

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت

پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی

بررسی و رتبه بندی عوامل شکست با استفاده از رویکرد تحلیل حالات بالقوه

خرابی چند صفته (MAFMA) در شرایط فازی

(مطالعه موردی: فرایند تولید تجهیزات پزشکی در شرکت فارمد)

نگارنده: رامین فعله گری

استاد راهنما

دکتر سید محمد حسن حسینی

شهریور ۱۳۹۶

شماره: ۵۵۲
تاریخ: ۹۶/۷/۱۳

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای رامین فعله گری با شماره دانشجویی ۹۴۱۳۴۵۴ رشته مدیریت صنعتی گرایش تولید تحت عنوان بررسی و رتبه بندی حالات بالقوه خرابی چند صفت (MAFMA) در شرایط فازی که در تاریخ ۱۳۹۶/۶/۱۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود ☒ قبول (با درجه: ...)			
نوع تحقیق: ☐ عملی ☒ نظری			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر سید محمد حسن حسینی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد میرباقری جم	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر رضا شیخ	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر مهین میرلوچی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا شیخ

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تنبیه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیلی) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیم

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

و به تمام آزاد مردانی که نیک می اندیشند و عقل و منطق را پیشه خود نموده و جز

رضای الهی و پیشرفت و سعادت جامعه، هدفی ندارند.

تشکر و قدردانی

از استاد با کمالات و شایسته جناب آقای دکتر سید محمد حسن حسینی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند تشکر میکنم.

تعهد نامه

اینجانب رامین فعله گری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: بررسی و رتبه بندی عوامل شکست با استفاده از رویکرد تحلیل حالات بالقوه خرابی چند صفته (MAFMA) در شرایط فازی (مطالعه موردی: فرایند تولید تجهیزات پزشکی در شرکت فارمد) تحت راهنمایی دکتر سید محمد حسن حسینی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

پرداختن به مساله کیفیت و تولید با کمترین خطا و منطبق با نیاز مشتریان از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل ابزارهای بهبود کیفیت و جلوگیری از خطاها جایگاه ویژه ای در سازمان های تولیدی و خدماتی پیدا کرده است. یکی از ابزارها تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی است. این تکنیک با استفاده از ضرب سه معیار شدت، احتمال وقوع و احتمال تشخیص بدست می آید. در طی زمان اشکالات متعددی از این تکنیک گرفته اند. یکی از این اشکالات در نظر گرفتن اعداد قطعی برای معیارها است. همچنین اشکال دیگر این تکنیک این است که فقط سه معیار فوق را در نظر می گیرد. با در نظر گرفتن معیار چهارمی با عنوان معیار هزینه که بر مبنای تحلیل فرآیند سلسله مراتبی استوار است یک نگرش چند خصیصه ای با نام تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی چند خصیصه ای معرفی می شود. این تکنیک نیز با مشکل در نظر گرفتن اعداد قطعی روبرو است. به همین دلیل در این تحقیق با استفاده از منطق فازی سعی در برطرف کردن این مشکل شده است.

کلیدواژه: تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی، عدد اولویت ریسک، منطق فازی، تحلیل فرایند سلسله مراتبی، تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی چند خصیصه ای.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول ها.....	ک
فهرست شکل ها.....	م
فصل ۱- کلیات تحقیق.....	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مساله	۴
۳-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق.....	۷
۴-۱- سوالات تحقیق	۱۰
۵-۱- اهداف تحقیق.....	۱۱
۶-۱- قلمرو تحقیق	۱۲
۷-۱- موارد کاربرد تحقیق.....	۱۴
۸-۱- تکنیک و روش تحقیق.....	۱۵
۱-۸-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی.....	۱۵
۲-۸-۱- منطق فازی	۱۵
۳-۸-۱- تکنیک AHP فازی.....	۱۶
۴-۸-۱- مراحل روش AHP فازی.....	۱۷
۹-۱- ساختار نگارش تحقیق	۱۷
فصل ۲- مرور ادبیات.....	۱۹
۱-۲- مقدمه	۲۰
۲-۲- مبانی نظری.....	۲۰
2-2-1- معنی و مفهوم FMEA.....	۲۰
2-2-2- اهداف FMEA.....	۲۲
2-2-3- ویژگی های FMEA.....	۲۳
۴-۲-۲- مسئولیت اجرائی FMEA.....	۲۴
2-2-5- نقش ها و وظایف FMEA.....	۲۴
2-2-6- زمان شروع و تکمیل FMEA.....	۲۵

۲۷.....	انواع FMEA و مسئولین آن ها.....	۷-۲-۲
۲۸.....	FMEA در سیستم	۱-۷-۲-۲
۲۹.....	FMEA در طراحی	۲-۷-۲-۲
۳۱.....	FMEA در فرآیند	۳-۷-۲-۲
۳۳.....	FMEA در فرآیند ارائه خدمات.....	۴-۷-۲-۲
۳۴.....	FMEA در فرآیند ماشین آلات و ابزارهای تولید.....	۵-۷-۲-۲
۳۴.....	بررسی مرحله به مرحله تجزیه و تحلیل عوامل شکست.....	۸-۲-۲
۳۸.....	اطلاعات اولیه	۱-۸-۲-۲
۳۹.....	اطلاعات اصلی (اسکلت اصلی تجزیه و تحلیل).....	۲-۸-۲-۲
۵۱.....	مرور و تایید انجام FMEA.....	۳-۸-۲-۲
۵۱.....	مفهوم MAFMA.....	۹-۲-۲
۵۴.....	پیشینه تحقیق	۳-۲
۵۴.....	تحقیقات داخلی.....	۱-۳-۲
۵۷.....	تحقیقات بین المللی.....	۲-۳-۲
۶۵.....	جمع بندی	۴-۲
۶۷.....	فصل ۳- روش تحقیق.....	
۶۸.....	مقدمه	۱-۳
۶۸.....	روش انجام پژوهش	۲-۳
۶۹.....	مراحل انجام پژوهش	۳-۳
۷۲.....	منطق فازی	۴-۳
۷۴.....	عدد فازی مثلثی (TFN).....	۱-۴-۳
۷۵.....	غیر فازی کردن عدد فازی.....	۲-۴-۳
۷۷.....	فرآیند تحلیل سلسله مراتبی	۵-۳
۸۰.....	مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی.....	۱-۵-۳
۸۲.....	فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی.....	۲-۵-۳
۸۳.....	مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی.....	۱-۲-۵-۳
۸۴.....	مدل MAFMA فازی	۶-۳
۸۷.....	جمع آوری اطلاعات	۷-۳
۸۹.....	مطالعه موردی	۸-۳
۹۱.....	جمع بندی	۹-۳

فصل ۴ - نتایج	۹۳
۱-۴ - مقدمه	۹۴
۲-۴ - حالات بالقوه خرابی در فرآیند تولید	۹۴
۳-۴ - بدست آوردن RPN سنتی	۹۸
4-4- MAFMA	۱۰۳
۵-۴ - FMEA فازی	۱۱۴
۶-۴ - MAFMA در شرایط فازی	۱۱۹
۷-۴ - جمع بندی	۱۲۹
فصل ۵ - نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۳۱
۱-۵ - مقدمه	۱۳۲
۲-۵ - مرور مختصری بر تحقیق	۱۳۲
۳-۵ - نتایج و یافته های پژوهش	۱۳۳
۴-۵ - مزایای روش MAFMA فازی	۱۳۵
۵-۵ - پیشنهاد برای تحقیقات آتی	۱۳۶
فهرست مراجع	۱۳۸

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۷	جدول ۱-۲: FMEA
۴۳	جدول ۲-۲: ارزیابی پیشنهادی برای معیار شدت
۴۶	جدول ۳-۲: جدول ارزیابی وقوع شکست
۴۸	جدول ۴-۲: ارزیابی در بازیابی شکست
۵۰	جدول ۵-۲: برخی از اقدامات در جهت کاهش RPN
۶۳	جدول ۶-۲: خلاصه ای از پیشنهادی تحقیقات
۸۳	جدول ۱-۳: طیف فازی معادل مقیاس نه درجه ای ساعتی
۹۶	جدول ۱-۴: حالات بالقوه خرابی در فرآیند تولید
۹۹	جدول ۲-۴: محدوده امکان حالات خرابی سه معیار S، O و D
۱۰۰	جدول ۳-۴: جدول بدست آوردن RPN و رتبه بندی آن‌ها
۱۰۴	جدول ۴-۴: انجام مقایسات زوجی معیارها
۱۰۵	جدول ۵-۴: وزن دهی معیارها با نرم افزار اکسپرت چویس
۱۰۶	جدول ۶-۴: نرمال کردن سه معیار S، O و D
۱۰۷	جدول ۷-۴: مقایسه زوجی حالات خرابی مربوط به معیار هزینه
۱۱۱	جدول ۸-۴: اولویت بندی حالات خرابی برای معیار هزینه با نرم افزار اکسپرت چویس
۱۱۲	جدول ۹-۴: ضرب اولویت های حالات خرابی در وزن معیارها
۱۱۳	جدول ۱۰-۴: بدست آوردن MAFMA با استفاده از جمع حالات خرابی
۱۱۵	جدول ۱۱-۴: امتیازات فازی برای معیار شدت
۱۱۵	جدول ۱۲-۴: امتیازات فازی برای معیار احتمال کشف
۱۱۵	جدول ۱۳-۴: امتیازات فازی برای معیار احتمال وقوع
۱۱۶	جدول ۱۴-۴: ارزیابی حالات خرابی با استفاده از متغیرهای زبانی
۱۱۷	جدول ۱۵-۴: مقادیر دقیق متغیرهای زبانی برای معیارهای S، O و D
۱۱۷	جدول ۱۶-۴: میانگین هندسی بدست آمده برای سه معیار S، O و D در شرایط فازی
۱۱۸	جدول ۱۷-۴: بدست آوردن FMEA در شرایط فازی

جدول ۴-۱۸: اولویت وزن دهی نسبت به معیارها در شرایط فازی.....	۱۱۹
جدول ۴-۱۹: میانگین هندسی نظرات خبرگان.....	۱۲۰
جدول ۴-۲۰: وزن معیارها در شرایط فازی.....	۱۲۱
جدول ۴-۲۱: نرمال کردن سه معیار S، O و D.....	۱۲۲
جدول ۴-۲۲: مقایسه زوجی حالات خرابی مربوط به معیار هزینه در شرایط فازی.....	۱۲۳
جدول ۴-۲۳: برآورد اولویت هزینه در شرایط فازی با استفاده از نرم افزار AHP فازی.....	۱۲۶
جدول ۴-۲۴: ضرب اولویت های حالات خرابی در وزن معیارها.....	۱۲۷
جدول ۴-۲۵: نتایج اولویت بندی حالات خرابی با روش MAFMA فازی.....	۱۲۸
جدول ۵-۱: مقایسه نتایج FMEA، FMEA فازی و MAFMA با MAFMA فازی.....	۱۳۴

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: مراحل تحقیق.....	۱۷
شکل ۱-۳: مراحل انجام پژوهش.....	۷۱
شکل ۲-۳: نمایش اعداد فازی مثلثی.....	۷۵
شکل ۳-۳: شکل گرافیکی امتیازات مقادیر چپ و راست.....	۷۶
شکل ۴-۳: مراحل روش MAFMA فازی.....	۸۶
شکل ۱-۴: وزندهی چهار معیار S، O، D و هزینه با نرم افزار اکسپرت چویس.....	۱۰۴
شکل ۲-۴: انجام مقایسه زوجی مربوط به معیار هزینه.....	۱۱۰

فصل ۱ – کلیات تحقیق

افزایش رقابت، افزایش توقعات، تقاضاهای مکرر مشتری و تغییرات سریع فناوری، باعث افزایش تعهدات تولید کنندگان امروزی شده است. هر کمبود و انحراف در عملکرد محصول باعث از دست دادن سهم بازار می شود. لذا امروزه پرداختن به مسائل کیفیت و تولید با کمترین خطا و منطبق با نیاز مشتریان از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین خاطر ابزارهای بهبود کیفیت و جلوگیری از خطاها جایگاه ویژه ای در سازمان های تولیدی و خدماتی پیدا کرده است. در این میان، استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی (FMEA)^۱ نقش مهمی در شناسایی خطاهای بالقوه و پیشگیری از بروز آنها دارد. تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه یک تکنیک تحلیلی و متکی بر قانون پیشگیری قبل از وقوع است که برای شناسایی عوامل بالقوه خرابی به کار می رود و یک ابزار نظام یافته بر پایه کار تیمی است که در تعریف، شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، حذف یا کنترل حالات، علل و اثرات خطاهای بالقوه در یک سیستم، فرایند، طرح یا خدمت پیش از آنکه محصول یا خدمت نهایی بدست مشتری برسد به کار گرفته می شود. به بیان دیگر تجزیه و تحلیل حالات بالقوه یک روش تحلیلی در ارزیابی ریسک است که می کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می شود و همچنین علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و امتیازدهی کند. توجه به این تکنیک بر بالا بردن ضریب امنیت و در نهایت رضایت مشتری از طریق پیشگیری از وقوع خرابی است و تجزیه و تحلیل حالات بالقوه ابزاری است که با کمترین ریسک برای پیش بینی مشکلات و نقص ها در مراحل طراحی و توسعه فرآیندها و خدمات در سازمان به کار می رود. یکی از عوامل موفقیت تجزیه و تحلیل حالات بالقوه زمان اجرای آن است. تجزیه و تحلیل حالات بالقوه اگر درست و به موقع اجرا شود، فرآیندی زنده و همیشگی است. یعنی هر زمان که قرار است تغییرات زیادی در طراحی محصول و یا فرآیند تولید و یا مونتاژ انجام گیرد باید به روز شود و لذا همواره ابزاری

^۱ . Failure Mode and Effect Analyses

پویا است که در چرخه بهبود مستمر به کار می رود. هدف از اجرای تجزیه و تحلیل حالات بالقوه جستجوی تمام مواردی است که باعث شکست یک محصول یا فرآیند می شود قبل از اینکه آن محصول به مرحله تولید برسد و یا فرآیند تولید شود. این تکنیک به تنهایی مسائل و مشکلات را برطرف نمی کند بلکه باید در کنار سایر تکنیکهای حل مساله مورد استفاده قرار گیرد. تجزیه و تحلیل حالات بالقوه به عنوان یک ابزار، یکی از کارآ ترین روشهای کم ریسک برای پیش بینی مشکلات و تشخیص موثر ترین و کم هزینه ترین راه حل های پیشگیری از آن مشکلات است. به عنوان یک روش، تجزیه و تحلیل حالات بالقوه یک مسیر سازمان یافته برای ارزیابی و به روز آوری توسعه طراحی و فرآیند برای تمام سازمان ها می باشد. این تکنیک می تواند برای ایجاد ارتباط و نگهداری از سایر مدارک موجود در سازمان مورد استفاده قرار گیرد. تجزیه و تحلیل حالات بالقوه در مرحله طراحی، فرآیند یا خدمت آغاز می شود و در مدت زمان طول عمر محصول نگهداری می شود. کلیه تغییراتی که در طول این مدت رخ داده و کیفیت و قابلیت اطمینان محصول را تحت تاثیر قرار می دهد می بایستی در تجزیه و تحلیل حالات بالقوه ارزیابی و مستند شود.

در یک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه معمولی برای هر حالت شکست سه عامل شدت خطا¹ (S)، احتمال وقوع خطا² (O) و احتمال شناسایی خطا³ (D) در نظر گرفته می شود. به طور سنتی ارزیابی حالات شکست در تجزیه و تحلیل حالات بالقوه توسط محاسبه عدد اولویت ریسک⁴ (RPN) که از ضرب سه عامل شدت خطا، احتمال وقوع خطا و احتمال شناسایی خطا است بدست می آید. در این روش اشکالات متعددی وجود دارد که در طی زمان به وجود آن ها پی برده شده است. یکی از اشکالات این روش نادیده گرفتن آیتم هزینه است که ما در این تحقیق به بررسی این مورد می پردازیم. در روش سنتی با توجه به اینکه عدد اولویت ریسک با دادن عدد بدست می آید و این روش

-
1. Severity
 2. Occurance
 3. Detection
 4. Risk Proiority Number

مبهم و نادقیق است به همین دلیل با استفاده از منطق فازی سعی در برطرف کردن این مشکل شده است.

۱-۲- بیان مساله

کاهش هزینه های بی کیفیتی یک هدف مهم در همه سیستم های تولیدی و خدماتی محسوب می شود چرا که این موضوع موجب ارتقاء شاخص های مهمی از قبیل افزایش رضایتمندی و وفاداری مشتریان و کاهش هزینه های خدمات پس از فروش می شود. در همین راستا یکی از ابزارهای مهم جلوگیری از هزینه های بی کیفیتی عبارتست از تحلیل حالات بالقوه خرابی و تاثیر آنها (FMEA). معرفی و بکارگیری تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه به سال ۱۹۶۰ بر می گردد و رویکرد آن شناسایی حالات بالقوه خرابی و برنامه ریزی جهت پیشگیری از وقوع آنهاست. لذا اولین گام در تجزیه و تحلیل حالات بالقوه، شناسایی خرابی بالقوه و یا شناخته شده در یک سیستم می باشد. پس از این مرحله، باید هر حالت برای علل و اثرات آن ها ارزیابی شوند.

تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی متدلوژی یا روشی است سیستماتیک که به دلایل زیر به کار می رود:

- شناسایی و اولویت بندی حالات بالقوه خرابی در یک سیستم، محصول، فرآیند و یا سرویس.
- تعریف و اجرای اقداماتی به منظور حذف و یا کاهش میزان وقوع حالات بالقوه خرابی.
- ثبت نتایج تحلیل های انجام شده به منظور فراهم کردن مرجعی کامل برای حل مشکلات در آینده. (دبیری، ۱۳۸۸).

