

تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه و اثرات آن با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های استوار

علیرضا علی نژاد،* نیکی جلیلی تقویان**

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۳، تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۱۸

چکیده

بهبود و ارتقای سطح کیفیت محصول و خدمات ارائه شده توسط بنگاه‌ها اولین و اصلی‌ترین عامل پیشرفت نسبت به رقبا و گرفتن سهم عمده بازار می‌باشد. در همین راستا تجزیه و تحلیل حالت‌های خطا و آثار آن‌ها ابزاری کارآمد بمنظور بهبود کیفیت در مدیریت کیفیت می‌باشد. با توجه به انتقادات فراوان به روش سنتی، عدد تقدم ریسک در تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه از ضرب سه عدد شدت، وقوع و تشخیص تشکیل می‌شود. به منظور برطرف کردن عیوب موجود، روش جدیدی برای محاسبه عدد تقدم ریسک در تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه بر پایه روش تحلیل پوششی داده‌ها معرفی می‌گردد. هدف از این تحقیق ارائه نوع جدیدی از عدد تقدم ریسک با تخصیص وزن‌های مختلف برای هر یک از فاکتورهای ریسک می‌باشد. همچنین با توجه به این که اعداد شدت، وقوع و تشخیص توسط تیمی متشکل از گروه‌های مختلف خبرگان بدست می‌آید و عاملی قطعی و ثابت نمی‌باشد، در این پژوهش از روش بهینه‌سازی استوار که نتایج تحلیل پوششی داده‌ها را می‌پوشاند و پیچیدگی کمتری نسبت به روش فازی دارد، استفاده شده است. نتایج حاصل از مثال حل شده حکایت از موثرتر بودن مدل پیشنهادی نسبت به RPN سنتی دارد و رتبه‌بندی کاملی از حالات خرابی را ارائه می‌کند.

واژگان کلیدی: تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه و آثار آن، عدد تقدم ریسک، تحلیل پوششی داده‌ها،

بهینه‌سازی استوار

* استادیار دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران (نویسنده مسئول)

alinezhad@qiau.ac.ir

** کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران

مقدمه

انسان از زمانی که زندگی خاکی خود را شروع کرد بدون آنکه به زبان تعریفی از بهبود و کیفیت را بیان کند، دائما در فکر نتایج خاکی از آن بود. امروزه اکثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در تلاش هستند تا بتوانند برای سازمان خود بهبود ایجاد کرده و از منابع در اختیار بصورت بهینه استفاده کنند تا حداکثر سودآوری ممکن را ایجاد نمایند. بنابراین بهبود و ارتقای سطح کیفیت محصول و خدمات ارائه شده توسط بنگاه‌ها اولین و اصلی‌ترین عامل پیشرفت نسبت به رقبا و گرفتن سهم عمده بازار می‌باشد. بدین منظور ابزارهای گوناگونی معرفی شده‌اند. تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن‌ها^۱ ابزار کارآمد برای بهبود کیفیت در مدیریت کیفیت می‌باشد و کاربرد آن روز به روز افزایش می‌یابد. FMEA رویکردی سیستماتیک برای آینده‌نگری در مرحله طراحی و تولید است و به جای نگاه به گذشته و تجزیه و تحلیل مشکلات بوجود آمده در طراحی و فرآیند تولید محصول، FMEA نگاه به آینده دارد و برای پیش‌بینی، شناسایی، بررسی، تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی خطاها با احتمال بسیار بالا می‌باشد (سانکار و دیگران، ۲۰۰۱). نتایج ناشی از بروز خطاهای بالقوه‌ای که می‌تواند اثرات نامطلوبی برای مشتری اعم از مصرف‌کننده نهایی محصول، واحد مونتاژ و یا تولیدکننده بعدی دربرداشته باشد. FMEA به بیانی ساده روش پیشگیرانه جهت جلوگیری یا کاهش احتمال بروز خطاهایی است که بدلیل طراحی محصول و یا در طی فرآیند تولید یک محصول ممکن است بروز کنند (بن دایا و رثوف، ۱۹۹۶).

ایجاد بهبود در هر سازمان نیازمند اندازه‌گیری عملکرد سازمان، برنامه‌ریزی و هدف‌گذاری مناسب می‌باشد. ارزیابی عملکرد به کمک شاخص‌های غیرمالی از موضوعاتی است که طی دهه ۱۹۹۰ بسیار مورد توجه قرار گرفته و رشد و توسعه چشمگیری داشته است. از مزایای ارزیابی عملکرد می‌توان به جلوگیری از اتلاف منابع و افزایش نامتناسب هزینه‌ها، استفاده بهینه از امکانات موجود، ارتقای کیفیت کالاها، بهبود عملکرد و ارتقای بهره‌وری و کارایی

1- Failure Mode and Effect Anlysis (FMEA)

اشاره نمود. یکی از روش‌های مناسب در تحلیل و سنجش کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری، استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد که یک روش چند معیاره برای تصمیم‌گیری و سنجش عملکرد سازمان‌ها است و با وجود برخی محدودیت‌ها یک روش کاملاً علمی و معتبر جهانی به شمار می‌رود، که دارای متدولوژی توانمند و شفاف بوده و به مدیران اجازه می‌دهد تا شاخص‌های متفاوتی را بطور همزمان مورد تحلیل قرار دهند (اصغرپور، ۱۳۸۲). در حال حاضر بیش از هزاران مقاله و کتاب در خصوص مدل DEA نوشته شده و سمینارهای متعدد جهانی برگزار شده است. این تحقیق در خصوص کاستی‌های FMEA سنتی و معرفی روش جدیدی از FMEA بر پایه DEA می‌باشد.

بیان مساله

با توجه به این که تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن‌ها نقش مهمی در مدیریت کیفیت و کاهش هزینه‌ها ایفا می‌کند، اصلی‌ترین هدف این تحقیق برطرف کردن معایب موجود در FMEA سنتی با کمک تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد. تاکنون در مورد استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در مبحث FMEA تحقیقات کمی انجام شده است، همچنین می‌توان با کمک از DEA، یکی از معایب اساسی موجود در FMEA سنتی یعنی تخصیص اوزان یکسان به هر یک از فاکتورهای تقدم ریسک را برطرف نمود. لذا در ابتدا توضیحاتی راجع به FMEA، DEA، روش‌های جدید این تکنیک، مدل DEA در فضای استوار و با داده‌های غیرقطعی و کاربردهای آن مطرح خواهد شد. در انتها نیز روش ترکیبی DEA و FMEA توضیح داده خواهد شد و FMEA پیشنهادی بوسیله مثال عددی به منظور اثبات موثرتر بودن روش تست می‌گردد.

اهداف تحقیق

با توجه به اهمیت بسیار بالای تجزیه و تحلیل حالات خرابی در سیستم مدیریت کیفیت، انجام بدون خطای این تکنیک امری مهم محسوب می‌شود. لذا هدف اصلی این پژوهش توسعه مدل تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه، با کمک تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و توسعه مدل تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار می‌باشد که بهینه‌سازی استوار برای حل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط عدم قطعیت بکار می‌رود. عدم قطعیت در شرایط واقعی همیشه وجود داشته است و لحاظ نکردن آن منجر به غیرموجه شدن جواب تا حد بسیار بالایی خواهد شد و در واقع در بحث بهینه‌سازی استوار بدنبال جوابی هستیم که با در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها با یک احتمال بسیار بالایی موجه باشد.

ادبیات و پیشینه تحقیق

افزایش رقابت، توقعات و تقاضای مشتریان و تغییرات سریع فناوری، باعث افزایش تعهدات تولیدکنندگان امروزی شده است. هر کمبود و انحراف در عملکرد محصول، باعث از دست رفتن سهم بازار می‌گردد. این عوامل موجب شده است که امروزه سازمان‌ها به استفاده از تکنیک‌هایی روی آورند تا به کمک آن از ارائه محصولی بی‌عیب و قابل رقابت در بازار اطمینان حاصل نمایند (سپکو، ۱۳۸۸).

