

ارائه‌ی یک رویکرد ترکیبی برای ارزیابی و رتبه‌بندی حالت‌های شکست با استفاده از FMEA تعدیل‌شده و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مورد مطالعه: یک شرکت تولیدکننده چرخ‌دنده و گیربکس‌های صنعتی فعال در قم)

محمد ثابت مطلق*

سیدعلی ایازی**

سیدجلال‌الدین حسینی دهشیری***

چکیده:

تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن^۱ یک روش ساختاریافته است که می‌تواند به‌ما در شناسایی حالت‌های شکست در یک سیستم، ارزیابی تأثیر آن‌ها و برنامه‌ریزی برای اقدامات اصلاحی کمک نماید. با وجود کاربرد گسترده این روش در بسیاری از صنایع، این روش کمبودهایی نیز دارد. در روش سنتی تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن، برای هر حالت شکست سه شاخص ریسک: شدت^۲، احتمال وقوع^۳ و قابلیت تشخیص^۴ ارزیابی می‌شود و از حاصل ضرب این اعداد نمره اولویت ریسک^۵ به‌دست می‌آید. هنگامی که دو یا چند حالت شکست دارای نمره اولویت مشابهی باشند تیم ارزیابی در مقیاس رتبه‌بندی این سه شاخص دچار اختلاف نظر می‌شود. ضعف دیگر این روش این است که برای هر کدام از این سه شاخص وزن یکسانی در نظر گرفته می‌شود. هدف این پژوهش این است که یک رویکرد جدیدی را برای غلبه بر این کمبودها ارائه نماید. بنابراین، در این مقاله یک مدل اولویت‌بندی ریسک^۶ برای رتبه‌بندی حالت‌های شکست در زمانی که دو یا چند حالت شکست دارای نمره اولویت ریسک مشابهی باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای وزن‌دهی سه فاکتور ریسک نیز از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است. نهایتاً برای اعتبار بخشی مدل مطرح‌شده، تلاش شد تا آن را در یک کارخانه تولیدی به کار گیریم.

واژگان کلیدی:

ارزیابی ریسک، تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن، نمره اولویت‌بندی ریسک، فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

۱. مقدمه

تجزیه و تحلیل حالات‌های خرابی و آثار آن یک تکنیک مهندسی است که برای طراحی، شناسایی، حذف ریسک‌ها، مشکلات و خطاهای بالقوه یا شناخته شده از سیستم، طراحی، فرایند و یا خدمات قبل از رسیدن به مشتری به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد که چارچوبی را برای تجزیه و تحلیل علت و معلولی شکست‌های بالقوه محصول ارائه می‌کند [۱]. همچنین به مهندسان در پیشگیری از اثرات منفی این حالت‌های شکست قبل از تحویل به مشتری کمک می‌کند. این تکنیک تبدیل به یکی از قوی‌ترین ابزارهای تجزیه و تحلیل ایمنی و قابلیت اطمینان فرایندها و محصولات شد که در صنایع مختلف به خصوص هوافضا، هسته‌ای، خودروسازی، الکترونیک، مکانیک، شیمی و تکنولوژی‌های پزشکی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت [۲]. در واقع، تجزیه و تحلیل

حالات خرابی و آثار آن، یک روش پیشگیرانه قدرتمند برای مدیریت ریسک است که هدف آن از بین بردن نقایص احتمالی مربوط بوده و برای شناسایی حالت‌های خرابی بالقوه استفاده می‌شود و اقدامات لازم برای جلوگیری از خرابی‌ها را پیشنهاد می‌کند [۳].

تعداد زیاد مقالات منتشرشده در این حوزه نشانه‌ی علاقه زیاد محققان به این حوزه است. اما با گذشت زمان ضعف‌های این روش نیز آشکار شد. از جمله این ضعف‌ها می‌توان به وضعیتی اشاره کرد که چند حالت شکست یا خرابی دارای نمره اولویت‌بندی ریسک یکسانی باشند. در این حالت تیم ارزیابی دچار مشکل شده و در رتبه‌بندی حالت‌های خرابی دچار اختلاف نظر می‌شوند. از طرف دیگر معمولاً به سه شاخص شدت، احتمال وقوع، و شناسایی آن وزن یکسانی داده می‌شود، در حالی که در عمل این سه شاخص از درجه اهمیت یکسانی

1. Failure mode and effect analysis
2. Severity
3. likelihood of occurrence
4. difficulty of detection
5. risk priority number
6. Risk Priority Code

* دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

** دانشجوی دکتری مدیریت تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

*** نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری مدیریت تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

برخوردار نیستند [۴].

با توجه به نقاط ضعف روش سنتی تجزیه و تحلیل حالت‌های خرابی و آثار آن در این مطالعه از یک کد اولویت‌بندی ریسک برای رتبه‌بندی حالت‌های شکست در زمانی که دو یا چند حالت شکست دارای نمره اولویت ریسک مشابهی باشند، استفاده شده است و برای وزن‌دهی سه فاکتور ریسک از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شده است.

۲ مرور ادبیات و پیشینه

با توجه به اهمیت روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن، مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. در این بخش تلاش شده است به برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه در داخل و خارج پرداخته شود.

یانگ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن یک راه‌حل عملی را برای پیشگیری گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع ارائه کردند. در این مطالعه از رویکرد مبتنی بر داده کاوی برای ایجاد روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن استفاده شده است [۵]. توبیس (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی و ارزیابی ریسک در یک شرکت تولیدی با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن پرداخت. در ابتدا به شناسایی ریسک‌های سازمانی پرداخته شد و سه ریسک اصلی در این حوزه شامل گردش جریان اطلاعات در فرآیند تولید، نگهداری زیرساخت‌های فنی و عملکرد فرآیندهای درونی زنجیره تأمین خودرو شناسایی شد و براساس روش پیشنهادی ارزیابی ریسک، یک روش تحلیلی در شرکت تولیدی برای تجزیه و تحلیل ریسک انتخاب شد [۶]. جیانگ و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی برای غلبه بر کاستی‌های روش سنتی تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن و مدل‌سازی بهتر و عدم اطمینان موجود، روش تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن را براساس یک روش جدید فازی پیشنهاد کردند که فاکتورهای ریسک با درجه عضویت فازی بررسی می‌شوند. مزایای روش پیشنهادی این است که نه تنها می‌تواند تنوع و عدم قطعیت ارزیابی ریسک را پوشش دهد، بلکه قابلیت اطمینان نمره اولویت ریسک را نیز افزایش می‌دهد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که این روش برای کاربردهای واقعی مناسب و مؤثر است [۷]. ژو و تای (۲۰۱۶) از تئوری‌های فازی و خاکستری در تجزیه و تحلیل حالت شکست و اثر آن برای پیش‌بینی شکست تجهیزات تانکر استفاده نموده‌اند. پژوهشگران از هر دو تئوری

فازی و خاکستری استفاده نموده‌اند تا مشخص نمایند که کدام یک نتایج واقعی‌تری ارائه می‌کند [۸].

اصلانی و همکاران (۲۰۱۴) از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای تعیین اهمیت ریسک‌های بالقوه در فرآیند ساخت دینام استفاده نمودند. آن‌ها از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای تعیین اوزان معیارهای شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص استفاده نمودند. سپس مقادیر موزون شده هر یک از حالت‌های شکست در فرآیند را به دست آورده و برای محاسبه عدد نمره اولویت ریسک مقادیر موزون شده را در یکدیگر ضرب نموده و سپس عدد نمره اولویت ریسک فازی را دی‌فازی نموده و در نهایت حالت‌های بالقوه شکست فرآیند را براساس مقادیر نمره ریسک دی‌فازی شده رتبه‌بندی نمودند [۹].