به طور سنتی ارزیابی حالات شکست در FMEA توسط محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN) انجام شده است که عبارت اند از :

✓ شدت اثر (S)

✓ احتمال وقوع خطا (O)

✓ احتمال تشخیص (D)

اندازه گیری هریک از موارد فوق با عددی بین ۱ تا ۱۰ انجام شده و نهایتاً از ضرب آن ها عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ بدست می آید که به آن عدد اولویت ریسک یا شاخص اولویت بندی (RPN) گفته می شود. بر اساس اولویت بندی اعداد بدست آمده بحرانی ترین قسمت سیستم بدست می آید. در این روش که به FMEA سنتی معروف است اساس کار بر فکر و ذهن انسان است، لذا با یک مفهوم مبهم و نادقیق مواجه می باشیم که نمی توان یک مقدار کمی دقیق برای پارامترهای سه گانه در نظر گرفت. به عبارت دیگر نسبت دادن عددی بین ۱ تا ۱۰ به هریک از عوامل موثر در ریسک پذیری برای تیم تخصصی مشکل است و معمولاً اختلاف نظر محسوسی در محاسبات بوجود می آید. به عنوان مثال دو حادثه متفاوت برای مقادیر O، S و D برابر با (۳،۴،۵) و (۵،۶،۲) هر دو مقدار RPN یکسان بدست می دهند اما واضح است که این دو حادثه دارای ریسک نهفته متفاوتی می باشند. در نتیجه در استفاده از این روش در طی زمان اشکالاتی به این روش وارد آمده که عبارت اند از:

❖ عدم توجه به ارتباط و وابستگی بین سه پارامتر اصلی O، S و D و عدم وزن دهی به

آن ها. (Braglia، Frosolini، Montanari (2003)).

❖ بدست آمدن عدد RPN یکسان برای ترکیب های مختلف سه عدد O، S و D با مفهوم های

مختلف. (Sharma, r, k. Kumar, D. Kumar, p. (2005)).

❖ مشکل بودن تخمین و ارزیابی دقیق سه پارامتر اصلی روش. (Chen, L.H. Ko, W.C. (2009)).

❖ مبنای مختلف برای تخصیص یک عدد به سه فاکتور اصلی. (Chang, C.L. Wei, C.C. (1999) Lee, Y.H.

❖ عدد بدست آمده از RPN تنها متاثر از سه فاکتور اصلی بوده و سایر عوامل را در نظر

نمی گیرد. (Zammori, F. Gabbrielli, R. (2011)).

❖ نادیده گرفتن عوامل هزینه و سودآوری. (Afshin Jamshidi, Samira Abbasgholizadeh,)

(Daoud Ait-Kadi, Angel Ruiz) (2015).

در مدل های ارائه شده از سال ۱۹۹۵ به بعد سعی شده است که این مشکلات تا حدود زیادی رفع شده و روش FMEA اصلاح شود که می توان روش های اصلاحی به کار برده شده را به ۵ دسته تقسیم کرد:

(I) روش های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM). (Franceschini.F, Galletto.M) (2001).

(II) برنامه ریزی ریاضی (MP). (Chang,D.S, Sun,K.L.P) (2009).

(III) هوش مصنوعی (AI). (Pelaew,C.E, Bowles,J.B) (1996).

(IV) روش های ترکیبی. (Kutlu,A.C, Ekmekciog.M) (2012).

(V) سایر نگرش ها شامل (cost based model و MCS) (Dong.C) (2007).

باتوجه به ایرادات عنوان شده درخصوص مدل سنتی FMEA، در این تحقیق با بهره گیری از اصلاحات مورد نیاز، به توسعه این مدل در حالت چند صفته پرداخته و در این میان از تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره به ارائه متدولوژی شناسایی و ارزیابی حالات بالقوه خرابی پرداخته می شود. در این تحقیق با لحاظ آیت مهم هزینه در حالات بالقوه خرابی و همچنین در راستای کاهش نقاط ضعف عنوان شده درخصوص FMEA در نظر است تا یک رویکرد جدید مبتنی بر تحلیل حالات بالقوه خرابی چند صفته در شرایط فازی برای شناسایی و رتبه بندی حالات بالقوه خرابی ارائه شود. بنابراین یک نگرش چند خصیصه ای بر مبنای تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) که جنبه های FMEA ابتدائی و ملاحظات اقتصادی را در نظر می گیرد، با پیروی از این رویه که تجزیه و تحلیل حالات خرابی چند خصیصه ای (MAFMA)^۲ نامیده می شود یک درجه بندی نهائی برای هر حالت

¹. Analytic Hierarchy Process

². Multi attribute failure mode analysis

خرابی بدست می آید (برگلیا، ۲۰۰۰). روش تحلیل حالات خرابی چند صفته به این دلیل انتخاب می شود که با استفاده از تکنیک AHP قادر خواهیم بود هریک از عوامل و زیر معیار های آن ها را با استفاده از نظرات خبرگان در شرایط فازی وزن دهی کنیم. همچنین AHP در مسائل پیچیده ای که می بایست ابعاد کمی و کیفی در نظر گرفته شوند یک ابزار تصمیم گیری چند معیاره قوی و انعطاف پذیر است. همچنین به منظور پوشش دادن نقاط ضعف موجود در تکنیک سنتی FMEA از متغیرهای زبانی و منطق فازی استفاده می شود.

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

کیفیت محصول همیشه یکی از مسائل مهم و قابل توجه برای مصرف کنندگان بوده است. از این رو تولید کنندگان برای کسب بازار فروش و رضایت متقاضیان و شهرت خود باید بکوشند همیشه محصولات با کیفیت بالا تولید کنند. از طرفی حفظ شهرت و توانایی رقابت تولیدکنندگان در عرصه جهانی مستلزم برنامه ریزی مناسب برای کنترل و ارزیابی مداوم کیفیت مورد درخواست متقاضیان در ارتباط با شاخص های کیفیت جدید است. همچنین ارتباط هر چه بیشتر متقاضیان و همزمان با آن پایین آوردن هزینه های تولید و نهایتاً کاهش قیمت از عوامل مهم و موفقیت آمیز برای تولید کنندگان است.

در فرآیند تولید قطعات، تجهیزات و ماشین آلات صنعتی پس از طراحی انتخاب مواد اولیه مناسب، به گونه ای که بتواند نیاز ها و توقعات مورد نیاز مشتریان از لحاظ شرایط زمانی و محیط کاری مختلف را برآورده سازد، در مرحله بعد انتخاب فرآیند تولید مناسب و شرایط بهینه محیط کاری از لحاظ تاثیر عوامل خارجی بر کیفیت محصول به منظور تولید محصول مورد نظر مشتری ضروری است. سرانجام بررسی و کنترل محصول برای کسب اطمینان لازم در مورد سالم بودن و عدم وجود عیوب زیان بخش در آن برای جلوگیری از شکست زودرس، که در مواردی می تواند عواقب ناگواری را به دنبال داشته باشد، بسیار مهم و قابل توجه است.

این بررسی و کنترل کیفیت باید در حین فرآیند تولید برای شناسایی عیوب ناشی از شرایط نامناسب تولید، اعم از عوامل تکنولوژیکی و عوامل خارجی، به صورت مداوم انجام گیرد. این کنترل ضمن اینکه می تواند به افزایش کیفیت کمک کرده و از به هدر رفتن مواد اولیه جلوگیری کند سبب کاهش مقدار ضایعات، مصرف انرژی، نیروی انسانی، هزینه های تولید و نهایتاً قیمت تمام شده کالا می شود.

عرضه محصولات با کیفیت برتر و ارائه خدمات به مشتریان در سطح عالی به طور مستمر موجب ایجاد مزیت های رقابتی برای شرکت از قبیل:

- ایجاد موانع رقابتی.
- وفاداری مشتریان: شرکت هایی که به ایجاد وفاداری مشتریان توجه دارند اهمیت حفظ یک مشتری را در ماورای هر خرید در نظر می گیرند. آنها مشتریان را دارایی های ارزشمندی می دانند و از تمام کارمندان خود می خواهند که برای راضی نگاه داشتن و در نتیجه وفادار شدن یا وفادار ماندن مشتریان هرکاری انجام دهند.
- محصولات متمایز.
- کاهش هزینه های بازاریابی: ارائه خدمات به مشتریان ممکن است هزینه های بازاریابی و فروش چشمگیر را به سه دلیل کاهش دهد. اول اینکه هزینه به دست آوردن یک مشتری جدید می تواند تا پنج برابر هزینه حفظ یک مشتری کنونی باشد. دوم اینکه مشتریان راضی می توانند به علت توصیه به فامیل، دوستان و همسایه ها بهترین منبع آگهی باشند. دلیل سوم برعکس دلیل قبلی است. مشتریان ناراضی می توانند یک کسب و کار را نابود کنند.
- قیمت بالاتر (روستا و همکاران، ۱۳۹۰).

اهمیت تجهیزات پزشکی و پیشرفت روزافزون فن آوری های مرتبط و تأثیر اساسی آن در نظام سلامت کاملاً مشخص و مشهود است. بطوریکه امروزه دستاورد متخصصین علوم پزشکی مرهون

بکارگیری این فن آوری در پیشگیری، تشخیص، تسکین و درمان بیماریها می باشد. همچنین از نقطه نظر اقتصاد درمان، تجهیزات پزشکی نیز جایگاه ویژه ای داشته و بخش عمده ای از سرمایه مراکز درمانی و موسسات پزشکی صرف تجهیز، نگهداشت و نوسازی تجهیزات پزشکی می گردد. انتخاب و تخصیص تجهیزات پزشکی باید متناسب و منطبق با نیازهای واقعی مراکز درمانی، اهداف کلینیکی، نیروی انسانی لازم و شرایط مورد نیاز جهت تأمین ایمنی باشد. این مهم در صورتی تحقق خواهد یافت که یک برنامه مدون و منسجم جهت مدیریت تجهیزات پزشکی در سطح مراکز درمانی کشور طراحی و بعنوان ضابطه و سیاست اصلی سرلوحه برنامه های مسئولین ذیربط قرار گیرد. با توجه به اهمیت کیفیت در فرایند تجهیزات پزشکی و در دیگر صنایع، ابزارهای مختلفی در بالا بردن کیفیت وجود دارد که در این بین یکی از ابزارهای مورد استفاده تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی است.

۱-۴- سوالات تحقیق

سوال اصلی تحقیق عبارتست از:

چگونه می توان مسائل در فرایند تولید تجهیزات پزشکی را با استفاده از رویکرد تحلیل حالات بالقوه

خرابی چند صفته (MAFMA) در شرایط فازی رتبه بندی نمود؟

به منظور یافتن پاسخ سوال اصلی تحقیق، می بایست سوالات فرعی تحقیق به شرح ذیل را پاسخ داد:

- I. مراحل فرآیند تولید ساخت تجهیزات پزشکی مورد مطالعه کدام است؟
- II. مهمترین مسائل و علل خرابی در فرایند ساخت تجهیزات پزشکی کدام است؟
- III. چگونه می توان با استفاده از تکنیک AHP گروهی امتیاز هریک از پارامترهای MAFMA را برای علل خرابی مشخص نمود؟
- IV. چگونه می توان تحلیل حالات بالقوه خرابی چندصفته را در شرایط فازی انجام داد؟
- V. مهمترین مسائل از منظر شدت کدام موارد است؟
- VI. مهمترین مسائل از منظر احتمال وقوع کدام موارد است؟
- VII. مهمترین مسائل از منظر احتمال کشف کدام موارد است؟
- VIII. مهمترین مسائل از منظر هزینه کدام موارد است؟
- IX. رتبه بندی مسائل با توجه به تجمیع ۴ آیتم اخیر چگونه می باشد؟

۱-۵- اهداف تحقیق

با توجه به سؤالات تحقیق؛ اهداف تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر عنوان کرد:

هدف اصلی: شناسایی و رتبه‌بندی مسائل فرآیند تجهیزات پزشکی با استفاده از رویکرد تحلیل حالات بالقوه خرابی چند صفته در شرایط فازی.

اهداف فرعی نیز عبارت‌اند از :

- I. مراحل فرآیند ساخت تجهیزات پزشکی.
- II. شناسایی مسائل و علل خرابی در فرآیند ساخت تجهیزات پزشکی.
- III. امتیازدهی هریک از مسائل با استفاده از تکنیک AHP گروهی.
- IV. تحلیل حالات بالقوه خرابی چند صفته در شرایط فازی.
- V. مهمترین مسائل از منظر شدت.
- VI. مهمترین مسائل از منظر احتمال وقوع.
- VII. مهمترین مسائل از منظر احتمال کشف.
- VIII. مهمترین مسائل از منظر هزینه.
- IX. رتبه‌بندی مسائل با توجه به تجمیع ۴ آیت‌م‌خیر.

۱-۶- قلمرو تحقیق

قلمرو موضوعی تحقیق عبارتست از شناسایی و رتبه بندی مسائل فرآیند تجهیزات پزشکی با استفاده از رویکرد تحلیل حالات بالقوه خرابی چند صفته در شرایط فازی. این تحقیق در شرکت صنایع پزشکی فارمد به عنوان مطالعه موردی انجام می شود. شرکت صنایع پزشکی فارمد در شهریور ماه ۱۳۸۴ با هدف اصلی تولید تجهیزات دیالیز و سایر تجهیزات پزشکی مطابق با تکنولوژی روز و استانداردهای جهانی به ثبت رسید. پس از برنامه ریزی و امکان سنجی اولویت های تولید محصولات، این مجموعه از سال ۱۳۹۱ فعالیت خود را در شهرک صنعتی اشتهارد آغاز کرد. گستره فعالیت این شرکت تولید تجهیزات، اشکال و ملزومات دارویی تعریف شده است. شرکت فارمد دومین عضو کنسرسیوم دیالیز ایران است که عمده توان خود را برای تولید محصولات مصرفی دیالیز، و تولید برخی کالاهای پزشکی مانند همو دیالیز و کیسه خون صرف می کند. این شرکت با استفاده از دانش و تجربیات شرکت های پیشرو در جهان و به کارگیری آخرین فناوری های روز، همواره برای ارتقای کیفی محصولات گام بر می دارد. محصولات فارمد با استفاده از مواد اولیه مرغوب تولید می شود و از استاندارد سیستم مدیریت کیفیت ISO 13485 بهره مند است. شرکت صنایع پزشکی فارمد در جایگاه یک نهاد تولیدی و تحقیقاتی با ظرفیت قابل اتکا، علاوه بر سرمایه گذاری و جلب مشارکت شرکتهای پیشتاز خارجی در توسعه مدیریت مشارکتی و ارتقاء سطح علمی و فنی کارکنان، ارتباط مؤثری با سایر نهادهای مرتبط دارد و به این ترتیب طرح ها و پروژه ها را به انجام می رساند. پایبندی بر این خط مشی و تحقق اهداف مورد اشاره، مستلزم بهره مندی از سیستمهای مدیریتی است که با گامهای زیر محقق می شود:

- بهبود مستمر در رفتار سازمانی
- جلب رضایت مشتریان
- آموزش موثر پرسنل

- ایجاد بستر و فرهنگ مدیریت مشارکتی

- برقراری محیط کار سالم و ایمن

- افزایش بهره‌وری

ماموریت این واحد، تولید دانش و به‌کارگیری فناوری‌ها، برای تولید کالایی برتر است که به موازات آن کاربرد فناوری برتر و بهره‌وری بیشتر از عوامل تولید نیز فراهم می‌شود. به‌این ترتیب کلیه کوشش‌های تحقیقاتی برای تحقق مقاصد زیر است:

- ارتقای کیفیت محصول

- طراحی محصولات و تجهیزات جدید

- توسعه فناوری‌ها و تجهیزات

- جذب و انتقال دانش فنی

- بهینه سازی فرایندها

- بهبود شیوه‌های تولید و بهره‌وری

- پیشرفت در فن‌آوری و روش‌های درمانی

- کمک به ایجاد استانداردهای آینده

در این تحقیق به بررسی فرآیند ساخت محصول محلول همودیالیز پرداخته می‌شود و خرابی‌های بالقوه این فرایند را بررسی می‌کنیم و به رتبه بندی آن‌ها می‌پردازیم. همچنین قلمرو زمانی تحقیق عبارت است از مهرماه ۱۳۹۵ تا شهریور ماه ۱۳۹۶.

۷-۱- موارد کاربرد تحقیق

تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در هریک از شرایط زیر به کار می رود:

- زمانی که سیستم جدیدی طراحی می شود، محصول جدید تولید می شود و یا فرایند جدید صورت می گیرد.
- زمانی که قرار است طرح های موجود و یا فرآیند تولید یا مونتاژ تغییر کند.
- زمانی که فرآیندهای تولید یا مونتاژ و یا یک محصول در محیطی جدید و یا شرایط کاری جدید قرار می گیرد.
- برنامه های بهبود مستمر.

تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی تکنیک پیشگیری قبل از وقوع حادثه است به همین دلیل استفاده از تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در مراحل مختلف موجب کاهش نرخ خرابی محصول می شود.

FMEA در حال حاضر بیشترین کاربرد را در موارد زیر دارد:

- طراحی سیستم ها و زیر سیستم ها از ابتدایی ترین مراحل.
- طراحی قطعات جدید و یا اعمال تغییرات در طرح های جاری.
- طراحی و یا توسعه فرآیندهای اولیه یا مونتاژ.
- طراحی و یا توسعه فعالیت ها و ارائه خدمات.
- طراحی ماشین آلات.

