مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۱ - ۳۱، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۷۳-۸۲

Original Article

بهبود روش FMEA با استفاده از ترکیب روش‌های دیمتل، تاگوچی و تحلیل رابطه‌ی خاکستری

محسن شفیعی نیک‌آبادی * **(استادیار)**
هانیه فرحمند (کارشناس ارشد)
سحر فلاح صنمی (کارشناس ارشد)
دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه سمنان

در حیطه‌ی فعالیت‌های تولیدی، مسائلی نظیر شدت رقابت، بالا رفتن توقع و تغییرات انتظارات مشتری، تحولات روزافزون فنّاوری، باعث افزایش تعهدات تولیدکنندگان در زمینه‌ی رفع عیوب محصول و هرگونه کمبود و انحراف در عملکرد آن است. برای تحقق هدف یادشده، سازمان‌های امروزی با استفاده از ابزاری به‌نام «روش‌های تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آنها» یا FMEA[1]، مطمئن می‌شوند که محصولی بدون عیب و قابل رقابت به بازار عرضه می‌کنند. این روش در حین مفید بودن، معایبی همچون استفاده نکردن از روش‌های وزن‌دهی و نیز رابطه‌ی بین حالت شکست و علت شکست را هیچ‌وقت در نظر نمی‌گیرد. برای رفع این مشکلات و بهبود روش FMEA از سه الگوریتم تاگوچی، خاکستری و دیمتل و ترکیب آنها استفاده می‌شود که همین امر جنبه‌ی نوآوری تحقیق محسوب می‌شود. در نهایت این روش‌ها با یکدیگر مقایسه شده و بهترین روش انتخاب می‌شود. مطالعه‌ی موردی در شرکت مهدخودرو توس و قطعه‌ی مورد بررسی لولای درب سمند است.

واژگان کلیدی: FMEA، نظریه‌ی خاکستری، تاگوچی، دیمتل.

mohsenshnaj@yahoo.com
haniyefarahmand@yahoo.com
fallah.sahar@gmail.com

۱. مقدمه

تحلیل حالت‌های خرابی و اثرات آن‌ها بر محصول (FMEA) از شیوه‌های بارز شناسایی و تجزیه و تحلیل ریشه‌یی حالت‌های خرابی بالقوه در یک محصول است. شاید بتوان گفت در حال حاضر هیچ شیوه‌ی دیگری برای تحلیل ریسک، که بتوان جایگزین FMEA ساخت، وجود ندارد. از این شیوه برای تعیین حالت‌های خرابی بالقوه‌ی محصول پیش از تولید و برای جلوگیری از بروزشان استفاده می‌شود. همچنین از این شیوه می‌توان در بهبود فرایندها و ارتقاء کیفیت محصول در هر کدام از مراحل تولید استفاده کرد. در این شیوه حالت‌های خرابی در سطوح مختلف محصول توسط یک تیم متخصص با تخصص‌های مختلف بررسی و تحلیل شده و برای هر حالت خرابی سه نمره‌ی شدت، وقوع و تشخیص در نظر گرفته می‌شود. این سه نمره معمولاً اعدادی بین ۱ تا ۱۰ هستند که نهایتاً از ضرب آن‌ها در هم عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ به‌دست می‌آید که به آن نمره اولویت ریسک (RPN) می‌گویند. اما در اجرای سنتی روش FMEA (معایب):[1]

۱. مرز بین نمرات مشخص نیست.

۲. پارامترها وزن‌دهی نمی‌شوند.

۳. بحث مشتری‌مداری بسیار کم‌رنگ است.

۴. رابطه‌ی بین حالت خرابی و علت خرابی مد نظر قرار نمی‌گیرد.

برای رفع این معایب روش‌های مختلفی ــ نظیر رتبه‌بندی اولویت‌های ریسک (RPR) ــ شناسایی و معرفی شده است. در روش رتبه‌بندی اولویت‌های ریسک (RPR) داده‌های علمی و کارشناسی‌شده در نظرگرفته می‌شود و سپس با تعریف سناریویی رابطه‌ی بین حالت خرابی و علت خرابی در آن مشخص، و ریسک‌ها اولویت‌بندی می‌شود.[2]

روش‌های تاگوچی، تحلیل رابطه‌ی خاکستری، تاگوچی ـ خاکستری، تاگوچی ـ خاکستری ـ دیمتل و فازی ازجمله روش‌هایی هستند که باعث بهبود عملکرد FMEA می‌شوند. در الگوریتم تحلیل رابطه‌ی خاکستری که هدف آن حل مسائل نامشخص و مبهم است، ابتدا داده‌ها نرمال می‌شوند و سپس ضرایب رابطه‌ی خاکستری و رتبه‌ی آن محاسبه می‌شود و با استفاده از آن ترکیب بهینه مشخص می‌شود. یکی دیگر از روش‌های بهینه‌سازی روش تاگوچی است. در این روش داده‌های کمّی کنترلی و داده‌های کمّی غیرکنترلی مشخص، و نرخ سیگنال به نویز برای آنها محاسبه می‌شود. سپس با وزن‌دهی به این مقدار مجموع سیگنال به نویز وزنی محاسبه می‌شود. روش تاگوچی ـ خاکستری ترکیبی از دو روش فوق است. دراین روش نرخ سیگنال به نویز محاسبه، و سپس این مقدار نرمال شده و ضرایب و رتبه‌ی خاکستری محاسبه می‌شود. همچنین شیوه‌ی دیمتل (DEMATEL)[2] مبتنی بر نمودارهایی است که می‌تواند عوامل درگیر را به دو گروه علت و معلول

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۱۱/۶، اصلاحیه ۱۳۹۳/۳/۹، پذیرش ۱۳۹۳/۵/۲۲.

تقسیم کند و رابطه‌ی میان آن‌ها را به‌صورت یک مدل ساختاری قابل درک درآورد.

در این نوشتار، محصول مورد بررسی درب لولای سمند در کارخانه‌ی مهدخودرو توس است. این مسئله با چهار روش تاگوچی، رابطه‌ی خاکستری، تاگوچی ـ خاکستری، تاگوچی ـ خاکستری ـ دیمتل حل شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که بیشترین ریسک مربوط به برقو، قلاویز و خزینه است و باید تمرکز اصلی شرکت روی این ایستگاه کاری باشد.