در دهه ۱۹۵۰ اهمیت مسائل ایمنی و پیشگیری از حوادث قابل پیش بینی در صنعت هوافضا علت اصلی پیدایش FMEA شد (باولز، ۲۰۰۴). پس از مدتی این روش به عنوان ابزاری کلیدی برای افزایش ایمنی در فرآیندهای صنایع شیمیایی مطرح گردید بنابراین هدف از اجرای FMEA پیشگیری از تصادفات و اتفاقات تعریف شده است. در فوریه ۱۹۹۲ میلادی استاندارد SAE-J-1739 به عنوان استاندارد به مرجع FMEA در صنایع خودروسازی معرفی شد (رضایی، ۱۳۸۲).

FMEA تکنیکی متکی بر قانون "پیشگیری قبل از وقوع" است که برای عوامل بالقوه خرابی بکار می‌رود. یکی از عوامل موفقیت FMEA زمان اجرای آن است (براکلیا و دیگران، ۲۰۰۳). هدف از اجرای آن جستجوی تمام مواردی است که باعث شکست محصول یا فرایند شود قبل از آنکه محصول به مرحله تولید برسد (ضرابی، ۱۳۸۸). بنابراین می‌توان گفت FMEA یک تکنیک مهندسی با قصد شناسایی و ارزیابی خرابی‌های بالقوه موجود در طراحی سیستم، محصول، فرآیند و یا خدمات و برآورد اثرات حاصل از وقوع هر یک از عوامل فوق قبل از رسیدن به مشتری نهایی می‌باشد (علیل‌زاده، ۱۳۸۳).

ارزیابی عملکرد به کمک شاخص‌های غیرمالی از موضوعاتی است که طی دهه ۱۹۹۰ بسیار مورد توجه قرار گرفته و رشد و توسعه چشمگیری داشته است. بی‌تردید استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها تنها به مسائل پژوهش عملیاتی و اقتصادی منحصر نمی‌شود بلکه در سیستم‌های مختلف خدماتی، تولیدی و اجرایی استفاده گسترده‌ای از این مدل شده است (فتحی هفشجانی، ۱۳۸۵).

گارسیا و همکارانش طی مقاله‌ای به بررسی کفایت مدل‌های DEA به منظور رتبه‌بندی حالات خطا پرداختند و از داده‌های فازی که توسط تیم FMEA داده شده بود استفاده کردند (گارسیا و دیگران، ۲۰۰۴). از این مدل در سال ۲۰۰۴ توسط لاپا و گیومارث در سیستم‌های تغذیه آب به طور نمونه استفاده شد. با وجود اینکه تلاش‌های بسیاری بمنظور پیشرفت عدد تقدم ریسک^۱ شده است، روش‌های پیشرفته هم نیاز به تعیین وزن فاکتورهای ریسک در مقدمه یا استفاده نکردن از آن‌ها به طور کامل دارند (لاپا و گیومارث، ۲۰۰۷).

تعیین یا مشخص کردن وزن فاکتورهای ریسک به خاطر تصمیم‌گیرندگان مختلف ممکن است قضاوت‌های متفاوتی بوجود آورد. برای مثال، پیلای و همکاران تاکید زیادی روی فاکتور ریسک D و تاکید کمتری روی فاکتور O دارند (پیلای و وانگ، ۲۰۰۳). در حالی که براکلیا مشاهده کرد که عامل خرابی با شدت بسیار بالا ولی وقوع قابل کنترل خیلی کمتر نسبت به تشخیص بالا حیاتی است، بنابراین اظهار می‌کند که شانس خرابی نسبت به عوامل

1-Risk Priority Number (RPN)

دیگر با اهمیت تر است (براگلیا، ۲۰۰۰). کاملاً مشخص است که نظرات نویسندگان بالا در تضاد با یکدیگرند. دلیل دیگری که تعیین وزن فاکتورهای ریسک را دشوار می‌کند در نظر گرفتن حالت‌های خرابی متفاوت می‌باشد. تعیین یا تشخیص یک مجموعه مشخص وزن فاکتورهای ریسک برای تمامی حالات خرابی ممکن است مناسب نباشد، بالاخص در مواردی که تعداد حالات خرابی بسیار زیاد است. به بیان دیگر هنگامی که تعداد زیادی حالت خرابی داشته باشیم، اگر مجموع وزن‌های متفاوتی از فاکتورهای ریسک برای حالات خرابی مختلف در نظر گرفته شود برای اولویت‌بندی، انتخاب بهتری خواهد بود. بدین منظور گارسیا و همکاران یک روش تحلیل پوششی داده‌های فازی^۱ برای FMEA پیشنهاد کرده اند که به تعیین یا تشخیص وزن فاکتورهای ریسک به طور مشخص نیاز ندارد (گارسیا و نوز، ۲۰۰۱). رویکرد آن‌ها، به هر حال از لحاظ کامپیوتری بسیار پیچیده می‌باشد و همچنین نمی‌تواند یک رتبه‌بندی کامل را برای اولویت‌بندی حالات خرابی تولید کنند. بطور کلی می‌توان معایب اساسی در FMEA را بصورت زیر بیان نمود:

- (۱) تعیین دقیق احتمال وقوع خرابی دشوار و یا غیرممکن است.
 - (۲) در FMEA پارامترهای تاثیرگذار در RPN یعنی شدت، تشخیص و وقوع اغلب با یک وزن در نظر گرفته می‌شوند. یعنی تاثیرگذاری هر پارامتر در عدد نهایی RPN با پارامتر دیگر تفاوتی ندارد. به همین علت مجبور به استفاده از تبصره‌هایی در اولویت‌بندی خرابی‌ها وجود دارد.
 - (۳) در FMEA مرز بین نمرات بطور دقیق مشخص نمی‌باشد.
 - (۴) در برخی موارد با S، O و D های متفاوت RPN های یکسانی بدست می‌آید که باعث سردرگمی در اولویت‌گذاری می‌شود.
- تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که تاکنون دو تحقیق با تلفیق دو تکنیک بیان شده انجام شده است که اولین تحقیق توسط گارسیا و همکاران در سال (۲۰۰۴) و تحقیق دیگر

1- Fuzzy Data Envelopment Analysis (FDEA)

توسط چن و همکاران در سال (۲۰۰۹) با در نظر گرفتن حالت فازی انجام شده است (گارسیا و دیگران، ۲۰۰۴) و (چن و دیگران، ۲۰۰۹).

با توجه به اهمیت بسیار بالای آنالیز حالت بالقوه خرابی در سیستم مدیریت کیفیت، انجام بدون خطای این تکنیک امری مهم محسوب می شود لذا هدف اصلی این پژوهش برطرف کردن عیب های موجود با کمک ارائه الگوی جدید ارزیابی نرخ شکست با استفاده از تلفیق FMEA و DEA و انجام آنالیز با حداقل خطا در صنعت می باشد.