سلاپان و پالانی کومار (۲۰۱۳) نیز مقاله‌ای با عنوان توسعه‌ی ارزیابی و اولویت‌بندی تعدیل شده عدد اولویت‌بندی ریسک در روش تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن ارائه دادند. در این مطالعه روش اولویت‌بندی نمره اولویت ریسک تعدیل شده برای روش سنتی تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن معرفی شد تا بتواند مشکلات ارائه شده در این روش را حل کند. این روش در ارزیابی ریسک نشت آب ساختمان‌ها به کار برده شد. در نهایت روش مطرح شده با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش مطرح شده برای ارزیابی نمره اولویت ریسک و اولویت‌بندی حالت‌های شکست مفید است [۱۰].

زاموری و گابریلی (۲۰۱۲) از روش فرآیند تحلیل پوششی شبکه‌ای برای محاسبه‌ی عدد نمره اولویت ریسک استفاده نمودند که از مزایای آن توانایی به حساب آوردن روابط میان معیارهای شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص در فرآیند تصمیم‌گیری بود [۱۱]. لیو و همکاران (۲۰۱۲) از روش ویکور فازی و استفاده از اعداد مثلثی و ذوزنقه‌ای برای اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده استفاده نمودند [۱۲]. چانگ و سان (۲۰۰۹) از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای رتبه‌بندی حالت‌های شکست بالقوه استفاده نمودند. از ورودی‌های معیارهای شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص در شرایط قطعی، در مدل پیشنهادی خود استفاده کردند [۱۳]. سید حسینی و همکاران (۲۰۰۶) از روش دیمتل برای رتبه‌بندی حالت‌های شکست استفاده کردند. حالت‌هایی از شکست که اثر بیشتری بر حالت‌های دیگر داشتند از اولویت بالاتری

برخوردار بودند و آن‌هایی که تأثیرپذیری بیشتری از سایر حالت‌ها داشتند از اولویت پایین‌تری برخوردار بودند [۱۴].

گارسیا و همکاران (۲۰۰۵) از روش تحلیل پوششی داده‌های فازی که توسط لرتوراسیلیکو و همکاران (۲۰۰۳) معرفی شده بود برای رتبه‌بندی حالت‌های شکست استفاده نمودند [۱۵]. براگلیا و همکاران (۲۰۰۳) از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس فازی برای تجزیه و تحلیل حالت‌های خطا، آثار و بحرانی بودن آن استفاده نمودند. روش تاپسیس فازی به آن‌ها اجازه استفاده از اعداد فازی مثلثی برای رتبه‌بندی حالت‌های بالقوه خطا را داد [۱۶].

کاووسی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به بررسی خطاهای فرایندهای اتاق عمل بیمارستان نمازی با روش تحلیل حالات و اثرات شکست پرداخته‌اند. هدف این پژوهش استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست به منظور شناسایی و کاهش خطاهای بالقوه در اتاق عمل و در نتیجه بهبود کیفیت مراقبت‌های سلامت و کاهش شکایات بود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که خطاهای اتاق عمل عمدتاً مربوط به خطاهای انسانی و مهارتی است [۱۷]. اسکندری و علی‌بیگی (۱۳۹۵) در مطالعه خود از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و خرابی ریسک به همراه روش فرایند تحلیل شبکه‌ای برای تجزیه و تحلیل ریسک پروژه‌های شرکت‌های دانش بنیان استفاده نمودند [۱۸].

عبداله‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن در محیط فازی به ارزیابی و شناسایی مهم‌ترین عوامل خرابی پل‌های شهر بابلسر پرداخته‌اند. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که زلزله مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عامل خرابی پل‌هاست. همچنین میزان ریسک هر یک از پل‌ها در برابر زلزله تعیین شده است [۱۹]. قادری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود به ارزیابی و مدیریت ریسک محیط زیستی مترو تهران و حومه با استفاده از روش تجزیه و تحلیل شکست و حالات خرابی زیست‌محیطی پرداخته‌اند. براساس نتایج پژوهش ۴۶ ریسک محیط زیستی در پایانه صادقیه شناسایی شد که بالاترین عدد اولویت ریسک مربوط به فرایند شست‌وشوی قطار در متروواش و مصارف بهداشتی آب در سطح پایانه بود [۲۰]. میرغفوری و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن و روش تحلیل پوششی داده‌ها

مدلی را برای تجزیه و تحلیل ریسک صنعت کاشی و سرامیک ارائه کردند [۲۱].

جوزی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات ناشی از خطوط برق ولتاژ بالا در مناطق مسکونی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل شکست و اثرات آن پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر عدد اولویت ریسک به دست آمده مربوط به ریسک‌های بهداشتی بوده و کلیه ریسک‌های این گروه در شرایط اضطراری قرار دارند [۲۲].

۳ اهداف پژوهش

همان‌طور که بیان شد مطالعات متعددی در زمینه روش تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست انجام شده که در بخش مرور ادبیات و پیشینه به تعدادی از مطالعات انجام شده در داخل و خارج اشاره شد. همچنین بیان شد که روش سنتی تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست دارای نقاط ضعف است. پژوهشگران مختلفی سعی کرده‌اند تا با ارائه مفاهیم جدید و ترکیب روش تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست با روش‌های دیگر از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه نقاط ضعف روش سنتی تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست را جبران نمایند.

باتوجه به این مباحث هدف این پژوهش این است که با ترکیب روش تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست تعدیل شده با روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه نقاط ضعف روش سنتی تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست را جبران نمایند. بدین منظور ابتدا با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی تلاش شد تا برای هر کدام از سه شاخص شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص وزنی تعیین شود. اما از آنجایی که تصمیم‌گیرندگان در بیشتر مواقع با شرایط مبهم مواجه می‌شوند که تعیین نسبت‌ها بر مبنای استاندارد برای آن‌ها مشکل خواهد بود، به همین منظور از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط فازی استفاده شده است تا ترجیحات خبرگان را به صورت کارآمدتری در نظر گیرد. پس از تعیین وزن شاخص‌های شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست تعدیل شده، حالت‌های شکست یا خرابی رتبه‌بندی شد. این روش به تیم ارزیابی کمک می‌کند تا در مواقعی که دو یا چند

حالت شکست دارای نمره اولویت یکسانی هستند بتوانند بدون اختلاف نظر حالت‌های شکست را ارزیابی نمایند. از طرف دیگر تعداد زیاد عملیات و حالات بالقوه خرابی در سازمان مورد مطالعه لزوم به کارگیری روشی که قدرت تفکیک بیشتری را داشته باشد تأیید می‌کند.

بر اساس اهداف پژوهش می‌توان سؤالات پژوهش را به صورت زیر بیان نمود؟

- وزن و اهمیت هر یک از شاخص‌های شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص در سازمان مورد مطالعه به چه میزان است؟
- عملیات و حالت‌های بالقوه خرابی برای سیستم مورد مطالعه کدام هستند؟
- بر اساس روش ارائه شده در این مطالعه کدام یک از حالت‌های بالقوه خرابی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند؟

۴ روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی تحلیلی و به لحاظ اجرا، از نوع میدانی است. جهت جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش، از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شده است. برای نگارش ادبیات پژوهش از مطالعات انجام شده در این زمینه و منابع کتابخانه‌ای مختلف استفاده شده است، اما داده‌های اصلی پژوهش، با روش میدانی جمع‌آوری شده است. برای سنجش روایی پرسش‌نامه نیز از نظرات اساتید و پرسش‌نامه‌های مشابه که در پژوهش‌های دیگر به کار گرفته شده، استفاده نموده‌ایم. سپس داده‌های به دست آمده از پرسش‌نامه را وارد نرم افزار اکسل نموده و خروجی آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌ایم. قبل از پرداختن به نتایج پژوهش در ادامه این بخش به تشریح مفاهیم و روش‌های مورد نیاز در این پژوهش پرداخته شده است.