۸-۱- تکنیک و روش تحقیق

هدف از این تحقیق، استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی چند صفته برای جلوگیری از حالات خرابی در فرایند تولید می باشد. لذا تحقیق حاضر به لحاظ ماهیت یک تحقیق کاربردی محسوب می شود. روش جمع آوری داده ها در مراحل اولیه از نوع مطالعه کتابخانه ای می باشد. جهت شناسایی عوامل بالقوه خرابی از روش مصاحبه باز استفاده شده و در مرحله نهایی به منظور تعیین امتیازات مربوط به احتمال رخداد علل، احتمال شناسایی و کشف، شدت اثر و عوامل زیرمجموعه و سایر موارد مشابه از نظر خبرگان و بصورت مقایسه زوجی استفاده می گردد. در این راستا به دلیل اینکه پارامترها در قالب اعداد قطعی بیان می گردند و استفاده از اعداد قطعی برای اینگونه پیش بینی ها از دنیای واقعی دور است و از طرفی افراد خبره از شایستگی ها و توانایی های ذهنی خود برای پیش بینی استفاده می نمایند که این نشان دهنده عدم قطعیت آن است به همین دلیل از منطق فازی استفاده می کنیم.

۱-۸-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

AHP در مسائل پیچیده ای که می بایست ابعاد کمی و کیفی در نظر گرفته شوند، یک ابزار تصمیم گیری چند معیاری قوی و انعطاف پذیر است. AHP به تحلیل گران کمک می کند تا با کاهش تصمیمات پیچیده به یک سری از مقایسه ها و رتبه بندی های ساده و سپس تلفیق نتایج ابعاد بحرانی یک مسئله در یک ساختار سلسله مراتبی، شبیه یک شجره نامه سازماندهی کنند (براگلیا، ۲۰۰۰). این تکنیک نه تنها به تحلیل گران در رسیدن به بهترین تصمیم کمک می کند بلکه یک منطق روشن برای ایجاد انتخاب ها را فراهم می نماید.

۱-۸-۲- منطق فازی

منطق فازی اولین بار در پی تنظیم نظریه مجموعه های فازی به وسیله پروفیسور لطفی زاده (۱۹۶۵ م) در صحنه محاسبات نو ظاهر شد. واژه فازی به معنای غیردقیق، ناواضح و مبهم (شناور) است در واقع

آن دسته از مجموعه هایی هستند که اعضای آنها دقیق و مشخص نیستند. دکتر عسگرزاده برای تجزیه و تحلیل این مجموعه ها، به هر یک از اعضای چنین مجموعه هایی عددی از بازه (۰ و ۱) به عنوان درجه عضویت آن عضو در آن مجموعه نسبت داده است.

اگر U مجموعه مرجعی باشد که هر عضو آن با x نمایش داده شود، مجموعه فازی در U بوسیله

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$$

زوجهای مرتبی به صورت زیر بیان می شود:

که $\mu_A(x)$ تابع عضویت و یا درجه عضویت می باشد و میزان تعلق x به مجموعه فازی A را نشان می دهد و برد این تابع اعداد حقیقی غیر منفی می باشد که یک مقدار ماکزیمم دارد و در حالت نرمال به صورت فاصله بسته (۰ و ۱) در نظر گرفته می شود. این درجه عضویت اصل بنیادی مجموعه های فازی محسوب می گردد و هیچ روش قطعی برای تعیین تابع عضویت وجود ندارد و این مسئله بیش از همه یک مقوله حسی و تجربی می باشد. یک مجموعه فازی نرمال محدب مانند A با دامنه اعداد حقیقی R یک عدد فازی حقیقی است اگر تنها یک $x_0 \in R$ وجود داشته باشد که $\mu(x_0) = 1$ و تابع عضویت $\mu_A(x)$ یک تابع پیوسته باشد

۱-۸-۳- تکنیک AHP فازی

در سال ۱۹۹۲ روشی با عنوان روش تحلیل توسعه ای توسط چانگ ارایه گردید. بعدها به سال ۱۹۹۶ این روش توسط خود وی بهبود بخشیده شد. روش گسترش یافته چانگ بیش از همه روش های دیگر برای محاسبات تحلیل سلسه مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته است. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. چانگ جهت تعمیم تکنیک AHP به فضای فازی از مفهوم درجه امکانپذیری استفاده کرده است. منظور از درجه امکانپذیری آن است که مشخص شود چقدر احتمال دارد یک عدد فازی بزرگتر از یک عدد فازی دیگر باشد.

۱-۸-۴ - مراحل روش AHP فازی

مرحله ۱: رسم نمودار سلسله مراتبی

مرحله ۲: تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسات زوجی

مرحله ۳: تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

مرحله ۴: محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

مرحله ۵: محاسبه S_i درجه بزرگی S_i نسبت به همدیگر.

مرحله ۶: محاسبه S_i وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس مقایسات زوجی.

مرحله ۷: محاسبه وزن بردار نهایی.

مراحل تحقیق در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: مراحل تحقیق

۱-۹ - ساختار نگارش تحقیق

این پایان نامه مشتمل بر پنج فصل می باشد. در فصل اول به معرفی مختصر مساله مورد بررسی و تکنیک مورد استفاده پرداخته شد. همچنین در این فصل اهمیت و ضرورت تحقیق، سوالات و اهداف تحقیق، قلمرو تحقیق، و موارد کاربرد تحقیق آورده شده است. در فصل دوم به بیان مبانی نظری و همچنین پیشینه تحقیق در حوزه تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی پرداخته شده است. در فصل سوم معرفی کامل تکنیک FMEA و مدل پیشنهادی آمده است. یافته های تحقیق و نتایج حاصل از بکارگیری مدل و تکنیک پیشنهادی نیز در فصل چهارم تشریح می شود. در نهایت نتیجه گیری و پیشنهادات برای مطالعات بعدی نیز در فصل پنجم آمده است.

فصل ۲- مرور ادبیات

۲-۱- مقدمه

روش FMEA برای اولین بار در ارتش آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است. استاندارد نظامی - MIL STD-1629 با عنوان (روش آنالیز عیب، تأثیرات مربوط و میزان اهمیت آن) در نهم نوامبر ۱۹۴۹ انتشار یافت. در قالب این استاندارد خطاها یا اشکالات پیش آمده به تأثیرگذاری آنها در هدف غایی و میزان ایمنی پرسنل یا تجهیزات طبقه بندی می شوند. می توان ادعا کرد که کلیه مهندسين در تجزیه و تحلیل، طراحی و فرآیندهای ساخت و تولید خود، همواره به طور ناخودآگاهانه ای نوعی تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی را به کار می برند. ولی معمولاً در روش اجرای آن، مسائل به طور همه جانبه در نظر گرفته نمی شود. و از شکل و سازماندهی لازم نیز برخوردار نیست و لذا تعهدی برای کسی ایجاد نمی کند. اولین کاربرد رسمی این تجزیه و تحلیل تحت عنوان تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در صنایع هوا فضاى ایالات متحده در اواسط دهه ۱۹۶۰ مشاهده شده است. این روش برای سفینه آپولو ۱۱ در ناسای آمریکا استفاده شد. در آن زمان تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی به عنوان یک نوآوری و ابتکار برای پیشگیری از اشتباهات و خطاهای جبران ناپذیر مطرح گردید که وقوع هر یک از آنها باعث خسارات هنگفت و اتلاف سرمایه فوق العاده زیاد می شد. در دهه ۱۹۷۰ روش تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی برای موسسات اتمی و در سال ۱۹۷۷ برای صنایع خودروسازی به کار گرفته شد. بررسیهای به عمل آمده در صنایع خودروسازی نشان می دهد با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی می توان از وقوع بسیاری از خطاها و اشتباهات در طراحی و تولید محصول جلوگیری به عمل آورد.

۲-۲- مبانی نظری

۲-۲-۱- معنی و مفهوم FMEA

FMEA از چهار حرف اول کلمات به کار برده شده در عبارت لاتین تشکیل شده است:

Failure Mode and Effect Analyses

Failure: ریشه این لغت کلمه Fail است و معانی به کار برده شده برای آن بر اساس واژه نامه آکسفورد عبارتند از: ناموفق بودن در انجام کاری، ضعیف، ناکافی و نا موثر بودن. در فرهنگ آریان پور نیز تعبیر متنوعی از این لغت شده است که عبارتند از: شکست خوردن و رد شدن، قصور ورزیدن، عقیم ماندن و به طور کلی منظور از Failure عبارت است از: عدم تحقق آنچه از قبل خواسته شده است.

Mode: از این کلمه به معنای روشی که چیزی یا کاری بر طبق آن انجام می شود استفاده می گردد.

Effect: تغییر ایجاد شده به علت انجام یک عمل، نتیجه، پیامد، اثر، کار موثر و اجرا کردن از جمله معانی این کلمه هستند.

Analysis: عبارتست از شکستن چیزی به اجزای متشکله برای شناسایی یا مطالعه ساختار آن که معنای عام تجزیه و تحلیل برای آن به کار برده شده است.

با توجه به آنچه که ذکر شد ترجمه تحت اللفظی FMEA عبارتست از: تجزیه و تحلیل انواع نقص و اثرات آن. با توجه به اینکه واژه خطا برای بیان: عدم تحقق آنچه از قبل خواسته شده مناسب است و از سوی دیگر در روش FMEA مفهوم امکان یا پتانسیل نهفته است می توان ترجمه مناسب FMEA را چنین بیان نمود: تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی و اثرات آن.

تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی به بیانی ساده روشی پیشگیرانه جهت جلوگیری یا کاهش احتمال بروز خطا است. خطاهایی که به واسطه طراحی محصول و نیز خطاهایی که در طی فرایند تولید یک محصول ممکن است بروز کند. طبعاً احتمال بروز هر خطا و اثرات ناشی از آن متفاوت است و بر همین اساس حساسیت و اولویت ها در برخورد با آن خطاها متفاوت خواهد بود. تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی یک رویداد سیستماتیک برای آینده نگری در امر طراحی و تولید است. و به جای نگاه به گذشته و تجزیه و تحلیل مشکلات به وجود آمده در طراحی و فرایند تولید محصول، تجزیه و

تحلیل حالات بالقوه خرابی روی به آینده دارد و در پیش بینی، شناسایی، بررسی و تجزیه و تحلیل و طبقه بندی خطاهایی که وقوع آن محتمل است و نتایج ناشی از بروز خطاهای بالقوه ای که می تواند اثرات نامطلوبی برای مشتری اعم از مصرف کننده نهایی محصول، یا واحد مونتاژ یا تولید کننده بعدی در بر داشته باشد مهم است.

۲-۲-۲ اهداف FMEA

یکی از تعهدات و مسئولیت های کلیه شرکت ها و سازمان ها بهبود مستمر کیفیت محصولات و خدمات می باشد. برای نیل به این تعهدات نیز هر سازمانی باید از روش های نظام یافته ای استفاده نماید به طوری که اولاً خطاها، نواقص و خرابی هایی که در محصول به صورت نهفته یا آشکار وجود دارد شناسایی شود، و ثانیاً با اتخاذ تدابیر صحیح در صدد حذف آنها برآید. این مهم در قالب روش نظام یافته تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی تحقق می یابد.

به طور کلی می توان تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی را مجموعه ای از فعالیت های نظام یافته تلقی نمود که اهداف زیر را دنبال می کند:

- شناسایی خطاها، نواقص، و خرابی هایی که در طراحی محصول یا فرایند تولید به صورت بالقوه و بالفعل وجود دارند.
- برآورد اثرات و ارزیابی نتایج حاصل از وقوع هر یک از عوامل فوق.
- شناسایی و انجام اقداماتی که توسط آن بتوان احتمال وقوع هر یک از عوامل فوق را کاهش داد و در نهایت به صفر رساند.
- شناسایی و انجام اقداماتی که توسط آن بتوان میزان شدت و وخامت نتایج حاصله از خطاها را تا حد ممکن کاهش داد.
- شناسایی و انجام اقداماتی که توسط آن بتوان قابلیت کشف خطا، قبل از رسیدن محصول به مشتری را افزایش داد.
- مستند سازی امور طراحی و فرایند تولید محصول.

۲-۲-۳- ویژگی های FMEA

یکی از مهمترین ویژگی های تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی مسئله شاخص بودن این تکنیک است. این خصوصیت به معنای انجام عملی پیشگیرانه قبل از وقوع حادثه است نه بعد از آن و در واقع بالاترین حسن تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در صورت انجام صحیح آن نیز همین مسئله است. چرا که در صورت وقوع حادثه ناگوار معمولاً مبالغ هنگفتی صرف بر طرف نمودن اشکالات و خرابی های به وجود آمده می شود. و چنانچه آن حادثه به علت وقوع خطایی در مرحله طراحی حادث شده باشد میزان خسارت وارده به حداکثر خواهد رسید. برای حصول بیشترین بازده باید قبل از اینکه عامل خطای طراحی یا عامل خطای فرآیند وارد محصول شود، تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی اجرا شود. به ازای زمان و هزینه ای که صرف اجرای کامل تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی می شود این امکان به وجود می آید که هرگونه تغییر و اصلاح در طراحی محصول و فرآیند را به سادگی و با صرف حداقل هزینه اعمال نمود. در واقع تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی مسائل و مشکلات ناشی از اعمال این تغییرات را به حداقل می رساند. تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی باعث کاهش دوباره کاری ها و اقدامات اصلاحی که معمولاً هر یک مسائل دیگری به همراه دارند می شود. نکته دیگری که می توان به عنوان ویژگی تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی مطرح نمود خاصیت تعاملی بودن آن است. تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی روشی پویا است که دائماً باید در حال اجرا باشد. بنابراین فرایندی نیست که با یک بار اجرا و به صورت مقطعی پایان پذیرد. این فرایند همراه با سایر فعالیت های شرکت به صورت وظیفه جاری اعضای شرکت در می آید و همراه با طراحی محصولات جدید و تغییر فرایند تولید، به هنگام می شود. همچنین حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی روش نظام یافته ای است که اولاً خطاها و نواقص و خرابی هایی که در سیستم، محصول و فرآیند به صورت نهفته و آشکار وجود دارند شناسایی نموده و ثانیاً با اتخاذ تدابیر صحیح درصدد حذف آن ها بر می آید. بدینوسیله از تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی می توان به عنوان یکی از ابزارهای بهبود مستمر کیفیت محصولات و خدمات در شرکت ها نام برد.

۲-۲-۴ - مسئولیت اجرایی FMEA

روش تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی به گونه ای است که اجرای آن باید به صورت گروهی انجام شود. در واقع تیمی که حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی را ایجاد و اجرا می کند باید از بهترین مهندسين و کارشناسان خبره ای تشکیل شود که در اموری مثل طراحی، ساخت و تولید، مونتاژ، خدمات پشتیبانی، تعمیر و نگهداری، کنترل کیفیت و قابلیت اطمینان، تخصص و تجربه داشته باشد. در واقع گلچینی از متخصصین سازمان برای اجرای این تکنیک باید بسیج شوند. اگر چه این کار گروهی است ولی مسئولیت اجرای آن به یک فرد سپرده می شود. فرد مسئول به عنوان هماهنگ کننده کلیه فعالیت های گروه است که نقش رهبری و هدایت تیم حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی را بر عهده دارد. ذکر این نکته ضروری است که مسئول حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی باید از حمایت کافی و جدی بالا ترین مقام اجرایی شرکت بر خوردار باشد. لازم به ذکر است در مورد طراحی های انجام شده توسط پیمانکاران فرعی نیز باید با مسئول حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی مربوطه مشورت شود و به عبارت دیگر باید اطمینان حاصل شود که برای طراحی های انجام شده توسط پیمانکاران فرعی و یا تولیدات محصولات آنها و فرآیندهای مربوطه نیز از حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی استفاده شده باشد.

۲-۲-۵ - نقش ها و وظایف FMEA

حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی روشی است که سه وظیفه مشخص را ایفا می کند:

۱. یک ابزار پیشگیری از مشکلات است.

۲. یک روش توسعه و پیاده سازی طرحها، فرآیندها، یا خدمات جدید است.

۳. یادداشت روزانه طراحی، فرآیند یا خدمت است.

حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی به عنوان یک ابزار، یکی از کارآ ترین روشهای کم ریسک برای پیش بینی مشکلات و تشخیص موثر ترین و کم هزینه ترین راه حل های پیشگیری از آن مشکلات است. به عنوان یک روش، حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی یک مسیر سازمان یافته برای ارزیابی و

به روز آوری توسعه طراحی و فرآیند برای تمام سازمان ها می باشد. این تکنیک می تواند برای ایجاد ارتباط و نگهداری از سایر مدارک موجود در سازمان مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان یک یادداشت یا نوشته حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی در مرحله طراحی، فرآیند یا خدمت آغاز می شود و در مدت زمان طول عمر محصول نگهداری می شود. کلیه تغییراتی که در طول این مدت رخ داده و کیفیت و قابلیت اطمینان محصول را تحت تاثیر قرار می دهد می بایستی در حالات بالقوه تجزیه و تحلیل خرابی ارزیابی و مستند شود.