روش تحقیق

کلیه پژوهش ها در تحقیق سه هدف متفاوت را دنبال می کنند. گاهی هدف از تحقیق آزمون نظریه ها، تبیین روابط بین پدیده ها و افزودن به مجموعه دانش موجود در یک زمینه خاص است. چنین تحقیقی پژوهش بنیادی نامیده می شود. در پژوهش حاضر سعی شده با تکیه بر تحقیقات انجام شده قبلی، مدل جدیدی برای FMEA ارائه شده است لذا پژوهش از نوع بنیادی می باشد. همچنین بکارگیری مدل های ریاضی جهت تعیین اندازه کارایی نیز دلیل تجربی- ریاضی بودن این پژوهش است. به طور کلی گام های این پژوهش به ترتیب زیر می باشد:

- ۱- مطالعه مقالات و پایان نامه های مرتبط با موضوع FMEA، تکنیک تحلیل پوششی داده ها، روش بهینه سازی استوار، تلفیق DEA و FMEA
- ۲- طراحی و انتخاب مدل FMEA-DEA مناسب جهت استفاده برای تعیین عدد تقدم ریسک
- ۳- ساخت مدل و حل آن توسط نرم افزار لینگو
- ۴- طراحی و انتخاب مدل RODEA مبتنی بر FMEA جهت استوارسازی داده ها در فضای عدم قطعیت
- ۵- حل مثال عددی در مدل های فوق جهت تست و آزمایش مدل ها
- ۶- نتیجه گیری و تجزیه و تحلیل جدول ها و اطلاعات حاصل از آن

مدل تحقیق

انتخاب مدل تحقیق یکی از وظایف مهم محقق برای دستیابی به نتایج مطلوب است. روش‌های متفاوتی جهت سنجش کارایی سازمان‌ها، موسسات و کارخانجات وجود دارد که عمدتاً به دو دسته کلی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی می‌شوند. از جمله روش‌های ناپارامتریک، روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد (آریانژاد و دیگران، ۱۳۸۵). در روش‌های ناپارامتریک، شکل مشخصی برای تابع تولید در نظر گرفته نمی‌شود و مستقیماً با داده‌های مشاهده شده یک مجموعه، امکان تولید تجربی ساخته می‌شود که مرز حاصل از این مجموعه، یک تابع تولید تجربی حاصل از مشاهدات با مرز کارایی می‌باشد. واحدهای تحت بررسی با مرز موجود، مستقیماً از داده‌های واقعی بدست آمده است، لذا ارزیابی واقع بینانه‌تر می‌باشد. از آنجا که عدم قطعیت در واقعیت اجتناب ناپذیر است و مدل‌های فوق نیز مدل‌های واقع بینانه‌ای می‌باشند، توسعه این مدل‌ها در فضای عدم قطعیت نیز امری لازم و ضروری است. به همین دلیل استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها در فضای بهینه‌سازی استوار که یکی از رویکردهای جدید برای برخورد با عدم قطعیت است، مدل انتخاب شده دیگر این تحقیق می‌باشد.

تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی

همان‌طور که توضیح داده شد FMEA برای شناسایی و تشخیص خطاها و ایرادهای سیستم استفاده می‌شود. منظور از حالت خرابی حالتی است که در آن یک جزء، زیر سیستم یا سیستم و یا فرآیند دچار ضعف می‌باشد. برای هر حالت خرابی تیم FMEA باید به دنبال تاثیر حالت خرابی بر روی سیستم، مشتریان یا قوانین اجتماعی باشند. در FMEA سنتی اولویت-های ریسک حالات خرابی بالقوه توسط عدد ریسک (RPN) محاسبه می‌شود که می‌توان با استفاده از معادله زیر بدست آورد:

$$RPN = O \times S \times D \quad (1)$$

در معادله (۱) فاکتور ریسک O ، نمایانگر احتمال وقوع حالات خرابی در طی طول عمر قطعه طراحی شده است که اساس تعیین آن از روی اطلاعات و سوابق موجود در قطعات مشابه می-باشد. فاکتور ریسک S به معنای شدت حالت خرابی یعنی میزان جدی بودن اثر خرابی بر مشتری داخلی و نهایی می-باشد و در نهایت فاکتور ریسک D به معنای احتمال اینکه کنترل-های جاری یک سیستم بتواند حالت خرابی یا علت خرابی را قبل از اینکه طراحی اجزاء سیستم آغاز شود، تشخیص دهند.

مدل‌های DEA برای اندازه‌گیری کارایی

واحدهای تصمیم‌گیری ۱

یک واحد تصمیم‌گیری نهادی است که داده‌ها را به ستاده‌ها تبدیل می‌کند. واحدهای تصمیم‌گیری واحدهایی هستند که وظایف یکسانی را انجام داده و دارای اهداف و آرمان‌های مشترک می‌باشند. واحدهای تصمیم‌گیری که در تحلیل پوششی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند باید همگن بوده و دارای داده‌ها و ستاده‌های یکسان و هم نوع باشند (علی‌نژاد و دیگران، ۱۳۹۰).

هر واحد تصمیم‌گیرنده با استفاده از تعاریف تئوری استاندارد برای محاسبه کارایی، امتیازدهی می‌شود که این امتیاز بوسیله مقیاس‌های خاص که سعی در حداکثر نمودن امتیاز کارایی آن واحد دارند، محاسبه می‌شود (مهرگان، ۱۳۸۳).

ورودی و خروجی در تحلیل پوششی داده‌ها

ورودی عاملی است که افزایش آن، با حفظ تمام عوامل دیگر کارایی را کاهش می‌دهد و کاهش آن با حفظ تمام عوامل دیگر کارایی را افزایش می‌یابد. همچنین خروجی عاملی است که افزایش آن با حفظ تمام عوامل دیگر کارایی را افزایش می‌دهد و کاهش آن با حفظ تمام عوامل دیگر کارایی را کاهش می‌یابد (قیصری و دیگران، ۱۳۸۳).

اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیری با مقایسه ورودی‌ها و خروجی‌هایشان میسر است. مدل تحلیل پوششی داده‌ها سعی در ماکزیمم‌سازی خدمات یک واحد دارد. بمنظور دستیابی به این هدف روش تحلیل پوششی داده‌ها، ترکیب خطی خروجی‌های واحد را بر ترکیب خطی ورودی‌های همان واحد (مشروط بر آنکه واحدهای مشابه، خدمات متنوع ولیکن مشابه ارائه دهند) تقسیم کرده تا نتایج حاصل یک عدد اسکالر و بدون واحد بین صفر و یک شود (مهرگان، ۱۳۸۳). مدل زیر مدل اصلی بکار گرفته شده در این پژوهش می‌باشد.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \\
 & \text{s. t:} \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j \\
 & \quad \quad \quad = 1, 2, \dots, n \quad (2) \\
 & u_r \geq \varepsilon \quad r = \\
 & \quad \quad \quad 1, 2, \dots, s \\
 & v_i \geq \varepsilon \quad i = \\
 & \quad \quad \quad 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

که پس از حل آن (v_i^*, u_r^*) ، جواب‌های بهینه مدل می‌باشند آنگاه DMU_j را با این وزن‌های بهینه DMU_j بصورت (۳) ارزیابی می‌شود:

$$E_{ij} = \frac{u_r^* y_{rj}}{v_i^* x_{ij}} \quad (3)$$

کارایی خوش بینانه

اگر از بین جواب‌های E_{ij} ، بیشترین مقدار آن‌ها را انتخاب کنیم به آن تابع کارایی خوش بینانه گفته می‌شود.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } \theta_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{ri} \\
 \text{s. t:} \\
 \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0 \quad j \\
 &= 1, 2, \dots, n \\
 \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1, \quad (4) \\
 u_r &\geq \varepsilon \quad r = \\
 &1, 2, \dots, s \\
 v_i &\geq \varepsilon \quad i = \\
 &1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

کارایی بدبینانه

اگر از بین جواب‌های E_{ij} ، کمترین مقدار آن‌ها را انتخاب کنیم به آن تابع کارایی خوش بینانه گفته می‌شود.

$$\text{Min } \psi_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (5)$$

s. t:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1,$$

$$u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq \varepsilon \quad i = 1, 2, \dots, m$$

روش DEA به عنوان مدل اصلی تحقیق برای ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی انتخاب شده است. زیرا این روش دارای ارزیابی واقع بینانه‌تری نسبت به روش‌های دیگر می‌باشد.