۱-۴ روش تجزیه و تحلیل حالت و آثار شکست تعدیل شده

اولین گام در فرایند تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن این است که سیستم یا فرایند را به عناصر مجزا تقسیم نماییم. در مرحله بعد باید حالت‌هایی که در آن هر عنصری می‌تواند به طور بالقوه شکست بخورد را تعیین نماییم. سپس، هر حالت شکست به طور مستقل ارزیابی شده و اثرات هر کدام از این حالات شکست تعیین می‌شود. در این روش تیم ارزیابی برای

هر حالت شکست سه شاخص شدت، احتمال وقوع، و قابلیت تشخیص را مورد ارزیابی قرار داده و سپس امتیازی بین ۱ تا ۱۰ به آن‌ها تخصیص می‌یابد. شاخص‌های حالت شکست بر روی مقیاس‌های کیفی ترتیبی لحاظ می‌شوند تا سطوح گوناگون موقعیت‌های خطرناک را شناسایی کنند [۲۳]. جداول ۱، ۲ و ۳ مقیاس‌های کیفی که برای این سه شاخص متداول است را ارائه می‌کند [۲۴]. از حاصل ضرب مقادیر این سه شاخص برای هر حالت شکست نمره اولویت ریسک آن حالت شکست به دست می‌آید. حالت‌های خرابی که امتیاز بالاتری دارند در اولویت بوده و تیم ارزیابی باید ابتدا این حالت‌های خرابی که اولویت بالاتری دارند را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

همان‌طور که پیش از این نیز بیان شد یکی از ضعف‌های این روش این است که در مواقعی که نمره اولویت ریسک چند حالت شکست دارای مقدار مشابه یا نزدیک به هم باشد، تیم ارزیابی در رتبه‌بندی حالت‌های شکست دچار اختلاف نظر می‌شود. برای رفع این مشکل ما از روش تجزیه و تحلیل حالت و آثار شکست تعدیل شده استفاده نموده‌ایم که مراحل انجام کار در زیر ارائه شده است [۲۵].

جدول ۱: دستورالعمل شدت حالت شکست برای طراحی FMEA (Stamatis, 1997)

بی‌تأثیر	1	نه
مشتری ناراحت نمی‌شود	2	خیلی جزئی
مشتری اندکی ناراحت می‌شود	3	جزئی
مشکل کمی برای مشتری ایجاد می‌کند	4	کم
مشتری تا حدودی احساس نارضایتی می‌کند	5	متوسط
مشتری ناراحت می‌شود	6	با معنی
نارضایتی مشتری	7	مهم
مشتری خیلی ناراضی می‌شود	8	زیاد
تأثیر خطرناک بالقوه دارد	9	شدید
تأثیر خطرناک دارد	10	خطرناک

جدول ۴: شکل کلی جدول شاخص‌های حالت شکست

RPN	شناسایی (D)	وقوع (O)	شدت (S)	حالت شکست
R	L_{13}	L_{12}	L_{11}	a_1
R	L_{23}	L_{22}	L_{21}	a_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
R	L_{n3}	L_{n2}	L_{n1}	a_n

مرحله ۲- تعیین شاخص حالت شکست بحرانی^۷ به شیوه زیر:

$$\text{CFM index } I(a) = \min \{ \max(L_{11}, L_{21}, \dots, L_{n1}), \max(L_{12}, L_{22}, \dots, L_{n2}), \max(L_{13}, L_{23}, \dots, L_{n3}) \} \dots \quad (1)$$

مرحله ۳- تعیین کد اولویت بندی ریسک (RPC)

$$\text{RPC}(a_i) = N(a_i) \dots \quad (2)$$

که $N(a_i)$ عبارت است از تعداد خانه‌ها در سطر متناظر با a_i

$$L_{ij} > I(a)$$

مرحله ۴- تعیین شاخص حالت شکست بحرانی (CFM) به

شیوه زیر:

$$\text{CFM}(a) = \text{failure mode corresponding to } \max \{ N(a_i) \} \dots \quad (3)$$

یعنی شاخص حالت شکست بحرانی برابر است با حالت شکست

متناظر با ماکسیمم $\{N(a_i)\}$.

اگر شرایطی پیش بیاید که چند $\text{CFM}(a)$ برابر داشته باشیم

در نتیجه همه a_i را که $N(a_i)$ برابری دارند را لحاظ کرده و

سپس برای هر کدام معادله زیر را تعریف می‌کنیم:

$$T(a_i) = \max \{ |L_{i1} - L_{k1}|, |L_{i2} - L_{k2}|, |L_{i3} - L_{k3}| \} \dots \quad (4)$$

حال دوباره $\text{CFM}(a)$ ها را با استفاده از رابطه زیر به دست

می‌آوریم.

$$\text{CFM}(a) = \text{failure mode corresponding to } \max \{ T(a_i) \} \dots \quad (5)$$

۴-۲ فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی در واقع یکی از جامع‌ترین

سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای

چندگانه است. توماس، ال. ساعتی که مبدع روش فرایند تحلیل

سلسله‌مراتبی است، پایه‌های این روش را بر چهار اصل استوار

ساخته است و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول

بنیان نهاده است. این اصول عبارتند از: شرط معکوسی، اصل

همگنی، اصل وابستگی و شرط انتظارات [۲۶]. فرایند تحلیل

سلسله مراتبی از اصول اساسی تفکر تحلیلی مانند ترسیم

درخت سلسله مراتبی، تدوین و تعیین اولویت‌ها و سازگاری

جدول ۲: دستورالعمل احتمال وقوع حالت شکست برای طراحی FMEA

Stamatis, ۱۹۹۷

تقریباً هرگز	۱	سابقه هیچ شکستی را نشان نداده
نادر و کمیاب	۲	وقوع شکست نادر بوده
خیلی اندک	۳	احتمال شکست خیلی کم است
اندک	۴	احتمال شکست کم است
کم	۵	گاهی اوقات احتمال شکست وجود دارد
متوسط	۶	احتمال شکست متوسط است
متوسط به بالا	۷	احتمال شکست متوسط به بالاست
زیاد	۸	احتمال شکست بالاست
خیلی زیاد	۹	احتمال شکست خیلی بالاست
تقریباً همیشه	۱۰	تقریباً همیشه شکست و خرابی وجود دارد

جدول ۳: دستورالعمل قابلیت تشخیص حالت شکست برای طراحی FMEA

Stamatis, ۱۹۹۷

تقریباً مشخص	۱	روش‌های شناسایی تاییدشده در مرحله مفهوم وجود دارد
خیلی زیاد	۲	تجزیه و تحلیل کامپیوتری تایید شده ای در مرحله طراحی اولیه وجود دارد
زیاد	۳	شبیه‌سازی و مدل سازی در مرحله اولیه
متوسط به بالا	۴	تست‌هایی بر روی عناصر سیستم نمونه اولیه
متوسط	۵	تست‌های روی اجزای سیستم تولید
کم	۶	تست‌های روی اجزای سیستم مشابه
اندک	۷	تست‌های روی محصول با نمونه اولیه و اجزای سیستم
خیلی اندک	۸	تست‌های مداوم تاییدشده بر روی محصولات با اجزای سیستم نصب شده
نادر و کمیاب	۹	تنها تکنیک‌های تاییدشده و غیرقابل اطمینان موجود است
تقریباً غیر ممکن	۱۰	روش شناخته‌نشده‌ای موجود است

در ادامه به ارائه‌ی مراحل روش تجزیه و تحلیل حالات و آثار

شکست تعدیل شده پرداخته شده است.