قسمت‌های مختلف این تحقیق به‌ترتیب عبارت است از: پیشینه‌ی پژوهش، روش تحقیق، مطالعه‌ی موردی، و نتایج. در پیشینه‌ی پژوهش ادبیات مربوط به FMEA، تاگوچی و خاکستری، دیمتل به‌ترتیب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. مروری بر ادبیات و پیشینه‌ی پژوهش

۱.۲. حالت شکست و تحلیل خرابی (FMEA)

حالت شکست و تحلیل خرابی (FMEA) برای اولین بار توسط ناسا (۱۹۶۳) پیشنهاد شد، و سپس، شرکت فورد موتور در سال ۱۹۷۷ آن را تأیید و منتشر ساخت. هدف FMEA کشف و تصحیح مشکلات احتمالی در مراحل طراحی و تولید، و ممانعت از تولید محصولات نامطلوب برای مشتریان و خطرات احتمالی برای بازگشت سرمایه‌گذاری است.[۳] این شیوه در اصل به‌منظور تجزیه و تحلیل نظام‌مند حالات شکست و اثرات بعدی آن، برای محصولات دفاعی مربوطه ــ به‌ویژه در بخش حمل و نقل هوایی ــ توسعه یافت.[۴] از زمان معرفی FMEA به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی برای طراحان، این روش در طیف گسترده‌یی از صنایع (نظیر هوافضا، صنعت اتومبیل، هسته‌یی، الکترونیک، شیمی، مکانیک و صنایع فنّاوری‌های پزشکی) کاربرد دارد.[۵-۷] در ابتدا شیوه‌های FMEA بیشتر برای تجزیه و تحلیل حالت شکست محصولات مرتبط با صنایع هسته‌یی، خودرو، شیمیایی، مکانیکی استفاده می‌شد، اما با گذشت زمان FMEA به‌طور گسترده‌یی در تجزیه و تحلیل شکست صنایع خدماتی مانند صنعت نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفت.[۸] هدف اصلی استفاده از FMEA شناسایی حالات شکست بالقوه‌ی اجزای سیستم، ارزیابی علل و عوارض متعاقب آنها بر رفتار سیستم است، و به‌عنوان یک تعیین‌کننده‌ی نهایی برای روش‌های از بین بردن یا کاهش احتمال وقوع، شدت یا افزایش شناسایی حالت شکست خاص، است. درگذشته، محاسبه‌ی خطر حالات شکست مختلف با استفاده از FMEA و از طریق توسعه‌ی تعداد اولویت ریسک (RPN) انجام می‌شد.[۹] به‌طور خلاصه، FMEA از تعداد اولویت ریسک (RPN) برای ارزیابی سطح خطر محصول و فرایند استفاده می‌کند. RPN با پیدا کردن ضرب سه عامل به دست می‌آید: احتمال شکست (O)، احتمال عدم تشخیص انحراف معیار (D)، شدت شکست برای مشتریان (S).[۱۰-۱۲] با توجه به محاسبات RPN، پس از رتبه‌بندی حالات شکست، اقدامات مناسب ترجیحاً در حالت شکست با ریسک بالا انجام خواهد شد. پس از اصلاحات برای مشاهده‌ی کاهش خطرات و نیز برای بررسی بازده اقدام اصلاحی برای هر حالت شکست، RPN باید دوباره محاسبه شود.[۱۳]

چانگ و همکاران، یک شیوه‌ی چندتخصصی، مدل‌های تصمیم گیری چند معیاره (ME-MCDM) MCDM[۳] برای انجام محاسبات مربوط به اولویت خطر شکست در FMEA ارائه کردند که قادر است به اطلاعات ارائه شده توسط تیم طراحی ــ معمولاً برای مقیاس‌های کیفی و بدون نیاز به تبدیل عدد قراردادی و مصنوعی ــ رسیدگی کند. در روش آنها، عوامل ریسک به‌عنوان معیارهای ارزیابی هنگامی تفسیر می‌شوند که حالات شکست به‌عنوان یک پیشنهاد انتخاب شده باشد. این روش هر معیار تصمیم‌گیری را زیرمجموعه‌یی 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 باشد، انتخاب جزئی‌تری برای تمایز بین رتبه‌بندی نسبی آنها ارائه می‌شود.[۱۴]

محققین با استفاده از نظریه‌ی استدلال مبتنی بر شهادت گروه (ER)، برای جذب نظرات گوناگون اعضای تیم FMEA و اولویت‌بندی حالات شکست تحت انواع مختلف عدم قطعیت مانند ارزیابی ناقص، بی‌اطلاعی و وقفه، یک FMEA پیشنهاد کردند.[۱۵] مدل اولویت ریسک (شامل ارزیابی عوامل خطر با استفاده از ساختارهای اعتقادی، تولید مصنوعی ساختار باور فردی به ساختار باور گروهی، جمع‌آوری ساختارهای باورگروهی به ساختار اعتقاد کلی، تبدیل ساختار اعتقاد کلی به محاسبات خطر مورد انتظار و رتبه‌بندی محاسبات خطر مورد انتظار) با استفاده از نظریه‌ی تأثر مینیماکس (MRE)، و با استفاده از نظریه‌ی R مبتنی بر گروه توسعه می‌یابد.

چانگ و همکاران، نیز نظریه‌ی شاهد را برای جمع‌آوری اطلاعات ارزیابی خطر متخصصین متعدد ارائه کردند. با این حال، تمام درجات ارزیابی فردی و وقفه‌یی برای دقیق و مستقل شدن از یکدیگر در مدل ارائه شده در نظر گرفته شد. این مدل در FMEA موقعیتی را در نظر نمی‌گیرد که در آن درجه‌ی ارزیابی احتمالی مفهوم فازی یا استانداردی نشان داده می‌شود و ممکن است هیچ شکاف واضحی بین معانی دو درجه مجاور وجود نداشته باشد.[۱۶]

هوانگ و لین، برای FMEA از روش‌های فازی و نظریه‌ی خاکستری استفاده کرده‌اند، که در آن‌ها از متغیرهای زبانی فازی برای بررسی عوامل خطر ــ O، S و D ــ استفاده می‌شود، و تحلیل رابطه‌ی خاکستری به‌منظور تعیین اولویت‌های خطر بالقوه استفاده می‌شود. برای تحلیل رابطه‌ی خاکستری، خنثی‌سازی متغیرهای زبانی فازی به‌عنوان مقادیر دقیق، معرفی پایین‌ترین سطح سه عامل خطر به‌عنوان یک مجموعه‌ی استاندارد، و ارزیابی اطلاعات سه عامل خطر برای هر علت بالقوه (به‌عنوان مجموعه‌یی مقایسه‌یی که ضریب رابطه‌ی خاکستری‌اش و درجه‌ی رابطه‌اش با مجموعه‌ی استاندارد برحسب نظریه‌ی خاکستری محاسبه می‌شود) انجام شد. درجه‌ی قوی‌تر رابطه به‌معنای تأثیر کم‌تر علت بالقوه است. از این رو، افزایش نظم درجه‌ی رابطه نشان‌گر اولویت خطر مشکلات بالقوه‌ی بهبود یافته است.[۱۷] چانگ و همکاران، در تحقیقات‌شان نیز از نظریه‌ی خاکستری برای FMEA استفاده کرده‌اند، اما درجه‌ی رابطه با استفاده از نمره‌های سنتی ۱ تا ۱۰ برای سه عامل خطر به‌جای متغیرهای زبانی فازی محاسبه می‌شدند.[۱۸] همچنین می‌توان شاهد برنامه‌های کاربردی مشابه روش فازی و نظریه‌ی خاکستری برای اولویت‌بندی حالات شکست در FMEA، در تحقیقات بود.[۱۹و۲۰]

پیلای و وانگ، نظریه‌ی سیستماتیکی برای شناسایی و ارزیابی شکست بالقوه با استفاده از FMEA مخصوص خدمات و تحلیل رابطه‌ی خاکستری ارائه کرده‌اند.[۲۱] آنان ابتدا FMEA مخصوص خدمات برای بازتاب ویژگی‌های خدمات خاص، و سپس ترکیب ۳ بعد و ۱۹ زیربعد را برای نشان دادن ویژگی خدمات ارائه داده‌اند. سپس با استفاده از چارچوب FMEA مخصوص خدمات، اولویت خطر برای هر حالت شکست با استفاده از تحلیل رابطه‌ی خاکستری محاسبه می‌شود. در این مقاله، تحلیل رابطه‌ی خاکستری با یک ساختار دومرحله‌یی انجام می‌شود: یکی برای محاسبه‌ی رتبه‌ی خطر ابتلا برای هر بعد O، S و D، و دیگری برای محاسبه‌ی اولویت خطر نهایی.[۲۱]