۲-۲-۶- زمان شروع و تکمیل FMEA

FMEA چه زمانی آغاز می شود؟ در تعریف تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی گفته شد که اعمال این روش رضایت مشتری را افزایش خواهد داد و مشکلات موجود و مشکلاتی را که ممکن است درآینده به وجود آید کاهش داده و بر طرف می کند. به منظور انجام این کار تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی باید هرچه زودتر شروع شود. حتی اگر تمام اطلاعات مورد نیاز موجود نباشد. شعار تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی این است که: **با هر امکاناتی که داری بهترین کاری که می توانی انجام ده.**

تجزیه و تحلیل حالات باقوه خرابی باید به مجرد اینکه یک سری از اطلاعات به دست آمد انجام گردد. معمولاً در هنگام اجرای QFD کسانی که قصد اجرای تجزیه و تحلیل حالات باقوه خرابی را دارند هرگز نباید در انتظار تکمیل و به دست آوردن همه اطلاعات باشند اگر در انتظار چنین مرحله ای باشند تجزیه و تحلیل حالات باقوه خرابی هرگز اجرا نخواهد شد. چرا که امکان تهیه همه اطلاعات و داده ها در ابتدا وجود ندارد. یقیناً با اطلاعات مقدماتی برخی محدودیت های سیستم یا تعاریف طراحی ممکن است توسعه یابد. تجزیه و تحلیل حالات باقوه خرابی باید زمانی آغاز شود که ۱: سیستم طرح محصول، فرآیند تولید محصول و نحوه ارائه خدمات جدید طرح شده باشد. ۲: اجرای سیستم، طرح، فرآیندها و نحوه ارائه خدمات جدید طرح شده باشد. ۳: کاربرد های جدید برای اجرای

سیستم، طرح محصول، فرآیندهای تولید و ارائه خدمات در شرایط موجود به وجود آید. ۴: انجام بهبود هایی در سیستم، طرح ها، فرآیندها و ارائه خدمات ضروری باشد. به خاطر داشته باشید که هدف از انجام تجزیه و تحلیل حالات باقوه خرابی تدوین برنامه بهبود مداوم است. بنابراین تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی می تواند در هر زمانی از شروع طرح محصول تا تحویل کالا به مشتری و ارائه خدمات جانبی صورت گیرد. بعد از این که تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی آغاز شد مدارک مستند شده حفظ خواهند شد. تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در واقع یک ابزار بهینه سازی بوده و علی رغم زمان شروع آن همچنان جهت بهبود، نیاز به اطلاعات دارد. این بهبود همان طور که بارها اشاره شده است می تواند در سیستم، طرح محصول، فرآیندهای تولید و ارائه خدمات به مشتریان انجام شود. این فعالیت به طور مستمر و در حدی که لازم باشد باید انجام شود.

تجزیه و تحلیل حالات باقوه خرابی چه زمانی تکمیل می شود؟ آیا زمانی وجود دارد که تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی کامل و تمام شود؟ بله در صورتی که سیستم، طرح محصول، فرآیند تولید یا ارائه خدمت متوقف یا کامل شود. مشخصاً سیستم تجزیه و تحلیل حالات باقوه خرابی زمانی تکمیل می گردد که تمامی سخت افزارها تعیین شده و طراحی متوقف گردد. طراحی هنگامی تکمیل شده است که تاریخ تولید آغاز شده باشد. و فرایند تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی زمانی تکمیل شده است که تمامی عملیات مشخص و ارزیابی شده و کلیه پارامترهای مهم و بحرانی در برنامه کنترل ذکر شوند. نکته مهم دیگر این که بر اساس توضیحات ذکر شده حتی یک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی کامل نیز تا زمانی که سیستم، طراحی محصول، فرآیند تولید، یا ارائه خدمت وجود دارد ممکن است جهت بازنگری، ارزیابی، بهبود سیستم، طراحی، فرآیند تولید، یا ارائه خدمات مجدداً مطرح شود.

آیا امکان منسوخ یا متروک شدن FMEA وجود ندارد؟ در صورت امکان به چه شکل و چگونه؟
جواب صریح این سؤال مثبت است، بسته به ارتباط بین سازمان و مشتری و تامین کننده، راهبردهای

متفاوتی مطرح می شود. قوانین بین المللی و مشخصی جز آنچه در محدوده قوانین سازمان ها و صنایع تعیین می گردد وجود ندارد برای مثال در صنایع هسته ای سابقه نگهداری از گهواره تا گور است. اما در برخی از راهنما های خودرو تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی باید تا زمانی که یک محصول تولید می شود نگه داری شود به عنوان یک قانون عمومی FMEA: باید برای طول عمر کامل محصول در دسترس باشد.

زمان و طول مدت FMEA: اجرای تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی یک کار زمان بر است اما اگر تمام پارامترها بررسی شود بدیهی است که ارزنده می باشد. قابل توجه است که زمان مشخصی برای تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی وجود ندارد. مدت زمان با توجه به شرایط و اهداف و پیچیدگی پروژه تعیین می شود. یک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی کامل می تواند در یک صفحه مستند گردد و فقط یک ساعت زمان برده باشد بر عکس یک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی با صدها صفحه و یک سال کار نمی تواند ضامن کامل بودن کار باشد.

۷-۲-۲ انواع FMEA و مسئولین آن ها

- ۱- (SYSTEM FMEA) تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در سیستم ها.
 - ۲- (DESIGN FMEA) تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در طراحی.
 - ۳- (PROCESS FMEA) تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در فرآیند تولید.
 - ۴- (SERVICE FMEA) تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در خدمات.
 - ۵- (MACHINERY FMEA) تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی در ماشین ها و دستگاه ها
- (خراسانی، ۱۳۹۵).

SFMEA روشی سیستماتیک است که به منظور تحلیل و بررسی یک سیستم و زیر سیستمهای آن در ابتدایی ترین مراحل طراحی استفاده می شود. SFMEA عموماً بر حالات بالقوه خرابی که می تواند در عملکردهای سیستم رخ دهد تمرکز می نماید. این خرابی ها از وجود نقصان و یا کمبودهایی در طراحی سیستم و یا وجود تقابل نامطلوب بین عملکرد مولفه های سیستم و یا زیر سیستم ناشی می شوند.

SFMEA در برگیرنده مراحل مفهومی، طراحی جزئی، تکوین، آزمایش و ارزیابی سیستم است و بنابراین ابتدایی ترین نوع FMEA می باشد که تکمیل می شود و به بررسی آثار متقابل اجزا و زیر سیستمها بر یکدیگر و یا بر سیستمهای دیگر می پردازد. طرح در این مرحله فرآیند تکاملی دارد و در آن چگونگی استفاده از روشها و تکنولوژی های مختلف برای رسیدن به یک سیستم ایده آل مطرح می باشد. SFMEA اطلاعات اولیه برای اجرای DFMEA خواهد بود. در واقع DFMEA پس از تکمیل SFMEA تهیه می شود و عموماً علل خرابی در SFMEA حالات خرابی در DFMEA هستند. خروجی SFMEA:

- فهرستی از حالات بالقوه خرابی که بر اساس شاخص RPN رتبه بندی شده اند.
- فهرستی از آزمایش هایی که می توانند حالت های خرابی را کشف کند.
- فهرستی از اقدامات پیشنهادی به منظور حذف حالات خرابی، افزایش ایمنی و یا کاهش میزان وقوع.

فواید SFMEA:

- کمک به انتخاب طراحی بهینه سیستم از بین کلیه طرح های پیشنهادی.
- کمک به تعیین سیستم های جبرانی.
- افزایش احتمال مورد توجه قرار گرفتن حالات بالقوه خرابی.
- تعیین حالات بالقوه خرابی در سیستم و آثار متقابل آنها با زیر سیستمها و یا سایر سیستمها.

۲-۷-۲-۲ FMEA در طراحی

یکی از مراحل تولید محصول مرحله طراحی است. بدیهی است طراحی محصول مقدم بر فرآیند تولید و مونتاژ آن می باشد. به دلیل تفاوت ماهیت طراحی و فرآیند تولید، FMEA طراحی نیز با FMEA فرآیند متفاوت است و لذا FMEA فرآیند به طور جداگانه مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. FMEA طراحی صرفاً یک ابزار تجزیه و تحلیل برای کلیه مهندسين طراح و ساير افراد درگیر در طراحی محسوب می شود. نظر به این که در مرحله طراحی ممکن است خطاهای بالقوه و پنهانی وارد طراحی شوند از این تکنیک به منظور اطمینان از درنظرگیری کلیه خطاهای طراحی استفاده می شود. هر سیستم ممکن است از چند سیستم فرعی یا اصطلاحاً زیر سیستم تشکیل شود. نهایتاً زیر سیستم ها را می توان متشکل از واحدهای ساده تری در نظر گرفت که نام جزء بر آنها اطلاق می شود. برای بررسی هر سیستمی باید کلیه زیر سیستم ها و اجزاء تشکیل دهنده آن، مورد بررسی و ارزیابی دقیق واقع شود. در نگرش عمیق و موشکافانه می توان دریافت تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی چکیده اندیشه ها و نتایج افکار مهندسين طراح هنگام طراحی سیستم، زیر سیستم و اجزای مربوطه می باشد. روش نظام یافته تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی تفکرات و اندیشه های مهندسين را همسو نموده و به شیوه معمول آنها در فرآیند طراحی ساختار می دهد و علاوه بر آن روش آنها را مستند می سازد.

از طریق موارد زیر فرآیند طراحی را می توان پشتیبانی نموده و خطرات ناشی از خطاهای بالقوه را کاهش داد :

- در ارزیابی عینی، خواسته های طراحی و گزینه های مختلف آن مورد استفاده قرار می گیرد.
- در طراحی اولیه تجهیزات تولید و مونتاژ مورد استفاده قرار می گیرد.
- در موقع طراحی، عوامل خطاهای بالقوه و اثرات ناشی از آن در سیستم و عملکرد محصول با اقبال بیشتری در نظر گرفته می شود.

- اطلاعات فرعی که به وسیله FMEA به دست می آید برای انواع تست و آزمایش مختلف محصول طراحی شده و بهبود آن مفید و با ارزش است.
- FMEA قالب انعطاف پذیری برای اجرای اصلاحات به وجود می آورد.
- FMEA مرجعی به وجود می آورد که برای تجزیه و تحلیل مسائل طراحی، تغییر و اصلاح و نهایتاً ایجاد طرح های پیشرفته تر مفید است.
- در FMEA اصطلاح مشتری تنها به استفاده کننده نهایی اطلاق نمی شود، این واژه کلیه افراد درگیر در فرآیند تولید، مونتاژ و امور پشتیبانی را نیز در بر می گیرد.
- برای اجرای FMEA به طور کامل باید در مورد کلیه قطعات جدید، قطعات جایگزین و کلیه قطعاتی که شرایط استفاده آن تغییر کرده است، FMEA طراحی، مجدداً انجام شود.
- همچنین DFMEA به تیم طراحی اطمینان می دهد که:
 - محصول طراحی شده به طور مناسب ساخته و سرویس خواهد شد.
 - از هیچ چیز چشم پوشی نشده است.
- فواید استفاده از DFMEA:
 - کاهش نرخ شکست محصول در دوره عمر مفید آن.
 - کاهش زمان معرفی محصول جدید.
 - جلوگیری از صرف هزینه های اضافی.
 - اجرای DFMEA اطلاعات مفیدی را به منظور ممیزی طرح ارائه می دهد.
 - مشخصه هایی از محصول را که به کنترل های ویژه نیاز دارند شناسایی می کند.
 - اقدامات و فعالیت های لازم را برای بهبود طراحی اولویت بندی می کند.
 - چون تهیه DFMEA مبتنی بر کار گروهی است، اجرای آن، احساس همکاری و سهیم بودن در موفقیت های طراحی محصول را بین تمام افراد تیم بوجود می آورد.

۳-۷-۲-۲ FMEA در فرآیند

بعد از طراحی مرحله فرآیند است، در واقع اساس و بنیان FMEA فرآیند و طراحی یکسان است. لذا در این بخش بیشتر به ذکر ویژگی و مزایای به کارگیری این روش پرداخته می شود. FMEA فرآیند مانند آنچه قبلاً برای طراحی بیان شد، صرفاً یک ابزار تجزیه و تحلیل برای مهندسين این مرحله می باشد. از این تکنیک برای حصول اطمینان از نظر درگیری کلیه خطاها و عوامل مربوطه در فرآیند استفاده می شود. FMEA فرآیند روش نظام یافته ای است که اندیشه ها و تفکرات مهندسين فرآیند را همسو کرده و به شیوه معمول آنها در برنامه ریزی تولید ساختار و شکل می بخشد.

مزایای به کارگیری FMEA در فرآیند به قرار زیر است:

- خطاهای بالقوه و پنهان در محصول که ناشی از فرآیند است را شناسایی می کند.
- اثرات خطاهای فوق (از لحاظ تاثیر بر مشتری) را برآورد و ارزیابی می کند.
- علل خطاها در فرآیندهای ساخت و تولید را شناسایی کرده و برای کنترل آنها از طریق کاهش احتمال وقوع یا آشکار نمودن شرایط وقوع، متغیرهایی در فرآیند تعریف می نماید.
- از کلیه خطاهای بالقوه لیست مرتب شده ای تهیه و بدین طریق یک اولویت برای انجام اقدامات اصلاحی به وجود می آورد.
- فرآیند ساخت و تولید، روش ها و نتایج را مستند ساخته و مکتوب می نماید.

لازم به ذکر است در این حالت اصطلاح مشتری به مصرف کننده نهایی اطلاق می شود ولی در مواردی مراحل بعدی ساخت و مونتاژ را می توان به عنوان مشتری محسوب نمود. در مورد مسائل ساخت و پشتیبانی این تعریف نیز صادق است. FMEA در حالتی کامل و جامع محسوب می شود که کلیه قطعات، فرآیندهای جدید، فرآیندهای اصلاح شده و فرآیندهایی که کاربرد و شرایط کاری آن تغییر کرده را شامل شود و قابل ذکر است که مسئولیت این کار با بخش مهندسی تولید است. در FMEA فرآیند فرض بر این است که محصول چنان طراحی و تولید شده که اهداف تعیین شده تولید را برآورده می کند. گرچه لازم نیست اما می توان خطاهای بالقوه ای که به خاطر طراحی

ضعیف ایجاد می شوند را در نظر گرفت (اثرات این خطاها و راه های مقابله با آن در مرحله طراحی لحاظ شده اند). FMEA فرآیند برای غلبه بر ضعف های موجود در فرآیند، تنها بر تغییر مشخصه های طراحی تاکید نمی کند و مشخصه های محصول در رابطه با ساخت و تولید را با این فرض در نظر می گیرد که محصول تولید شده انتظارات و نیازهای استفاده کننده را تامین می نماید. این نظام در ایجاد و توسعه تجهیزات و ماشین آلات جدید نیز کمک می نماید. روش اتخاذ شده برای این کار همانند قبل است. در این نگرش به تجهیزات و ماشین آلات طراحی شده به عنوان محصول بر خورد می شود چنانچه خطاهای بالقوه شناسایی و تعریف شده باشند اقدامات اصلاحی برای کاهش مستمر و تدریجی نرخ وقوع خطا تا حذف کامل آن انجام می شود.

PFMEA کلیه جوانب یک فرآیند تولید را در بر می گیرد که عبارتند از:

- جریان فرایندها
- تجهیزات و ماشین الات
- آموزش اپراتورها و مونتاژکننده ها
- محیط تولید
- مواد مصرفی در تولید

کاربرد های PFMEA:

الف) PFMEA به عنوان یکی از عناصر برنامه ریزی کیفی برای:

- فرآیندهای تولید جدید
- تغییر در فرایندهای جاری
- فرایندهای تولید انتقالی به محیطی جدید

ب) روش های حل مساله

ج) برنامه های بهبود مستمر

۲-۲-۷-۴ - FMEA در فرآیند ارائه خدمات

Service-FMEA روشی است تحلیلی و نظام یافته به منظور شناسایی حالات خرابی بالقوه (یا شناخته شده)، اولویت بندی آنها و سرانجام تعیین اقدامات پیشگیرانه برای حذف خرابی ها، قبل از ارائه اولین خدمات به مشتریان. اولین خدمت به فعالیتی اطلاق می شود که برای مشتری خاص به عنوان بخشی از فعالیت روزمره انجام می گیرد. این تعریف از «اولین خدمت» حایز اهمیت است، چون شامل خدمات آزمایشی و خدمات آموزشی نمی شود.

معمولاً Service-FMEA به منظور بررسی تقابل های موجود بین اجزای یک خدمت، شامل نیروی انسانی، ماشین، روش، مواد اولیه و محیط پیرامون انجام می شود.

SFMEA می تواند در هر موقعیتی و برای هر سازمانی که خدماتی را ارائه می کند، مورد استفاده قرار گیرد. بعضی از موارد کاربرد عبارتند از:

- پیمانکاران تعمیرات و نگهداری می توانند با استفاده از SFMEA مدت چرخه تعمیرات را کم و حتی در مواردی آن را کاملاً حذف کنند.
- مؤسسات مالی می توانند با استفاده از این تکنیک، میزان موثر بودن خدمتشان را بررسی کنند.
- مؤسساتی که با موضوعات ایمنی سروکار دارند می توانند با استفاده از این تکنیک، نسبت به شناسایی مشکلات اقدام کنند.
- صنایع مهمان پذیری، همچون هتل ها و رستوران ها می توانند به منظور شناسایی مشکلات خاص و پیامد آن ها در نحوه ارائه خدمتشان، از این تکنیک استفاده کنند.
- شرکت های تأمین قطعات می توانند به منظور شناسایی مشکلات خاص و پیامد حاصل از تغییر فرآیندهای کاری خود از این تکنیک استفاده کنند.
- بیمارستان ها و درمانگاه ها می توانند به منظور شناسایی مشکلات بالقوه و پیامد آن ها قبل از آن که به وقوع بپیوندند SFMEA را اجرا کنند.

هدف از اجرای Service-FMEA به حداکثر رساندن کیفیت در ارائه خدمات است، مانند افزایش کیفیت و قابلیت اطمینان، افزایش قابلیت نگهداری و تعمیرات، افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه و ... آن هم به گونه‌ای که مشتری می‌خواهد و یا در مشخصات سرویس تعریف شده است.

۲-۷-۵- FMEA در فرآیند ماشین آلات و ابزارهای تولید

آنالیزحالات بالقوه خرابی ماشین، روشی استاندارد برای ارزیابی دستگاه و ابزار در طی فاز طراحی، به منظور بهبود ایمنی کاربر، افزایش کارایی و توانایی ماشین است. MFMEA همانند DFMEA است و در فاز طراحی به کار می‌رود، عموماً در دو مورد از MFMEA استفاده می‌شود:

الف) زمانی که حجم طراحی خیلی کم است و به دست آوردن آمار خرابی بر روی نمونه‌های اولیه عملی نیست.

