد حالات نقص FM4، FM7، FM13 و FM17 که دارای عدد اولویت ریسک یکسان و برابر با ۵۴ بودند، نیز وضعیت مشابهی داشتند و همگی در رتبه ۷ قرار گرفتند. به علاوه، این مساله در مورد دو حالت نقص دیگر یعنی FM15 و FM16 که در رتبه ۴ و دو حالات نقص FM18 و FM19 که در رتبه ۳ قرار داشتند، نیز صادق بود. این یافته ها در توافق با مطالعات گذشته، تاکید بر حساسیت پایین رویکرد سنتی FMEA در رتبه بندی پارامترهای ریسک و عدم اولویت بندی کامل و دقیق ریسک ها دارد (۲۰-۲۳). در مطالعه ای که توسط Ghoushchi و همکاران (۲۳) به منظور رتبه بندی حالات نقص واحدهای مختلف یک شرکت تولید کننده قطعات خودرو توسط ادغام روش FBWM و Z-MOORA در روش سنتی FMEA انجام شد، ۱۱ حالت نقص که در روش سنتی شناسایی شده بودند در ۷ رتبه قرار گرفته و دو روش سنتی و روش ادغام یافته تنها در اولویت اول با هم دارای رتبه ریسک مشابهی بودند. در مطالعه دیگری که توسط اکبری و همکاران (۲۴) به منظور رتبه بندی ریسک های فرایند تولید مولیبدنوم با استفاده از روش FMEA بر پایه FBWM و Z-WASPAS انجام شد، ۲۳ حالت نقص شناسایی شده به روش سنتی در ۱۱ رتبه قرار داشتند و دو روش تنها در اولویت اول و نهم با هم دارای رتبه ریسک مشابهی بودند. لازم به ذکر است که مقایسه مستقیم رتبه های ریسک به دست آمده در این مطالعه با مطالعات قبلی به علت تفاوت در نوع سیستم یا فرآیند مورد مطالعه، استفاده از سایر ابزارهای سنجش فازی علاوه بر FBWM،



هر حالت نقص در رتبه مجزایی قرار می‌گرفت. این بدان معنی است که بر خلاف روش سنتی، با استفاده از رویکرد پیشنهاد در این مطالعه می‌توان مطمئن بود که اهمیت نسبی کلیه حالات نقص در آنالیز مدنظر قرار می‌گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از یک طرح پژوهشی مصوب دانشگاه علوم پزشکی نیشابور (کد طرح ۱۴۰۳۰۷۰۳) می‌باشد.

تعارض منافع

مؤلف اعلام می‌نماید که هیچگونه تعارض منافی در این مطالعه وجود نداشته است.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی نیشابور انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی و کد اخلاق

این پژوهش در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی نیشابور با کد اخلاق IR.NUMS.REC.1403.028 تصویب شده است

نوعی وابستگی داخلی وجود داشته باشد به گونه‌ای که یک حالت نقص ممکن است منجر به نقص اجزای دیگر سیستم شود (۲۵). نادیده گرفتن چنین وابستگی‌هایی ممکن است بر مقادیر پارامترهای ریسک و نتیجتاً اعداد اولویت ریسک تاثیرگذار باشد و موجب مخدوش شدن نتایج گردد (۲۶). بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی علاوه بر استفاده از روش FBWM از ادغام سایر مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و یا استفاده از سایر روش‌ها مانند شبکه‌های بی‌زین به منظور مدنظر قرار دادن وابستگی‌های فوق‌الذکر استفاده گردد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شد تا با ادغام مدل FBWM در روش سنتی FMEA، برخی از محدودیت‌های موجود در محاسبه مقادیر پارامترهای ریسک و عدم اطمینان‌های موجود در قضاوت خبرگان رفع گردد. نتایج مطالعه نشان داد که رویکرد پیشنهادی به طور موفقیت‌آمیزی قادر به اولویت‌بندی کامل کلیه حالات نقص شناسایی شده بود. براساس یافته‌های این پژوهش، بسیاری از حالات نقص شناسایی شده در روش سنتی دارای رتبه ریسک مشابهی بودند، در حالی که با استفاده از رویکرد پیشنهادی این محدودیت مرتفع شده و

References:

- Sharma KD, Srivastava S. Failure mode and effect analysis (FMEA) implementation: a literature review. J Adv Res Aeronaut Space Sci. 2018;5(1-2):1-17.
- Lipol LS, Haq J. Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations. International Journal of Basic & Applied Sciences. 2011;11(5):74-82.
- Peeters J, Basten RJ, Tinga T. Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2018;172:36-44.
- Claxton K, Campbell-Allen NM. Failure modes effects analysis (FMEA) for review of a diagnostic genetic laboratory process. Int. J. Qual. Reliab. Manage. 2017;34(2):265-77.
- Huang J, You J-X, Liu H-C, Song M-S. Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2020;199:106885.
- Ilangkumaran M, Shanmugam P, Sakthivel G, Visagavel K. Failure mode and effect analysis using fuzzy analytic hierarchy process. International Journal of Productivity and Quality Management. 2014;14(3):296-313.
- Gul M, Yucsan M, Celik E. A manufacturing failure mode and effect analysis based on fuzzy and probabilistic risk analysis. Appl. Soft Comput. 2020;96:106689.
- Yucsan M, Gul M, Celik E. A holistic FMEA approach by fuzzy-based Bayesian network and best-worst method. Complex Intell. Syst. 2021;7:1547-64.
- Sharma RK, Kumar D, Kumar P. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. Int. J. Qual. Reliab. Manage. 2005;22(9):986-1004.