جیوم و همکاران، روشی با نام آزمایش تصمیم‌گیری و آزمایشگاه ارزیابی (دیمتل) برای اولویت‌بندی دوباره‌ی حالت شکست در یک سیستم FMEA برای اقدامات

اصلاحی پیشنهاد کرده‌اند. در مدل پیشنهادی، اطلاعات شکست در FMEA به‌عنوان یک نمودار وزنی توصیف شد، که در آن گره‌ها نشان‌گر حالات شکست یا علل شکست، و اتصالات هدایت‌شده (لبه‌ها) نشان‌گر اثرات حالات شکست بر یکدیگرند. همچنین، وزن‌های اتصال نشان‌گر درجه یا شدت اثرات یک پیشنهاد بر دیگر پیشنهادات است. تعریف یک رابطه‌ی غیرمستقیم به‌عنوان رابطه‌یی که صرفاً می‌تواند در یک مسیر غیرمستقیم بین دو پیشنهاد حرکت کند، به‌معنای آن است که حالت شکست می‌تواند علت حالات شکست دیگر باشد. با فرض بالاتر بودن اولویت پیشنهاداتی که تأثیر بیشتری بر هم دارند و گیرنده نامیده می‌شوند، پیشنهادات را می‌توان برحسب نوع ارتباطات و شدت اثرات آنها بر یکدیگر اولویت‌بندی کرد.[۲۲]

حسینی و همکاران، نظریه‌یی پیشنهاد کردند که از شیوه‌ی رتبه‌بندی مجموعه‌ی فازی شهودگرایی، برای اولویت‌بندی دوباره‌ی شکست در یک سیستم FMECA استفاده می‌کند.[۲۳]

۲.۲. نظریه‌ی رابطه‌ی خاکستری و تاگوچی

چانگ و همکاران، روش تاگوچی را برای تحقیق درمورد ویژگی‌های برش میله‌ی فولادی با استفاده از ابزار کاربید تنگستن به کار گرفتند. در این فعالیتِ تراش‌کاری سرعت برش، میزان تغذیه و عمق برش به‌عنوان پارامتر بهینه‌ی برش و عمر ابزار، و سختی سطح به‌عنوان شاخص کارایی انتخاب شدند.[۲۴]

یانگ و تارنگ، پارامترهای برش بارزی را مورد توجه قرار دادند و از مدل‌های رگرسیون خطی متعدد برای بهینه‌سازی در ارتباط با سختی سطح در فرایند تراش‌کاری (AL/Sic/MMC) استفاده کردند.[۲۵]

مانا و باتاچاری، از آرایش عمودی و تحلیل واریانس برای بهینه‌سازی پارامترهای برش در تراش‌کاری فولاد (AISI ۴۱۴۰) با ابزار سرامیک ترکیب شده ($AL_2O_3 + TiCN$) استفاده کردند.[۲۶] اصلان و همکاران، به‌طور کلی تحلیل رابطه‌ی خاکستری را پیشنهاد کردند که این نظریه در سال‌های اخیر توجه محققین را به خود جلب کرده است.[۲۷] برای مثال حسینی و همکاران، تحلیل رابطه‌ی خاکستری را برای طراحی پارامترهای ماشینی‌کردن استهلاک حدیده به کار گرفتند.[۲۳] همچنین لین، از تحلیل رابطه‌ی خاکستری برای به دست آوردن پارامترهای بهینه‌ی تزریق فرایند قالب‌ریزی استفاده کرد.[۲۸] دیگر محققین از روش تاگوچی و تحلیل رابطه‌ی خاکستری را برای تراش‌کاری با ویژگی‌های کارایی متعدد بهره گرفتند.[۲۹] همچنین از این روش برای بهینه‌سازی پارامترهای ماشینی‌کردن درگرافیت با خلوص بالا استفاده بردند.[۳۰]

روش تحلیل رابطه‌ی خاکستری، از روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است که کاربرد آن بیشتر در مورد داده‌های مبهم و غیرمشخص است. در این روش ابتدا داده‌ها نرمال می‌شود و سپس ضرایب و رتبه‌ی خاکستری محاسبه خواهد شد. نرمال کردن داده‌های خاکستری باید پیش از محاسبه‌ی ضرایب خاکستری انجام شود. دلیل انجام این عملیات، تبدیل اهداف مختلف به‌همراه نتایج آنها به حالتی یکسان است به‌گونه‌یی که قابلیت محاسبه‌ی رتبه‌ی خاکستری و همچنین قابلیت مقایسه را داشته باشند؛ درواقع یک سری از واحدهای مختلف باید تغییر شکل یابند و از لحاظ ابعادی کوچک‌تر شوند. در این روش توالی اصلی به‌شکل $X_i^{(o)}(k)$ نشان داده می‌شود که در آن $k = ۱, ۲, ۳, ..., n$ و $i = ۱, ۲, ۳, ..., m$. همچنین m تعداد کل آزمایش‌ها و n تعداد کل داده‌های مشاهده شده است. نرمالیزه‌کردن داده‌ها باعث تبدیل شدن توالی اصلی به توالی قابل مقایسه می‌شود. با نرمال‌کردن داده‌ها، ضریب رابطه‌ی خاکستری که با $\gamma(X_0^*(k), X_i^*(k))$ نمایش داده می‌شود با استفاده از توالی‌های نرمال شده قابل محاسبه است؛[۳۱] این ضریب در رابطه‌ی ۱ تعریف شده است. با توجه به این رابطه مقدارکمینه برابر صفر، بیشینه برابر ۱ و ضریب تمیز (ζ) برابر ۰٫۵ است.

$$\gamma\left(X_0^*(k), X_i^*(k)\right) = \frac{\Delta_{\min} + \xi\Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi\Delta_{\max}} \qquad (۱)$$

دنگ اولین فرمول رتبه‌ی روابط خاکستری را به دست آورد (رابطه‌ی ۲). در این رابطه، $\gamma(X_0(k), X_i(k))$ ضرایب خاکستری و n تعداد پارامترهای خروجی است.

$$\Gamma oi = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\gamma(X_o(k), X_i(k)) \qquad (۲)$$