مرحله ۱- تشکیل جدول شاخص‌های حالت شکست

در این روش ما رتبه‌های سه شاخص شدت، احتمال وقوع و

قابلیت تشخیص را با L_{ij} نشان می‌دهیم که به ترتیب با حالت

شکست a_i مطابق آن، که در آن $i = 1, 2, 3, \dots, n$ و $j = 1, 2, 3$

می‌باشد و برای همه i و j ها خواهیم داشت:

$$1 \leq L_{ij} \leq 10$$

L_{ij} دقیقاً رتبه‌های ۱ تا ۱۰ را می‌گیرد که از جداول (۱، ۲

و ۳) به دست می‌آیند. این موارد را می‌توان در جدول (۴)

مشاهده کرد.

جدول ۵: طیف فازی (Bojan & Yvonilde, 2008)

تعاریف	ارجحیت سطر به سطر	ارجحیت ستون به ستون
اهمیت یکسان	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)
یکسان تا نسبتاً مهم‌تر	(۰/۳و۰/۵و۱)	(۱و۲و۳)
نسبتاً مهم‌تر	(۰/۲و۰/۳و۰/۵)	(۱و۳و۵)
نسبتاً مهم‌تر تا اهمیت زیاد	(۰/۲و۰/۳و۰/۵و۰/۷)	(۳و۴و۵)
اهمیت زیاد	(۰/۱و۰/۳و۰/۵و۰/۷)	(۳و۵و۷)
اهمیت زیاد تا بسیار زیاد	(۰/۱و۰/۳و۰/۵و۰/۷و۰/۹)	(۵و۶و۷)
اهمیت بسیار زیاد	(۰/۱و۰/۳و۰/۵و۰/۷و۰/۹و۰/۱)	(۵و۷و۹)
بسیار زیاد تا کاملاً مهم‌تر	(۰/۱و۰/۳و۰/۵و۰/۷و۰/۹و۰/۱و۰/۱)	(۷و۸و۹)
کاملاً مهم‌تر	(۰/۱و۰/۳و۰/۵و۰/۷و۰/۹و۰/۱و۰/۱و۰/۱)	(۷و۹و۹)

به‌منظور به‌دست آوردن ترجیحات تصمیم‌گیرنده، ماتریس‌های مقایسه زوجی به‌وسیله اعداد فازی (l,m,u) ساخته می‌شود. ماتریس فازی مثلثی با ابعاد $m \times n$ به‌صورت زیر نشان داده می‌شود (رامیک، ۱۸، ۲۰۰۶).

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} (1,1,1) & (a_{11}^l, a_{11}^m, a_{11}^u) \dots & (a_{1n}^l, a_{1n}^m, a_{1n}^u) \\ \left(\frac{1}{a_{11}^u}, \frac{1}{a_{11}^m}, \frac{1}{a_{11}^l}\right) & (1,1,1) \dots & (a_{2n}^l, a_{2n}^m, a_{2n}^u) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{1}{a_{1n}^u}, \frac{1}{a_{1n}^m}, \frac{1}{a_{1n}^l}\right) & \left(\frac{1}{a_{2n}^u}, \frac{1}{a_{2n}^m}, \frac{1}{a_{2n}^l}\right) \dots & (1,1,1) \end{pmatrix} \quad (6)$$

چندین روش برای تخمین اولویت‌های فازی \tilde{W}_j وجود دارد که $\tilde{W}_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$ و $i = 1, 2, \dots, n$ که از ماتریس قضاوت \tilde{A} که تخمین نرخ‌های فازی a_{ij} به‌دست می‌آید به‌طوری که $\tilde{W}_i / \tilde{W}_j \approx a_{ij}$. یکی از این روش‌ها، روش لگاریتم کمینه مربعات است [۲۹]. مدل هدف ما تنها اوزان فازی مثلثی برای اهمیت روابط هر معیار را مورد استفاده قرار می‌دهد. روش لگاریتمی کمینه مربعات برای محاسبه اوزان فازی مثلثی می‌تواند به‌صورت زیر تعریف شود:

$$\tilde{W}_k = (w_k^l, w_k^m, w_k^u), \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

$$w_k^s = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{kj}^s)^{1/n}}{\sum_{j=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij}^s)^{1/n}}, \quad s \in \{l, m, u\} \quad (8)$$

۵ یافته‌های پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش برگرفته از داده‌های یک شرکت تولیدی است که در زمینه ساخت انواع چرخ‌دنده و گیربکس‌های صنعتی فعالیت می‌نماید. محور اصلی فعالیت‌های این شرکت به تولید قطعات خودرو، ماشین‌آلات کشاورزی، ماشین‌آلات نساجی، شیرآلات، تجهیزات راه‌آهن و ماشین‌آلات

منطقی قضاوت‌ها تبعیت می‌کند و قابلیت در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در این روش وجود دارد. اساس این روش بر پایه مقایسات زوجی بنا شده است. به‌کارگیری این روش مستلزم چهار گام عمده زیر است [۲۷]:

گام اول (مدل سازی):

در این گام، مساله و هدف از تصمیم‌گیری به‌صورت سلسله مراتبی از عناصر تصمیم که با هم در ارتباط هستند، در می‌آیند. عناصر تصمیم شامل «شاخص‌های تصمیم‌گیری» و «گزینه‌های تصمیم» است.

گام دوم (قضاوت ترجیحی):

در این گام مقایسه‌هایی بین گزینه‌های مختلف تصمیم براساس هر شاخص صورت گرفته است.

گام سوم (محاسبات وزن‌های نسبی):

در این گام وزن و اهمیت «عناصر تصمیم» نسبت به هم از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی تعیین می‌شود.

گام چهارم (ادغام وزن‌های نسبی):

این گام به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم صورت می‌پذیرد. اما از آنجایی که معمولاً تصمیم‌گیرندگان در بیشتر مواقع با شرایطی مبهم مواجه می‌شوند که تعیین نسبت‌ها بر مبنای استاندارد برای آن‌ها مشکل خواهد شد، به‌همین خاطر از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در شرایط فازی استفاده می‌کنند. در روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی نسبت‌های مقایسه‌ای به‌صورت اعداد فازی بیان می‌شوند و تغییراتی در انجام گام‌های بالا صورت می‌گیرد که در ادامه شرح داده می‌شود.

در مقایسه زوجی عوامل، تصمیم‌گیرنده می‌تواند از اعداد فازی مثلثی برای بیان ترجیحات استفاده کند. مقیاس معروف ۱ تا ۹ ساعتی، مزیت سادگی و راحتی برای استفاده را دارد ولی این مقیاس ابهام و سر بسته بودن مفاهیم و قضاوت‌ها را نمی‌تواند نشان دهد، بنابراین نمی‌توان از اعداد قطعی تعریف‌شده استفاده کرد. به‌همین دلیل، آن مقیاس‌ها را می‌توان به‌صورت اعداد فازی $\tilde{A} - \tilde{9}$ تعریف کرد. در جدول (۵) می‌توانید این مقیاس‌ها را مشاهده نمایید [۲۸].