ب) وقتی که زمان مصرف محصول حاصل از طراحی، خیلی طولانی است.

فواید اجرای MFMEA:

- بهبود ایمنی، قابلیت اطمینان و دوام تجهیزات و ابزارها.
- تعریف و اجرای تغییرات طراحی در مراحل آغازین طرح به منظور کاهش هزینه‌های طراحی و تاخیر در تحویل به موقع.
- کاهش میزان مخاطره در برنامه‌های تولید محصول (توسط ماشین آلات).
- کاهش هزینه‌های تعمیرات و ابزارها در طی دوره عمر (از طریق ایجاد طرح مطلوب).

۲-۲-۸- بررسی مرحله به مرحله تجزیه و تحلیل عوامل شکست

برای انجام تجزیه و تحلیل عوامل شکست در سیستم، طرح، فرآیند تامین دو شرط لازم می‌باشد:

الف) تعیین جدولی که برای انجام این تجزیه و تحلیل استفاده می‌شود.

ب) تعیین دستورالعملهای ارزیابی است که در ارزیابی شدت، وقوع و شناسایی (بازیابی) مورد استفاده قرار می گیرد.

جدولی که برای انجام تجزیه و تحلیل عوامل شکست نشان داده شده است تقریباً با کمی تغییرات در سطح جهان مورد استفاده قرار می گیرد. البته شرکتهای مختلف با توجه به سلیقه و نیازهای خود و خواسته های مشتریان به این جدول شکل خاصی داده و آن را تهیه می کنند. همچنین جهت یکسان کردن جدول FMEA در آمریکا توسط گروه عملیاتی صنایع اتومبیل آمریکا (AIAG) در ماه جولای ۱۹۹۳ این جدول چاپ و منتشر گردیده است. این جدول از سه بخش تشکیل شده است:

- اطلاعات اولیه (پرونده FMEA) که آیتمهای ۱ تا ۹ در جدول ۱-۲ می باشد.
- اطلاعات اصلی (اسکلت اصلی تجزیه و تحلیل) که آیتمهای ۱۰ تا ۲۲ در جدول ۱-۲ می باشد.
- مرور و تأیید انجام FMEA که آیتم های ۲۳ و ۲۴ در جدول ۱-۲ می باشد.

جدول ۱-۲: FMEA

۷. توسط:					۴. درگیری فروشندگان و غیره:				۱. نام سیستم/ طرح/ فرایند:								
۸. تاریخ شروع تحلیل:					۵. مدل یا محصول:				۲. مسئول سیستم/ طرح/ فرآیند:								
۹. تاریخ بازبینی مجدد:					۶. تاریخ انتشار اطلاعات فنی:				۳. درگیری قسمت های دیگر:								
Action Results					مسئول و تاریخ تکمیل ۲۱	اقدامات پیشنهادی ۲۰	درجه ریسک (RPN) ۱۹	درجه بازاریابی (D) ۱۸	کنترل های جاری تشخیص (شناسایی) ۱۷	کنترل های جاری پیشگیرانه ۱۷	وقوع (O) ۱۶	علل شکست بالقوه ۱۵	مشخصه های مهم (CLASS) ۱۴	شدت اثر (S) ۱۳	اثر (اثر) شکست بالقوه ۱۲	شکست بالقوه ۱۱	وظیفه سیستم/ طرح/ فرایند ۱۰
R	D	O	S	اقدامات انجام شده													
P	E	C	E														
N	T	C	V														
۲۴. امضا مرور کننده:					۲۳. امضا تأیید کننده:												
-----					-----												
-----					-----												

۲-۸-۱- اطلاعات اولیه

مواردی هستند که تهیه کردن این موارد اجباری نبوده و شرکت می تواند به هر نحوی که مایل باشد آن را تغییر دهد. این موارد در جدول ۱-۲ تحت شماره های ۱ تا ۹ مشخص شده است که عبارتند از:

- شناسایی سیستم، طرح یا فرآیند: که در این قسمت نام سیستم طرح یا محصول یا فرآیندی که تجزیه و تحلیل عوامل شکست بر روی آن انجام می گیرد آورده می شود.
- مسئولیت: در این قسمت معرفی واحدی که مسئولیت طرح سیستم، محصول یا فرآیند را عهده دار می باشد مشخص می گردد. لازم به توضیح است در برخی موارد نام شخصی که مسئولیت اصلی انجام این تجزیه و تحلیل را بر عهده دارد آورده می شود.
- درگیری قسمت های دیگر: واحدها و اشخاصی که در FMEA مورد نظر تاثیر گذار می باشند نام برده می شوند.
- درگیری فروشندگان و غیره : افراد دیگر (در خارج از سازمان) مانند مشاوران، نمایندگان مشتری در صورت نیاز، فروشندگان و موسساتی که در تولید محصول همکاری دارند در این قسمت ذکر می شود.
- مدل یا محصول: نام محصولی که مورد نظر است در این قسمت ذکر می شود.
- تاریخ انتشار اطلاعات فنی: تاریخی است که اطلاعات فنی و مهندسی سیستم، طرح، فرآیند منتشر خواهد شد که با ذکر روز- ماه - سال مشخص می شود.
- تهیه کننده: نام مهندس مسئول سیستم / طرح / فرآیند در این قسمت ذکر می شود. گاهی اوقات اطلاعات بیشتری مانند آدرس و شماره تلفن مهندس مسئول، محل کار و اعضای گروه تجزیه و تحلیل و سمت آنها نیز ذکر می گردد.
- تاریخ شروع تحلیل (تاریخ انجام دادن تجزیه و تحلیل): تاریخ شروع تجزیه و تحلیل عوامل شکست با ذکر روز - ماه - سال مشخص می گردد.

- تاریخ بازنگری (تاریخ تجدید نظر): تاریخ آخرین تجدید نظر انجام شده در تجزیه و تحلیل عوامل شکست در سیستم یا طرح یا فرآیند با ذکر روز - ماه - سال در این ستون آورده می شود.

۲-۸-۲-۲- اطلاعات اصلی (اسکلت اصلی تجزیه و تحلیل)

مواردی هستند که اسکلت اصلی FMEA را تشکیل داده که در جدول ۱-۲ و از ستونهای ۱۰ تا ۲۲ مشخص گردیده است. وجود این ستونها در تجزیه و تحلیل عوامل شکست اجباری است، ترتیب این ستونها می توانند تغییر یابد و یا ستونهایی اضافه گردد، ولی هیچ یک از ستونها نباید حذف گردد.

- وظیفه: در این قسمت طراح، قصد و منظور و یا هدف عملیاتی سیستم یا طرح یا فرآیند را جهت تجزیه و تحلیل و شناسایی عوامل شکست یک به یک در این ستون عنوان می کند. وظیفه طرح معمولاً از طریق نیازها و خواسته ها و یا شرایط مشتری نشأت می گیرد که این وظایف معمولاً شامل شرایط ایمنی، قوانین دولتی و سایر ضوابط داخلی و خارجی سازمان، استانداردهای مورد قبول فنی و تعهداتی که تولید کننده در ضمن تولید محصول با خریدار تعهد نموده است می گردد. این نیازها و خواسته ها را می توان با استفاده^۱ QFD (گسترش وظیفه کیفیت DEPLOYMENT FUNCTION QUALITY) تعیین نمود. بعضی از این وظایف شامل درجه قابلیت اطمینان محصول، ضمانت محصول، استانداردهای صنعتی و ضرورت های گمرکی نیز خواهد بود. وظیفه طرح می بایست با عبارتی که کاملاً مشخص، دقیق، خلاصه و آسان باشد تعریف شود و اطلاعاتی در مورد شرایط محیطی کارکرد محصول مانند محدوده کاری، فشار و رطوبت لازم نیز در صورت نیاز نوشته می شود. همچنین می بایست وظیفه طرح با واژه های تکنیکی و فنی تشریح گردد. همچنین جهت تعیین وظایف سیستم یا طرح میتوان از ترسیم بلوکهای وظایف (DIGRAM BLOCK FUNCTION) که

¹ Quality Function Deploymeny

وظایف و ارتباطات اجزاء یک مجموعه و یا سیستم را به صورت مستقیم و غیرمستقیم نشان می دهد استفاده نمود. و همچنین جهت لیست نمودن وظایف محصول می توان از فرم تجزیه و تحلیل وظایف قطعه نیز استفاده نمود. مزیت استفاده از این فرم طبقه بندی وظایف سیستم، محصول و یا فرآیند از نظر درجه اهمیت و همچنین مشخص نمودن وظایفی را که محصول می باید انجام دهد یا وظایفی را که محصول نباید انجام دهد و تعیین مقدار کمی وظایف محصول (HOW MUCH) یا مدت زمان انجام وظیفه (WHEN) و همچنین رتبه بندی وظیفه از نظر اهمیت (ستون RANKING) برای هر وظیفه مشخص نمود.

- شکست بالقوه: حالتی است که سیستم قادر نمی باشد خواسته های طراحی (مشتري) را برآورده کند، هرچه شکست مشخص تر باشد شناسایی تاثیر و علت آن که در ستون های بعدی FMEA مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد آسانتر خواهد بود. شکست طرح وقتی رخ خواهد داد که محصول درمقابل آسیب ها محافظت نشده و برآورد شکست یا عواقب منفی کار در سیستم، طرح یا فرآیند به خوبی پیش بینی نگردیده باشد برای وظایف مشخص شده در ستون ۱۰، باید شکست های بالقوه تعیین گردد. ممکن است برای هر وظیفه چند شکست بالقوه وجود داشته باشد، لازم به ذکر است به منظور شناسایی شکست بالقوه می بایست به طور منفی نسبت به وظایف سیستم، طرح، فرآیند فکر کرد. می توان جهت شناسایی شکستهای سیستم، طرح و فرآیند از سوابق خطاها و اشتباهات گذشته و گزارشات مربوطه استفاده کرد و یا از سوابق شکست های بالقوهای که صرفاً در شرایط محیطی خاص (گرما، سرما، خشکی، گرد و غبار و ...) و یا در شرایط استفاده خاص (درمورد اتومبیل مثلاً سرعت بیش از حد متوسط، جاده های ناهموار، خیابانهای شهری و ...) بروز می نماید را در نظر گرفت و یا با استفاده از اظهار نظر افراد متخصص و با تجربه با استفاده از تکنیک طوفان فکری بسیاری از خطاها را شناسایی نمود. راه دیگری که ممکن است در این رابطه برای شناسایی شکست بالقوه وجود داشته باشد، استفاده از نمودار درختی خطا (FTA) Analysis Tree

Fault است که در این نمودار عدم عملکرد یک بخش مشخص شده و سپس درشاخه های پایین تر شکست های بعدی مشخص خواهد شد.

- اثر شکست بالقوه: اثرات بالقوه ناشی از بروز خطا عبارتست از اثرات حالات خطا بر مشتری، به بیان ساده اثر خطا عارضه ای است که مشتری بواسطه بروز آن خطا دچار آن می شود. لذا در شرح اثرات، به بیان عوارض و مسائلی که مشتری بدلیل بروز خطا آن را تجربه می نماید می پردازیم. توجه نمایید که منظور از مشتری، همواره می تواند مشتری نهایی یا مصرف کننده نهایی محصول (خودرو)، تولیدکننده یا مونتاژ کننده در واحد تولیدی بعدی یا تولید کننده یا مونتاژ کننده داخلی (در همان واحد تولیدی /طراحی) باشد باید توجه داشت که اثر بالقوه خطا در DFMEA ، اثرات عملکرد اجزا یا قطعات، زیر مجموعه های مونتاژی وکل سیستم می باشد که بواسطه ضعف در طراحی ایجاد شده اند. در حالیکه در PFMEA اثرات بالقوه خطا از دیدگاه عملکرد آنها به واسطه طراحی مورد نظر نمی باشد بلکه اثرات بالقوه خطا متأثر از مشکلات موجود در فرآیند ایجاد می شوند البته در بعضی مواقع شکست هایی که در فرآیند به طراحی محصول ارتباط دارند نیز می تواند بازخوری جهت بازنگری در DFMEA باشد.

به همین جهت نیز حذف یا کاهش اثر خطا در DFMEA صرفاً از طریق تغییر در طراحی امکان پذیر خواهد بود فرض غالب در PFMEA آن است که محصول همانگونه که طراحی شده است نیازها و مقاصد طراحی را برآورده خواهد نمود. در صورتیکه همین امر در DFMEA مورد تردید و بررسی قرار می گیرد. هرچند که میتوان در PFMEA خطاهای ناشی از ضعف طراحی را مورد توجه قرار داد، اما پرداختن به آن الزامی نمی باشد. به بیان دیگر در PFMEA، حذف ضعف های موجود در فرآیند تولید، از طریق انجام تغییرات طراحی صورت نمی پذیرد و همچنین در DFMEA به منظور جبران ضعفهای طراحی، بر کنترل

فرآیند اتکا نمی گردد، در عین حال محدودیت های تکنولوژی فرآیند ساخت و فرآیند مونتاژ در DFMEA در نظر گرفته می شود.

بطور کلی در FMEA هر خطا ممکن است منشا بروز اثرات گوناگونی باشد یا بالعکس ممکن است خطاهای گوناگون دارای اثری یکسان باشند:

جهت شناسایی اثر شکست می توان موارد زیر را بررسی نمود:

الف- مدارک مربوط به شکایات مشتریان ب- مدارک مربوط به ضمانت نامه کالا ج- اطلاعات مربوط به ارایه خدمات پس از فروش د- تجزیه و تحلیل شکست های محصولات مشابه.

- شدت: شدت نشانگر جدی بودن اثر شکست بالقوه است و ارتباط مستقیمی بین اثر و شدت وجود دارد به عنوان مثال اگر اثر شکست مهم باشد، مانند خطرات جانی، نقض مقررات دولتی و ... شدت بالاتر خواهد بود و بالعکس اگر تاثیر جزئی باشد شدت پایین خواهد بود.
- شدت از نقطه نظر طرح سیستم، سیستمهای دیگر، محصول، مشتری یا قوانین دولتی مورد توجه قرار می گیرد برای ارزیابی شدت اثر معمولاً از جداولی که از قبل تهیه شده است به عنوان معیار استفاده می شود و این معیار ارتباط سازمان را با مشتری یا قوانین دولتی نشان می دهد.

نمونه ای از معیارهای ارزیابی شدت در جدول ۲-۲ آورده شده است.

لازم به یادآوری است که تیم FMEA باید بر روی یک سیستم امتیازدهی و معیار ارزیابی ثابت توافق داشته باشد حتی اگر برای تجزیه و تحلیل کلیه محصولات اصلاح صورت گرفته شده باشد.

جدول ۲-۲: ارزیابی پیشنهادی برای معیار شدت

اثر	معیار شدت تاثیر	رتبه
خطرناک بدون هشدار	ممکن است برای اپراتور ماشین یا دستگاه خطر داشته باشد. وقتی که بدون هشدار قبلی، حالت خرابی بر عملکرد ایمن ماشین اثر می گذارد و یا مقررات دولتی را نقض می کند.	۱۰
خطرناک با هشدار	ممکن است برای اپراتور ماشین یا دستگاه خطر داشته باشد. وقتی که با هشدار قبلی، حالت خرابی بر عملکرد ایمن ماشین اثر می گذارد و یا مقررات دولتی را نقض می کند.	۹
خیلی زیاد	اختلال عمده در خط ایجاد می کند. ۱۰۰ درصد محصولات ممکن است اسقاط شود. ماشین کار نخواهد کرد. مشتری خیلی ناراضی است.	۸
زیاد	اختلال جزئی در خط ایجاد می کند. محصول ممکن است لازم به جداسازی شود و بخشی از آن اسقاط شود. ماشین کار می کند ولی با عملکرد نامطلوب، مشتری خیلی ناراضی است.	۷
متوسط	اختلال جزئی در خط ایجاد می کند. بخشی از محصول ممکن است بدون جداسازی اسقاط شود. (ماشین کار می کند ولی راحتی لازم را ندارد و مشتری ناراضی است).	۶
کم	اختلال جزئی در خط ایجاد می کند. ۱۰۰ درصد محصولات ممکن است لازم به دوباره کاری شود. (ماشین کار می کند. اما راحتی مطلوب را ندارد. مشتری تا اندازه ای ناراضی است).	۵
خیلی کم	اختلال جزئی در خط ایجاد می کند. محصول ممکن است لازم به جداسازی شود و برخی اسقاط شوند. صدا می دهد، لق می خورد. اکثر مشتریان عیب را متوجه می شوند. (حدود ۷۵٪).	۴
جزئی	اختلال جزئی در خط ایجاد می کند. بخشی از محصول ممکن است خارج از ایستگاه دوباره کاری شود. صدا می دهد، لق می خورد. صیقلی نمی باشد. متوسط مشتریان عیب را متوجه می شوند. (حدود ۵۰٪).	۳
خیلی جزئی	اختلال جزئی در خط ایجاد می کند. بخشی از محصول ممکن است در ایستگاه دوباره کاری شود. صدا می دهد، لق می خورد. صیقلی نمی باشد. اندکی از مشتریان عیب را متوجه می شوند. (کمتر از ۲۵٪).	۲
بدون اثر	بدون اثر قابل تشخیص	۱

ملاحظات: چنانچه ارزیابی وسط دو رقم قرار گرفت درجه تاثیری که شدیدتر باشد باید انتخاب گردد.

چنانچه گروه انجام دادن بررسی عوامل شکست نتوانستند با یکدیگر توافق کنند، می توانند از ضوابط

زیر استفاده کنند:

۱- اگر دو رقم در کنار یکدیگر باشند، باید از میانگین آن استفاده نمود.

۲- چنانچه فاصله بین ارقام انتخابی وجود دارد باید بحث ادامه پیدا کند تا توافق حاصل شود.