میانگین کارایی

میانگین کارایی نه تنها شامل کارایی خوش‌بینانه واحد تصمیم‌گیری می‌شود بلکه شامل کارایی بدبینانه DMU نیز می‌گردد. در واقع میانگین کارایی، کارایی کلی را با در نظر گرفتن هر دو حالت (خوش‌بینانه و بدبینانه) اندازه‌گیری می‌کند. ادغام هر دو کارایی، خوش‌بینانه و بدبینانه بدون شک بسیار معنی‌دارتر و جامع‌تر از کارایی‌ها به تنهایی می‌باشد. پس بدین منظور وانگ و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله‌ای میانگین کارایی هندسی را به شکل زیر پیشنهاد کردند:

$$\phi_j = \sqrt{\psi_j^* \theta_j^*} \quad , \quad j = 1, \dots, n \quad (۶)$$

کاربرد DEA در FMEA

اندیس‌ها

$$i = 1, 2, \dots, m$$

تعداد حالات خرابی بالقوه

$$j = 1, 2, \dots, n$$

تعداد فاکتورهای ریسک

پارامترها

r_{ij} رتبه‌بندی حالات خرابی بالقوه بر روی فاکتورهای ریسک

RF_j مجموعه فاکتورهای ریسک

FM_i مجموعه حالات خرابی بالقوه

W_j مجموعه وزن فاکتورهای ریسک

R_i مجموعه ریسک حالات خرابی بالقوه

N حالت خرابی را که با FM_i ($i = 1, \dots, n$) نمایش داده می‌شوند در نظر بگیرید که

باید در برابر فاکتورهای ریسک RF_j ($j = 1, \dots, m$) اولویت‌بندی شوند. r_{ij}

رتبه FM_i بر روی RF_j و W_j وزن فاکتورهای ریسک می‌باشد.

از زمانی که RPN به عنوان محصول سه فاکتور ریسک O, S, D از لحاظ فرمول ریاضی

به علت رفتار و اوزان یکسان سه فاکتور ریسک مورد انتقادات فراوانی قرار گرفت ریسک

حالات خرابی با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij}, i = 1, \dots, n \quad (7)$$

معادله (7) ریسک هر حالت خرابی را به شکل مجموع وزن‌دهی شده m فاکتور ریسک نشان

می‌دهد.

در این تحقیق اوزان فاکتورهای ریسک توسط DEA تعیین می‌گردد. DEA سنتی اغلب صف‌های زیادی به اوزان ورودی و خروجی اختصاص می‌دهد که این موضوع منجر به بالا بودن بسیار زیاد کارایی خوش‌بینانه یا پایین بودن بیش از حد کارایی بدبینانه می‌گردد، بنابراین برای جلوگیری از رخداد این موضوع در FMEA، یک محدودیت تحمیل‌کننده بر روی نسبت ماکزیمم اوزان بر روی مینیمم اوزان قرار داده شده است. براساس روند سلسله مراتب تحلیلی^۱، مقدار ماکزیمم به عنوان یک نسبت اهمیت نسبی یک شاخص در مقابل دیگری، ۹ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در این تحقیق نسبت اوزان ماکزیمم به مینیمم، به صورت زیر می‌باشد:

$$1 \leq \frac{\max\{w_1, \dots, w_m\}}{\min\{w_1, \dots, w_m\}} \leq 9 \quad (8)$$

در نظر گرفتن عدد ۹ به عنوان ماکزیمم به دلایل زیر می‌باشد:

- ماتریس مقایسات زوجی متداول‌ترین روش در AHP برای تخمین اهمیت نسبی اوزان گزینه‌های تصمیم یا شاخص‌ها که در آن مقیاس نسبت ماکزیمم میان اهمیت نسبی دو گزینه یا شاخص معمولاً بیشتر از ۹ نیست.
- همه فاکتورهای ریسک S, O و D از ۱ تا ۱۰ رتبه‌بندی شده‌اند در حالیکه عدد ۱ نمایانگر نداشتن ریسک است و از آن جایکه عدم وجود ریسک هیچ تاثیری ندارد بهتر است رتبه‌بندی به جای ۱ تا ۱۰ از ۱ تا ۹ انجام گیرد. به عنوان نتیجه ماکزیمم نسبت میان اهمیت دو فاکتور ریسک کمتر یا مساوی ۱ است و فرمول به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Max} \left\{ \frac{w_j}{w_k} \mid j, k = 1, \dots, m; j \neq k \right\} \\ \leq 9 \end{aligned} \quad (9)$$

که در نهایت به شکل زیر تغییر می‌یابد:

$$w_j - w_k \leq 0, \quad j, k = 1, \dots, m; k \neq j \quad (10)$$

حال با توجه با آنچه که در بخش‌های بالا گفته شد مدل‌های FMEA برای بدست آوردن ماکزیمم ریسک و مینیمم ریسک به شکل زیر بازنویسی می‌گردد:

$$R_0^{max} = \text{Maximize } R_0$$

$$s. t: \begin{cases} R_i \leq 1, & i = 1, \dots, n \\ w_j - 9w_k \leq 0, & j, k = 1, \dots, m; k \neq j \end{cases} \quad (11)$$

$$R_0^{min} = \text{Minimize } R_0 \quad (12)$$

$$s. t: \begin{cases} R_i \geq 1, & i = 1, \dots, n \\ w_j - 9w_k \leq 0, & j, k = 1, \dots, m; k \neq j \end{cases}$$

ریسک کلی به عنوان میانگین هندسی ریسک ماکزیمم و ریسک مینیمم به شکل زیر می‌باشد:

$$\bar{R}_i = \sqrt{R_i^{max} \cdot R_i^{min}}, \quad i = 1, \dots, n \quad (13)$$

بنابراین حالات خرابی با استفاده از میانگین هندسی ریسک مربوطه اولویت بندی

می‌شوند و هر چه عدد ریسک بالاتر باشد اولویت بیشتری خواهد داشت. در مبحث تجزیه و تحلیل خرابی بالقوه تعیین اعداد ریسک مربوط به حالت خرابی بالقوه شامل O, S, و D به عهده کارشناسان و خبرگان و در واقع همان تیم چندکاره می‌باشد و به عبارتی این اعداد توسط تصمیم گیرنده انتخاب می‌شود و همچنین این اعداد می‌تواند با توجه به نظر تصمیم گیرنده مقادیر متفاوتی لحاظ کنند بنابراین مقادیر قطعی ندارند. برای تحلیل حالات خرابی در فضایی استوار می‌توان به روش بهینه‌سازی استوار مراجعه کرد که در شرایط عدم قطعیت بهترین جواب ممکن را بدست می‌آورد.

بهینه‌سازی استوار

روش بهینه‌سازی استوار^۱ تکنیکی به منظور استوارسازی جواب‌ها در شرایط عدم قطعیت و بدست آوردن موجه‌ترین جواب می‌باشد. تعیین اعداد O, S, D توسط تیم خبرگان موجب می‌شود تا این اعداد مقادیر قطعی نداشته باشند و با توجه به نظر تصمیم‌گیرندگان مختلف مقادیر متفاوتی دربرگیرند (سجادی و عمرانی، ۲۰۱۰).

$$\text{Max } Z_0$$

s. t:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - z - \Gamma_0 p_0 - \sum_{j \in J_1} q_{r0} \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \Gamma_j p_j \quad (14)$$

$$- \sum_{j \in J_1} q_{r0} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$p_j + q_{rj} \geq e y_{rj} z_r, \quad \forall r, j$$

$$-z_r \leq u_r \leq z_r, \quad \forall r$$

$$p_j, q_{rj} \geq 0, \quad \forall j, r$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, i$$

در معادله (۱۴)، Γ بیانگر سطح حفاظت می‌باشد که می‌توان با استفاده از معادله زیر محاسبه نمود:

1- Robust Optimization Data Envelopment Analysis (RODEA)

$$\Gamma = 1 + \varphi^{-1}(1 - e_i)\sqrt{n} \quad (15)$$

در معادله (۱۵)، φ تابع توزیع تجمعی متغیر تصادفی نرمال (گوسین) می‌باشد و n تعداد پارامترهای غیرقطعی مسئله می‌باشد و البته برای محدودیت‌هایی که تعداد محدودیت‌های غیر قطعی آن کمتر از ۵ است، توصیه می‌شود که Γ برابر با n در نظر گرفته شود و یا به عبارت دیگر با در نظر گرفتن عدم قطعیت کامل در داده‌ها، مسئله بسیار محافظه کارانه خواهد شد. تا جاییکه از مدل اولیه سویستر تبعیت خواهد کرد (سجادی و عمرانی، ۲۰۰۸).

