توسعه روش تحلیل و اولویت‌بندی مخاطرات سامانهٔ رانش دریایی

سید محمدمهدی حیدری[۱]، داود محمدی‌تبار[۲*]، صدیق رئیسی[۳]

[۱] کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران؛ heidary.sm@yahoo.com
[۲] استادیار، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران؛ d_mohammaditabar@azad.ac.ir
[۳] دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران؛ raissi@azad.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:۹۶/۵/۱
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۰۹

کلمات کلیدی:
تجزیه‌وتحلیل حالات شکست
عدد اولویت ریسک
تاپسیس
دیمتل

چکیده

روش تجزیه‌وتحلیل حالات شکست، جهت شناسایی و حذف مشکلات محتمل در طرح محصول و فرآیند تولید استفاده می‌شود. این روش به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای ایمنی و قابلیت اطمینان گسترش‌یافته و در طیف گسترده‌ای از صنایع ازجمله صنعت دریایی مورداستفاده قرارگرفته است. اما نقصان‌هایی مانند در نظر نگرفتن روابط مستقیم و غیرمستقیم بین خطاها و عدم توانایی در تحلیل خرابی با علت‌های مشترک و افتراق بین مخاطرات با عدد اولویت یکسان در روش مبتنی بر محاسبه عدد اولویت مخاطره (RPN) مشهود است. با توجه به اهمیت ایمنی در صنعت دریایی، در این مقاله به‌کارگیری روش بهبودیافته‌ای با ادغام روش‌های تاپسیس و دیمتل برای اولویت‌بندی مخاطرات در صنعت دریایی شرح داده می‌شود که پیاده‌سازی آن منجر به حل مشکلات معمول روش RPN ازجمله کاهش تکرار مقادیر RPN، شناسایی و تحلیل روابط بین اجزای سامانه، رتبه‌بندی مطلوب‌تر مخاطره به‌منظور یافتن بحرانی‌ترین علل خرابی و بهبود جدی‌ترین مخاطرات تحت منابع محدود گردیده است.

Developing an Analysis and Prioritization Method of the Marine Propulsion System Hazards

Seyed Mohammad Mahdi Heydari[1], Davood Mohammaditabar[2*], Sadigh Raissi [3]

[1] M.Sc., Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Heidary.sm@yahoo.com
[2]Assist. Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. d_mohammaditabar@azad.ac.ir
[3] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. raissi@azad.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 18 Aug. 2017
Accepted: 30 May 2018

Keywords:
Failure mode and effect analysis (FMEA)
Risk Priority Number (RPN)
Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)
Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

ABSTRACT

The FMEA method is one of the safety and reliability management techniques, which is very effective in identifying and eliminating potential problems in the product design and production process. Despite the extensive use of the Risk Priority Number (RPN) in FMEA, it is criticized due to shortcomings such as the inability to analyze crashes with a common cause, high duplicate RPN values and the lack of direct and indirect relationships among failures and the causes. Considering the importance of safety in marine industry, this paper describes the implementation of an aggregating method of TOPSIS and DEMATEL which is able to overcome common shortcoming of traditional RPN method in a marine propulsion system. The implementation of the method in prioritizing the main root causes led to more desirable results compared to the traditional RPN and DEMATEL base methods.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

۱- مقدمه

مدیریت مخاطرات پروژه که یکی از مهم‌ترین موضوعات در مدیریت پروژه محسوب می‌شود، عبارت است از برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، نظارت و کنترل همه ابعاد یک پروژه که معرفی مخاطره، ویژگی‌های آن، واکنش به مخاطره، و کنترل این واکنش را دربر می‌گیرد [۱]. حالات شکست در مدیریت مخاطرات هم یعنی عدم انطباق بین نیازها و منابع دریک مقطع زمانی خاص که نتیجه بروز یک اتفاق غیرعادی و پیش‌بینی‌نشده طبیعی و غیرطبیعی است[۲].

جهت ارزیابی مخاطرات روش‌های مختلفی وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: تجزیه‌وتحلیل حالات خطا و اثرات، تجزیه‌وتحلیل عوامل شکست و اثرات (FMEA)[۱] ، تجزیه‌وتحلیل حالات بحرانی خطا و اثرات ناشی از آن[۲]، تجزیه‌وتحلیل خطرات مرتبط با فرآیند[۳]، و تجزیه‌وتحلیل درختی خطرات[۴] [۳].

با توجه به پیشرفت درزمینه طراحی و ساخت کشتی‌ها، روشی موردنیاز است که بتواند بهبود مداوم طرح یا فرایندهای مختلف ساخت کشتی را تضمین کند. درواقع در صنعت کشتی‌سازی نیاز به یک ارزیابی مستند، عملی و واقع‌بینانه جهت شناسایی و حذف خرابی‌های بالقوه وجود دارد. روش‌های مدیریت مخاطرات مانند روش FMEA با بررسی خرابی‌ها و خطرات بالقوه و ارائه راهکارهای مناسب از عملکرد نادرست کشتی یا واحدهای تشکیل‌دهنده آن (مانند قطعات، زیرسامانه‌ها، سامانه‌ها و ...) جلوگیری می‌نمایند و ازاین‌جهت موردتوجه قرارگرفته‌اند.

نقصان‌هایی در روش‌های مبتنی بر RPN وجود دارد که می‌تواند تلاش‌های صورت گرفته در جهت مدیریت مخاطرات را با مشکل مواجه کند. این موضوع در صنعت دریایی با توجه به پیامدهای بالای آن بسیار حائز اهمیت است. لذا، در این مقاله روشی مبتنی بر ادغام تاپسیس (TOPSIS) و دیمتل (DEMATEL) شرح داده خواهد شد که نقصان‌های RPN را رفع کرده و جزئیات به‌کارگیری آن در ارزیابی مخاطرات یک مطالعه موردی در صنعت دریایی بررسی خواهد شد.

در این مقاله، در بخش دوم پیشینه تحقیق بررسی‌شده است. بخش سوم به تشریح روش ادغامی می‌پردازد. بخش چهارم، پیاده‌سازی روش ادغامی را در یک مطالعه موردی بیان می‌کند. بخش پنجم به تشریح یافته‌های تحقیق می‌پردازد و در بخش ششم نتیجه‌گیری ارائه‌شده است.