تاگوچی فاکتورها را به فاکتورهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل تقسیم می‌کند. عوامل غیرکنترلی تمام عواملی هستند که باعث ایجاد تغییرات می‌شوند اما به‌دلیل مشکل بودن یا بالا بودن هزینه‌ی کنترل‌شان، برحسب شرایط ثابت در نظر گرفته می‌شوند. از آنجا که هدف طراحی آزمایش‌ها، ایجاد بهترین حالتی است که کم‌تر تحت تأثیر این متغیرها (با قابلیت کنترل کم‌تر) قرار می‌گیرد، باید اثر عوامل غیرقابل کنترلی را بر پارامترهای بهینه بررسی کرد. بررسی این عوامل مستلزم تکرار آزمایش‌هاست تا از این طریق داده‌های اضافی حذف، و دیگر داده‌ها حول یک مشخصه‌ی از قبل تعیین شده مورد تحلیل قرارگیرد. در آزمایش‌های مکرر از شاخص واریانس استفاده می‌شود که به نسبت سیگنال به نویز (S/N)[۴] نیز معروف است. نسبت سیگنال به نویز نشان‌دهنده‌ی حساسیت مشخصه‌ی کیفی مورد بررسی به فاکتورهای خارجی اثرگذار و غیرقابل کنترل (فاکتورهای اغتشاشی) در یک فرایند کنترل شده است که هرچه بیشتر باشد اثر فاکتورهای قابل کنترل در فرایند بیشتر خواهد بود.[۳۲] در روش تاگوچی پس از تعیین پارامترهای ورودی و خروجی و مقادیرشان، می‌توان انحراف میانگین مربعات یا تابع زیان (MSD) را برای ویژگی‌های خروجی به دست آورد و سپس از آن لگاریتم گرفت. برای ویژگی کیفی بیشترین ـ بهترین از رابطه‌ی ۳ استفاده می‌شود که درآن، Y_{ij} داده‌های اصلی مسئله مربوط به پارامترهای خروجی است.[۳۳]

$$\mathrm{MSD} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{Y_{ij}^2} \qquad (۳)$$

برای ویژگی کیفی کم‌ترین ـ بهترین از رابطه‌ی ۴ استفاده می‌شود که درآن n تعداد کل آزمون‌ها در آزمایش است.

$$\mathrm{MSD} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}Y_{ij}^2 \qquad (۴)$$

سپس از انحراف میانگین مربعات یا تابع زیان لگاریتم گرفته می‌شود.

$$\mathrm{SN}_{ij} = \eta = -10\log(\mathrm{MSD}) \qquad (۵)$$

۳.۲. دیمتل (DEMATEL)

مونتگمری این رویکرد را برای اولویت‌دهی مجدد شکست‌ها در سیستم پیشنهاد کرد. این روش مزایایی در تحلیل ارتباط بین اجزای یک سیستم با در نظر گرفتن انواع (مستقیم/غیرمستقیم) و شدت آن‌ها دارد.[۳۳]

روش RPN متعارف دارای ۵ ضعف عمده است.[۳۴] برای رفع این ضعف‌ها یک رویکرد ابتکاری از مجموعه‌ی فازی شهودی و دیمتل برای ارزیابی ریسک

پیشنهاد شد. رویکرد پیشنهادی برخی از ضعف‌های روش RPN متعارف را رفع کرد.

برای غلبه بر ضعف‌های متدولوژی سنتی RPN رویکردی یک‌پارچه از ترکیب میانگین وزنی مرتب شده‌ی فازی[5] و دیمتل برای رتبه‌بندی ریسک شکست پیشنهاد شد.[۳۵] همچنین یک روش FMEA همبسته برای اولویت‌بندی مجدد حالت‌های شکست مرتبط با ابهام زبانی پیشنهاد شد[۳۶] که در آن از تاپسیس[6] فازی برای دست‌یابی به تعداد مؤثری از هر حالت شکست استفاده شده است. همچنین پس از ایجاد رابطه‌ی مستقیم بین حالت‌های شکست، ماتریس اثرات شکست با استفاده از روش دیمتل به دست آمد.

شیوه‌ی DEMATEL مبتنی بر نمودارهایی است که می‌تواند عوامل درگیر را به دوگروه علت و معلول تقسیم کند و رابطه‌ی میان آن‌ها را به یک مدل ساختاری قابل درک بدل سازد. لازم به ذکر است که ماتریس حاصل از شیوه‌ی دیمتل (ماتریس ارتباطات داخلی)، در واقع تشکیل‌دهنده‌ی بخشی از سوپرماتریس است. به‌عبارتی، شیوه‌ی دیمتل به‌طور مستقل عمل نمی‌کند بلکه به‌عنوان زیرسیستمی از یک سیستم بزرگ‌تر همچون ANP است. مراحل اجرای این شیوه عبارت است از:

۱. نمایش روابط موجود به‌صورت یک ماتریس مربع؛

۲. ضرب هر ورودی از ماتریس در معکوس بیشترین مجموع ردیفی آن ماتریس؛

۳. کم‌کردن آرایه‌های ماتریس قبلی از ماتریس یکه و سپس معکوس‌سازی آن؛

۴. ضرب ماتریس مرحله‌ی قبل در ماتریس مرحله‌ی یک (این ماتریس شدت نسبی موجود از روابط مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهد)؛

۵. محاسبه‌ی مجموع هر ردیف و ستون، و در نظر گرفتن آن به‌عنوان R و C، و سپس محاسبه‌ی R+C و R-C و ترتیب نفوذ عناصر.

۳. متدلوژی تحقیق

در تحقیق صورت گرفته توسط وانگ و همکاران[۳۵] این مسئله کاملاً مشخص است که محققین از FMEA سنتی به‌شدت انتقاد می‌کنند. نمونه‌یی از این انتقادات عبارت است از:[۳۵]

۱. ارزیابی RPN نیاز معمول اندازه گیری را برآورده نمی‌کند.

۲. رابطه‌ی بین احتمال شکست و مقیاس احتمال رابطه‌یی غیر خطی است، در حالی که رابطه‌ی بین انحراف معیار و مقیاس احتمالی خطی است.

۳. مجموعه‌های مختلف احتمال شکست، انحراف معیار و شدت شکست ممکن است مقادیر یکسانی از RPN تولید کنند اما، مفهوم خطر ممکن است کاملاً متفاوت باشد.

۴. چرا RPN به جای روابط دیگر، از ضرب عوامل به دست می‌آید؟

۵. RPN سنتی تأثیر کمیت تولید را نادیده می‌گیرد.

۶. RPN سنتی اهمیت نسبی میان احتمال شکست، انحراف معیار و شدت شکست را در نظر نمی‌گیرد.

۷. RPN سنتی قادر به اندازه‌گیری تأثیرات اقدامات اصلاحی نیست.

با توجه به دلایل فوق در این تحقیق از روش‌های تاگوچی، تاگوچی ـ خاکستری، خاکستری، دیمتل ـ تاگوچی ـ خاکستری برای محاسبه‌ی RPN استفاده می‌شود. بیشترین مقدار S، O و D برابر ۱۰ و کم‌ترین مقدار آن برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. ضریب تمیز (ζ) برابر ۰٫۳ است چون درجه‌ی اهمیت سه معیار احتمال شکست، احتمال شناسایی و شدت شکست یکسان است. در این مسئله CF علت خرابی و FM حالت خرابی است، و برای انجام محاسبات از Excel استفاده شده است. مراحل انجام کار در این چهار روش چنین است:

- تمامی حالات خرابی و علت‌های خرابی را مشخص کنید.
- ماتریسی که شامل حالت‌های خرابی و SOD است را تشکیل داده و در روش تحلیل رابطه‌ی خاکستری ابتدا داده‌ها را نرمال کنید و پس از محاسبه‌ی ضریب و رتبه‌ی خاکستری، رتبه‌ی حاصله جایگزین RPN خواهد شد.
- در روش تاگوچی به جای نرمال کردن ماتریس نرخ سیگنال به نویز محاسبه شده و سپس سیگنال به نویز وزنی و رتبه‌ی تاگوچی محاسبه می‌شود. رتبه‌ی تاگوچی مجموع سیگنال به نویز وزنی است و این مقدار جایگزین RPN خواهد شد.
- در روش تاگوچی ـ خاکستری ابتدا نرخ سیگنال به نویز را حساب کرده و سپس این مقدار نرمال می‌شود. ادامه‌ی الگوریتم مانند روش خاکستری است.
- در روش تاگوچی ـ خاکستری ـ دیمتل ماتریس اولیه تشکیل می‌شود و سپس رتبه‌ی تاگوچی ـ خاکستری به‌عنوان داده‌ی اولیه وارد این ماتریس می‌شود. ادامه‌ی کار مطابق روش دیمتل است که در قسمت قبل بیان شد.
- در پایان چهار روش فوق با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۴. مطالعه‌ی موردی