- مشخصه های مهم: این ستون معمولاً مربوط به تجزیه و تحلیل عوامل شکست در طراحی (DFMEA) است. چون شرایط انجام کار فرآیند را تعیین می کند مانند ترتیب انجام دادن کارها، ابزاری که مورد استفاده قرار می گیرد یا هر موردی که بر وظیفه محصول تاثیر می گذارد و برای طبقه بندی مشخصه های خاصی از اجزا یا مجموعه که احیاناً به کنترل های فرآیندی خاص نیاز دارند استفاده می شود. می توان از عباراتی نظیر بحرانی، کلیدی، اصلی و مهم برای طبقه بندی استفاده کرد. لازم به ذکر است که هر عنصری که به کنترل فرآیند خاص نیاز داشته باشد باید توسط حرفی یا علامتی که در بسیاری از موارد این علامتها برای مشتریان مختلف متفاوت می باشد در این ستون مشخص گردیده و همچنین می توان در ستون اقدامات اصلاحی توصیه شده (ستون ۲۰) جهت جلوگیری از شکستهای مرتبط با شرایط ایمنی، دولتی و وظایف مهم دیگر محصول به آن اشاره گردد.

- علل شکست بالقوه: علل شکست بالقوه وجود نقص در سیستم، طراحی یا فرآیند را نشان می دهد. گاهی در وقوع یک خطا یا شکست علتهای مختلفی تاثیر دارند که هر یک نقش و سهم متفاوتی در امکان وقوع آن خطا دارند که در این صورت می توان جهت طبقه بندی علل شکست بالقوه از یک نمودار پارتو استفاده نمود. تیم FMEA می تواند نسبت به کمی کردن و بر آورد سهم هر یک از علتها در ایجاد شکست اقدام نمایند، لازم به ذکر است جهت شناسایی علل ریشه ای در مواقعی که چندین علت متفاوت با هم در یک شکست نقش دارند می توان از روشهای طراحی آزمایشات (DOE) استفاده نمود، همچنین از تکنیکهایی که جهت شناسایی علل ریشه ای استفاده می گردد می توان از: نمودار علت و معلول، نمودار درختی، طوفان فکری و پنج چرا (5 WHY) و... نام برد.

برخی از علل شکستهای بالقوه عبارتند از:

- ✓ فقدان وسایل ایمنی و فاکتورهای محیطی.
- ✓ طراحی غلط برخی از ابعاد/ تolerانسهای محصول.
- ✓ در نظر گرفتن عمر کم و ناکافی برای محصول در مراحل طراحی.
- ✓ قرار گرفتن تحت فشار بیش از حد.
- ✓ نقطه تسلیم پایین.
- ✓ ناپایداری مواد.
- ✓ خزش.
- ✓ انتخاب مواد نامناسب یا قطعات.
- ✓ تعمیر و نگهداری ناصحیح ماشین آلات.
- ✓ دستورالعمل های اجرایی غلط و استفاده ناصحیح از ابزار و ماشین آلات.
- ✓ عدم در نظر گرفتن خطاهای انسانی در فرآیند.
- ✓ خوردگی.
- ✓ فرسودگی.
- ✓ بالارفتن فشار یا دما در فرآیند.

لازم به توضیح است ارتباط بین شکست بالقوه و علل بالقوه شکست یک ارتباط مستقیم و یک به یک نیست و در بسیاری از موارد برای یک شکست به خصوص ممکن است چند علت وجود داشته باشد و بالطبع وقوع های مختلفی برای آن شکست خواهیم داشت.

- وقوع شکست: وقوع نوعی درجه بندی و یا ارزش است که به منظور احتمال رخداد هر علت تخمین زده می شود، با حذف و یا کنترل تعدادی از علتها یا مکانیزمها میتوان احتمال وقوع خطا را کاهش داد برای تعیین میزان وقوع هر یک از علتها می توان از علم ریاضیات، مقیاس صلاحیت فرآیند (CPK)، اطمینان کالا (RELIABILITY) و یا احتمالات بالقوه و یا مجموع

تعداد شکست اجزاء و بر اساس هر یک صد جزء در طول عمر مفید کالا (منظور همان دوام و بقای کالا است که در طراحی مد نظر قرار می گیرد) استفاده نمود. احتمال وقوع را میتوان بر حسب ارقامی از ۱ تا ۱۰ رتبه بندی نمود که در جدول ۲-۳ نمونه ای از معیارهای ارزیابی وقوع آورده شده است.

جدول ۲-۳: جدول ارزیابی وقوع شکست

رتبه	احتمال خرابی	نرخ محتمل خرابی
۱۰	خیلی زیاد: خرابی های بسیار مکرر	بزرگتر یا مساوی ۱۰۰ مورد در هر ۱۰۰۰ مورد
۹	خیلی زیاد: خرابی های بسیار مکرر	بزرگتر یا مساوی ۵۰ مورد در هر ۱۰۰۰ مورد
۸	بالا: خرابی های مکرر	بزرگتر یا مساوی ۲۰ مورد در هر ۱۰۰۰ مورد
۷	بالا: خرابی های مکرر	بزرگتر یا مساوی ۱۰ مورد در هر ۱۰۰۰ مورد
۶	متوسط: خرابی های گاه و بیگاه	بزرگتر یا مساوی ۵ مورد از هر ۱۰۰۰ مورد
۵	متوسط: خرابی های گاه و بیگاه	بزرگتر یا مساوی ۲ مورد از هر ۱۰۰۰ مورد
۴	متوسط: خرابی های گاه و بیگاه	بزرگتر یا مساوی ۱ مورد از هر ۱۰۰۰ مورد
۳	پایین: خرابی های نسبتاً کم	بزرگتر یا مساوی ۰,۵ مورد از هر ۱۰۰۰ مورد
۲	پایین: خرابی های نسبتاً کم	بزرگتر یا مساوی ۰,۱ مورد از هر ۱۰۰۰ مورد
۱	نادر: احتمال خرابی بعید	بزرگتر یا مساوی ۰,۰۱ مورد از هر ۱۰۰۰ مورد

- روشهای تشخیص یاروشهای جاری برای کنترل: کنترل هایی است که درحد امکان ازوقوع حالت خرابی پیشگیری می کند و یادرصورت وقوع حالت خرابی آنرا شناسایی می کند در این مورد کلیه فعالیت هایی که توسط آنها کفایت طراحی را در برابر خطا، می توان مشخص نمود باید در این ستون ثبت نمود.
- در این زمینه می توان به سه نوع کنترل طراحی اشاره نمود که به ترتیب ارجحیت آورده شده است:

(الف) پیشگیری از وقوع علت خطا و کاهش احتمال وقوع آن.

(ب) کشف و آشکار کردن علت خطا و انجام اقدام اصلاحی.

(ج) ردیابی و آشکار کردن خطا.

درمورد کنترل‌های جاری طراحی جهت بازنگری در طراحی موارد زیر رامی توان نام برد:

روشهای نمونه سازی، تستهای جاده، تست باد، تست های دوام، تجدید محاسبات، امکانسنجی، تستهای پروتوتایپ تکنیک های شبیه سازی مطمئن و شناخته شده، مدلسازی ریاضی و...

درمورد کنترل‌های جاری فرآیند میتوان ضدخطا کردن فیکسچره (yoke Poka)، کنترل آماری فرآیند (SPC) و ... را نام برد.

دو نوع کنترل‌های طراحی / فرآیند موردنظر میباشد:

الف) کنترل های جاری پیشگیرانه: که پیشگیری می کند از علت یا مکانیسم خرابی یا حالت خرابی جهت جلوگیری از وقوع خرابی و یا اینکه نرخ وقوع خرابی را کاهش می دهد (ستون ۱۷ سمت راست).

ب) کنترل های جاری تشخیص: که حالت یا مکانیسم خرابی یا علت خرابی را مشخص می نماید و به اقدامات اصلاحی منجر می شود (ستون ۱۷ سمت چپ).

در صورتیکه ستون پیشگیرانه در نظر گرفته شده باشد و در صورتیکه اقدامات مندرج در این ستون تکمیل گردیده باشد با توجه به اینکه بر روی علل شکست تاثیر می گذارند می بایست عدد وقوع (Occurance) توسط تیم مورد بازنگری قرار بگیرد. این تقسیم بندی در ستون کنترل های جاری (پیشگیرانه، تشخیص) این امکان را برای تیم بوجود می آورد که یک امکان تشخیص بصری سریعی داشته باشیم. در صورتیکه از فرمهای FMEA که ستون کنترل‌های جاری دارای یک ستون می باشند استفاده گردد می بایست با توجه به نوع کنترل‌های جاری (پیشگیرانه، تشخیص) بوسیله حروفی از هم تفکیک داده شوند بعنوان مثال در کنار روشهای کنترلی پیشگیرانه (P) و در کنار روشهای کنترلی تشخیص (D) نوشته شود.

- درجه بازیابی / شناسایی: برآوردی از قابلیت کنترل (پیشنهاد شده) نوع دوم و سوم است که در روش بازیابی برای توانایی کنترل طراحی به آن اشاره گردیده است ذکر این نکته ضروری است که برای کاهش میزان رتبه باید نحوه کنترل های طراحی نظیر انجام اقدامات پیشگیری از وقوع خطا یا روشهای تحقیق و تصدیق طراحی بهبود داده و برنامه ریزی شود. برای رتبه بندی درجه بازیابی می توان از ارقام ۱ تا ۱۰ مطابق جدول ۲-۴ استفاده نمود.

جدول ۲-۴: ارزیابی در بازیابی شکست

رتبه	شرح	معیار
۱	احتمال بسیار کمی وجود دارد که محصول همراه با خطا یا خرابی تحویل داده شود. خطا به طور وضوح مشخص است و به راحتی شناسایی می شود. احتمال شناسایی ۹۹,۹۹٪ است.	خیلی بالا: کنترل به طور یقین قادر به بازیابی کشف خطا خواهد بود.
۲-۵	احتمال کمی وجود دارد که محصول تحویل داده شده همراه با خطا باشد. خطا محسوس نیست. احتمال شناسایی ۹۹,۸٪ خواهد بود.	بالا: روش های موجود کنترل شانس خوبی را برای کشف خطا بوجود خواهد آورد.
۶-۸	احتمال نسبی وجود خواهد داشت که محصول همراه با خطا تحویل گردد. خطا به سادگی شناسایی می شود. احتمال شناسایی حدود ۹۸٪ است.	نسبی: روش های موجود کنترل احتمالا خطاهای موجود را شناسایی خواهند کرد.
۹	احتمال نسبتا زیادی وجود دارد که محصول همراه با خطا تحویل گردد. احتمال شناسایی حدود ۹۰٪ است.	پایین: کنترل های موجود با احتمالا خطاهای موجود را شناسایی نخواهند کرد.
۱۰	احتمال وجود خطا در محصول بسیار زیاد است. قطعه احتمالا بازرسی نشده و یا اینکه احتمال بازرسی آن نیست. خطا اگرچه وجود دارد ولی وجود آن در حالی که محصول تولید می شود امکانپذیر نیست.	خیلی پایین: روش های کنترلی موجود به طور قطع بروز خطا را در فرآیند شناسایی نخواهند کرد.

- عدد اولویت ریسک:

عدد اولویت ریسک (RPN) حاصلضرب شدت، وقوع و تشخیص می باشد:

$$RPN=(S)*(O)*(D)$$

این عدد مبنای اولویت بندی حالات خرابی می باشد. با توجه به اینکه شدت شکست و وقوع و بازیابی مطابق جداول ۲، ۳ و ۴ اعدادی بین ۱ تا ۱۰ می توانند اختیار کند RPN رقمی بین ۱ تا ۱۰۰۰ می تواند داشته باشد. برای RPN های بالا، تیم می بایست اقدامات اصلاحی مقتضی جهت کاهش آن

اتخاذ نماید. همچنین به طور عمومی، فارق از نتیجه RPN توجه خاصی می بایست معطوف شکست هایی شود که شدت (S) آن بالاست. یک روش جدید دیگر برای طبقه بندی حساسیت یا ریسک خطاها وجود دارد. این روش جدید که نمودار سطحی (Chart Area) نامیده می شود برای شدت اثر و احتمال وقوع اهمیت (وزن) ویژه ای را در نظر دارد.

این نمودار سه ناحیه را متمایز می سازد : ۱ - ناحیه با اولویت بالا (Priority High) ۲ - ناحیه با اولویت متوسط (Priority Medium) ۳ - ناحیه با اولویت کم (Priority Low)

مقادیر بدست آمده از این دو عامل شدت اثر (S) و احتمال وقوع (O) بصورت یک مختصات کارترین (O.S) در آمده و موقعیت آنها در نمودار تعیین می گردد. دیدگاه مهم در این روش آن است که قبل از اینکه تخصیص منابع یک سازمان در جهت توسعه و پیشرفت شناسایی خطاها متمرکز گردد لازم است تا کاهش وقوع خطاها و حداقل کردن شدت اثر آنها مورد توجه قرار گیرد. تقسیم بندی و تعیین نواحی اولویت بالا، متوسط، کم در نمودار سطحی متناسب با سیاست های متخذه در هر سازمان صورت می پذیرد. در عین حال در هر دو روش (نمودار سطحی و RPN) تاکید می گردد که به حالاتی از خطا که شدت اثر آن بالاست توجه ویژه ای گردد.

- اقدامات پیشنهادی یا پیشنهاد عملکرد:

پس از اولویت بندی خطاها پیشنهاد یا طرح ریزی اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه ضروری خواهد بود طبقاً این مجموعه اقدامات لازم است تا ابتدا معطوف مواردی با اولویت بالاتر گردد (اولویت بر اساس RPN یا نمودار سطحی مشخص می گردد). اقدامات اصلاحی مزبور در جهت کاهش نمره عوامل شدت اثر احتمال وقوع و شناسایی خطا صورت می پذیرد. اصولاً به کارگیری روش هایی که منجر به حذف یا کاهش شدت و وقوع می گردند جنبه پیشگیرانه داشته در حالیکه در جهت افزایش امکان شناسایی جنبه اصلاحی را دارد. در صورتیکه امکان حذف وقوع خطا میسر باشد این اقدام پیش از هر اقدام دیگری توصیه می گردد. در عین حال حداقل واکنش ممکن در برابر یک خطا ایجاد امکانی برای شناسایی بهتر خطا می باشد.

در نتیجه اقدامات اصلاحی به ترتیب ذیل توصیه می گردند:

(الف) انجام اقدامات اصلاحی پیشگیرانه در جهت حذف احتمال وقوع.

(ب) انجام اقدامات اصلاحی پیشگیرانه در جهت کاهش شدت.

(ج) انجام اقدامات اصلاحی پیشگیرانه در جهت کاهش احتمال وقوع.

(د) انجام اقدامات اصلاحی پیشگیرانه در جهت افزایش (توسعه و پیشرفت) امکانات شناسایی و آشکار سازی خطا قبل از تحویل محصول به مشتری.

(ر) انجام اقدامات اصلاحی پیشگیرانه در جهت افزایش (توسعه و پیشرفت) امکانات شناسایی و آشکار سازی خطا در زمان استفاده از محصول توسط مشتری.

همچنین در پاره ای از موارد امکان دارد هیچ یک از اقدامات اصلاحی یاد شده میسر نباشد که در اینصورت در این ستون کلمه هیچ یا ندارد (Nune) نوشته می شود. همچنین برخی از اقداماتی که در جهت کاهش RPN مد نظر قرار می گیرد در جدول ۲-۵ آورده شده است.

جدول ۲-۵: برخی از اقدامات در جهت کاهش RPN

شناسایی	وقوع	شدت	FMEA
تصدیق طراحی. صحیح گذاری.	برطرف نمودن و یا کنترل علت یا علت های وقوع خطا از طریق بازنگری طراحی.	بازنگری طراحی.	DFMEA
تجدید محاسبات. تست نمونه به منظور تصدیق طراحی.	بازنگری برنامه تست.	تغییر در طراحی. بازنگری مشخصات مواد.	DFMEA
بازنگری فرآیند تولید و یا بازنگری طراحی محصول. تغییر در سیستم کنترل. افزایش فرکانس های بازرسی.	بازنگری فرآیند تولید و یا بازنگری طراحی محصول. مطالعه فرآیند با روش های آماري همراه با بازخور اطلاعاتی مناسب به منظور بهبود مستمر فرآیند.	بازنگری فرآیند تولید یا بازنگری طراحی محصول.	PFMEA

- مسئولیت و تاریخ نهایی اقدام:

بعد از اینکه اقدام اصلاحی مشخص گردید فرد یا بخشی از سازمان باید مسئولیت اجرای آن را به عهده بگیرند. نام فرد مربوطه وحد اکثر زمانی که باید اقدام لازم انجام شود در این قسمت ثبت می گردد.

- اقدامات انجام شده:

در این ستون مختصری از اقدامات انجام شده به همراه تاریخ اقدام در قسمت مربوطه ذکر می شود. و پس از اجرای اقدامات اصلاحی مربوطه نمره اولویت ریسک خطاها (RPN) مجددا محاسبه می گردد. حداقل میزان قابل قبول در کاهش ریسک هر خطا در هر بار اجرای یک اقدام اصلاحی را می توان متناسب با سیاستهای سازمان تعیین نمود.

۲-۸-۳- مرور و تایید انجام FMEA

- تایید فرم مرور کننده:

شخصی که انجام FMEA را چک می کند در این قسمت نام و امضا خود را قید می نماید.

- تایید مسئول تیم FMEA:

با توجه به تعیین مسئول انجام FMEA پس از انجام فرد مسئول در این قسمت نام و امضا خود را قید می نماید.