۲- ادبیات پژوهش

۲-۱- معرفی FMEA

FMEA اولین بار توسط شرکت هواپیمایی آمریکایی گرومن در اوایل دهه ۱۹۵۰برای سامانه‌های کنترل هواپیما پیشنهاد شد. ارتش ایالات‌متحده استاندارد MIL-STD-1629 را در سال ۱۹۷۴ و تجدیدنظر شده آن MIL-STD-1629A را در سال ۱۹۸۰ منتشر کرد که تا امروز همچنان موردتوجه است و هنوز هم از مهم‌ترین ارجاعات برای انجام FMEA است [۴].

FMEA ابزاری نظام‌یافته و پیشگیرانه بر پایه کارتیمی است که در تعریف، شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، حذف یا کنترل حالات، علل و اثرات خطاهای بالقوه در یک سامانه، فرآیند، طرح یا خدمت پیش از آنکه محصول یا خدمت نهائی، به دست مشتری آن برسد، مورداستفاده قرار می‌گیرد [۵]. از بهترین ویژگی‌های روش تحلیل حالات و اثرات خرابی اقدام کنشی به‌جای واکنشی در مقابل برخورد با شکست‌ها یا به‌عبارتی‌دیگر انجام عملی پیشگیرانه قبل از وقوع حادثه است.

۲-۲- عدد اولویت مخاطره RPN

برای ارزیابی و رتبه‌بندی مخاطرات حالات خرابی باید نمره اولویت مخاطره (RPN) محاسبه شود. در محاسبه RPN، به سه فاکتور رخداد[۵] (O)، شدت یا وخامت[۶] (S) و قابلیت کشف / تشخیص[۷] (D) نیاز داریم که از حاصل‌ضرب این سه شاخص عدد اولویت مخاطره[۸] (RPN) محاسبه می‌شود. دامنه هریک از این شاخص‌ها عددی بین ۱ تا ۱۰ است که به همین دلیل دامنه RPN عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ خواهد بود. هرچه RPN بزرگ‌تر باشد اهمیت آن نسبت به یک RPN کوچک‌تر بیشتر خواهد بود [۳].

۲-۳- محدودیت‌ها و اشکالات FMEA و RPN

FMEA در هنگامی‌که برای تحلیل اجزای عامل خرابی در یک سامانه مورداستفاده قرار می‌گیرد، بسیار اثربخش است. ولیکن FMEA، دارای چند محدودیت و اشکال (خصوصا در کاربردهای صنایع دریایی) است، که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم.

۱- FMEA ممکن است در مورد سامانه‌های پیچیده‌ای که دارای وظایف چندگانه‌ای برای تعدادی از اجزا هستند، بسیار مشکل و خسته‌کننده باشد.

۲- محدودیت بعدی FMEA، درزمانی ظاهر می‌شود که اثرات محیطی مهم هستند. در نظر گرفتن این اثرات نیاز به دانش کاملی از مشخصه‌ها و کارکردهای اجزای مختلف سامانه دارد. بایستی توجه داشت که خطای انسانی و اثرات محیطی منبع عمده خرابی‌های با علت مشترک محسوب می‌شوند.

۳- بررسی اقدامات پیشگیرانه در برابر خرابی‌های با علت مشترک، خارج از دامنه FMEA است.

۴- FMEA نیازمند آن است که با سایر روش‌های تحلیلی در حالتی که خرابی‌های چندگانه و اثرات ترکیبی وجود دارد پشتیبانی شود.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

۵- مقادیر RPN تکراری زیادی در نتایج حاصل‌ضرب S، O وD موجود است [۴]. در مطالعه کلیه حالات RPN می‌توان به ۲ تا ۲۴ ترکیب مختلف S، O و D برای یک RPN دست‌یافت که هر یک از این ترکیبات خود دارای مفاهیم مخاطره خاصی می‌باشند. به‌عنوان‌مثال در جدول ۱ ترکیب‌های مختلف برای عدد اولویت ریسک ۱۲۰ نشان داده‌شده است.

۶- عدم در نظر گرفتن وزن‌های ترتیبی S، O و D در فرایند تحلیل. اگرچه در روش RPN، در مواردی که عدد اولویت مخاطره یکسان باشد، ترکیباتی با شدت و تشخیص بالاتر در اولویت قرار می‌گیرند، لیکن در بسیاری از موارد ادبیات موضوع که در مورد مسائل مربوط به RPN است وزن‌های ترتیبی موردتوجه نبوده، این موضوع بخصوص در زمان طراحی محصول جدید ممکن است باعث نتیجه‌گیری متفاوت شود.

۷- عدم در نظر گرفتن روابط مستقیم و غیرمستقیم بین خطاها و علت خطاها. همان‌طور که قبلاً اشاره شد FMEA نیازمند آن است که توسط سایر روش‌ها، به‌ویژه در حالت خرابی‌های چندگانه و اثرات ترکیبی آن‌ها، پشتیبانی شود. زمانی که یکی از علل شکست باعث چند خطای بالقوه در سامانه می‌شود، باید اولویت بالاتری برای اقدام اصلاحی نسبت به دیگران داشته باشد. در نظر گرفتن روابط مستقیم و غیرمستقیم بین خطاها و علت خطاها می‌تواند اولویت‌های آن‌ها را مشخص کند.

جدول ۱: تعداد ۲۴ ترکیب S،OوD برای عدد اولویت ریسک ۱۲۰

NO	S	O	D	RPN
۱	۲	۶	۱۰	۱۲۰
۲	۲	۱۰	۶	۱۲۰
۳	۳	۴	۱۰	۱۲۰
۴	۳	۵	۸	۱۲۰
۵	۳	۸	۵	۱۲۰
۶	۳	۱۰	۴	۱۲۰
۷	۴	۳	۱۰	۱۲۰
۸	۴	۵	۶	۱۲۰
۹	۴	۶	۵	۱۲۰
۱۰	۴	۱۰	۳	۱۲۰
۱۱	۵	۳	۸	۱۲۰
۱۲	۵	۴	۶	۱۲۰
۱۳	۵	۶	۴	۱۲۰
۱۴	۵	۸	۳	۱۲۰
۱۵	۶	۲	۱۰	۱۲۰
۱۶	۶	۴	۵	۱۲۰
۱۷	۶	۵	۴	۱۲۰
۱۸	۶	۱۰	۲	۱۲۰
۱۹	۸	۳	۵	۱۲۰
۲۰	۸	۵	۳	۱۲۰
۲۱	۱۰	۲	۶	۱۲۰
۲۲	۱۰	۳	۴	۱۲۰
۲۳	۱۰	۴	۳	۱۲۰
۲۴	۱۰	۶	۲	۱۲۰