صنایع غذایی مربوط می‌شود. باتوجه به نوع محصولات شرکت و نقش چشمگیر کیفیت در فروش محصولات، شرکت ناگزیر به اجرای برنامه‌هایی برای افزایش کیفیت محصولات و شناخت خرابی‌های بالقوه قبل از تحویل به مشتری است. بدین منظور تلاش شده‌است تا در این پژوهش با استفاده از روش تعدیل شده تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی حالت‌های شکست برای یکی از محصولات اصلی شرکت مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به تعهد نویسندگان در رعایت حقوق شرکت مورد مطالعه و امانت‌داری در استفاده از اطلاعات، نامی از شرکت در این پژوهش برده نشده‌است. در ادامه مراحل اجرای کار به تفصیل تشریح شده‌است.

اولین مرحله از اجرای مدل پژوهش تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی برای سه شاخص ریسک و محاسبه وزن آن‌ها به وسیله فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است. با جمع‌آوری اطلاعات مقایسات زوجی از مدیران شرکت و تبدیل ارزش انتقال داده شده توسط آنان به اعداد فازی مثلثی، ماتریس مقایسات زوجی تشکیل گردید. بعد از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، با استفاده از مفاهیمی که پیش از این بیان شد، بردار وزن فازی هر سطح و در نهایت بردار وزن گزینه‌ها محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از این محاسبات به‌طور خلاصه در جدول (۶) ارائه شده‌است.

جدول ۶: وزن به‌دست‌آمده برای شاخص‌ها به روش FAHP

گزینه	L	M	U	
S	۰,۱۸۰۱۸	۰,۴۴۴۴۴	۱,۱۹۹۰۴۱	
O	۰,۰۹۶۳۹۶	۰,۲۳۴۸۱۵	۰,۶۲۳۵۰۱	
D	۰,۰۹۹۰۹۹	۰,۳۲۰۷۴۱	۰,۸۳۹۳۲۹	
	S	D	O	
S	۱	۰,۶۷۸۹۵	۰,۸۴۱۹۸۳	
O	۱	۱	۱	
D	۱	۰,۸۵۹۲۱۴	۱	
Min	۱	۰,۶۷۸۹۵	۰,۸۴۱۹۸۳	۲,۵۲۰۹۳۴
Wi	۰,۳۹۶۶۸۷	۰,۲۶۹۳۲۵	۰,۳۳۳۹۹۷	۱

بعد از محاسبه وزن شاخص‌ها به سراغ اولین مرحله روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن یعنی شناسایی سیستم یا فرایند مورد مطالعه رفته تا اجزاء فرایند را شناسایی نماییم. بعد از مشخص کردن فرایند مورد مطالعه و حالات بالقوه خرابی، تیم ارزیابی تلاش نمود تا برای هر حالت شکست سه شاخص شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص آن حالت را مورد ارزیابی قرار داده و سپس امتیازی بین ۱ تا ۱۰ به آن‌ها تخصیص دهد. اجزاء فرایند مورد مطالعه و ارزیابی‌های تیم پژوهش برای شاخص‌های هر حالت شکست در جدول (۷) ارائه شده‌است.

جدول ۷: اجزاء فرایند مورد مطالعه و نتایج ارزیابی شاخص‌های هر حالت شکست

عدد اولویت ریسک	مقادیر موزون شاخص‌های حالت‌های شکست (Wi)			شاخص‌های حالت‌های خرابی			حالت بالقوه خرابی	نام عملیات
	D	O	S	۰,۳۹۶۶۸۷ ۰,۳۳۳۹۹۷ ۰,۲۶۹۳۲۵				
				D	O	S		
۴,۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۱,۳۴۶۶۲۵	۱,۳۳۵۹۸۸	۲,۳۸۰۱۲۲	۵	۴	۶	کاهش طول	برش میل‌گرد جهت فورج
۱,۷۸۴۱۷۴۰۰۳	۱,۳۴۶۶۲۵	۰,۶۶۷۹۹۴	۱,۹۸۳۴۳۵	۵	۲	۵	افزایش طول	
۳,۷۴۶۷۶۵۴۰۷	۱,۸۸۵۲۷۵	۱,۰۰۱۹۹۱	۱,۹۸۳۴۳۵	۷	۳	۵	کاهش اندازه a	پیشانی تراشی و مته مرغک زنی 
۳,۷۴۶۷۶۵۴۰۷	۱,۸۸۵۲۷۵	۱,۰۰۱۹۹۱	۱,۹۸۳۴۳۵	۷	۳	۵	کاهش اندازه b	
۴,۴۹۶۱۱۸۴۸۸	۱,۸۸۵۲۷۵	۱,۰۰۱۹۹۱	۲,۳۸۰۱۲۲	۷	۳	۶	خشن بودن سطح مته مرغک	
۳,۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۱,۶۱۵۹۵	۱,۰۰۱۹۹۱	۲,۳۸۰۱۲۲	۶	۳	۶	کاهش ارتفاع پله تا پیشانی	
۳,۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۱,۶۱۵۹۵	۱,۰۰۱۹۹۱	۲,۳۸۰۱۲۲	۶	۳	۶	افزایش ارتفاع پله تا پیشانی	تراش CNC
۵,۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۱,۶۱۵۹۵	۱,۰۰۱۹۹۱	۳,۱۷۳۴۹۶	۶	۳	۸	کاهش اندازه های قطری	
۴,۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۱,۶۱۵۹۵	۱,۳۳۵۹۸۸	۱,۹۸۳۴۳۵	۶	۴	۵	افزایش اندازه های قطری	
۵,۷۰۹۳۵۶۸۱	۱,۳۴۶۶۲۵	۱,۳۳۵۹۸۸	۳,۱۷۳۴۹۶	۵	۴	۸	کاهش طول فلنچ	
۴,۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۱,۶۱۵۹۵	۱,۳۳۵۹۸۸	۱,۹۸۳۴۳۵	۶	۴	۵	افزایش طول فلنچ	