شرکت مهدخودرو توس با هدف تولید قطعات و مجموعه‌های فلزی و پلاستیکی خودرو، فعالیت خود را در سال ۱۳۷۳ با سه سایت مستقل کارگاه فشارکی، شرکت هورالکتریک توس، و شرکت مبین توس آغاز کرد و پس از گذشت ۱۰ سال، با ایجاد بسترهای مناسب توانست با ادغام این سه سازمان به پتانسیل مورد نیاز خود دست یابد. این شرکت هم‌اکنون در فاز ۱ شهرک صنعتی توس مشغول به تولید بیش از یکصد مجموعه برای دو خودروسازی بزرگ کشور است. قطعه‌ی مورد بررسی در این شرکت لولای سمند است و حالت و علت خرابی آن به شرح جدول ۱ آمده است. جدول ۲ به محاسبه‌ی سنتی RPN اختصاص دارد که حاصل‌ضرب SOD است. در جدول ۲ کشیدگی سوراخ پانچ به‌دلیل اشتباه اپراتور بزرگ‌ترین مقدار RPN را دارد و مشخص است که بیشترین حالت خرابی مربوط به این قسمت است و باید اصلاح شود. در جدول ۳ رتبه‌های به دست آمده از سه روش تاگوچی، خاکستری، و تاگوچی ـ خاکستری و نیز مقدار R-C محاسبه شده از روش دیمتل مشاهده می‌شود؛ اهمیت هر سه معیار SOD یکسان در نظر گرفته شده است. در روش FMEA سنتی کشیدگی سوراخ پانچ بیشترین RPN را داشت و علت آن نیز خطای اپراتور بود. همچنین هرز شدن رزوه و عدم پخ قلاویز مربوط به برقو، قلاویز و خزینه کم‌ترین مقدار RPN را دارد، اما وقتی مقادیر SOD نرمال می‌شوند و RPN با روش‌های فوق محاسبه می‌شود بیشترین حالت خرابی را دارد و علت آن با حالت سنتی تفاوت دارد.

در ادامه، در جدول ۴ مقایسه‌ی این روش‌ها ارائه شده است. چنان که مشاهده می‌شود نتایج حاصل از این روش‌ها در مقایسه با FMEA سنتی درست عکس یکدیگرند. در FMEA سنتی بیشترین خرابی مربوط به پانچ لولای سمند و

جدول ۱. حالات و علت خرابی لولای سمند.

مرحله عملیاتی	علت خرابی	حالت خرابی	علت خرابی	حالت خرابی
کف‌تراشی	کند شدن تیغه	کم شدن ضخامت کف	CF۱	FM۱
	بارگذاری اشتباه اپراتور		CF۲	FM۱
	در آمدن از فیکسچر		CF۳	FM۱
	سختی جنس	پله داربودن قطعه	CF۴	FM۲
	ضخامت کم	کشیدگی سوراخ	CF۵	FM۳
	شل بستن و تنظیم نبودن	دفرمه شدن قطعه	CF۶	FM۴
	پانچ اشتباه		CF۷	FM۴
	دفرمه بودن	آسیب‌دیدگی کف	CF۸	FM۵
	قلاب شدن		CF۹	FM۵
	برخورد با کارتریج		CF۱۰	FM۵
پانچ	خطای اپراتور (اشتباه قرار دادن درقالب)	کشیدگی سوراخ پانچ	CF۱۱	FM۶
	خطای اپراتور (عدم تمرکز کافی)	دوضرب خوردن پانچ	CF۱۲	FM۷
	خراب بودن سنبه	پله داربودن سوراخ پانچ	CF۱۳	FM۸
	خطای اپراتور (اشتباه قرار دادن درقالب)	دفرمه شدن قطعه	CF۱۱	FM۹
	خطای اپراتور (اشتباه قرار دادن درقالب)	انحراف سوراخ پانچ	CF۱۱	FM۱۰
	خطای اپراتور (عدم تمرکز کافی)	لبه خوردن سوراخ پانچ	CF۱۴	FM۱۱
	خطای اپراتور (اشتباه قرار دادن در قالب)	مغایرت مرکز تا مرکز	CF۱۱	FM۱۲
	کم دقتی در جداسازی مرحله قبل	برعکس خوردن پانچ	CF۱۵	FM۱۳
	خراب بودن سنبه	قطر سوراخ پانچ کم است	CF۱۳	FM۱۴
شیار سر	کم و زیادشدن فاصله تیغه‌ها	کم شدن طول ساق	CF۱۶	FM۱۵
	پانچ ضعیف	دفرمه شدن قطعه	CF۱۷	FM۱۶
	تقسیم اشتباه قطعات	جابجا خوردن شیارسر	CF۱۸	FM۱۷
	تنظیم نامناسب دستگاه	پایین بودن طول سر	CF۱۹	FM۱۸
	تنظیم نامناسب دستگاه	کشیدگی شیار	CF۱۹	FM۱۹
سوراخ‌کاری	خرابی سر مته (شیار سر)	کشیدگی سوراخ سر	CF۲۰	FM۲۰
	خرابی سر مته	بالا بودن قطر سوراخ	CF۲۰	FM۲۱
	پیشروی زیاد ـ خطای اپراتور	شکستن مته داخل قطعه	CF۲۱	FM۲۲
	خطای اپراتور	تنظیم اشتباه راهنما	CF۲۱	FM۲۳
برقو، قلاویز، خزینه	تاب داشتن برقو	اشتباه خوردن برقو	CF۲۲	FM۲۴
	خرابی مته	قطر برقو پایین باشد	CF۲۳	FM۲۵
	خرابی مته	قطر برقو بالا باشد	CF۲۳	FM۲۶
	سختی فورج ـ قلاویز بی‌کیفیت	شکستن قلاویز داخل قطعه	CF۲۴	FM۲۷
	سختی فورج ـ قلاویز بی‌کیفیت	هرز شدن رزوه	CF۲۴	FM۲۸
	سختی فورج ـ قلاویز بی‌کیفیت	خرابی رزوه	CF۲۴	FM۲۹
	خطای اپراتور	پلیسه‌گیری زیاد	CF۲۵	FM۳۰
	تنگ بودن سوراخ	عدم پخ قلاویز	CF۲۶	FM۳۱

جدول ۲. محاسبه اولویت ریسک (RPN).