۲-۴- پیشینه پژوهش

مطالعات متعددی برای حل اشکالات RPN صورت گرفته است که تعدادی از آن‌ها در ادامه بررسی می‌شوند. برخی از مطالعات از تئوری فازی برای حل مسئله رتبه‌بندی RPN استفاده کردند. بدین ترتیب امکان استفاده از متغیرهای کلامی در ارزیابی اجزای RPN فراهم شده و انعطاف بیشتری در ترکیب مقادیر S، O و D ارائه می‌شود. در این خصوص، بولز و همکاران [۶] اولین افرادی بودند که از شرایط فازی برای پیشنهاد یک روش مبتنی بر منطق فازی استفاده کردند. وانگ و همکاران [۷] نیز با ترکیب روش FMEA و تئوری فازی به محاسبه مقدار RPN با استفاده از میانگین هندسی فازی پرداختند.

براگیا [۸] یک ابزار جدید برای روش FMEA بر مبنای رویکرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسعه داد. در این روش چهار شاخص D,O,S و هزینه مورد انتظار به‌عنوان معیارها و عوامل شکست به‌عنوان گزینه‌ها در ساختار تصمیم سلسله مراتبی در نظر گرفته شدند.

لیو و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۵، ترکیب روش‌های ویکور، دیمتل و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) را به‌منظور توسعه یک روش ترکیبی چند معیاره (MCDM) برای روش FMEA پیشنهاد دادند. آن‌ها با استفاده از روش ویکور رتبه‌بندی عوامل شکست را تعیین کرده و از روش دیمتل برای تعیین اثرات عوامل شکست بر روی‌هم و از روش AHP برای تعیین اولویت‌بندی حالت‌های شکست استفاده نمودند.

چانگ و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۳ یک رویکرد مبتنی بر تحلیل روابط خاکستری[۹] و دیمتل برای رتبه‌بندی خطر شکست در روش FMEA پیشنهاد کرده، و همچنین چانگ و همکاران [۴] در ۲۰۱۴ نیز یک روش یکپارچه از ادغام روش تاپسیس و روش دیمتل برای تجزیه‌وتحلیل و اولویت‌بندی حالات شکست در روش FMEA استفاده نموده‌اند.

محققین متعددی به‌کارگیری روش تاپسیس [۱۱-۱۴] و روش دیمتل [۹, ۱۵-۱۷] را در تحلیل عوامل شکست و آثار آن پیشنهاد داده‌اند.

تاپسیس برای اولین بار توسط هوانگ و یون [۱۸] به‌عنوان روش تصمیم‌گیری چند معیاره پیشنهاد شد. در این روش راه‌حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل از بهترین و بدترین عملکرد گزینه‌ها در معیارها ایجاد می‌شوند. سپس تلاش می‌شود که گزینه‌ای را پیدا کند که تا حد ممکن به جواب ایده‌آل نزدیک بوده و از ضد ایده‌آل دور باشد. مبنای محاسبه فاصله میان هر گزینه و راه‌حل ایده‌آل (یا ضد ایده-آل) فاصله اقلیدسی است. بنابراین در قدم اول ماتریس تصمیم را با استفاده از روش نرمال‌سازی برداری بی مقیاس می‌کند. سپس وزن هر معیار را در ستون مربوط به آن ضرب می‌کند تا ماتریس

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

موزون بی مقیاس شده ایجاد شود. در قدم بعدی گزینه‌های ایده‌آل و ضد ایده‌آل را از بهترین و بدترین عملکرد گزینه‌ها در معیارها به دست می‌آورد. در انتها فاصله اقلیدسی هر گزینه را با راه‌حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل محاسبه کرده و شاخص نزدیکی به ایده‌آل را محاسبه می‌کند. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شاخص نزدیکی به ایده‌آل انجام می‌شود. این روش، مزیت سادگی و توانایی مرتب‌سازی تعداد زیاد گزینه‌ها را دارا است.

روش دیمتل [۱۹] نیز یک روش مؤثر برای تحلیل ساختار و روابط بین اجزای سازنده سیستم یا تعدادی از گزینه‌های موجود است. در این روش طراح یا تصمیم‌گیرنده سامانه، میزان تاثیر مستقیم هر جفت از عناصر را در چهار سطح عدم تأثیرگذاری، تأثیر پائین، تأثیر بالا و تأثیر بسیار بالا و به ترتیب با نمرات ۰ تا ۴ تعیین می‌کند. درنتیجه این ارزیابی، ماتریس D به‌عنوان داده‌های اولیه تحلیل دیمتل به دست می‌آید. عناصر ماتریس شدت نسبی مستقیم با نرمال‌سازی ماتریس D به دست می‌آیند. بدین ترتیب که هر عنصر D به ماکزیمم جمع سطرها و ستون‌ها تقسیم می‌شود. سپس عناصر ماتریس شدت نسبی غیرمستقیم با جمع تمام توان‌های ماتریس شدت نسبی مستقیم به دست می‌آید. ماتریس شدت نسبی غیرمستقیم از کلیه روابط من‌جمله روابط مستقیم و غیرمستقیم بین گزینه‌ها تشکیل می‌شود. با استفاده از مقادیر $R+C$ و $R-C$، که C مجموع ستون‌ها و R مجموع ردیف‌های ماتریس شدت نسبی غیرمستقیم است، سطح تأثیر و سطح رابطه تعریف می‌شود. مقدار $R-C$ شدت تأثیر برای هر گزینه را نشان می‌دهد.

به‌کارگیری تاپسیس برای اولویت‌بندی و تجزیه‌وتحلیل حالات و عوامل شکست به روش FMEA مزایای زیر را در پی دارد:

- رتبه‌بندی گزینه‌ها با توجه به شدت، تشخیص و احتمال وقوع به دست می‌آید.
- برای کلیه معیارهای کیفی و کمی قابل انجام است
- برای تعداد زیاد گزینه‌ها هم قابل انجام است
- مراحل استفاده از این روش ساده و قابل‌فهم است

روش دیمتل نیز دارای مزایایی در تجزیه‌وتحلیل روابط مستقیم و غیرمستقیم بین اجزای یک سیستم است و ازاین‌روی می‌تواند در تحلیل روابط میان عوامل شکست بکار گرفته شود.