در این پژوهش تعداد پارامتر غیرقطعی برابر با یک می‌باشد که $n=1$ پس Γ نیز برابر با یک در نظر گرفته می‌شود. تعیین درصد آشفتگی امری بسیار مشکل و پیچیده می‌باشد که متخصصان اغلب عددی بین ۵٪ و ۱۰٪ به عنوان درصد آشفتگی در نظر می‌گیرند. در این پژوهش مدل بر اساس سه عدد $e=0/05$ ، $e=0/01$ و $e=0/1$ تشکیل و حل می‌گردد.

برای حالت ماکزیمم ریسک

در این مرحله اگر فرمول FMEA جدید مبتنی بر معادله (۸) DEA در مدل بهینه‌سازی استوار قرار داده شود، مدل جدیدی برای حالت ماکزیمم بدست می‌آید.

$$\max Z_0$$

$$s. t:$$

$$\sum_{r=1}^s w_j r_{ij} - z - \Gamma_0 p_0 - \sum_{j \in J_i} q_{jo} \geq 0 \quad (16)$$

$$- \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} - \Gamma_i p_i - \sum_{j \in J_i} q_{ji} \leq -1, \quad i = 1, \dots, n$$

$$p_i + q_{ji} \geq e r_{ij} z_j, \quad \forall i, j$$

$$\begin{aligned}
 -z_j &\leq w_j \leq z_j && , \forall j \\
 p_i, q_{ji} &\geq 0 \\
 w_j - \theta w_k &\leq 0 && , j, k = 1, \dots, m; k \\
 &&& \neq j
 \end{aligned}$$

برای حالت مینیمم ریسک

همچنین اگر فرمول FMEA جدید مبتنی بر معادله (۹) DEA در مدل بهینه‌سازی استوار قرار داده شود، مدل جدیدی برای حالت ماکزیمم ریسک خواهیم داشت:

$$\min Z_0$$

s. t:

$$\sum_{r=1}^s w_j r_{ij} - z - \Gamma_o p_o - \sum_{j \in J_i} q_{jo} \geq 0 \quad (17)$$

$$-\sum_{j=1}^m w_j r_{ij} - \Gamma_i p_i - \sum_{j \in J_i} q_{ji} \leq 1 \quad , \quad i = 1, \dots, n$$

$$p_i + q_{ji} \geq \theta r_{ij} z_j \quad , \forall i, j$$

$$-z_j \leq w_j \leq z_j \quad , \forall j$$

$$p_i, q_{ji} \geq 0$$

$$w_j - \theta w_k \leq 0 \quad , j, k = 1, \dots, m; k \neq j$$

مثال عددی

در این قسمت توسط یک مثال عددی مربوط به یک کشتی ماهیگیری به محاسبه RPN به روش‌های سنتی و روش جدید پرداخته می‌شود. فرم FMEA مربوط به این کشتی را در نظر بگیرید: FMEA مربوط به کشتی ماهیگیری شامل ۴ جزء می‌باشد که عبارتند از ساختار، نیروی محرکه، الکتریسیته و سیستم‌های کمکی. هر سیستم شامل حالات بالقوه خرابی متفاوتی می‌باشد که می‌توانند منجر به حادثه و یا ضرر جبران ناپذیری شود. جدول‌های (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب بیانگر رتبه‌بندی شدت، احتمال وقوع و رتبه‌بندی تشخیص می‌باشند. همچنین جدول (۴) نشان دهنده حالات خرابی برای کشتی ماهیگیری می‌باشد.

جدول (۱): راهنمای رتبه‌بندی شدت (سنکر و پرابهو، ۲۰۰۲) و (باولز، ۲۰۰۴)

| شدت | رتبه | معیار موجود |
|--|------|-------------|
| بدون اثر | ۱ | هیچ |
| مشتری رنجیده نمی‌شود. اثر بسیار خفیفی بر عملکرد محصول یا سیستم دارد. | ۲ | خیلی کم |
| مشتری بسیار خفیف آزرده می‌شود. اثر کمی بر عملکرد محصول یا سیستم دارد. | ۳ | نسبتاً کم |
| مشتری کمی رنجیده می‌شود. اثر نسبتاً کمی بر عملکرد محصول یا سیستم دارد. | ۴ | کم |
| مشتری کمی ناراضی است. اثر متوسطی بر عملکرد محصول یا سیستم دارد. | ۵ | متوسط |
| مشتری ناراضی است. اثر متوسطی بر عملکرد محصول یا سیستم دارد. | ۶ | مهم |
| مشتری احساس ناراحتی می‌کند. عملکرد سیستم افت می‌کند، اما به درستی عمل کرده ایمن است. سیستم معیوب است. | ۷ | زیاد |
| مشتری خیلی ناراضی اما ایمن است و محصول عمل نمی‌کند، سیستم عمل نمی‌کند. | ۸ | خیلی زیاد |
| اثر بالقوه شدید است و امکان توقف محصول بدون حادثه خطرناک وجود دارد (خرابی وابسته به سازمان) امکان تداخل با مقررات دولتی وجود دارد. | ۹ | جدی |
| اثر خیلی شدید وجود دارد. خرابی ناگهانی ایمنی را به خطر می‌اندازد. مغایر با مقررات دولتی است. | ۱۰ | پر خطر |

جدول (۲): راهنمای رتبه‌بندی احتمال وقوع (سنکر و پرابهو، ۲۰۰۲) و (باولز، ۲۰۰۴)

| رتبه | معیار | وقوع |
|------|---|--------------------|
| ۱ | خرابی وجود ندارد. سوابق خرابی نشان نمی‌دهند. | تقریباً غیر ممکن |
| ۲ | احتمال خرابی بسیار نادر است. | به ندرت |
| ۳ | احتمال خرابی بسیار کم است. | کم |
| ۴ | احتمال خرابی کم است. | نسبتاً کم |
| ۵ | گاهی اوقات خرابی دیده می‌شود. | متوسط |
| ۶ | تعداد خرابی کمی در حد متوسط است. | متوسط مایل به زیاد |
| ۷ | تعداد خرابی نسبتاً زیاد است. | متوسط مایل به زیاد |
| ۸ | تعداد خرابی زیاد است. | زیاد |
| ۹ | تعداد خرابی خیلی زیاد است. | خیلی زیاد |
| ۱۰ | خرابی حالت بحرانی دارد. سابقه خرابی از طراحی قبلی و یا مشابه استخراج شده است. | تقریباً قطعی |

جدول (۳): راهنمای رتبه‌بندی تشخیص (سنکر و پرابهو، ۲۰۰۲) و (باولز، ۲۰۰۴)

| رتبه | معیار موجود | تشخیص |
|------|---|--------------|
| ۱ | روش‌های تشخیص مطمئنی وجود دارد. | تقریباً حتمی |
| ۲ | تحلیل‌های رایانه‌ای مطمئنی وجود دارد. | خیلی زیاد |
| ۳ | مدلسازی یا شبیه‌سازی وجود دارد. | زیاد |
| ۴ | آزمایش برای اجزای سیستم نمونه‌های اولیه وجود دارد. | نسبتاً زیاد |
| ۵ | آزمایش برای اجزای سیستم در پیش تولید وجود دارد. | متوسط |
| ۶ | آزمایش‌هایی برای اجزای سیستم مشابه وجود دارد. | کم |
| ۷ | آزمایش‌هایی برای محصول با نمونه اولیه‌ای که از اجزای سیستم آن نصب شده است، وجود دارد. | خیلی کم |
| ۸ | فقط آزمایش‌های دوام مطمئنی برای محصولی که اجزای سیستم آن نصب شده است، وجود دارد. | ناچیز |
| ۹ | تکنیک‌های نامطمئن یا ناتوان وجود دارد. | خیلی ناچیز |
| ۱۰ | متد و یا روش تشخیصی وجود ندارد. | مطلقاً هیچ |