ادامه‌ی جدول ۷: اجزاء فرایند مورد مطالعه و نتایج ارزیابی شاخص‌های هر حالت شکست

عدد اولویت ریسک	مقادیر موزون شاخص‌های حالت‌های شکست (Wi)			شاخص‌های حالت‌های خرابی ۰.۳۹۶۶۸۷ ۰.۳۳۳۹۹۷			حالت بالقوه خرابی	نام عملیات
	D	O	S	D	O	S		
۲.۹۹۷۴۱۳۳۲۵	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۲.۷۷۶۸۰۹	۶	۲	۷	کاهش طول a	سوراخ کاری
۲.۹۹۷۴۱۳۳۲۵	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۲.۷۷۶۸۰۹	۶	۲	۷	افزایش طول a	
۲.۵۶۹۲۱۰۵۶۵	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۲.۳۸۰۱۲۲	۶	۲	۶	افزایش قطر سوراخ	
۲.۱۴۱۰۰۸۱۰۴	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۱.۹۸۳۴۳۵	۶	۲	۵	کاهش قطر سوراخ	
۱.۴۹۸۷۰۶۱۶۳	۱.۸۸۵۲۷۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۱.۱۹۰۰۶۱	۷	۲	۳	باقی ماندن پلیسه بر روی سوراخ‌ها	پنج‌زنی
۲.۹۹۷۴۱۳۳۲۵	۱.۸۸۵۲۷۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۲.۳۸۰۱۲۲	۷	۲	۶	خشن و تیره شدن سطح رزوه	حدیده‌زنی
۲.۴۹۷۸۴۳۶۰۴	۱.۳۴۶۶۲۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۲.۷۷۶۸۰۹	۵	۲	۷	عدم رعایت مشخصات رزوه	
۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۳.۱۷۳۴۹۶	۶	۲	۸	کاهش قطر خارجی رزوه	
۵.۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۱.۶۱۵۹۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۳.۱۷۳۴۹۶	۶	۳	۸	کاهش اندازه های قطری	سنگ‌زنی خام
۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۱.۶۱۵۹۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۲.۳۸۰۱۲۲	۶	۳	۶	لنگی قطعه	
۷.۱۳۶۶۶۰۱۳	۱.۳۴۶۶۲۵	۱.۶۶۹۹۸۵	۳.۱۷۳۴۹۶	۵	۵	۸	افزایش over pin	دنده‌زنی
۱۱.۴۱۸۷۱۳۶۲	۲.۱۵۴۶	۱.۶۶۹۹۸۵	۳.۱۷۳۴۹۶	۸	۵	۸	کاهش over pin	
۳.۹۹۶۵۴۹۷۶۷	۱.۸۸۵۲۷۵	۱.۳۳۵۹۸۸	۱.۵۸۶۷۴۸	۷	۴	۴	خشن بودن سطح دنده	
۲.۸۵۴۶۷۸۴۰۵	۲.۶۹۳۲۵	۰.۳۳۳۹۹۷	۳.۱۷۳۴۹۶	۱۰	۱	۸	خطای LEAD	
۱.۷۸۴۱۷۴۰۰۳	۲.۶۹۳۲۵	۰.۳۳۳۹۹۷	۱.۹۸۳۴۳۵	۱۰	۱	۵	کاهش قطر پای دنده	
۶.۸۵۱۲۲۸۱۷۲	۱.۶۱۵۹۵	۱.۳۳۵۹۸۸	۳.۱۷۳۴۹۶	۶	۴	۸	رانوت پروفیل دنده	
۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۱.۳۴۶۶۲۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۲.۳۸۰۱۲۲	۵	۳	۶	افزایش قطر سوراخ	فرزکاری ساچمه
۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۱.۳۴۶۶۲۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۲.۳۸۰۱۲۲	۵	۳	۶	کاهش قطر سوراخ	
۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۱.۶۱۵۹۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۱.۹۸۳۴۳۵	۶	۳	۵	افزایش طول a	
۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۱.۶۱۵۹۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۱.۹۸۳۴۳۵	۶	۳	۵	کاهش طول a	
۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۱.۶۱۵۹۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۲.۳۸۰۱۲۲	۶	۳	۶	افزایش عمق سوراخ	
۴.۹۹۵۶۸۷۲۰۹	۱.۳۴۶۶۲۵	۱.۳۳۵۹۸۸	۲.۷۷۶۸۰۹	۵	۴	۷	باقی ماندن لنگی	لنگی‌گیری
۷.۱۳۶۶۶۰۱۳	۱.۳۴۶۶۲۵	۱.۶۶۹۹۸۵	۳.۱۷۳۴۹۶	۵	۵	۸	کاهش قطر جای بلبرینگ	سنگ‌زنی نهایی
۳.۵۶۸۳۴۸۰۰۶	۱.۳۴۶۶۲۵	۱.۳۳۵۹۸۸	۱.۹۸۳۴۳۵	۵	۴	۵	افزایش قطر جای بلبرینگ	
۳.۴۹۶۹۸۱۰۴۶	۱.۸۸۵۲۷۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۲.۷۷۶۸۰۹	۷	۲	۷	خشن شدن سطح	
۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۱.۳۴۶۶۲۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۳.۱۷۳۴۹۶	۵	۳	۸	لنگه شدن قطعه	
۲.۱۴۱۰۰۸۱۰۴	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۱.۹۸۳۴۳۵	۶	۲	۵	کاهش عمق سختی	عملیات حرارتی
۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۳.۱۷۳۴۹۶	۶	۲	۸	افزایش عمق سختی	
۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۳.۱۷۳۴۹۶	۶	۲	۸	افزایش مقدار سختی مغز	
۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۱.۶۱۵۹۵	۰.۶۶۷۹۹۴	۳.۱۷۳۴۹۶	۶	۲	۸	کاهش مقدار سختی مغز	
۵.۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۱.۶۱۵۹۵	۱.۰۰۱۹۹۱	۳.۱۷۳۴۹۶	۶	۳	۸	کاهش مقدار سختی سطح	

همان طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود بعضی از حالت‌های شکست دارای مقدار عدد اولویت ریسک مشابهی هستند. بنابراین در این قسمت تلاش می‌شود تا با استفاده از مفاهیم ارائه شده در مورد روش تجزیه و تحلیل حالت و آثار شکست تعدیل شده به اولویت بندی حالت‌های شکستی که دارای مقدار نمره اولویت ریسک مشابهی هستند پرداخته شود. بدین منظور ابتدا شاخص حالت شکست بحرانی را با کمک رابطه ۱ برای هر گروه از حالت‌های شکست که دارای مقدار نمره اولویت

ریسک مشابهی هستند به دست آورده و سپس کد اولویت ریسک را با استفاده از رابطه ۲ برای همه حالت‌های شکست محاسبه می‌نماییم. در ادامه هر حالت شکست را براساس رابطه ۳ اولویت بندی نموده و در صورتی که باز هم حالت‌های شکستی وجود داشته باشد که $N(ai)$ برابری داشته باشند با استفاده از رابطه ۴، $T(ai)$ را به دست آورده و بعد با استفاده از رابطه ۵ دوباره CFM را به دست می‌آوریم. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸: نتایج حاصل از روش FMEA تعدیل شده

رتبه بندی نهایی حالت‌های شکست	رتبه در هر گروه	T (ai)	N(a)	RPC			CFM I(a)	مقادیر RPN به صورت صعودی	RPN	حالت‌های شکست
۱۳	۱						۱۱.۴۱۸۷۱۳۶۲	۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۱	
۴۱	۲	۰	۲	۰	۱	۱	۱.۳۴۶۶۲۵	۷.۱۳۶۶۹۶۰۱۳	۱.۷۸۴۱۷۴۰۰۳	۲
۲۰	۱	۰.۳۳۳۹۹۷	۲	۰	۱	۱		۷.۱۳۶۶۹۶۰۱۳	۳.۷۴۶۷۶۵۴۰۷	۳
۲۱	۱						۶.۸۵۱۲۲۸۱۷۲	۳.۷۴۶۷۶۵۴۰۷	۴	
۱۰	۱						۱۵.۷۰۹۳۵۶۸	۴.۴۹۶۱۱۸۴۸۸	۵	
۱۷	۱	۲.۱۷۱۵۰۵	۱	۰	۰	۱	۱.۶۱۵۹۵	۵.۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۶
۱۹	۲	۱.۱۸۱۵۰۵	۱	۱	۰	۰		۵.۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۷
۶	۳	۰.۶۱۳۹۵۹	۱	۰	۰	۱		۵.۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۵.۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۸
۱۴	۱						۴.۹۹۵۶۸۷۲۰۹	۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۹	
۵	۱						۴.۴۹۶۱۱۸۴۸۸	۵.۷۰۹۳۵۶۸۱	۱۰	
۱۱	۳	۰.۳۹۶۶۸۷	۲	۱	۰	۱	۱.۳۳۵۹۸۸	۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۱۱
۳۴	۴	۰	۲	۱	۰	۱		۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۲.۹۹۷۴۱۲۳۲۵	۱۲
۳۲	۱	۱.۱۹۰۰۶۱	۲	۱	۰	۱		۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۲.۹۹۷۴۱۲۳۲۵	۱۳
۳۶	۲	۰.۷۹۳۳۷۴	۲	۱	۰	۱		۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۲.۵۶۹۲۱۰۵۶۵	۱۴
۳۹	۱						۳.۹۹۶۵۴۹۷۶۷	۲.۱۴۱۰۰۸۸۰۴	۱۵	
۴۲	۲	۱.۳۷۸۱۳۱	۱	۱	۰	۰		۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۱.۴۹۸۷۰۶۱۶۳	۱۶
۳۳	۴	۰	۱	۰	۰	۱		۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۲.۹۹۷۴۱۲۳۲۵	۱۷
۳۷	۱	۱.۳۷۸۱۳۱	۲	۱	۰	۱		۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۲.۴۹۷۸۴۳۶۰۴	۱۸
۲۷	۳	۰.۶۱۳۹۵۹	۱	۰	۰	۱		۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۱۹
۷	۱		۲	۰	۱	۱		۳.۷۴۶۷۶۵۴۰۷	۵.۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۲۰
۱۶	۲		۱	۰	۰	۱		۳.۷۴۶۷۶۵۴۰۷	۳.۸۵۳۸۱۵۸۴۷	۲۱
۳	۱							۳.۵۶۸۳۴۸۰۰۶	۷.۱۳۶۶۹۶۰۱۳	۲۲
۱	۱							۳.۴۹۶۹۸۱۰۴۶	۱۱.۴۱۸۷۱۳۶۲	۲۳
۱۵	۴	۰.۹۴۷۹۵۶	۱	۰	۰	۱	۱.۶۱۵۹۵	۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۳.۹۹۶۵۴۹۷۶۷	۲۴
۳۵	۳	۱.۹۴۷۹۵۶	۱	۰	۰	۱		۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۲.۸۵۴۶۷۸۴۰۵	۲۵
۴۰	۱	۲.۵۰۵۵۰۲	۱	۰	۰	۱		۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۱.۷۸۴۱۷۴۰۰۳	۲۶
۴	۲	۲.۱۰۵۵۰۲	۱	۰	۱	۰		۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۶.۸۵۱۲۲۸۱۷۲	۲۷