با توجه به ویژگی‌های تاپسیس و دیمتل، در ادامه به توضیح روش ادغامی تاپسیس-دیمتل برای تحلیل عوامل شکست می‌پردازیم.

۳-مدل مبتنی بر ادغام تاپسیس و دیمتل

در این بخش، روش مبتنی بر مقاله [۴] و ادغام تاپسیس و دیمتل برای اولویت‌بندی نتایج روش FMEA برای ارزیابی مخاطرات سامانه سوخت‌رسان موتور دیزل دریایی، به شرح روش زیر و در ۵ مرحله شرح داده می‌شود.

مرحله اول: تهیه لیست عوامل شکست و آثار آن

برای لیست کردن کلیه حالات شکست و علل بالقوه آن‌ها می‌توان به تجربه و همچنین موارد شکست اتفاق افتاده در گذشته رجوع کرد.

مرحله دوم: تعریف شاخص‌های سنجش مقادیر S، O، D و ارزیابی هر ترکیب حالت و علت شکست بر اساس آن

برای سنجش و مقداردهی به S، O و D نیازمند به تعریف شاخص هستیم. نمونه این شاخص‌ها در جداول ۲ تا ۴ نشان داده‌شده است. پس از تعیین شاخص‌ها، باید ترکیب عوامل شکست و آثار آن ارزیابی شده و در جداول FMEA قرار بگیرند.

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی شدت اثر [۴]

رتبه	شدت اثر	شرح
۱۰	خطرناک ـ بدون هشدار	وخامت تأسف‌بار
۹	خطرناک ـ با هشدار	وخامت تأسف‌بار اما همراه با هشدار است
۸	خیلی زیاد	وخامت جبران‌ناپذیر است
۷	زیاد	وخامت زیاد
۶	متوسط	وخامت کم است
۵	کم	وخامت خیلی کم
۴	خیلی کم	وخامت خیلی کم است ولی بیشتر افراد آن را احساس می‌کنند
۳	اثرات جزئی	اثر جزئی بر جا می‌گذارد
۲	خیلی جزئی	اثر خیلی جزئی دارد
۱	هیچ	بدون اثر

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی احتمال وقوع

رتبه	نرخ‌های احتمالی خطر	احتمال رخداد خطر
۱۰	یک در ۲ یا بیش از آن	خطر تقریباً اجتناب‌ناپذیر است
۹	یک در ۳	بسیار زیاد
۸	یک در۸	خطرهای پرتکرار
۷	یک در ۲۰	زیاد
۶	یک در ۸۰	نسبتا زیاد
۵	یک در ۴۰۰	متوسط
۴	یک در ۲۰۰۰	نسبتا کم

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

۳	یک در ۱۵۰۰۰	کم
۲	۱در ۱۵۰۰۰۰۰	خطرهای نسبتاً نادر
۱	کمتر از یک در ۱۵۰۰۰۰۰۰	خطرهای بعید و نامحتمل

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی احتمال کشف

رتبه	قابلیت کشف	معیار : احتمال کشف خطر
۱۰	مطلقاً هیچ	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست
۹	خیلی ناچیز	احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۸	ناچیز	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۷	خیلی کم	احتمالی خیلی کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۶	کم	احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۵	متوسط	در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۴	نسبتاً زیاد	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۳	زیاد	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۲	خیلی زیاد	احتمال خیلی زیاد وجود دارد
۱	تقریباً حتمی	تقریباً به‌طور حتم با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود.

مرحله سوم: به‌کارگیری روش تاپسیس برای محاسبه شاخص نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل

در این مرحله با استفاده از روش تاپسیس، شاخص نزدیکی به ایده-آل را برای هرکدام از ۱۰۰۰ترکیب ممکن مقادیر S، O و D محاسبه می‌کنیم. مراحل انجام کار در ادامه شرح داده می‌شود.

فرض کنید Z ماتریس ۱۰۰۰ در ۳ متشکل از ترکیب‌های ممکن از S، O و D است که درایه‌های آن با x_{ij} نشان داده می‌شود. در این صورت شاخص نزدیکی به ایده‌آل برای هر ترکیب S، O و D با به‌کارگیری معادلات (۱) تا (۴) به دست می‌آید. در ابتدا ماتریس Z بر اساس معادله (۱) نرمال‌سازی می‌شود.

$$v_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{1000} X_{ij}^2}}, i = 1,2,..,1000, j = 1,2,3 \qquad (۱)$$

سپس جواب‌های ایده‌آل و ضد ایده‌آل بر اساس حداکثر و حداقل هر ستون محاسبه می‌شود که مقادیر آن به‌صورت زیر است.

$$v^+ = (0.050965, 0.050965, 0.050965)$$
$$v^- = (0.005096, 0.005096, 0.005096)$$

در ادامه، فاصله هر ترکیب S، O، D از ایده‌آل و ضد ایده‌آل از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌شود.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{3}\left(v_{ij} - v_j^+\right)^2}, \ i = 1,2,\ldots, 1000 \qquad (۲)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{3}\left(v_{ij} - v_j^-\right)^2}, \ i = 1,2,\ldots, 1000 \qquad (۳)$$

درنهایت و بر اساس معادله (۴) شاخص نزدیکی به ایده‌آل را برای ترکیب S، O، D محاسبه می‌کنیم.

$$C_i = S_i^- \big/ (S_i^+ + S_i^-) \qquad (۴)$$

مرحله چهارم: به‌کارگیری روش دیمتل برای محاسبه میزان اثرگذاری عوامل

در این مرحله برای محاسبه میزان اثرگذاری عوامل از روش دیمتل استفاده می‌کنیم که در ادامه شرح داده می‌شود. در ابتدا ماتریس تاثیر اولیه (D) میان حالات شکست (FM) و عوامل شکست (CF) تشکیل می‌شود که نمایش بلوکی آن در

جدول ۵ نشان داده شده است. بدین ترتیب که برای هر ترکیب عامل شکست و آثار آن، ارزیابی S، O و D مربوط به آن را در نظر گرفته و شاخص نزدیکی نسبی محاسبه‌شده C_i مربوط به آن ارزیابی را به‌عنوان میزان تاثیر مستقیم اولیه عوامل روی معیارها در ماتریس تاثیر اولیه قرار می‌دهیم.