جدول (۴): حالات خرابی برای کشتی ماهیگیری (چن و دیگران، ۲۰۰۹)

| اقدام اصلاحی | هشدار | تأثیر روی کشتی | تأثیر حالت خرابی بر روی سیستم | جزء | توضیحات | حالات خرابی بالقوه |
|---------------------|---------|------------------------|-------------------------------|--------------|------------|-----------------------|
| توقف کشتی | نمی‌دهد | کنترل روی فرمان نداریم | وضعیت بغرنج فرمان | سکان بلبرینگ | ساختار | خرابی ساختار |
| توقف کشتی | نمی‌دهد | کاهش کنترل فرمان | از دست دادن فرمان | سکان بلبرینگ | ساختار | شکستگی |
| استفاده از نور افکن | نمی‌دهد | کاهش کنترل فرمان | از دست دادن کارکرد | ساختار سکان | ساختار | خرابی ساختار |
| هیچی | می‌دهد | کاهش سرعت | از دست دادن فشار | موتور اصلی | نیرو محرکه | کمبود خروجی |
| لنگر | می‌دهد | کاهش سرعت | توقف کشتی | موتور اصلی | نیرو محرکه | خاموشی خودکار |
| لنگر | نمی‌دهد | کاهش سرعت | از دست دادن فشار | شفت و پروانه | نیرو محرکه | شکستگی شفت |
| لنگر | می‌دهد | کاهش سرعت | از دست دادن فشار | شفت و پروانه | نیرو محرکه | گرفتگی ناگهانی گیربکس |
| لنگر | می‌دهد | کاهش سرعت | از دست دادن فشار | شفت و پروانه | نیرو محرکه | خرابی هیدرولیک |
| لنگر | نمی‌دهد | عدم امکان کاهش سرعت | عدم توانایی کاهش فشار | شفت و پروانه | نیرو محرکه | خرابی هیدرولیک |
| بخار دادن آرام | نمی‌دهد | کاهش سرعت | از دست دادن فشار | شفت و پروانه | نیرو محرکه | خرابی هیدرولیک |
| شارژ مجدد گیرنده | می‌دهد | نیرو محرکه نداریم | روشن نشدن موتور | گیرنده هوا | سرویس هوا | خرابی ژنراتور |

| | | | | | | |
|-------------------|----------------|-------------------|----------------------|--------------------------|---------|---------------------------|
| شکست کامل | سیستم الکتریکی | ژنراتور قدرت | نداشتن قدرت موتور | برخی خطاهای سیستمی | می‌دهد | استفاده از ژنراتور آماده |
| شکست کامل | سیستم الکتریکی | سوئیچ اصلی | کمبود موجودی اصلی | عدم شارژ باتری | می‌دهد | استفاده از ۲۴ ولت اضطراری |
| کمبود خروجی | سیستم الکتریکی | اضطراری | کمبود موجودی اضطراری | نداشتن موجودی اضطراری | نمی‌دهد | استفاده از موجودی نرمال |
| کمبود خروجی | سیستم الکتریکی | باتری‌های اصلی | کمبود ۲۴ ولت اصلی | کمبود ولتاژ پایین اصلی | می‌دهد | استفاده از ۲۴ ولت اضطراری |
| نداشتن سوخت | سیستم الکتریکی | باتری‌های اضطراری | کمبود موجودی اضطراری | نداشتن موجودی اضطراری | نمی‌دهد | استفاده از موجودی نرمال |
| نداشتن سوخت | سیستم‌های کمکی | سیستم سوخت | توقف موتور | توقف کشتی | می‌دهد | لنگر |
| نداشتن سوخت | سیستم‌های کمکی | سیستم سوخت | توقف موتور | توقف کشتی | نمی‌دهد | لنگر |
| نبود آب خنک | سیستم‌های کمکی | سیستم آب | حرارت مضاعف موتور | نداشتن جریان بر اتوماتیک | می‌دهد | استفاده از پمپ آماده خدمت |
| از دست دادن سیستم | سیستم‌های کمکی | هیدرولیک | نداشتن هیدرولیک | نداشتن فرمان | می‌دهد | توقف کشتی |
| کمبود فشار | سیستم‌های کمکی | سیستم روغن | قطع فشار پایین | توقف کشتی | می‌دهد | استفاده از پمپ آماده خدمت |

نتایج حاصل از FMEA بر روی کشتی ماهیگیری

همان طور که نتایج جدول نشان می دهد RPN سستی نمی تواند اهمیت نسبی سه فاکتور ریسک را در نظر بگیرد، در نتیجه قادر به مجزا کردن حالت خرابی ۱۱، ۲، ۱۶ و حالت خرابی ۷ و ۱۵ از یکدیگر نمی باشد.

جدول (۵): FMEA برای کشتی ماهیگیری با کمک RPN

| اولویت در رتبه بندی | RPN | D | S | O | حالت خرابی بالقوه |
|---------------------|-----|---|---|---|-------------------|
| ۱۴ | ۲۴ | ۳ | ۸ | ۱ | ۱ |
| ۱۴ | ۲۴ | ۳ | ۸ | ۱ | ۲ |
| ۱۰ | ۶۴ | ۴ | ۸ | ۲ | ۳ |
| ۲ | ۳۲۰ | ۵ | ۸ | ۸ | ۴ |
| ۳ | ۲۸۸ | ۶ | ۸ | ۶ | ۵ |
| ۱۹ | ۱۶ | ۱ | ۸ | ۲ | ۶ |
| ۱۲ | ۳۶ | ۲ | ۹ | ۲ | ۷ |
| ۲۰ | ۱۲ | ۳ | ۴ | ۱ | ۸ |
| ۱۸ | ۱۸ | ۳ | ۲ | ۳ | ۹ |
| ۲۱ | ۱۸ | ۴ | ۲ | ۱ | ۱۰ |
| ۱۴ | ۲۴ | ۳ | ۲ | ۴ | ۱۱ |
| ۴ | ۱۸۹ | ۷ | ۳ | ۹ | ۱۲ |
| ۷ | ۱۴۴ | ۶ | ۳ | ۸ | ۱۳ |
| ۹ | ۸۴ | ۴ | ۷ | ۳ | ۱۴ |
| ۱۲ | ۳۶ | ۴ | ۳ | ۳ | ۱۵ |
| ۱۴ | ۲۴ | ۳ | ۸ | ۱ | ۱۶ |
| ۶ | ۱۰۶ | ۵ | ۸ | ۴ | ۱۷ |
| ۸ | ۹۸ | ۷ | ۷ | ۲ | ۱۸ |
| ۱۱ | ۵۶ | ۴ | ۲ | ۷ | ۱۹ |
| ۱ | ۶۴۸ | ۹ | ۸ | ۹ | ۲۰ |
| ۵ | ۱۶۲ | ۶ | ۳ | ۹ | ۲۱ |

جدول (۶): نتایج بدست آمده از حل مدل‌های FMEA بوسیله روش تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از افزار لینگو را نشان می‌دهد.

جدول (۶): FMEA برای کشتی ماهیگیری با کمک DEA

| اولویت در رتبه‌بندی | میانگین ریسک | مینیم ریسک | ماکزیمم ریسک | حالات خرابی بالقوه |
|---------------------|--------------|------------|--------------|--------------------|
| ۱۲ | ۰,۹۷ | ۱,۱۲ | ۰,۸۴ | ۱ |
| ۱۲ | ۰,۹۷ | ۱,۱۲ | ۰,۸۴ | ۲ |
| ۹ | ۱,۱۸ | ۱,۶ | ۰,۸۷ | ۳ |
| ۳ | ۱,۴۳ | ۲,۱۶ | ۰,۹۴ | ۴ |
| ۲ | ۱,۴۷ | ۲,۳۲ | ۰,۹۳ | ۵ |
| ۱۶ | ۰,۹۱ | ۱ | ۰,۸۳ | ۶ |
| ۱۱ | ۱,۰۸ | ۱,۲۳ | ۰,۹۴ | ۷ |
| ۱۸ | ۰,۶۷ | ۱ | ۰,۴۴ | ۸ |
| ۲۱ | ۰,۵۷ | ۱ | ۰,۳۳ | ۹ |
| ۲۰ | ۰,۶۷ | ۱ | ۰,۳ | ۱۰ |
| ۱۹ | ۰,۶ | ۱,۰۲ | ۰,۴۲ | ۱۱ |
| ۵ | ۱,۳۱ | ۱,۸۵ | ۰,۹۳ | ۱۲ |
| ۸ | ۱,۲ | ۱,۷۴ | ۰,۸۳ | ۱۳ |
| ۱۰ | ۱,۱۲ | ۱,۶ | ۰,۷۸ | ۱۴ |
| ۱۷ | ۰,۷۴ | ۱,۲۷ | ۰,۴۳ | ۱۵ |
| ۱۲ | ۰,۹۷ | ۱,۱۲ | ۰,۸۴ | ۱۶ |
| ۴ | ۱,۳۳ | ۱,۹۶ | ۰,۹ | ۱۷ |
| ۶ | ۱,۲۸ | ۲,۰۵ | ۰,۸ | ۱۸ |
| ۱۵ | ۰,۹۳ | ۱,۲۲ | ۰,۷ | ۱۹ |
| ۱ | ۱,۷۸ | ۳,۱۶ | ۱ | ۲۰ |
| ۷ | ۱,۲۸ | ۱,۷۸ | ۰,۹۲ | ۲۱ |