ادامه‌ی جدول ۸: نتایج حاصل از روش FMEA تعدیل شده

رتبه‌بندی نهایی حالت‌های شکست	رتبه در هر گروه	T(ai)	N(a)	RPC			CFM I(a)	مقادیر RPN به صورت صعودی	RPN	حالت‌های شکست
۳۰	۳	۰	۲	۱	۰	۱	۱.۰۰۱۹۹۱	۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۲۸
۲۸	۱	۰.۵۹۶۶۸۷	۲	۱	۰	۱		۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۲۹
۳۱	۳	۰	۲	۱	۰	۱		۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۳۰
۲۹	۲	۰.۳۹۶۶۸۷	۲	۱	۰	۱		۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۳.۲۱۱۵۱۳۲۰۶	۳۱
۱۸	۳	۰	۲	۱	۰	۱	۰.۶۶۷۹۹۴	۲.۹۹۷۴۱۲۳۲۵	۳.۸۵۳۱۵۸۴۷	۳۲
۹	۱	۰.۳۹۶۶۸۷	۲	۱	۰	۱		۲.۹۹۷۴۱۲۳۲۵	۴.۹۹۵۶۸۷۲۰۹	۳۳
۲	۲	۰.۲۹۶۶۸۷	۲	۱	۰	۱		۲.۹۹۷۴۱۲۳۲۵	۷.۱۳۶۶۹۶۰۱۳	۳۴
۲۲	۱							۲.۸۵۴۶۷۸۴۰۵	۳.۵۶۸۳۴۸۰۰۶	۳۵
۲۳	۱							۲.۵۶۹۲۱۰۵۶۵	۳.۴۹۶۹۸۱۰۴۶	۳۶
۱۲	۱							۲.۴۹۷۸۴۳۶۰۴	۴.۲۸۲۰۱۷۶۰۸	۳۷
۳۸	۲		۱	۰	۰	۱		۲.۱۴۱۰۰۸۸۰۴	۲.۱۴۱۰۰۸۸۰۴	۳۸
۲۶	۱		۲	۱	۰	۱		۲.۱۴۱۰۰۸۸۰۴	۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۳۹
۲۴	۲		۱	۱	۰	۰		۱.۷۸۴۱۷۴۰۰۳	۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۴۰
۲۵	۱		۲	۱	۰	۱		۱.۷۸۴۱۷۴۰۰۳	۳.۴۲۵۶۱۴۰۸۶	۴۱
۸	۱							۱.۴۹۸۷۰۶۱۶۳	۵.۱۳۸۴۲۱۱۲۹	۴۲

۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه رویکرد جدیدی برای اولویت‌بندی حالت‌های شکست و این که چطور این رویکرد می‌تواند عدد اولویت ریسک را بهبود دهد مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه موردی ارائه‌شده در این پژوهش محدودیت تکنیک سنتی تجزیه و تحلیل حالات و آثار شکست یعنی برابری مقادیر عدد اولویت ریسک برای چند حالت شکست و در نتیجه عدم امکان اولویت‌بندی حالت‌های شکست را به وضوح نشان داد.

نتایج به دست آمده از روش تجزیه و تحلیل حالت و آثار شکست به کار گرفته شده در این پژوهش نشان می‌دهد که اگر دو یا چند حالت شکست دارای عدد اولویت ریسک یکسانی باشند، این امر امکان دارد که بتوان حالت‌های خرابی را با کمک کد اولویت‌بندی ریسک ارزیابی و رتبه‌بندی نمود و اگر در شرایطی چند حالت شکست دارای کد اولویت‌بندی ریسک یکسانی باشند، در این صورت با استفاده از شاخص $T(ai)$ می‌توان آن‌ها را اولویت‌بندی کرد. از طرف دیگر تلاش شد تا با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط فازی و تشکیل ماتریس مقایسه زوجی برای هر کدام از شاخص‌های شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص براساس میزان اهمیت آن‌ها در شرکت مورد مطالعه وزنی تعیین شود. این امر باعث می‌شود

که هر کدام از این شاخص‌ها براساس میزان اهمیت آن‌ها بر هر حالت شکست تأثیر داشته باشند. نتایج حاصل از این پژوهش در جدول (۸) خلاصه شده است. با توجه به این جدول بیست سومین حالت بالقوه شکست یعنی کاهش over pin بالاترین رتبه را کسب نموده است و این بدین معنی است که تیم ارزیابی باید در حله اول بر روی این حالت شکست تمرکز داشته باشد. به همین ترتیب باقی حالت‌های شکست رتبه‌بندی شده‌اند. بنابراین به طور کلی می‌توان اذعان داشت که روش مطرح شده برای ارزیابی مقادیر عدد اولویت ریسک در هنگامی که دو یا چند حالت شکست دارای عدد اولویت ریسک یکسانی باشند و یا هنگامی که تیم در مقیاس رتبه‌بندی شاخص‌های شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص اتفاق نظر نداشته باشند، در طراحی روش تجزیه و تحلیل حالت و آثار شکست سودمند است. در ادامه براساس روش استفاده شده و نتایج به دست آمده به ارائه پیشنهادات کاربردی و علمی پرداخته شده است.

پیشنهادات کاربردی برای سازمان مورد مطالعه:

- براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که از بین حالت‌های بالقوه شکست کاهش over pin، کاهش قطر جای بلبرینگ، افزایش over pin، رانوت پروفیل دنده و کاهش طول فلنچ به

logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis”, *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, vol. 50, pp. 203-213.

5. Yang, C., Shen, W., Chen, Q., & Gunay, B. (2018). A practical solution for HVAC prognostics: Failure mode and effects analysis in building maintenance. *Journal of Building Engineering*, 15(Supplement C), 26-32. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.013

6. Tubis, A. (2017, September). Process Assessment of Risks in the Production Company with the Use of Linguistic Variables and the FMEA Analysis. In *International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance* (pp. 368-379). Springer, Cham.

Bowles, J. B. 1988. The new SAE FMECA standard. *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Anaheim, CA, pp. 48-53.