جدول ۵- نمایش بلوکی ماتریس تاثیر اولیه دیمتل

	CF	FM
CF	۰	مقادیر C_i مربوط به هر جفت از CF و FM ها
FM	۰	۰

فرض کنید ماتریس رابطه مستقیم اولیه D یک ماتریس $n \times n$ است که m_{ij} درجه اثرگذاری عنصر سطر i بر عنصر ستون j را نشان می‌دهد. ماتریس رابطه مستقیم نرمال شده X از طریق معادله (۵) به دست می‌آید که در آن مقدار s از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$X = \frac{D}{s} \qquad (۵)$$

$$s = \max\left(max_i\left(\sum_{j=1}^{n} m_{ij}\right), max_j\left(\sum_{i=1}^{n} m_{ij}\right)\right) \qquad (۶)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

سپس، ماتریس رابطه کل T با استفاده از معادله (۷) به دست می‌آید که I به‌عنوان ماتریس واحد نشان داده می‌شود.

$$T = \lim_{k\to\infty}(X + X^2 + X^3 + \ldots + X^k) = X\left(I - X\right)^{-1} \quad (۷)$$

فرض کنید t_{ij} عناصر ماتریس رابطه کل T است؛ مجموع ردیف‌ها و ستون‌ها که به ترتیب به‌صورت R_i و C_j نشان داده می‌شود، از طریق معادلات (۸) و (۹) به دست می‌آیند:

$$C_j = \sum_{i=1}^{n} t_{ij} \ , j = 1,2,\ldots,n \quad (۸)$$

$$R_i = \sum_{j=1}^{n} t_{ij} \ , i = 1,2,\ldots,n \quad (۹)$$

بنابراین مقادیر R+C و R-C محاسبه‌شده و عوامل شکست بر اساس مقدار R-C از قوی‌ترین تا کوچک‌ترین رتبه‌بندی می‌شود.

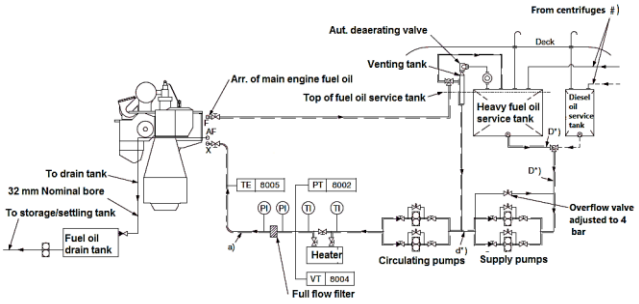
مرحله پنجم: تجزیه‌وتحلیل نتایج حاصله و ارائه پیشنهادها

بر اساس مقادیر تاثیرگذاری محاسبه‌شده در مرحله قبل می‌توان به رتبه‌بندی عوامل پرداخت و منابع موجود را برای رفع ریسک‌های با اولویت بالاتر صرف کرد. در ادامه مقاله، با انجام یک مطالعه موردی به تحلیل نتایج می‌پردازیم.

۴- مطالعه موردی: سامانه سوخت‌رسان موتور MAN B&W S26MC

در این بخش زیرسامانه سوخت‌رسان موتور MAN B&W S26MC (شکل ۱) و اجزاء آن را معرفی کرده و خرابی‌ها و دلایل خرابی آن را به روش FMEA شناسایی می‌کنیم و نتایج حاصله را با سه روش متفاوت مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهیم (روش RPN، روش دیمتل و روش مبتنی بر ادغام تاپسیس و دیمتل).

همان‌طور که می‌دانیم، موتور اصلی، مهم‌ترین جزء سامانه رانش کشتی است. برای دستیابی به عملکرد خوب یک سامانه رانش، می‌بایست موتور اصلی توسط زیرسامانه‌های هوا، سوخت، روغن‌کاری و سامانه خنک‌کننده به‌صورت خوبی پشتیبانی شود. بالین و همکاران [۲۰] با استفاده از گروهی از کارشناسان و با به‌کارگیری از روش‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتب فازی و روش تاپسیس نسبت به اولویت‌بندی سامانه‌های پشتیبان موتور دیزل دریایی اقدام کردند. در این تحقیق که بر اساس اهمیت تشخیص خرابی صورت گرفته بود، سامانه سوخت‌رسان به‌عنوان مهم‌ترین سامانه پشتیبان موتور اصلی به جهت اهمیت رفع خرابی شناسایی شد. بر همین اساس در این مقاله به بررسی خرابی‌ها/ خرابی‌های بالقوه‌ای این سامانه می‌پردازیم. همان‌گونه که می‌دانیم، سامانه سوخت‌رسان مسئول حرکت سوخت از مخزن ذخیره‌سازی به مخزن ته‌نشینی و تمیز کردن سوخت از مواد زائد است. نفت سنگین باید از طریق یک سانتریفیوژ قبل از ورود به مخزن روزانه، از ناخالصی‌هایی ازجمله خاک، آب و... تمیز شود.



شکل ۱- نقشه سامانه سوخت‌رسانی موتور MAN B&W 6 S26MC [۲۱]

۴-۱- راه‌حل مبتنی بر روش RPN متداول

طبق روش RPN، مخاطره خرابی‌ها بر اساس حاصل‌ضرب ریاضی S، O و D استخراج‌شده در فرآیند جمع‌آوری اطلاعات سنجیده می‌شود. خرابی‌های بالقوه (MF) با عدد RPN بالاتر مهم‌تر از مقادیر پائین تر در نظر گرفته می‌شود، درنتیجه به بهبود در طرح یا فرآیند کاری نیازمند می‌باشند. مقادیر RPN حاصله سامانه سوخت‌رسان موتور MAN B&W S26MC استخراج‌شده و رتبه‌های آن‌ها در جدول ۶ نشان داده‌شده است.

۴-۲- راه‌حل مبتنی بر روش DEMATEL

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، روش دیمتل بر اساس شدت تأثیرات روابط، قادر به اولویت‌بندی گزینه‌ها است. طبق ارزیابی سامانه سوخت‌رسان و همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده‌شده، ۲۰ مورد حالات خرابی و ۱۷مورد علت خرابی شناسایی‌شده است. بنابراین ماتریس رابطه مستقیم اولیه یک ماتریس ۳۷ در۳۷ است. در بلوک مربوط به تاثیر مستقیم عوامل بر حالات شکست از عدد RPN آن جفت علت-حالت شکست استفاده می‌کنیم. سپس بر اساس مراحل روش دیمتل مقادیر R+C و R-C را محاسبه می‌کنیم. نتایج در جدول ۶، سازمان‌دهی شده است.