10. Jahangoshai Rezaee M, Yousefi S, Eshkevari M, Valipour M, Saberi M. Risk analysis of health, safety and environment in chemical industry integrating linguistic FMEA, fuzzy inference system and fuzzy DEA. *Stochastic Environ. Res. Risk Assess.* 2020;34(1):201-18.
11. Panchal D, Kumar D. Risk analysis of compressor house unit in thermal power plant using integrated fuzzy FMEA and GRA approach. *Int. J. Ind. Syst. Eng.* 2017;25(2):228-50.
12. Mahdi AM, Erzaij KR. Developing ANFIS-FMEA model for assessment and prioritization of potential trouble factors in Iraqi building projects. *Open Eng.* 2024;14(1):20220513.
13. Bohrey OP, Chatpalliwar A. Human Error Management in Aviation Maintenance Using Hybrid FMEA With a Novel Fuzzy Approach. *Def. Sci. J.* 2024;74(1).
14. Magalhães WRd, Lima FR. A model based on FMEA and Fuzzy TOPSIS for risk prioritization in industrial processes. *Gestão & Produção.* 2021;28(4):e5535.
15. Rezaei J. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega.* 2015;53:49-57.
16. Salimi N, Rezaei J. Evaluating firms' R&D performance using best worst method. *Evaluation and program planning.* 2018;66:147-55.
17. Guo S, Zhao H. Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Syst.* 2017;121:23-31.
18. Omidvar M, Nirumand F. Risk assessment using FMEA method and on the basis of MCDM, Fuzzy logic and Grey theory-a case study of overhead cranes. *Journal of Health & Safety at Work.* 2017;7(1).
19. Renjith V, Madhu G, Nayagam VLG, Bhasi A. Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation. *J. Hazard. Mater.* 2010;183(1-3):103-10.
20. Chin K-S, Wang Y-M, Poon GKK, Yang J-B. Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis. *Decis. Support Syst.* 2009;48(1):246-56.
21. Subriadi AP, Najwa NF. The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment. *Heliyon.* 2020;6(1).
22. Chai KC, Jong CH, Tay KM, Lim CP. A perceptual computing-based method to prioritize failure modes in failure mode and effect analysis and its application to edible bird nest farming. *Appl. Soft Comput.* 2016;49:734-47.
23. Ghouschi SJ, Yousefi S, Khazaeili M. An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and fuzzy BWM for prioritization of failures. *Appl. Soft Comput.* 2019;81:105505.
24. Akbari R, Dabbagh R, Ghouschi SJ. HSE risk prioritization of molybdenum operation process using extended FMEA approach based on Fuzzy BWM and Z-WASPAS. *J. Intell. Fuzzy Syst.* 2020;38(4):5157-73.
25. Wang Q, Jia G, Jia Y, Song W. A new approach for risk assessment of failure modes considering risk interaction and propagation effects. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2021;216:108044.
26. Erbay B, Özkan C. Fuzzy FMEA application combined with fuzzy cognitive maps to manage the risks of a software project. *Eur J Eng Formal Sci.* 2018;2(2):7-22.



An Integrated Approach for Risk Ranking Using Failure Mode and Effect Analysis based on a Fuzzy-Multicriteria Decision-Making Model

Akbar Rostamabadi^{1, 2*}

- 1- Workplace Health Research Center, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran.
- 2- Department of Occupational Health and Safety Engineering, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran.

Type of Article Original Research

Received: 2024/09/14

Accepted: 2024/10/13

*Corresponding Author:

Akbar Rostamabadi:

Workplace Health Research Center, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran

TEL: 09119663865

Email:

(rostamia79@gmail.com)

Abstract

Introduction: Identifying and assessing risks is a critical requirement to prevent accidents and protect human health in the workplace. The failure mode and failure effects method (FMEA) is a widely used tool to identify and evaluate risks in a system. Due to some shortcomings, researchers have recently focused on improving the analytical capabilities of this method. This study presents an approach that uses a multi-criteria decision model, the Fuzzy Best-Worst Model (FBWM), to overcome the limitations of the FMEA method.

Methods: The first step was to identify all failures and risks. Then, in the second step, the FBWM technique was incorporated into the FMEA to weight the risk parameters. Finally, the fuzzy numbers for each risk parameter were combined, and the fuzzy risk priority number was calculated. The proposed method was applied to analyze the failures and risks of steam boilers.

Results: The most significant risks were mechanical safety valve failure, electrical safety valve failure, and fitting failure. The results demonstrate that, unlike the traditional FMEA method, the proposed approach can provide a distinct risk priority for each identified risk.

Conclusion: The proposed FMEA method results in a detailed risk prioritization, ensuring that the relative importance of all relevant failure modes and risks is considered.

Keywords: Failure Mode and Effect Analysis, Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Model, Risk Parameters

► Please cite this article as: Rostamabadi A. An Integrated Approach for Risk Ranking Using Failure Mode and Effect Analysis based on a Fuzzy-Multicriteria Decision-Making Model. J Neyshabur Univ Med Sci 2023;11(1):76-88.