نتایج بدست آمده از جدول (۶) به شرح زیر می باشد:

- حالت خرابی ۱۱ با موفقیت از حالت خرابی ۱۶ و ۱۲ متمایز شده است.

- حالت خرابی ۱۵ نیز از حالت خرابی ۷ متمایز شد.

- حالت خرابی ۱۱ با اختلاف زیادی از ۱۶ و ۱۲ رتبه بندی شده است زیرا دارای رتبه شدت

خیلی کوچکی نسبت به حالات خرابی ۱، ۲ و ۱۶ می باشد. این موضوع در مورد حالت

خرابی ۷ و ۱۵ نیز صدق می کند. به جز در حالات خرابی ۱۴ و ۲۰، رتبه اولویت بندی ۱۹

حالت خرابی دیگر بیانگر تفاوت بین میانگین ریسک هندسی با RPN های آن ها می باشد.

این موضوع نشان دهنده تفاوت مدل FMEA پیشنهادی با FMEA سنتی می باشد.

بزرگترین تفاوت میان سه مجموعه از رتبه اولویت بندی در جدول (۵) و (۶) در حالت

خرابی ۱۱ و ۱۹ اتفاق می افتد که تفاوتی در حدود جایگاه ۴ تا ۵ رتبه بوسیله دو روش

دارد. مشاهدات بالا قابلیت های FMEA جدید و مزیت های آن را در برابر FMEA

سنتی به خوبی نشان می دهد.

نتایج بدست آمده از حل مدل

پس از حل مدل در فضای بهینه سازی استوار رتبه بندی در بدینانه ترین حالت بدست می آید.

در واقع جواب های بدست آمده، موجه ترین جواب ها در حالت عدم قطعیت می باشند. با این

فرض که نظرات تیم خبرگان هیچ گاه قطعی نیست توسط روش ذکر شده بهترین جواب ها در

این حالت بدست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده، تمام حالات خرابی که در مدل سنتی، با

وجود اعداد متفاوت برای شدت، وقوع و تشخیص عدد تقدم ریسک یکسانی داشتند و در

نتیجه امکان رتبه بندی کامل آن ها غیر ممکن شده بود، بوسیله تکنیک RODEA از یکدیگر

مجزا شده و قابل رتبه بندی جداگانه شده اند. به عنوان مثال حالات خرابی ۱ و ۲ و ۱۶ که

دارای رتبه یکسانی بودند با استفاده از روش جدید قابل تمایز هستند. همان طور که مشاهده

می شود با در نظر گرفتن اغتشاشات در ریسک حالات خرابی میزان ریسک افزایش می یابد.

در FMEA در حال محاسبه ریسک می‌پردازیم که هر چه میزان این ریسک بالاتر باشد خطر بیشتر و در نتیجه رسیدگی باید سریعتر باشد.

جدول (۷): FMEA برای کشتی ماهیگیری به کمک RODEA

| i | ماکزیمم ریسک | | مینیمم ریسک | | میانگین ریسک | رتبه بندی | میانگین ریسک | رتبه بندی |
|----|--------------|-------|-------------|-------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | ۰,۰۵e= | ۰,۱e= | ۰,۰۵e= | ۰,۱e= | ۰,۰۵e= | ۰,۰۵e= | ۰,۱e= | ۰,۱e= |
| ۱ | ۰,۸۱ | ۰,۸۴ | ۰,۶۹ | ۰,۶۹ | ۰,۵۵ | ۱ | ۰,۶۵ | ۱۴ |
| ۲ | ۰,۸۱ | ۰,۸۴ | ۰,۶۹ | ۰,۶۹ | ۰,۶۹ | ۹ | ۰,۶۷ | ۱۱ |
| ۳ | ۰,۸۳ | ۰,۸۶ | ۰,۷۴ | ۰,۷۵ | ۰,۷۴ | ۶ | ۰,۷۱ | ۸ |
| ۴ | ۰,۸۹ | ۰,۹۱ | ۰,۹۲ | ۰,۹۲ | ۰,۸۷ | ۲ | ۰,۸۵ | ۳ |
| ۵ | ۰,۸۵ | ۰,۹۳ | ۰,۹ | ۰,۹۷ | ۰,۹۱ | ۴ | ۰,۸ | ۲ |
| ۶ | ۰,۷۵ | ۰,۸۳ | ۰,۶۷ | ۰,۶۵ | ۰,۶۶ | ۱۵ | ۰,۶ | ۱۳ |
| ۷ | ۰,۹ | ۰,۹۴ | ۰,۷۵ | ۰,۷۳ | ۰,۸ | ۵ | ۰,۷۷ | ۶ |
| ۸ | ۰,۴۴ | ۰,۴۴ | ۰,۴۱ | ۰,۳۹ | ۰,۲۷ | ۱۷ | ۰,۲۸ | ۱۸ |
| ۹ | ۰,۳۲ | ۰,۳۲ | ۰,۴ | ۰,۴ | ۰,۲ | ۲۰ | ۰,۲ | ۲۱ |
| ۱۰ | ۰,۳۹ | ۰,۳۹ | ۰,۳۵ | ۰,۴۲ | ۰,۲۵ | ۲۱ | ۰,۱۹ | ۲۰ |
| ۱۱ | ۰,۴۱ | ۰,۴۱ | ۰,۴۳ | ۰,۴۴ | ۰,۲۷ | ۱۸ | ۰,۲۶ | ۱۸ |
| ۱۲ | ۰,۹۲ | ۰,۹۲ | ۰,۵۳ | ۰,۸ | ۰,۸۲ | ۱۰ | ۰,۶۶ | ۴ |
| ۱۳ | ۰,۸۲ | ۰,۸۱ | ۰,۷۱ | ۰,۷۶ | ۰,۷ | ۷ | ۰,۶۹ | ۹ |
| ۱۴ | ۰,۷۷ | ۰,۸ | ۰,۷۲ | ۰,۷ | ۰,۶۷ | ۱۱ | ۰,۶۵ | ۱۲ |
| ۱۵ | ۰,۴۲ | ۰,۴۲ | ۰,۴۱ | ۰,۴۵ | ۰,۲۹ | ۱۸ | ۰,۲۶ | ۱۷ |
| ۱۶ | ۰,۸۱ | ۰,۸۴ | ۰,۶۹ | ۰,۶۹ | ۰,۵۴ | ۱۴ | ۰,۶۳ | ۱۵ |
| ۱۷ | ۰,۹ | ۰,۹ | ۰,۸۲ | ۰,۸۴ | ۰,۸۲ | ۳ | ۰,۸۱ | ۴ |
| ۱۸ | ۰,۷۹ | ۰,۸ | ۰,۷۶ | ۰,۷۸ | ۰,۷ | ۸ | ۰,۶۸ | ۹ |
| ۱۹ | ۰,۷ | ۰,۷ | ۰,۵۷ | ۰,۶ | ۰,۵۴ | ۱۶ | ۰,۵۲ | ۱۵ |
| ۲۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱,۰۵ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| ۲۱ | ۰,۹۱ | ۰,۹۱ | ۰,۵۲ | ۰,۷۸ | ۰,۸ | ۱ | ۰,۶۵ | ۶ |

نتیجه گیری

در این مقاله به ارائه یک مدل ترکیبی از FMEA و DEA پرداخته شد که مشکلات موجود در محاسبه RPN سنتی را ندارد. با تعریف حالات خرابی بالقوه به عنوان مجموع وزن‌دهی شده یا محصول وزن‌دهی شده فاکتورهای ریسک، مدل‌های DEA برای اندازه‌گیری ماکزیمم و مینیمم ریسک حالات خرابی بالقوه تعریف می‌گردد. میانگین هندسی آن‌ها ریسک کلی هر حالت خرابی را محاسبه کرده و بنابراین برای اولویت‌بندی حالات خرابی استفاده می‌شود.