ردیف	حالت خرابی	علت خرابی	شدت شکست	احتمال شکست	احتمال عدم تشخیص	اولویت ریسک	
۱	FM۱	CF۱	۶/۵	۲/۵	۳	۴۸/۷۵	
۲	FM۱	CF۲	۶/۵	۲/۵	۳	۴۸/۷۵	
۳	FM۱	CF۳	۶/۵	۱/۵	۳	۲۹/۲۵	
۴	FM۲	CF۴	۴	۱	۲	۸	
۵	FM۳	CF۵	۶/۵	۱/۵	۲	۱۹/۵	کف‌تراشی
۶	FM۴	CF۶	۵/۵	۱/۵	۲	۱۶/۵	
۷	FM۴	CF۷	۶/۵	۱/۵	۲	۱۹/۵	
۸	FM۵	CF۸	۶	۱/۵	۲	۱۸	
۹	FM۵	CF۹	۶	۱/۵	۲	۱۸	
۱۰	FM۵	CF۱۰	۶	۱/۵	۲	۱۸	
۱۱	FM۶	CF۱۱	۶/۵	۲/۵	۶/۵	۱۰۵/۶۲۵	
۱۲	FM۷	CF۱۲	۷	۱	۲	۱۴	
۱۳	FM۸	CF۱۳	۴	۱	۳/۵	۱۴	
۱۴	FM۹	CF۱۱	۶	۲/۵	۳	۴۵	
۱۵	FM۱۰	CF۱۱	۶/۵	۱	۳/۵	۲۲/۷۵	پانچ
۱۶	FM۱۱	CF۱۴	۶/۵	۲/۵	۵	۸۱/۲۵	
۱۷	FM۱۲	CF۱۱	۶/۵	۱/۵	۳/۵	۳۴/۱۲۵	
۱۸	FM۱۳	CF۱۵	۶/۵	۱	۲	۱۳	
۱۹	FM۱۴	CF۱۳	۴	۱	۳/۵	۱۴	
۲۰	FM۱۵	CF۱۶	۶	۲/۵	۵/۵	۸۲/۵	
۲۱	FM۱۶	CF۱۷	۶/۵	۲/۵	۲	۳۲/۵	
۲۲	FM۱۷	CF۱۸	۵	۱	۵/۵	۲۷/۵	شیار سر
۲۳	FM۱۸	CF۱۹	۶/۵	۱/۵	۶	۵۸/۵	
۲۴	FM۱۹	CF۱۹	۶/۵	۲/۵	۵/۵	۸۹/۳۷۵	
۲۵	FM۲۰	CF۲۰	۶/۵	۱/۵	۳	۲۹/۲۵	
۲۶	FM۲۱	CF۲۰	۶/۵	۱/۵	۳	۲۹/۲۵	سوراخکاری
۲۷	FM۲۲	CF۲۱	۳/۵	۱/۵	۲	۱۰/۵	
۲۸	FM۲۳	CF۲۱	۶/۵	۱	۳	۱۹/۵	
۲۹	FM۲۴	CF۲۲	۴/۵	۱	۳/۵	۱۵/۷۵	
۳۰	FM۲۵	CF۲۳	۴	۱	۳/۵	۱۴	
۳۱	FM۲۶	CF۲۳	۵	۱	۳/۵	۱۷/۵	
۳۲	FM۲۷	CF۲۴	۳	۲/۵	۲	۱۵	
۳۳	FM۲۸	CF۲۴	۳	۱	۲	۶	برقو، قلاویز و خزینه
۳۴	FM۲۹	CF۲۴	۳	۱	۲/۵	۷/۵	
۳۵	FM۳۰	CF۲۵	۵/۵	۱	۲/۵	۱۳/۷۵	
۳۶	FM۳۱	CF۲۶	۳	۱	۲	۶	

جدول ۳. نتایج حاصل از روش‌ها.

ردیف	حالت خرابی	علت خرابی	RPN	رتبه‌ی هر روش			
				رابطه خاکستری	خاکستری ـ تاگوچی	خاکستری ـ تاگوچی ـ دیمتل	تاگوچی
۱	FM۱	CF۱	۴۸٫۸	۰٫۴۹	۰٫۳۱	۰٫۱۲	−۵٫۰۶
۲	FM۱	CF۲	۴۸٫۸	۰٫۴۹	۰٫۳۷	۰٫۱۲	−۵٫۰۶
۳	FM۱	CF۳	۲۹٫۳	۰٫۵۷	۰٫۸۲	۰٫۱۴	−۴٫۴۰
۴	FM۲	CF۴	۸	۰٫۹۳	۰٫۵۵	۰٫۳۱	−۲٫۷۱
۵	FM۳	CF۵	۱۹٫۵	۰٫۶۶	۰٫۵۷	۰٫۲۱	−۳٫۸۷
۶	FM۴	CF۶	۱۶٫۵	۰٫۶۹	۰٫۵۵	۰٫۲۱	−۳٫۶۵
۷	FM۴	CF۷	۱۹٫۵	۰٫۶۶	۰٫۵۶	۰٫۲۱	−۳٫۸۷
۸	FM۵	CF۸	۱۸	۰٫۶۸	۰٫۵۶	۰٫۲۱	−۳٫۷۷
۹	FM۵	CF۹	۱۸	۰٫۶۸	۰٫۵۶	۰٫۲۱	−۳٫۷۷
۱۰	FM۵	CF۱۰	۱۸	۰٫۶۸	۰٫۲۴	۰٫۲۱	−۳٫۷۷
۱۱	FM۶	CF۱۱	۱۰۶	۰٫۳۷	۰٫۷۴	۰٫۵۵	−۶٫۰۷
۱۲	FM۷	CF۱۲	۱۴	۰٫۸۳	۰٫۶۲	۰٫۲۸	−۳٫۴۴
۱۳	FM۸	CF۱۳	۱۴	۰٫۸۱	۰٫۳۲	۰٫۴۷	−۳٫۴۴
۱۴	FM۹	CF۱۱	۴۵	۰٫۵۱	۰٫۵۴	۰٫۵۵	−۴٫۹۶
۱۵	FM۱۰	CF۱۱	۲۲٫۸	۰٫۷۲	۰٫۲۵	۰٫۵۵	−۴٫۰۷
۱۶	FM۱۱	CF۱۴	۸۱٫۳	۰٫۴۱	۰٫۳۵	۰٫۱۰	−۵٫۷۳
۱۷	FM۱۲	CF۱۱	۳۴٫۱	۰٫۵۴	۰٫۷۵	۰٫۵۵	−۴٫۶۰
۱۸	FM۱۳	CF۱۵	۱۳	۰٫۸۴	۰٫۶۲	۰٫۲۸	−۳٫۳۴
۱۹	FM۱۴	CF۱۳	۱۴	۰٫۸۱	۰٫۲۵	۰٫۴۷	−۳٫۴۴
۲۰	FM۱۵	CF۱۶	۸۲٫۵	۰٫۴۱	۰٫۴۹	۰٫۱۰	−۵٫۷۵
۲۱	FM۱۶	CF۱۷	۳۲٫۵	۰٫۵۸	۰٫۵۳	۰٫۱۹	−۴٫۵۴
۲۲	FM۱۷	CF۱۸	۲۷٫۵	۰٫۷۰	۰٫۳۰	۰٫۲۰	−۴٫۳۲
۲۳	FM۱۸	CF۱۹	۵۸٫۵	۰٫۴۶	۰٫۲۵	۰٫۲۰	−۵٫۳۰
۲۴	FM۱۹	CF۱۹	۸۹٫۴	۰٫۳۹	۰٫۳۷	۰٫۲۰	−۵٫۸۵
۲۵	FM۲۰	CF۲۰	۲۹٫۳	۰٫۵۷	۰٫۳۷	۰٫۲۸	−۴٫۴۰
۲۶	FM۲۱	CF۲۰	۲۹٫۳	۰٫۵۷	۰٫۶۸	۰٫۲۸	−۴٫۴۰
۲۷	FM۲۲	CF۲۱	۱۰٫۵	۰٫۷۹	۰٫۵۷	۰٫۴۸	−۳٫۰۶
۲۸	FM۲۳	CF۲۱	۱۹٫۵	۰٫۷۵	۰٫۵۹	۰٫۴۸	−۳٫۸۷
۲۹	FM۲۴	CF۲۲	۱۵٫۸	۰٫۷۹	۰٫۶۲	۰٫۲۳	−۳٫۵۹
۳۰	FM۲۵	CF۲۳	۱۴	۰٫۸۱	۰٫۵۷	۰٫۴۵	−۳٫۴۴
۳۱	FM۲۶	CF۲۳	۱۷٫۵	۰٫۷۶	۰٫۷۴	۰٫۴۵	−۳٫۷۳
۳۲	FM۲۷	CF۲۴	۱۵	۰٫۷۴	۱٫۰۰	۱٫۰۰	−۳٫۵۳
۳۳	FM۲۸	CF۲۴	۶	۱٫۰۰	۰٫۸۷	۱٫۰۰	−۲٫۳۳
۳۴	FM۲۹	CF۲۴	۷٫۵	۰٫۹۵	۰٫۶۴	۱٫۰۰	−۲٫۶۳
۳۵	FM۳۰	CF۲۵	۱۳٫۸	۰٫۸۱	۱٫۰۰	۰٫۲۴	−۳٫۴۱
۳۶	FM۳۱	CF۲۶	۶	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۰٫۳۸	−۲٫۳۳