رتبه‌ها بر اساس مقادیر R-C علل خرابی (CF) از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین به‌دست‌آمده‌اند. طبق نتایجی که در جدول ۶ نشان داده‌شده است، CF123 (ردیف۷) روی سیستم خطرناک‌تر از CF132 (ردیف۱۸) است. این بدان معناست که CF123 دارای شدت تأثیر ۳۹۲ روی FM55 است. اما CF132 دارای شدت تأثیر ۳۷۸ روی FM66 و شدت تأثیر ۲۱۰ روی FM65 است. در روش

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

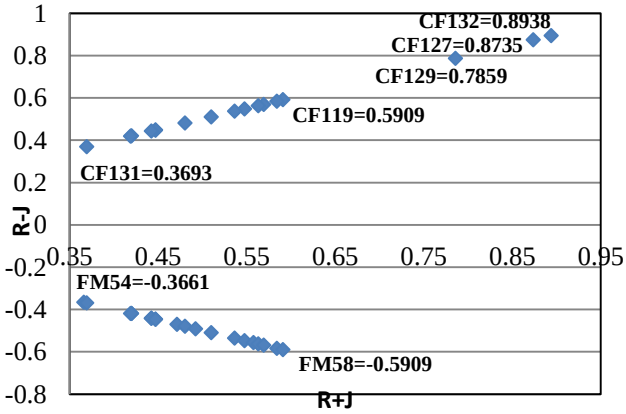
RPN قراردادی، CF123 در سطح اولویت بالاتری نسبت به CF132 قرار می‌گیرد. زیرا این روش روابط بین اجزای سیستم یا تعداد گزینه‌های موجود را مورد اثر قرار نمی‌دهد. اما، در روش دیمتل، مقدار R-C مربوط به CF132 برابر با ۰,۸۹۲۸ است که بالاتر از عدد ۰,۷۹۱۲ مربوط به CF123 می‌باشد. بنابراین، این روش قادر به اولویت‌بندی رتبه‌های واقعی برحسب روابط بین اجزای سامانه است.

۴-۳- راه‌حل مبتنی بر ادغام تاپسیس و دیمتل

در این بخش از روش مبتنی بر ادغام تاپسیس و دیمتل برای رتبه‌بندی زیرسامانه سوخت‌رسان موتور MAN B&W S 26 MC استفاده می‌شود. برای این منظور باید شاخص نزدیکی به ایده آل هر ترکیب S، O و D را محاسبه کرده و در بلوک مربوطه در ماتریس دیمتل از آن‌ها استفاده کنیم. با استفاده از ۱۰۰۰ ترکیب ممکن S، O و D ماتریس تصمیم Z تشکیل‌شده و با توجه به مراحل توضیح داده‌شده در روش مبتنی بر ادغام تاپسیس-دیمتل، مقادیر شاخص نزدیکی به ایده آل را برای هر ترکیب محاسبه می‌کنیم. میزان نزدیکی نسبی به ایده‌آل محاسبه‌شده در جدول ۶ نشان داده‌شده است.

با استفاده از محاسبات نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل، ماتریس رابطه مستقیم اولیه را تشکیل می‌دهیم. تفاوت این مرحله با راه‌حل مبتنی بر روش دیمتل صرفاً در استفاده از C_i، بجای RPN ها در بلوک مربوطه ماتریس دیمتل است. ماتریس رابطه مستقیم اولیه، یک ماتریس ۳۷ در ۳۷ است. با انجام مراحل روش دیمتل مقادیر R+C و R-C را محاسبه کرده و اولویت هر علت شکست بر اساس مقدار R-C از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین تعیین می‌شود.

شکل ۲ نمودار عوامل و حالات شکست را بر اساس مقادیر R+C و R-C نمایش می‌دهد. بدین ترتیب که محور عمودی بر اساس R-C و محور افقی بر اساس R+C است. بنابراین می‌توان تاثیرگذارترین و تاثیرپذیرترین عوامل و حالات شکست را در آن مشاهده کرد.



شکل ۲- تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین عوامل خرابی

۵-مقایسه‌ها و بحث‌ها

در این بخش به مقایسه روش ادغامی تاپسیس و دیمتل با روش RPN قراردادی و روش دیمتل می‌پردازیم. نتایج رتبه‌بندی نهایی سه روش برای سامانه سوخت‌رسان موردمطالعه، که در جدول ۶ به‌صورت خلاصه نمایش داده‌شده است، منجر به یافته‌های زیر شده است.

۱- شیوه پیشنهادی قادر به کاهش مقادیر RPN تکراری است.

عوامل CF121 و CF125 دارای RPN یکسان ۱۶۸ در روش RPN قراردادی و مقدار R-C یکسان ۰,۳۰۷۷ در روش دیمتل هستند. بنابراین، بر اساس این دو روش، CF121 و CF125 به یک اندازه مهم هستند. اما ترکیبات مختلف S، O و D به مخاطرات متفاوتی اشاره می‌کنند.

ترکیب S، O و D، عامل CF121 به ترتیب ۶، ۴ و ۷ است که این مقادیر در مورد عامل CF125، به ترتیب برابر ۸، ۷ و ۳ است. روش ادغامی تاپسیس و دیمتل، رتبه‌های متفاوتی برای دو عامل CF121 و CF125 به دست آورده که به ترتیب برابر ۱۳ و ۱۴ می‌باشند.

طبق نتایج نشان داده‌شده در جدول ۶، روش RPN قراردادی ۱۴ مقدار منحصربه‌فرد در میان این ۲۰ مورد به دست می‌آورد و نرخ تکرار ۳۰ درصد است. طبق روش دیمتل، ۱۵ مقدار R-C منحصربه‌فرد میان ۲۰ مورد به‌دست‌آمده است و نرخ تکرار ۲۵ درصد است. هنگام استفاده از روش ادغامی تاپسیس و دیمتل، ۱۶ مقدار R-C منحصربه‌فرد میان ۲۰ مورد به‌دست‌آمده است و بنابراین نرخ تکرار ۲۰ درصد است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که شیوه ادغامی تاپسیس و دیمتل قادر به کاهش رخداد مقادیر RPN تکراری است.