۲-۹-۲- مفهوم MAFMA

تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی به تشخیص قابلیت اطمینان با لحاظ کردن علل بالقوه خرابی و آثار آنها بر سیستم تحت مطالعه اختصاص می یابد. این نگرش از پائین به بالا را می توان در هر سطحی از سیستم های کامل تا اجزاء به کار برد. با وجود اینکه FMEA احتمالا متداول ترین ابزار تجزیه و تحلیل حالت خرابی و قابلیت اطمینان است، مشکلاتی در خصوص آن وجود دارد. یک نقطه ضعف FMEA آن است که این تکنیک فقط برخی از ابعاد خرابی را در نظر می گیرد در حالی که پارامترهای مهمی از قبیل ابعاد اقتصادی نادیده گرفته شده است. تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه

چندخصیصه ای (MAFMA)، یک نگرش چند خصیصه ای بر مبنای تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که هم ابعاد FMEA و هم بعد هزینه را در نظر می گیرد (براگلیا، ۲۰۰۰).

یکی از ابزارهای پشتیبانی تصمیم گیری گروهی (GDSS¹) فرایند تحلیل سلسله مراتبی گروهی است که می تواند تاثیر متقابل و مشارکت افراد در تصمیم گیری را افزایش دهد. اساس این روش مشابه آنچه در مغز انسان انجام می شود، به تجزیه و تحلیل مسائل می پردازد. علاوه بر آن، نیاز به مقایسات زوجی در AHP یکی از مزایای این روش به حساب می آید، چراکه تصمیم گیرنده را مجبور می کند تا در مورد وز نهایی عوامل بیشتر فکر کند و موقعیت را بصورت عمیق تری تجزیه و تحلیل نماید. مزیت دیگر AHP در توانایی اش برای اندازه گیری موضوعات کمی و کیفی است، بطوریکه ترجیحات ذهنی، دانش خبره و اطلاعات عینی همگی در AHP موجود است و به کار می رود. مزیت دیگر این روش ساختار دادن به مساله تصمیم گیری با تشکیل سلسله مراتبی است. طبقه بندی معیارها از بالا به پایین درخت تصمیم گیری باعث می شود تا مسائل پیچیده به صورتی سیستماتیک توسط روش AHP و به خصوص با در نظر گرفتن نظرات کارشناسان و تصمیم گیرندگان مختلف مورد بررسی قرار گیرد. قابلیت درک آسان بدون نیاز به متخصصان، ارائه ساختاری جهت همکاری و مشارکت گروهی در تصمیم گیری، استفاده از هر دو بعد نگرش سیستمی و تحلیل جزء به جزء برای حل مسائل و دارا بودن مقیاس اندازه گیری مختص این روش، از جمله توانایی های این روش است. این روش یکی از روشهای مطمئن در محاسبه اوزان شاخص هاست زیرا اساس کار آن نظرات تصمیم گیرنده است نه ماتریس تصمیم گیری. فرض بر این است که افراد در مقایسات زوجی بهترین تصمیم را می گیرند. این روش امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را نیز فراهم می کند. از مزایای ممتاز این روش این است که می توان میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیمات اتخاذ شده توسط تصمیم گیرندگان را در آن محاسبه کرد.

¹ Group Decision Support System

بعلاوه این روش از یک تئوری قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است (اصغری‌پور ۱۳۸۷).

روش کار در تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه چند خصیصه ای به این صورت است که ابتدا معیارهای شدت، احتمال وقوع، احتمال تشخیص و هزینه مورد انتظار را با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی دو به دو مقایسه زوجی انجام داده و وزن هریک را بدست می آوریم. در مرحله دوم معیارهای شدت، احتمال خرابی و احتمال تشخیص را برای هریک از حالات خرابی با استفاده از جداول از قبل طراحی شده وزن می دهیم. در مورد معیار هزینه مورد انتظار حالات خرابی را در این معیار دو به دو با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی وزن دهی می کنیم. در مرحله سوم وزن هریک از حالات خرابی را در وزن معیار مربوطه ضرب کرده و در مرحله آخر هریک از حالات خرابی را با توجه به معیارها با هم جمع نموده و به رتبه بندی آن ها می پردازیم.

۲-۳- پیشینه تحقیق

مفهوم تحلیل حالات خرابی اولین بار در سال ۱۹۴۰ در ارتش ایالات متحده مطرح شد، اما تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی (FMEA) با مفهوم امروزی در دهه ۱۹۶۰ مطرح و اولین بار در صنایع هوا فضا آمریکا جهت ساخت سفینه آپولو در ناسا به کار برده شد. در این بخش به تحقیقات انجام شده در این زمینه در دو بخش داخلی و بین المللی پرداخته می شود.

۲-۳-۱- تحقیقات داخلی

تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی (FMEA) با توجه به اینکه نقش موثری در جلوگیری از بروز خطا دارد پس از ارائه جهانی آن در سال ۱۹۴۰ به صورت گسترده ای در صنایع کشور مورد استفاده قرار گرفته است، از جمله می توان تحقیقات زیر را نام برد.

ابراهیم زاده و همکاران (۱۳۸۰)، خطرات بالقوه پالایشگاه شیراز با روش تجزیه و تحلیل حالت خطر (FMEA) و اثرات ناشی از آن را ارزیابی و مهمترین ریسکها را شناسایی و اولویت بندی کردند.

علیمحمدی و همکاران (۱۳۸۷)، مقایسه ایمنی کوره های موجود در دو کارخانه تولید گچ بوسیله روش FMEA، تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن را انجام دادند که در طی این تحقیق، با استفاده از روش مذکور به طور دقیق به وضعیت ایمنی کوره ها پرداخته شد و نقایص موجود و احتمالی آن ها مشخص شد. نژادعلی و همکاران (۱۳۸۷)، نیز پژوهشی با عنوان ارزیابی ایمنی مخزن کروی گاز مایع با استفاده از روشهای FMEA و ETBA را انجام داده اند که در طی این تحقیق ۳۰ جزء مورد بررسی قرار گرفت و حالات بالقوه شکست آنها شناسایی شد. صداقت و همکاران (۱۳۸۷)، در مقاله ای با عنوان ارزیابی و مدیریت ریسک یک اورژانس صحرایی نظامی با استفاده از FMEA به مطالعه یک اورژانس صحرایی در یکی از نیروهای سپاه پرداختند. وضعیت موجود و نقاط ضعف و قوت اورژانس بر اساس ماموریتی که بعهده داشت یادداشت گردید. در جلسات کارگروهی ابتدا حوزه و محورهای کار اورژانس بر اساس ماموریت ابلاغی آن مشخص گردید که شامل محورهای امداد و انتقال، درمان و دارو، بهداشت، و پشتیبانی بود. سپس به وظائف هر محور و خطاهایی که در هر

وظیفه ممکن بود ایجاد گردد پرداخته شد. در گامهای بعدی به بررسی و رسم علل ایجاد کننده خطاها و اثرات مترتب از این خطاها بر مشتری، دادن نمره وخامت اثر خطا، دادن نمره میزان رخداد هر خطا، مشخص نمودن کنترلهای جاری و برنامه ریزی شده جهت شناسایی یا حذف حالت خطاها و دادن نمره احتمال کشف هر حالت خطا مشخص گردید. سپس با توجه به اطلاعات و نمرات داده شده به محاسبه میزان نمره (RPN نمره احتمال ریسک) هر حالت خطا پرداخته شد. نمرات احتمال ریسک بدست آمده (RPN) مرتب شدند و به شناسایی و اولویت بندی خطاهای مهم پرداخته شد. و از بین خطاهای مهم و کلیدی به ارائه اقدامات پیشنهادی برای پیشگیری از آنها پرداخته گردید و در نهایت راه کارهای اجرایی متناسب با هر حالت خطا پیشنهاد شدند.

سعیدا و همکاران (۱۳۸۸)، از روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست به منظور تحلیل ریسک حوادث در کارخانه تولید سرامیک استفاده نمودند. به این منظور ابتدا مشاغل قسمت های مختلف کارخانه از نظر نوع خطرات معمول مرتبط با هر شغل مورد بررسی قرار گرفته، سپس جداول FMEA با توجه به مشاهدات و بررسی حوادث قبلی، مصاحبه با کارگران و شناسایی فعالیت ها و خطرات، تکمیل گردید و در نهایت، عدد ریسک برای هر یک از شغل ها محاسبه شده است.

ملکی و همکاران (۱۳۸۹)، در مقاله ای با عنوان طراحی و مدلسازی یک ساختار یکپارچه FMEA/QFD در مراکز خدمات درمانی، به بهبود خدمات بهداشتی و درمانی پرداختند. این تحقیق از ۴ مرحله تشکیل شده است که به ترتیب عبارت اند از: ورودی مرحله اول خواسته های مشتریان است که از طریق رویکرد تعالی سازمانی شناسایی می شوند و خروجی آن تعیین درجه اهمیت مشخصه های کیفی خدمات درمانی است. این مرحله، خانه کیفیت مدل QFD را تشکیل می دهد. در مرحله دوم، ترکیب بهینه ای از فعالیتهای درمانی قابل اندازه گیری که برای پیاده سازی مشخصه های کیفی در یک مرکز خدمات درمانی مورد نیاز هستند از طریق یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح و با توجه به محدودیتهای موجود در سیستم تعیین می شوند. در مرحله سوم،

خطاهای بالقوه ناشی از اجرای مهمترین فعالیتهای درمانی مرحله دوم که سبب نارضایتی مشتریان شده و کیفیت خدمات ارائه شده را کاهش می دهند تعیین می شوند. در مرحله چهارم به منظور کاهش اثرات مهمترین خطاهای بالقوه خروجی مرحله سوم، رویکرد FMEA اجرا شده و با تعیین درجه خطر آنها، اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه لازم جهت حذف و یا کاهش اثرات آنها در سیستم برنامه ریزی می شوند.

امیری (۱۳۸۹)، در مقاله ای با عنوان ارزیابی ریسک آتش سوزی قطارهای مسافری ایران با استفاده از رویکرد FMEA فاز- تئوری گری به ارزیابی عملکرد ایمنی صنعت ریلی ایران پرداخت. به منظور ارزیابی ریسک مهم ترین مخاطرات آتش سوزی، در سه زیرمجموعه برق تهبویه واگنهای مسافری، مولدهای برق و مولدهای بخار، از رویکرد آنالیز FMEA فاز مبتنی بر تئوری گری استفاده شده است. هدف، شناسایی و تجزیه و تحلیل خطرات تا سطح بررسی کلی علل آنها، تعیین تناوب وقوع و شدت اثر پیامدها به صورت کیفی، محاسبه ریسک هر خرابی در هر زیرمجموعه و نیز تعیین شکافهای موجود در سیستم ریلی کشور در زمینه حریق است.

امیدواری و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله ای با عنوان ارایه الگوی ارزیابی ریسک های بهداشت حرفه ای و محیط در حمل و نقل فرآورده های نفتی با استفاده از تلفیق روش FMEA با AHP به بررسی عوامل ریسک پرداختند. در ابتدا تمام عوامل مؤثر در ریسک محیط زیست ناشی از حمل و نقل فرآورده های نفتی از انبار نفت تا مقصد تعیین شد و با استفاده از روش تصمیم گیری سلسله مراتبی وزن دهی گردید و مدل مفهومی آن تعریف شد. در قدم بعدی با استفاده از مدل به دست آمده بر اساس تکنیک FMEA مدل نهایی تعیین گردید. با استفاده از مدل نهایی به دست آمده، مسیر حمل مورد ارزیابی قرار گرفته شد. عرب زاده و همکاران (۱۳۹۱)، به ارائه رویکرد جدید انتخاب تأمین کنندگان بر مبنای مدل کراچیک با استفاده از تکنیک FMEA و برنامه ریزی عدد صحیح پرداختند. هدف مقاله، ارائه رویکردی برای انتخاب تأمین کنندگان و تخصیص سفارش های خرید بر مبنای

ماهیت اقلام خرید است. به این منظور، ابتدا اقلام خرید به وسیله تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی و آثار آن بر مبنای مدل کراچیک دسته بندی می شوند. سپس تأمین کنندگان با در نظر گرفتن ماهیت اقلام خرید (اقلام استراتژیک، گلوگاهی، اهرمی و عادی) طی چهار مرحله به ازای دسته بندی صورت گرفته ارزیابی و اولویت بندی می شوند. و با استفاده از یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح تخصیص سفارش های خرید به تأمین کنندگان صورت می گیرد. نتایج به دست آمده از پژوهش نشان می دهد که رتبه بندی تأمین کنندگان و تخصیص سفارش های خرید با در نظر گرفتن ماهیت اقلام خرید توانمندی بیشتری برای مدیریت اقلام خرید و تأمین کنندگان ایجاد خواهد نمود.

فیروز آبادی و همکاران (۱۳۹۴)، در مقاله ای با عنوان مدل ارزیابی قابلیت اطمینان انسان در دستگاههای پزشکی بر اساس روش FMEA و تئوری فازی به چالشهای موجود در حوزه مدیریت سلامت، چگونگی بهبود ایمنی، امنیت و قابلیت اطمینان در تجهیزات پزشکی پرداختند. در این تحقیق مدلی براساس روش SHELL و ترکیب روش FMEA و متغیرهای کلامی فازی برای ارزیابی و تجزیه تحلیل قابلیت اطمینان انسان برای دستگاههای پزشکی ارائه شده است. تئوری فازی برای ثبت نظرات کارشناسان در مورد حالات خرابی و محاسبات مقدار اولویت احتمال خطر هر یک از زیرسیستم ها به کار برده شده است. نتایج حاکی از این است که در ارزیابی قابلیت اطمینان انسان در تجهیزات پزشکی باید بیشتر بر کاهش وقوع خرابی های پنهان و پراحتمال خطر نرم تمرکز داشت و در طراحی و انجام عملیات توسط تجهیزات پزشکی باید به ارتباط و همکاری بین طراح تجهیزات و کاربران تجهیزات توجه کرد.

۲-۳-۲ تحقیقات بین المللی

به طور کلی تلاش های گسترده و قابل توجهی در حوزه FMEA برای مقابله با کاستی ها و نواقص RPN کلاسیک انجام گرفته است. مطالعاتی که به حوزه FMEA با رویکرد فازی پرداخته اند، از متخصصانی برای توصیف فاکتورهای ریسک O، S و D با استفاده از متغیرهای فازی زبانی استفاده کرده

اند. در واقع به جای امتیازات ۱۰-۱، از متغیرهای زبانی برای ارزیابی سه فاکتور ریسک استفاده می شود.

بولز (1995) از رابطه (اگر- آنگاه) برای توسعه FMEA در محیط فازی استفاده نمود. به این ترتیب که تمامی حالت های بین سه پارامتر شدت خطا، احتمال وقوع خطا و احتمال کشف خطا را از طریق رابطه (اگر- آنگاه) مورد بررسی قرار داد. در این مدل تابع عضویت به کار برده شده از نوع ترکیب مثلثی- ذوزنقه ای است. بولز و همکارانش (1996) در مقاله ای از نقشه ها و گراف های شناسانده فازی برای نشان دادن روابط بین علل اثرات خطاها استفاده نموده است، از آنجایی که نقشه ها و گراف های شناسانده فازی می توانند نسبت ها و روابط بین اثر و علت را نشان دهند لذا یک ابزار برای کمک به علت یابی در FMEA است.

براگلیا و همکاران (۲۰۰۳) یک رویکرد تاپسیس فازی را برای تجزیه و تحلیل بحرانی بودن و آثار و حالت خرابی (FMEA) را پیشنهاد دادند. رویکرد تاپسیس فازی این اجازه را می دهد که عوامل FMEA را که با استفاده از اعداد فازی مثلثی ارزیابی می شوند را استفاده کند. براگلیا و همکاران (۲۰۰۳)، اظهار داشتند که حالات خرابی که به روش قواعد (اگر- آنگاه) فازی توصیف می شوند نمی توانند اولویت بندی و رتبه بندی شوند و هیچ راهی برای ترکیب کردن اهمیت نسبی فاکتورهای ریسک با سیستم استنباطی فازی با استفاده از این قواعد وجود ندارد. از اینرو آن ها رویکرد جدیدی مبتنی بر منطق فازی ارائه کردند که در آن اعداد اولویت ریسک فازی (FRPN) تحت عنوان میانگین هندسی موزون فازی برای O، S و D تعریف می شود که می توانند با استفاده از مجموعه های سطح آلفا و مدل های برنامه ریزی خطی محاسبه شوند.

گارسا و همکارانش (۲۰۰۴) طی مقاله ای به بررسی کفایت های مدل DEA به منظور رتبه بندی حالات خطا پرداختند و از داده های فازی که توسط تیم تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی داده شده بود استفاده کردند. گارسا و همکاران (۲۰۰۵) در مقاله ای با عنوان استفاده از تحلیل پوششی داده ها

برای تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی به این نتیجه رسیدند که استفاده همزمان از این دو روش و استفاده از منطق فازی می تواند مشکلات روش سنتی را برطرف کند. تای و لیم (۲۰۰۶)، بر اساس این حقیقت که استفاده از روش های فازی به دلیل اینکه نیاز به افراد خبره دارد و باعث انجام محاسبات زیاد شده و در نتیجه باعث افزایش هزینه و زمان می گردد، ادعا کردند که همه قوانین در مدل RPN فازی مورد نیاز نیست. بنابراین آن ها قوانین کاهشی متفاوتی را به منظور ساده سازی روش FMEA فازی مطرح کردند. اما یکی از نقاط ضعف روش ارائه شده این بود که بسیاری از اطلاعات ناقص بود و یا اصلا در نظر گرفته نشده بود.