جدول ۴. مقایسه‌ی روش‌های مختلف برای حالت خرابی و علت آن.

روش	حالت خرابی	علت خرابی
تحلیل رابطه‌ی خاکستری	هرز شدن رزوه و خرابی آن	سختی فورج و قلاویز بی‌کیفیت
	عدم پخ قلاویز	تنگ بودن سوراخ
تحلیل رابطه‌ی خاکستری ـ تاگوچی	شکستن قلاویز داخل قطعه	سختی فورج و قلاویز بی‌کیفیت
	پلیسه‌گیری	خطا اپراتور
	عدم پخ قلاویز	تنگ بودن سوراخ
تحلیل رابطه‌ی خاکستری ـ تاگوچی ـ دیمتل	شکستن قلاویز	سختی فورج و قلاویز بی‌کیفیت
	هرزه شدن رزوه	سختی فورج و قلاویز بی‌کیفیت
	خرابی رزوه	سختی فورج و قلاویز بی‌کیفیت
تاگوچی	هرزه شدن رزوه	سختی فورج و قلاویز بی‌کیفیت
	عدم پخ قلاویز	تنگ بودن سوراخ

کم‌ترین آن مربوط به برقو، قلاویز و خزینه است، در حالی که در روش‌های فوق بیشترین خرابی مربوط برقو، قلاویز و خزینه است. در این روش‌ها چون داده‌ها نرمال می‌شوند احتمال وقوع ریسک تغییر می‌کند و نتایج دقیق‌تری به دست می‌آید؛ همچنین به معیارهای SOD وزنی اختصاص داده می‌شود که در این مسئله اهمیت هر سه آنها یکسان است. در نهایت مهم‌ترین مزیت این روش‌ها توجه به ارتباط بین حالت خرابی و علت خرابی است. از بین چهار روش فوق عملکرد روش تاگوچی ـ خاکستری ـ دیمتل بهتر است زیرا علاوه بر نرمال کردن داده‌ها و وزن‌دهی آنها، رابطه‌ی بین حالت خرابی و علت خرابی را در ماتریس در نظر می‌گیرد.

۵. نتیجه‌گیری

امروزه ارتقاء مستمر کیفیت به یک مسئله‌ی مهم و حیاتی برای رقابت در بازارهای داخلی و جهانی تبدیل شده است. شرکت‌های قطعه‌سازی نیز نه‌تنها از این امر مستثنی نیستند، بلکه به‌خاطر ارتباط با صنایع بزرگ تولیدی نظیر شرکت‌های خودروسازی ناچار به رعایت استانداردهای بالا هستند. در این راستا یکی از ابزارهای کیفی FMEA است، که با کم‌ترین ریسک برای پیش‌بینی مشکلات و نقص‌ها در مراحل طراحی یا توسعه‌ی فرایندها وخدمات در سازمان به کار می‌رود. 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». به‌بیان دیگر، یکی از تفاوت‌های اساسی FMEA با سایر شیوه‌های کیفی این است که FMEA یک اقدام کنشی است، نه واکنشی.

با توجه به اهمیت این موضوع، مطالعه‌ی موردی در این تحقیق شرکت مهدخودرو توس و قطعه‌ی انتخابی لولای درب سمند است. تمامی مدیران و کارشناسان شرکت بر این باورند که فرهنگ کیفیت، ایمنی و بهداشت محیط کار باید در تمامی سطوح سازمان و همچنین تأمین‌کنندگان توسعه داده شود. بدیهی است با اجرای برنامه‌های آموزشی مرتبط و رعایت موازین مربوطه در سطوح بالایی سازمان می‌توان به این مهم دست یافت. به‌همین دلیل اهمیت پروژه‌ی FMEA در این سازمان برای شناسایی ریسک‌ها و اولویت‌بندی آنها واضح و مشخص است.

مسئله‌ی فوق علاوه بر روش سنتی با چهار روش دیگر حل شده است. روش‌های مورد استفاده عبارت است از تاگوچی، تحلیل رابطه‌ی خاکستری، تاگوچی ـ خاکستری، تاگوچی ـ خاکستری ـ دیمتل. مزایای کاربرد این روش‌ها نسبت به حالت سنتی عبارت است از:

۱. کاربرد این روش‌ها از احتمال وقوع ریسک می‌کاهد.

۲. هریک از روش‌های فوق روشی مؤثر برای تجزیه و تحلیل ساختار و روابط بین اجزاست. با به‌کارگیری این روش‌ها آلترناتیوها براساس اثرگذاری یکی بر دیگری رتبه‌بندی می‌شود؛ به‌عبارتی ارتباط بین حالت و علت خرابی مد نظر قرار می‌گیرد.

۳. در این روش‌ها برای هرکدام از معیارها وزنی در نظر گرفته می‌شود.

۴. این روش‌ها دقیق‌تر بوده و کارایی بیشتری دارند.

۵. این روش‌ها حتی زمانی که اطلاعات کامل و دقیق نباشد یا به‌عبارتی اطلاعات به‌شکل خاکستری باشد، بسیار مناسب است.

۶. در این روش‌ها با ایجاد یک الگوریتم ساختاریافته، از داده‌های تجربی و علمی درکنار هم استفاده می‌شود و از شیوه‌ی FMEA در مسائل کیفی بهره‌گیری خواهد شد.

پس از حل مسئله با این روش‌ها مشخص شد که بیشترین ریسک خرابی مربوط به قلاویز، برقو و خزینه است و کم‌ترین ریسک خرابی مربوط به پانچ است. پیشنهاداتی که می‌توان برای اقدام اصلاحی برای هریک از ایستگاه‌های کاری ارائه داد عبارت است از:

- آموزش اپراتور؛
- طراحی قالب مناسب؛
- بالابردن زمان تولید برای دقت بیشتر؛
- استفاده از ابزار با کیفیت بالاتر؛

- مهندسی مجدد در طراحی دوباره‌ی فرایند تولید؛
- نت پیشگیرانه؛
- استفاده از ابزار بازرسی دقیق‌تر برای بالا بردن درصد درستی شناسایی؛
- دقیق‌بودن مسیر کنترل؛
- سختی جنس مناسب فورج؛
- تنظیم بسیار دقیق دستگاه برای انجام فرایند.