با در نظر گرفتن این واقعیت که FMEA می‌تواند شامل تخمین اطلاعات مبهم و ناقص باشد، برای رفع این ابهام از مدل‌های بهینه‌سازی استوار استفاده گردیده است. همچنین مدل‌های RODEA برای FMEA را گسترش دادیم. FMEA پیشنهادی بوسیله مثال عددی اثبات شده و ثابت می‌شود نسبت به RPN سنتی کاربردی‌تر و موثرتر است.

در مقایسه با RPN سنتی و پیشرفت‌های آن، FMEA پیشنهادی دارای ویژگی‌های زیر است:

- اهمیت نسبی اوزان فاکتورهای ریسک بوسیله مدل‌های DEA با افزودن یک محدوده وزنی بر روی نسبت ماکزیمم وزن به مینیمم وزن، بمنظور جلوگیری از اهمیت نسبی هر فاکتور ریسک دست بالاتر یا پایین، تعریف و تعیین شده است.
- فاکتورهای ریسک در برخی موارد متراکم شده که این موضوع متفاوت از RPN می‌باشد، ریسک فاکتورها بوسیله یک محصول ساده با هم جمع شده و منجر به یک انتقاد معنی دار و مهم می‌شود.
- حالات خرابی بالقوه براحتی از یکدیگر تشخیص داده شده و بطور کامل رتبه‌بندی می‌شوند.
- اگر اطلاعات تخمینی مبهم و ناقص در مسئله وجود داشته باشند به راحتی شناسایی و بررسی می‌شوند.
- در صورت نیاز، فاکتورهای ریسک بیشتری می‌توانند در نظر گرفته شوند. FMEA پیشنهادی به O، S و D محدود نمی‌شود و برای هر تعداد فاکتور ریسک کاربردی می‌باشد.

پیشنهادات

۱- همان طور که ملاحظه شد در این پژوهش برای توسعه FMEA از DEA استفاده شد، محققان می‌توانند به مطالعه پیرامون بحث FMEA، در مورد توسعه تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM) از جمله TOPSIS و ... در فرآیند FMEA در محیط فازی، مطالعه و تحقیق نمایند.

۲- به علت نگرش کلی در مبحث FMEA در این پژوهش، پس از استفاده از DEA همچنان حالت‌هایی رخ خواهد داد که چندین RPN با مقادیر یکسان بدست می‌آید، برای رفع این مشکلات می‌توان نگاه فرآیند گرا به FMEA داشت و در واقع با نگاه جزئی تر نتایج تفکیک شده تری بدست آورد.

۳- بدین منظور می‌توان از روش‌های فازی که اعداد را دسته‌بندی می‌کند نیز استفاده کرد و در صورت نیاز بازه‌ها را کوچکتر در نظر گرفت.

۴- همچنین می‌توان از روش‌های ریاضی مانند AHP برای وزندهی استفاده کرد.

Archive

منابع

- اصغر پور، محمد جواد. *تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازی‌ها با نگرش تحقیق در عملیات*. انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۲).
- رضایی، کامران. *تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن*. تهران، انتشارات شرکت مشارکتی ار-و-توف ایران، چاپ اول، (۱۳۸۲).
- سایکو. *آنالیز تحلیل حالات خرابی بالقوه و تاثیرات آن (FMEA)*. تهران، انتشارات شرکت طراحی و مهندسی تامین قطعات خودرو، چاپ سوم، (۱۳۸۸).
- ضرابی، علی. *تدوین استراتژی در شرکت شایان صنعت با استفاده از متد FMEA*. دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه پیام نور، کرج، (۱۳۸۸).
- علیل زاده، خلیل. *چکیده‌ای از FMEA*. نشریه فروغ تدبیر، شماره ۱۵، (۱۳۸۳).
- آریانزاد، میربهادرقلی، سجادی، سید جعفر. *برنامه‌ریزی خطی*. مرکز نشر دانشگاه علم و صنعت، چاپ اول، (۱۳۸۵).
- علی‌نژاد، علیرضا، زهره بندیان، مجید، اسفندیاری، نیما. *مقدمه‌ای بر سیستم‌های اندازه‌گیری عملکرد*. مرکز انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، چاپ اول، (۱۳۹۰).
- فتحی هفشجانی، کیامرث. *توسعه مدل پویای تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری*. (۱۳۸۵).
- قیصری، کیوان، مهرنو، حسین، جعفریان مقدم، احمد. *مقدمه‌ای بر تحلیل پوششی داده‌های فازی*. مرکز انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، چاپ اول، (۱۳۸۶).
- مهرگان، محمدرضا. *ارزیابی عملکرد سازمان‌ها*. انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۳).
- Ben-Daya, M. Raou, A. *A revised failure mode and effects analysis model*. International Journal of Quality & Reliability Management 13(1), pp 43–47, (1996).
- Braglia, M. *MAFMA: multi-attribute failure mode analysis*. International Journal of Quality & Reliability Management 17 (9), pp 1017–1033, (2000).
- Braglia, M., Bevilacqua, M., Gabbrielli, R. *Monte Carlo simulation approach for a modified FMECA in a power plant*. Quality and

Reliability Engineering International 16, pp 313–324, (2000).

Braglia, M., Frosolini, M., Montanari, R. *Fuzzy criticality assessment mode for failure modes and effects analysis*. International Journal of Quality and Reliability Management 20 (4), pp 503–524, (2003).

Bowles, J.B. *An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis*. Journal of the IEST, 47, pp 51–56, (2004).

Chin, K.S., Wang, Y.M., Poon, G.K.K., Yang, J.B. *Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis*. Decision support systems, 48, pp 246-256, (2009).

Garcia, P. A. A., Neves, J. C. A. *A new approach to failure mode in RCM*. Symp. Operational research and logistic, Rio de Janeiro, Brasil, (2001).

Garcia, P.A.A., Schirru, R., Frutuoso, P.F., Melo, E. *A fuzzy data envelopment analysis approach for FMEA*. Progress in Nuclear Energy ,46 (3–4), pp 359–373, (2004).

Guimarães, A.C.F., Lapa, C.M.F. *Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems*. Applied Soft Computing, 7, pp 17–28, (2007).

Pillay, A., Wan, J. *Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning*. Reliability Engineering & System Safety 79, pp 69–85, (2003).

Sadjadi, S.J., Omrani, H. *Data envelopment analysis with uncertain data: An application for Iranian electricity distribution companies*. Energy Policy 36; 3(1): pp 4247-4254,(2008).

Sadjadi, S.J., Omrani, H.A., Makui, K., Shahangi. *An interactive robust data envelopment analysis model for determining alternative targets in Iranian electricity distribution companies*. Expert Systems with Applications 38; pp 9830-9839, (2010).

Sankar, N.R., Prabhu, B.S. *Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis*. International Journal of Quality & Reliability Management 18 (3), pp 324–335, (2001).

Wang, Y.M., Chin, K.S., Yang, J.B. *Measuring the performance of decision-making units using geometric average efficiency*. Journal of the Operational Research Society, 58, pp 929-937, (2007).