۲- روش پیشنهادی قادر به اولویت‌بندی گزینه‌ها بر اساس نوع روابط و شدت تأثیرات آن‌ها بر یکدیگر است.

روش دیمتل در آنالیز روابط مستقیم و غیرمستقیم بین اجزای سیستم ازلحاظ نوع و شدت آن‌ها، مزایایی دارد. اما، اگر هر علت شکست تنها به یک حالت شکست تخصیص داده شود، آنگاه نتایج روش دیمتل بر روش RPN متداول منطبق خواهد بود.

طبق جدول ۶، مشاهده می‌شود که CF123 دارای RPN برابر با ۳۹۲، و CF132 دارای RPN های ۲۱۰ و۳۸۷ است. با توجه به اینکه دو رتبه متفاوت به CF132 تخصیص داده‌شده است، این نتیجه برای تصمیم‌گیرندگان بسیار گیج‌کننده است که اولویت تخصیص منابع محدود پروژه را به کدام‌یک از دو علت خطای CF123یا CF132 اختصاص دهند. طبق جدول ۶، مشاهده می‌شود که CF132 سبب دوحالت شکست متفاوت FM65 و FM66 گردیده است. لیکن باید در شرایط واقعی، به CF132 رتبه‌بندی بالاتری نسبت به CF123 تخصیص داده شود. طبق

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

جدول ۶، بر اساس روش ادغام‌شده تاپسیس و دیمتل، CF132 در رتبه بالاتری از CF123 جای گرفته است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش ادغام‌شده تاپسیس و دیمتل برای آنالیز اولویت‌بندی RPN در روش FMEA برای به‌کارگیری در صنعت دریایی شرح داده شد. این روش قادر به حل مشکلات و اشکالات معمول روش RPN، ازجمله عدم توانایی تحلیل خرابی‌های با علت مشترک، تکرار بالای مقادیر RPN، و عدم توجه به روابط مستقیم و غیرمستقیم بین خرابی‌ها و دلایل آن‌ها است. رتبه‌های نهایی به‌دست‌آمده با این روش، معرف مخاطره مطلوب و درست‌تر برای کمک به تصمیم‌گیرندگان دریافتن بحرانی‌ترین دلایل خرابی و بهبود جدی‌ترین گزینه‌های مخاطرات تحت منابع محدود می‌باشد. ازجمله مزایای این شیوه که ترکیبی از تکنیک‌های رتبه‌بندی تاپسیس و دیمتل است را می‌توان در کاهش تکرار مقادیر RPN، شناسایی و آنالیز روابط مستقیم و غیرمستقیم بین اجزای سامانه، رتبه‌بندی مخاطره مطلوب و مناسب‌تر برای تصمیم‌گیرندگان دریافتن بحرانی‌ترین علل خرابی(CF) و بهبود جدی‌ترین گزینه مخاطره تحت منابع محدود یافت. در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود دو موضوع، اضافه شدن موارد بیشتر و درنتیجه بزرگ شدن ماتریس اولیه، هنگام استفاده از روش دیمتل و همچنین، استفاده از روش‌های دیگر مانند ویکور و تحلیل روابط خاکستری برای دستیابی به اوزان واقعی میان پارامترهای S، O و D و استفاده از نمرات رتبه‌بندی اولیه در تجزیه‌وتحلیل روش FMEA موردبررسی قرار گیرد.

کلید واژگان

1- Failure Mode and Effects Analysis
2- Multiple Criteria Decision Making
3- A Hazard and Operability Study (HAZOP)
4- Free Trade Agreement (FTA)
5- Occurrence
6- Severity
7- Detection
8- RPN - FMEA Risk Priority Number
9- Grey Relational Analysis (*GRA*)

۷- مراجع

1- Saynisch, M., (2005), *Beyond Frontiers of Traditional Project Management: The Concept of "Project Management Second Order (PM-2)" as an Approach of Evolutionary Management*, World Futures, Vol. 61, No. 8, p. 555-590.

2- Miller, R. and Lessard, D., (2001), *Understanding and managing risks in large engineering projects.* International Journal of Project Management, Vol. 19, No. 8, p. 437-443.

3- Tay, K.M. and Lim, C.P., (2006), *Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures*, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 23, No. 8, p. 1047-1066.

4- Chang, K.H., Chang, Y.C. and Lee,Y.T., (2014), *Integrating TOPSIS and DEMATEL Methods to Rank the Risk of Failure of FMEA*, International Journal of Information Technology & Decision Making, Vol. 13, No. 6, p. 1229-1257.

5- Chin, K.S., Chan, A. and Yang, J.B., (2008), *Development of a fuzzy FMEA based* product *design system*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 36, No. 7-8, p. 633-649.

6- Bowles, J.B. and Peláez, C.E., (1995), *Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis*, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 50, No. 2, p. 203-213.

7- Wang, Y.M., Chin, K.S., Poon, G. K. K., and Yang, J.B. (2009), *Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean*, Expert systems with applications, Vol. 36, No. 2, p. 1195-1207.

8- Braglia, M., (2000), *MAFMA: multi-attribute failure mode analysis*, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 17, No. 9, p. 1017-1033.

9- Liu, H.C., You, J.X., Ding, X.F., and Su, Q., (2015), *Improving risk evaluation in FMEA with a hybrid multiple criteria decision making method*, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 32, No., 7, p. 763-782.

10- Chang, K.H., Chang, Y.C. and Tsai, I.T., (2013), *Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach*, Engineering Failure Analysis, Vol. 31, p. 211-224.

11- Helvacioglu, S. and Ozen, E., (2014), *Fuzzy based failure modes and effect analysis for yacht system design*, Ocean Engineering, Vol. 79, p. 131-141.

12- Liu, H.C., You, J.X., Shan, M.M. and Shao, L.N., (2015), *Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach*, Soft Computing, Vol. 19, No. 4, p. 1085-1098.

13- Song, W., Ming, X., Wu, Z. and Zhu, B., (2014), *A rough TOPSIS approach for failure mode and effects analysis in uncertain environments*, Quality and Reliability Engineering International, Vol. 30, No. 4, p. 473-486.