پیشنهاداتی که برای تحقیقات آتی می‌توان ارائه داد عبارت است از:

۱. استفاده از دیگر شیوه‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه مانند آراس (در حالت فازی) برای بهبود روش FMEA؛

۲. ترکیب دیگر شیوه‌های چندشاخصه با شیوه‌ی تاگوچی، رابطه‌ی خاکستری و دیمتل.

پانوشت‌ها

1. failure modes and effects analysis
2. decision making trial and evaluation laboratory
3. multiple criteria decision making
4. signal to noise
5. fuzzy ordered weighted average
6. technique for order preference by similarity to ideal solution

منابع (References)

1. Sorani, M. and Jami, A. "Analysis of FMEA and disadvantages", *Eighth Conference on Metallurgical Engineering* (2005).
2. Sankar, N.R. and Prabhu, B.S. "Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis", *Int J Qual Reliab Manage*, **18**(3), pp. 324-35 (2001).
3. Ford Motor Company, Instruction Manual Process FMEA (1988a).
4. Bowles, J.B. and Peláez, C.E. "Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis", *Reliability Engineering & System Safety*, **50**, pp. 203-213 (1995).
5. Chang, K.H. and Cheng, C.H. "Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method", *Journal of Intelligent Manufacturing,* **22**, pp. 113-129 (2011).
6. Chin, K.S., Wang, Y.M., Poon, G.K.K. and Yang, J.B. "Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach", *Computers & Operations Research*, **36**, pp. 1768-1779 (2009b).
7. Sharma, R.K., Kumar, D. and Kumar, P. "Modeling system behavior for risk and reliability analysis using KBARM", *Quality and Reliability Engineering International*, **23**, pp. 973-998 (2007d).
8. Shawulu, H.N. "Software failure analysis at rchitecture level using FMEA", *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, **6**(1), pp.450-458 (2012).
9. Stamatis, D.H., *Failure Mode and Effect Analysis–FMEA from Theory to Execution*, New York, ASQC Quality Press (1995).
10. Chen, L., Liu, L. and Liu, N. "Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review", *Expert Systems with Applications*, **40**, pp. 828-838 (2013).
11. Gilchrist, W. "Modelling failure modes and effects analysis", *International Journal of Quality & Reliability Management*, **10**(5), pp. 16-23 (1993).
12. Ben-Daya, M. and Raouf, A. "A revised failure mode and effects analysis model", *International Journal of Quality & Reliability Management,* **13**(1), pp. 43-7 (1993).
13. Deng, J.L. "Introduction to grey system theory", *J. Grey Syst.*, **1**, pp. 1-24 (1989).
14. Kuei-Hu, C., Yung-Chia, C. and I-Tien, T. "Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach", *Engineering Failure Analysis*, **31**, pp. 211-224 (2013).
15. Franceschini, F. and Galetto, M. "A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA", *International Journal of Production Research,* **39**, pp. 2991-3002 (2001).
16. Chang, K.H., Cheng, C.H. and Chang, Y.C. "Reprioritization of failures in a silane supply system using an intuitionistic fuzzy set ranking technique", *Soft Computing*, **14**, pp. 285-298 (2010).
17. Huang, J.T. and Lin, J.L. "Optimization of machining parameters setting of die-sinking EDM process based on the Grey relational analysis with L18 orthogonal array", *J. Technol.*, **17**, pp. 659-664 (2002).
18. Chang, C.L., Wei, C.C. and Lee, Y.H. "Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory", *Kybernetes*, **28**, pp. 1072-1080 (1999).
19. Chang, C.L., Liu, P.H. and Wei, C.C. "Failure mode and effects analysis using grey theory", *Integrated Manufacturing Systems,* **12**, pp. 211-216 (2001).
20. Sharma, R.K., Kumar, D. and Kumar, P. "Fuzzy modeling of system behavior for risk and reliability analysis", *International Journal of Systems Science*, **39**, pp. 563-581 (2008b).
21. Pillay, A. and Wang, J. "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning", *Reliability Engineering & System Safety*, **79**, pp. 69-85 (2003).

22. Geum, Y., Cho, Y. and Park, Y. "A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach", *Mathematical and Computer Modelling,* **54**, pp. 3126-3142 (2011).

23. Seyed-Hosseini, S.M., Safaei, N. and Asgharpour, M.J. "Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique", *Reliability Engineering & System Safety*, **91**, pp. 872-881 (2006).

24. Chang, K.-H. and Cheng, C.-H. "A risk assessment methodology using intuitionistic fuzzy set in FMEA", *International Journal of Systems Science*, **41**(12), pp. 1457-1471 (2010).

25. Yang, W.H. and Tarng, Y.S. "Design optimization of cuttingparameters for turning operations based on the Taguchi method", *J. Mater. Process Technol.*, **84**, pp. 122-129 (1998).

26. Manna, A. and Bhattacharyya, B. "Investigation for optimal parametric combination for achieving better surface finish during turning of Al/SiC-MMC", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, **23**, pp. 658-665 (2004).

27. Aslan, E., Camuscu, N. and Birgoren, B. "Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al_2O_3 +TiCN mixed ceramic tool", *Mater. Des.*, **28**, pp. 1618-1622 (2007).

28. Lin, T.-R. "Optimisation technique for face milling stainless steel with multiple performance characteristics", Technical report, Department of Mechanical Manufacturing Engineering, National Huwei Institute of Technology, Huwei, Taiwan (2002).

29. Fung, C.P., Huang, C.H. and Doong, J.L. "The study on the optimization of injection molding process parameters with gray relational analysis", *J. Reinf. Plast. Comp.*, **22**, pp. 51-66 (2003).

30. Lin, C.L. "Use of the Taguchi method and grey relational analysis to optimize turning operations with multiple performance characteristics", *Mater. Manuf. Process.*, **19**(2), pp. 209-220 (2004).

31. Yang, Y.K., Shie, J.R. and Huang, C.H. "Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process", *Mater. Manuf. Process*, **21**(8), pp. 832-837 (2006).

32. Chorng-Jyh, T., Yu-Hsin, L, Yung-Kuang, Y., Ming-Chang, J. "Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and grey relational analysis", Technical Report, Department of Mechanical Engineering, Minghsin University of Science and Technology (2008).

33. Montgomeri, D.C., Shahkar Gholamhosein., *Design Of Experiment*, Nashr Daneshgahi, pp.300-310 (2007).

34. Tsao, S.-M. "Reprioritization of failures modes in failure mode and effects analysis by using improved decision making trial and evaluation laboratory", Thesis, etd-0712110-163937 , pp.100-110 (2010).

35. Wang, Y.M., Chin, K.S., Poon, G.K.K. and Yang, J.B. "Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean", *Expert Systems with Applications,* **36**, pp. 1195-1207 (2009).

36. Xiao-Rong, W., Le-Miao, Q., Shu-You, Z., Liang-Feng, S. and Chuan-Long, G. "Correlated FMEA method of complex system with linguistic vagueness", *Journal of Zhejiang University (Engineering Science),* **47**(5), pp. 782-789 (2013).