7. Jiang, W., Xie, C., Zhuang, M., & Tang, Y. (2017). Failure mode and effects analysis based on a novel fuzzy evidential method. *Applied Soft Computing*, 57, 672-683.

8. Zhou, Q., & Thai, V. V. (2016). Fuzzy and grey theories in failure mode and effect analysis for tanker equipment failure prediction. *Safety Science*, 83(Supplement C), 74-79. doi:https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.013

9. Aslani, R., Feili, H., & Javanshir, H. (2014). A hybrid of fuzzy FMEA-AHP to determine factors affecting alternator failure causes. *Management Science Letters*, 4(9), 1981-1984.

10. N. Sellappan K. Palanikumar, 2013. “Development of Modified Evaluation and Prioritization of Risk Priority Number in FMEA”. *International Journal of Engineering (IJE)*, Volume (7) : Issue (1), pp. 32-43.

11. Zammori, F., & Gabbrielli, R. (2012). ANP/RPN: a multi criteria evaluation of the Risk Priority Number. *Quality and Reliability Engineering International*, 28(1), 85-104.

12. Liu, H. C., Liu, L., Liu, N., & Mao, L. X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12926-12934.

13. Chang, D. S., & Paul Sun, K. L. (2009). Applying DEA to enhance assessment capability of FMEA.

ترتیب بیشترین اهمیت را دارند. بنابراین سازمان باید تمرکز و منابع اصلی خود را بر روی این حالت‌های بالقوه شکست که از اهمیت بیشتری نسبت به سایر حالت‌ها برخوردار هستند متمرکز نماید. زیرا هرگونه شکست در این حالت‌ها هزینه‌های مادی و غیرمادی چشمگیری را بر سازمان تحمیل خواهد کرد. • با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای فرایند در نظر گرفته‌شده و قدرت تفکیک بالای روش ارائه‌شده می‌توان از این روش برای سایر فرایندها و محصولات سازمان نیز بهره برد.

پیشنهادات علمی برای پژوهش‌های آینده:

- در این مطالعه وزن خبرگان در نظر گرفته نشده است. از آنجایی که تصمیم‌گیرندگان دانش و مهارت‌های متفاوتی دارند، بنابراین می‌توان با تخصیص وزن به هر یک از خبرگان میزان اعتبار نظرات آن‌ها را در نظر گرفت.
- با بررسی روابط بین شاخص‌های شدت، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص با استفاده از روش‌هایی مانند دیمتل می‌توان روابط بین آن‌ها را بررسی و در صورت وجود رابطه وزن و اهمیت هر یک از آن‌ها را با دقت بیشتری به‌دست آورد.
- همچنین رویکرد ارائه‌شده را می‌توان در صنایع دیگر به‌کار برد و اعتبار آن را در تفکیک رتبه‌بندی حالت‌های شکست بررسی نمود.
- با توجه به این‌که داده‌های مربوط به روش تجزیه و تحلیل حالت و آثار شکست از طریق قضاوت‌های ذهنی خبرگان جمع‌آوری می‌شود بنابراین ممکن است به‌کارگیری روش تجزیه و تحلیل حالت و آثار شکست ارائه‌شده در محیط فازی یا خاکستری بتواند به کیفیت نتایج ارائه شده کمک نماید.

مراجع

1. Chin, K. S., Chan, A., & Yang, J. B. (2008). Development of a fuzzy FMEA based product design system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(7-8), 633-649.
2. Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2011). Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(2), 113-129.
3. Suresh, A., Pramod, V. K., & Pramod, V. R. (2017). Failure Mode Effect Analysis in a Frying Pan Manufacturing Industry.
4. John B. Bowles and C. Enrique Peláez, 1995. “Fuzzy



بهبهانی نگار، (۱۳۹۳)، شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات ناشی از خطوط انتقال برق ولتاژ بالا در مناطق مسکونی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA)، سلامت و محیط زیست، ۷(۱)، ۶۴-۵۵.

23. Stamatis D H (1997), Failure Mode and Effects Analysis: FMEA from Theory to Execution, Productivity Press India Pvt. Ltd., Madras.

24. Sellappan, N. and R Sivasubramanian, 2008, "Modified Method for Evaluation of Risk Priority Number in Design FMEA", The Icfai Journal of Operations Management, Vol. VII, No. 1, p44-52.

25. ellappan, N. and R Sivasubramanian, 2008, "Modified Method for Evaluation of Risk Priority Number in Design FMEA", The Icfai Journal of Operations Management, Vol. VII, No. 1, p44-52.

۲۶. قدسی پور، حسن. (۱۳۷۹). تحلیل فرآیند سلسله مراتبی (AHP)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.

۲۷. آذر، عادل، رجب زاده، علیرضا. (۱۳۸۹). تصمیم‌گیری کاربردی رویکرد MADM، انتشارات نگاه دانش، چاپ اول.

28. Bojan Srdjevic , Yvonilde Dantas, 2008, " The use of data envelopment analysis for technology selection". Computers and Industrial Engineering, v.54 n.1, p.66-76.

29. Chen, S.J., Hwang C.L., Hwang, F.P, 1992, " fuzzy multiattribute decision making", Lecture Notes in Economics and Mathematical system, 375.

International Journal of Quality & Reliability Management, 26(6), 629-643.

14. Seyed-Hosseini, S. M., Safaei, N., & Asgharpour, M. J. (2006). Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. Reliability Engineering & System Safety, 91(8), 872-881.

15. Garcia, P. A., & Schirru, R. (2005). A fuzzy data envelopment analysis approach for FMEA. Progress in Nuclear Energy, 46(3), 359-373.

16. Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003). Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis. Quality and Reliability Engineering International, 19(5), 425-443.

۱۷. کاووسی زهرا، ستوده زاده فاطمه، فردید مزگان، غلامی مریم، خجسته‌فر مرضیه، حاتم محبوبه، تحیتی زهرا، فرهادی غلامرضا. (۱۳۹۶). بررسی خطاهای فرایندهای اتاق عمل بیمارستان نمازی با روش تحلیل حالات و اثرات خطا (FMEA)، بیمارستان، ۱۶(۳)، ۵۷-۷۰.

۱۸. جعفری اسکندری میثم، علی‌بیگی لیلا، (۱۳۹۵)، ارائه رویکرد تحلیل ریسک پروژه‌های شرکت‌های دانش بنیان با استفاده از تکنیک ANP-RFMEA، رشد فناوری، ۱۲(۴۸)، ۳۷-۲۹.

۱۹. عبدالله‌زاده غلامرضا، حقیقی فرشیدرضا، طاهری محمدجواد، راستگو سیما، (۱۳۹۵)، ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای پل‌های شهر بابل در حالت بهره برداری با استفاده از روش FMEA-Fuzzy، پژوهشنامه حمل‌ونقل، ۱۳(۳)، ۵۲-۶۵.

۲۰. قادری سپیده، رحیمی آذرنوش، هدایتی فر محسن، عرب نجفی سید محمد، (۱۳۹۴)، ارزیابی و مدیریت ریسک محیط زیستی مترو تهران و حومه با استفاده از روش EFMEA (مطالعه موردی: پایانه صادقیه)، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۷(۲)، ۷۱-۶۱.

۲۱. میرغفوری سیدحبیب اله، اسدیان اردکانی فائزه، عزیزی فاطمه، (۱۳۹۳)، توسعه مدلی برای تجزیه و تحلیل ریسک صنعت کاشی و سرامیک با استفاده از FMEA و تحلیل پوششی داده‌ها، مجله ایرانی مطالعات مدیریت، ۷(۲)، ۳۴۳-۳۶۳.

۲۲. جوزی سیدعلی، جعفرزاده حقیقی فرد نعمت اله، افضلی