14- Vahdani, B., Salimi, M. and Charkhchian, M., (2015), *A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process*, The International Journal of

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

18- Hwang, C.L. and Yoon, K., (1981), *Methods for multiple attribute decision making*, in *Multiple attribute decision making*, Springer, p. 58-191.
19- Gabus, A. and Fontela, E., (1973), *Perceptions of the world problematique: Communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility*, Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
20- Balin, A., Demirel, H. and Alarcin, F., (2015), *A hierarchical structure for ship diesel engine trouble-shooting problem using fuzzy AHP and fuzzy VIKOR hybrid methods*, Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike, Vol. 66, No. 1, p. 54-65.
21- MAN Diesel, (2009), *MAN B&W S40MC-C9.2-TII Project Guide Camshaft Controlled Two stroke Engines*, 6th edition, chapter 7, Denmark.
Advanced Manufacturing Technology, Vol. 77, No. 1-4, p. 357-368.
15- Chang, K.H., (2014), *A more general risk assessment methodology using a soft set-based ranking technique*, Soft Computing, Vol. 18, No. 1, p. 169-183.
16- Chang, K.H. and Cheng, C.H., (2011), *Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 22, No. 2, p. 113-129.
17- Wang, X., Zhang, Y. and Shen, G., (2016), *An improved FMECA for feed system of CNC machining center based on ICR and DEMATEL method*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 83, No. 1-4, p. 43-54.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]

جدول ۶: محاسبه عدد اولویت مخاطرات سامانه سوخت‌رسان موتور MANB&WS26MC

ردیف	نام تجهیز/ زیرسامانه	شماره خطا	نوع خطا	شماره علت خطا	علت ایجاد خطا	S	O	D	RPN	TOSIS	رتبه	R-J (RPN)	رتبه	R-J (TOPSIS)	رتبه
1	Storage Tank	FM49	نشتی مخزن سوخت	CF119	خوردگی / نشت درزها (Seal) یا اتصالات مخزن سوخت	7	7	6	294	0.628123555	7	0.5385	9	0.5099	10
2		FM50	مسدود شده مخزن سوخت	CF126	گرفتگی براثر وجود رسوب سوخت	9	5	8	360	0.674653292	6	0.6593	7	0.5477	8
3		FM51	مخزن ترک‌خورده	CF127	کیفیت پایین مخزن	8	4	7	224	0.580721822	10	0.8718	2	0.8735	2
4	Transfer Pump	FM52	اتلاف جریان و عدم استفاده از ظرفیت کامل . (خروجی پایین)	CF120	درزگیرها(SEAL) آسیب‌دیده و نشت می‌کنند.	4	7	6	168	0.517195888	11	0.5	10	0.7859	3
5		FM53	سروصدا و لرزش در پمپ (لرزش و صدا)	CF121	ذرات و ناخالصی‌ها به پمپ واردشده و باعث ایجاد حفره در بدنه پمپ شده است .	6	4	7	168	0.517195888	11	0.3077	13	0.4199	14
6		FM54	نشت از درزهای پمپ (نشت)	CF120	درزگیرها(SEAL) آسیب‌دیده و نشت می‌کنند.	7	5	3	105	0.450971933	13	0.5	10	0.7859	3
7		FM55	پمپ نمی‌تواند بچرخد (تفکیک)	CF123	محور شکسته شده است/ رسوب جمع شده باعث گیرکردن چرخنده پمپ شده است.	9	6	8	432	0.719375424	1	0.7912	4	0.584	5
8		FM56	سوختن الکتروموتور	CF128	جریان ولتاژ نامنظم است.	8	7	6	336	0.660739692	4	0.6154	8	0.5364	9
9	Settling Tank	FM57	نشتی مخزن تصفیه	CF124	اتلاف سوخت و عرضه کمتر سوخت به موتور	8	5	4	160	0.516204051	12	0.293	14	0.419	15
10	Purifier	FM58	سوخت به‌طور مناسب تصفیه و تمیز نمی‌شود.	CF129	عدم ویسکوزیته مناسب سوخت موتور	9	7	7	441	0.727922563	2	0.8077	3	0.5909	4
11		FM59	توانایی تمیز کردن کمتر	CF130	فیلتر پر از خاک و آلودگی شده است.	8	8	6	384	0.693613022	4	0.7033	6	0.5631	7
12	De-Aerator chamber	FM60	درزها دچار خوردگی و نشتی شده است	CF131	درزها سفت شده است.	3	4	8	96	0.454934878	14	0.1758	15	0.3693	16
13	Service Tank	FM61	نشتLeakage -	CF125	خوردگی / نشت درزها (Seal) یا اتصالات مخزن سوخت	8	7	3	168	0.545065122	11	0.3077	13	0.4425	13
14		FM62	ترک‌خورده	CF127	کیفیت پایین مخزن	9	4	7	252	0.606196764	12	0.8718	2	0.8735	2
15	Supply Pump	FM63	پمپ دچار خوردگی شده است	CF131-1	پروانه پمپ دچار خوردگی شده است و پدیده کاویتاسیون رخداده است و پمپ دچار خوردگی می‌شود.	7	6	6	252	0.591552637	8	0.4615	11	0.4802	11
16		FM64	خروجی ولتاژ ناپایدار شده است.	CF131-2	قسمت‌های پمپ و بخصوص خروجی آن مسدود شده است و با توجه به اینکه بار زیادی را مصرف می‌کند خروجی ولتاژ ناپایدار می‌شود.	7	4	7	196	0.550510257	9	0.359	12	0.4469	12
17		FM65	پمپ دچار ارتعاش و لرزش می‌شود و سروصدای زیادی ایجاد می‌کند.	CF132	ذرات و ناخالصی‌ها به پمپ واردشده و باعث ایجاد حفره در بدنه پمپ شده است . پمپ انتخاب‌شده ممکن است باکیفیت نباشد.	7	5	6	210	0.545065122	11	0.8928	1	0.8938	1
18		FM66	پمپ در *حال چرخش است و ناگهان متوقف* می‌شود.	CF132	ذرات و ناخالصی‌ها به پمپ واردشده و در اثر تغییرات شکل و سفت شدن باعث ایجاد گرمای شدید و شکست پروانه می‌شود.	9	7	6	378	0.686780088	5	0.8928	1	0.8938	1
19	Filter	FM67	فیلتر براثر ناخالصی‌ها و گردوخاک و آب مسدود شده است.	CF133	آلودگی‌هایی فیلتر تمیزنشده است.	9	8	5	360	0.674653292	3	0.7179	5	0.5691	6
20	Drain Tank	FM68	وجود نشتی	CF134	خوردگی متریال بدنه	7	7	4	196	0.550510257	9	0.359	12	0.4469	12

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.4.1]