زید و همکاران (۲۰۰۸) در مقاله ای با عنوان بررسی ریسک و عدم قطعیت در بزرگراه، در ارزیابی ریسک پروژه های عمرانی مانند بزرگراه با بررسی پروژه های مشابه، ریسک ها را شناسایی و از نظر شدت و احتمال با یکدیگر مقایسه نموده و در نهایت از طریق روش فرآیند سلسله مراتبی مکان های احتمالی ساخت بزرگراه را اولویت بندی کردند. سامباسیوان و همکاران (۲۰۰۸) عوامل موفقیت در پیاده سازی ایزو ۱۴۰۰۱ با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی در مالزی را بررسی نمودند. هدف از انجام این مطالعه تعیین عوامل فرعی و حیاتی برای اجرای موفقیت آمیز ایزو ۱۴۰۰۱ بود و طی آن با استفاده از روش فرایند سلسله مراتبی وزن نسبی و همچنین اولویت بندی عوامل موثر مشخص گردیده و بر اساس نتایج بدست آمده مهمترین عوامل در اجرای موفقیت آمیز ایزو ۱۴۰۰۱ داشتن رویکرد مدیریتی، تغییرات سازمانی، جنبه های فنی، معرفی شده است.

آدنیت و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله ای با عنوان شیوه های مدیریت لایروبی از جنبه ی زیست محیطی که با هدف شناسایی اثرات عملیات لایروبی بر محیط های لایروبی شده انجام گرفته است، به ریسک های ناشی از فعالیت لایروبی و دفع مواد لایروبی شده و تأثیر این مواد بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب و تأثیر رسوب ها بر آبریان کف زی و زیستگاه های بستر اشاره شده است. در این مطالعه مهمترین ریسک، تخریب زیستگاه های بستر و از بین رفتن گونه های کف زی در اثر برداشت رسوب و

تخریب زیستگاه های بستر در محل لایریزی در اثر تخلیه حجم زیاد رسوب اشاره شده است. چانگ و سون (۲۰۰۹) در مقاله ای با عنوان استفاده از DEA به منظور افزایش قابلیت ارزیابی تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی، نشان دادند که DEA نه تنها می تواند مشکلات سنتی تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی را برطرف کند بلکه به ارائه اطلاعات اصلاحی سه پارامتر RPN نیز می پردازد. لیانگ و ون (۲۰۰۹) در تحقیقی با عنوان مدل برنامه ریزی خطی فازی برای طراحی محصول جدید QFD با استفاده از تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی به مدل برنامه ریزی خطی فازی برای رسیدن به سطح رضایت مشتری پرداختند و برای رفع عدم قطعیت از منطق فازی برای هر دو مورد (QFD و FMEA) استفاده کردند. کو و همکاران (۲۰۰۹)، رویکرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در ارزیابی اوزان نسبی فاکتورهای ریسک را بر طبق الزامات اتحادیه اروپا برای مرحله آغازین کنترل کیفیت، مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه، فاکتور شدت اثر خرابی با استفاده از دو معیار توضیح داده شد و روش FAHP با در نظر گرفتن فاکتورهای شناسایی و امکان وقوع جهت تعیین اوزان چهار معیار با دو متخصص به کار گرفته شد.

سونگ و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله ای میزان تخریب های زیست محیطی در کوهستان های غرب چین با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند و عواملی که در سطح استان ها و شهرستان های واقع در مناطق کوهستانی باعث تخریب محیط زیست می شوند را با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی مشخص کردند. مطالعه آنان مشخص نمود که عوامل انسانی بیشترین سهم را در تخریب محیط زیست به خود اختصاص داده اند.

گوم و همکاران (۲۰۱۱) یک رویکرد سیستماتیک برای شناسایی و ارزیابی شکست های بالقوه با استفاده از تکنیک FMEA و تحلیل روابط خاکستری ارائه دادند. در مرحله اول، مشخصه سرویس FMEA برای انعکاس ویژگی هایش تهیه شد که متشکل از ۳ بعد و ۱۹ زیر مجموعه بود. در مرحله دوم، حالات شکست توسط روابط خاکستری محاسبه شد. در این مقاله، تحلیل روابط خاکستری در

یک ساختار دو مرحله ای به کار برده شد: ۱- محاسبه عدد ریسک ۲- محاسبه اولویت بندی نهایی ریسک. زاموری و گابریلی (۲۰۱۱)، ارائه یک نسخه پیشرفته از FMECA به نام فرایند تحلیلی شبکه (ANP/RPN) که باعث افزایش قابلیت های FMECA با توجه به تمایلات میان علل اصلی شکست در ارزیابی تحلیل حساسیت است را دادند. با توجه به مدل ANP/RPN، O، S و D را به زیر معیارها تقسیم کرده و در یک ساختار ترکیبی (سلسله مراتب/ شبکه) رتبه بندی کردند.

کوتلو و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از روش ترکیبی AHP و TOPSIS فازی برای غلبه بر مشکلات سنتی تحقیقی انجام دادند. در این روش وزن فاکتور ها با استفاده از روش AHP فازی محاسبه می شود، رتبه بندی فاکتورهای ریسک تامین کنندگان با استفاده از روش FMEA انجام و در نهایت تامین کنندگان با استفاده از روش تاپسیس رتبه بندی می شوند.

مورالی و گیردینا (۲۰۱۵)، در مقاله ای با عنوان مطالعه ایمنی کارخانه گازسازی با استفاده از رویکرد FMECA و HAZOP یکپارچه، پیشنهاد تجزیه و تحلیل این دو تکنیک را به عنوان ابزاری برای توسعه معیارهای خاص برای سازمان ها طراحی کردند. نتایج نشان داد که FHIA یک تکنیک مفید برای خطای بالقوه منابع انسانی و علت شکست های متعدد است. گینگلی و همکاران (۲۰۱۵)، در مقاله ای با عنوان پژوهشی در آسیب پذیری فیزیکی مترو بر اساس تئوری شبکه و FMECA برای نشان دادن اثربخشی در شناسایی مازول کاربردی آسیب پذیر و حساس در سیستم مترو، ارزیابی شدت حالات شکست را ارائه کردند. در پایان یک ساختار سازمانی رو به جلو که متشکل از سه جنبه عملیات، تحقیق و تولید کننده برای بهبود سطح ایمنی مترو بود را ارائه دادند. جمشیدی و همکاران (۲۰۱۵)، در مقاله ای با عنوان چهارچوب جامع فازی مبتنی بر ریسک نگهداری و تعمیرات، مدلی برای اولویت بندی دستگاه های پزشکی ارائه کردند. مقاله آن ها از سه مرحله تشکیل شده بود: مرحله اول بکارگیری روش FMEA فازی با در نظر گرفتن عوامل ارزیابی ریسک، مرحله دوم هفت بعد دیگر مانند خطرات ناشی از استفاده، سن و بکارگیری تمام جنبه های حوادث و خطرات را در اولویت بندی

تجهیزات در نظر گرفتند، سرانجام یک روش ساده در جهت پیدا کردن استراتژی مناسب برای هر دستگاه با توجه به امتیازات داده شده به کار گرفته شد.

وین و همکاران (۲۰۱۶)، در مقاله ای با عنوان نظریه فازی و خاکستری در FMEA برای تجهیزات تانکر از تئوری فازی و خاکستری برای محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی استفاده کردند و نتایج آن ها نشان داد که ارزیابی حالات شکست توسط هر دو نظریه کاملاً مشابه است و آن ها پیشنهاد دادند برای تصمیم گیری بهتر در مورد بازرسی و تعمیر از نرم افزار mpractical استفاده شود.

کرتا و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله ای با عنوان تجزیه و تحلیل حالت شکست بر اساس یک روش جدید اثبات فازی، برای غلبه بر روش سنتی و عدم اطمینان یک مدل FMEA بر اساس روش اثبات جدید فازی پیشنهاد کردند. عوامل خطر با درجه عضویت فازی بررسی می شود، در نتیجه یک روش جامع برای رتبه بندی خطرات حالت های شکست با ترکیب اطلاعات ویژگی های O، S و D با تئوری Dempster-Shafer) D – S معرفی کردند. مزایای روش پیشنهادی این است که نه تنها می تواند تنوع و عدم قطعیت ارزیابی ریسک را پوشش دهد بلکه قابلیت اطمینان RPN را با همکاری داده ها افزایش می دهد. برای اعتبار سنجی روش پیشنهادی مطالعه موردی با یک سیستم الکترومکانیکی انجام می شود. نتایج تجربی نشان می دهد که این روش معقول و موثر برای کاربردهای واقعی است. امیدواری و نیرومند (۲۰۱۷) در مقاله ای روش توسعه یافته ویکور را بر اساس اندازه گیری آنتروپی برای تجزیه و تحلیل حالات شکست را ارائه دادند. پژوهش آن ها با هدف توسعه کارآمد در FMEA است که به رسیدگی ابهامات و عدم قطعیت کارشناسان در روش سنتی می پردازد. در این مقاله با استفاده از مفهوم آنتروپی شانون به استقرار وزن اهداف برای تنظیم وزن دهی توسط کارشناسان واگذار شده است. علاوه بر این روش ویکور فازی اعمال شده به رتبه بندی و اولویت بندی حالات شکست می پردازد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که استفاده از روش ارائه شده در محیط فازی می تواند به بهبود روش FMEA سنتی بیانجامد و کاربردهای بیشتری داشته باشد. هانگ و همکاران

(۲۰۱۷) به ارائه یک روش جدید با استفاده از ارزیابی زبانی و روش توزیع TODIM (تصمیم گیری چند معیاره تعاملی) پرداختند. روش TODIM جامع به گرفتن نظر خبرگان برای دستیابی و رتبه بندی حالات بالقوه شکست می پردازد.

براگلیا (۲۰۰۰)، تجزیه و تحلیل حالت شکست چند صفته (MAFMA) را براساس تکنیک فرایند سلسله مراتبی (AHP) را پیشنهاد کردند. MAFMA پیشنهادی، عوامل ریسک (D, S, O) و هزینه مورد انتظار) را به عنوان ویژگی های تصمیم، علل شکست را به عنوان جایگزین های تصمیم و انتخاب علت شکست را به عنوان هدف تصمیم نشان داده است که همراه با ویژگی ها و جایگزین ها تشکیل یک ساختار سه سطحی سلسله مراتبی را می دهد. ماتریس های مقایسه دو به دو برای تخمین اوزان ویژگی ها و اولویت های علل با توجه به ویژگی هزینه مورد انتظار استفاده شدند.

کائو و همکاران (۲۰۱۶)، در مقاله ای با عنوان تصمیم روش تجزیه و تحلیل چند خصیصه ای که با استفاده از کالای TFL-LCD در یک شرکت فن آوری در تایوان انجام شد مقایسه بین MAFMA و RPN و GMAFMA را انجام دادند، و با تایید عددی نشان دادند که معایب روش های قبل بهبود پیدا کرده است، و این روش یک ارزیابی منطقی تر برای بدست آوردن اولویت ریسک است. این روش افزایش ثبات روند و کاهش خطر نارسایی برای مدیران را فراهم می کند.

در خلاصه ای جدول ۲-۶ از پیشینه تحقیقات آورده شده است.

جدول ۲-۶: خلاصه ای از پیشینه تحقیقات

نویسنده	سال	مساله	روش و تکنیک
بولز	۱۹۹۵	توسعه FMEA در محیط فازی	FMEA با منطق فازی با تابع عضویت مثلثی و ذوزنقه ای
بولز و همکاران	۱۹۹۶	اولویت بندی حالات شکست با استفاده از منطق فازی	نقشه ها و گراف های فازی
براگلیا و همکاران	۲۰۰۳	مدل ارزیابی حالات شکست بحرانی در شرایط فازی	اعداد اولویت ریسک تحت عنوان میانگین هندسی موزون فازی و برنامه ریزی خطی

TOPSIS و FMEA فازی	رویکرد تاپسیس فازی برای حالات شکست	۲۰۰۳	براگلیا و همکاران
DEA	بررسی کفایت های مدل DEA برای استفاده از FMEA	۲۰۰۴	گارسیا و همکاران
AHP	بررسی ریسک و عدم قطعیت در بزرگراه	۲۰۰۸	زید و همکاران
AHP	تعیین عوامل فرعی و حیاتی برای اجرای موفقیت آمیز ایزو	۲۰۰۸	سامباسیوان و همکارا
DEA	استفاده از DEA به منظور افزایش قابلیت ارزیابی FMEA	۲۰۰۹	چانگ و سون
برنامه ریزی خطی	مدل برنامه ریزی خطی فازی برای طراحی محصولات جدید با استفاده از FMEA	۲۰۰۹	لیانگ و ون
FAHP	رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی اوزان نسبی فاکتور های ریسک بر طبق الزامات اتحادیه اروپا	۲۰۰۹	کو و همکاران
AHP	میزان تخریب های زیست محیطی	۲۰۱۰	سونگ و همکاران
تئوری خاکستری	رویکرد سیستماتیک برای شناسایی و ارزیابی شکست های بالقوه	۲۰۱۱	گوم و همکاران
ANP	ارائه یک نسخه پیشرفته از FMECA با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه	۲۰۱۱	زاموری و گابریلی
TOPSIS و AHP	حالت های شکست و تجزیه و تحلیل اثرات با استفاده از TOPSIS و AHP فازی	۲۰۱۲	کوتلو و همکاران
HAZOP و FMECA	مطالعه ایمنی کارخانه گاز سازی	۲۰۱۵	مورالی و گیردینا
FMEA و شبکه	پژوهشی در آسیب پذیری فیزیکی مترو	۲۰۱۵	گینگلی و همکاران
تئوری فازی و خاکستری و نرم افزار mpractical	نظریه فازی و خاکستری در FMEA برای تجهیز تانکر	۲۰۱۶	وین و همکاران
DEMPSTER-SHAFFER	تجزیه و تحلیل حالات شکست بر اساس یک روش جدید اثبات فازی و تئوری D-S	۲۰۱۷	کرتا و همکاران
ویکور	روش توسعه یافته ویکور بر اساس اندازه گیری آنتروپی شانون	۲۰۱۷	امیدواری و همکاران
TODIM	ارائه یک روش جدید با استفاده از ارزیابی زبانی و روش توزیع TODIM	۲۰۱۷	هانگ و همکاران
AHP	تجزیه و تحلیل حالت شکست چند صفتی	۲۰۰۰	براگلیا
AHP	حالت تعمیم یافته تجزیه و تحلیل حالت شکست چند صفتی	۲۰۱۶	کائو و همکاران
فازی و AHP فازی	رتبه بندی عوامل شکست با استفاده از رویکرد تحلیل حالات بالقوه خرابی چند صفتی (MAFMA) در شرایط فازی	۲۰۱۷	تحقیق حاضر

۲-۴- جمع بندی

در این فصل در ابتدا به شرح مختصری از استفاده از FMEA برای اولین بار پرداختیم. در مبانی نظری معنا و مفهوم تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی و اهداف و ویژگی ها و.... به طور کامل شرح دادیم و در آخر بررسی مرحله به مرحله این تکنیک را معرفی کردیم. در قسمت پیشینه تحقیق ابتدا تحقیقات داخلی و سپس تحقیقات بین المللی را معرفی کردیم.

تحقیقاتی که تا به حال انجام شده است به جزء دو مورد که آیتم هزینه را در نظر گرفته اند بقیه تحقیقات حالات خرابی را فقط از سه منظر شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف بررسی کرده اند. ما در این تحقیق به بررسی حالات خرابی با در نظر گرفتن چهار معیار شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف و هزینه مورد انتظار در شرایط فازی پرداخته ایم. این تحقیق در زمینه سلامت و در ساخت تجهیزات پزشکی انجام شده است.

فصل ۳ - روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی چند صفته تکنیکی است که برای جلوگیری از حالات خرابی در فرآیند تولید به کار می رود. این تکنیک بر پایه تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه ابداع شده است که با به کار گرفتن آیتم هزینه در این تکنیک نسبت به حالت قبل از کارایی بیشتری برخوردار است و به واقعیت نزدیکتر است. لذا تحقیق حاضر به لحاظ ماهیت یک تحقیق کاربردی محسوب می شود. روش جمع آوری داده ها در مراحل اولیه از نوع مطالعه کتابخانه ای است که با مطالعه مقالات متعدد بدست آمده است. جهت شناسایی عوامل بالقوه خرابی از روش مصاحبه باز که با تعدادی از خبرگان صنعت پزشکی در زمینه تولید همودیالیز تخصص داشتند مصاحبه شده است. خبرگان به هریک از حالات بالقوه خرابی طبق جداولی که در فصل دوم آمده است امتیازاتی دادند. در مرحله نهایی به منظور تعیین امتیازات مربوط به هریک از آیتم ها از نظر خبرگان و به صورت مقایسه زوجی و استفاده از جداول مربوط به رتبه بندی FMEA استفاده شده است. در این راستا به دلیل اینکه پارامترها در قالب اعداد قطعی بیان می گردند و استفاده از اعداد قطعی برای اینگونه پیش بینی ها از دنیای واقعی دور است و از طرفی افراد خبره از شایستگی ها و توانایی های ذهنی خود برای پیش بینی استفاده می نمایند که این نشان دهنده عدم قطعیت آن است به همین دلیل از منطق فازی استفاده می کنیم.

۳-۲- روش انجام پژوهش

هدف از این تحقیق، استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی چند صفته برای جلوگیری از حالات خرابی در فرایند تولید می باشد. لذا تحقیق حاضر به لحاظ ماهیت یک تحقیق کاربردی محسوب می شود، زیرا به توسعه دانش کاربردی در زمینه ای خاص می پردازد. این پژوهش نیز از لحاظ چگونگی بدست آوردن داده های مورد نیاز از نوع توصیفی- پیمایشی محسوب می شود.

۳-۳- مراحل انجام پژوهش

مراحل پژوهش به این صورت است که در ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه ای به بررسی ادبیات موضوع و مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته شد. و در مراحل بعدی با استفاده از جداول امتیازات مربوط به هریک از معیارها به امتیازدهی مسائل بالقوه در حالات ساده و فازی پرداخته شد و در آخر مسائل بالقوه در حالات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در زیر مراحل کار تحقیق آورده شده است.

مراحل کار تحقیق به ترتیب زیر می باشد:

- A. انجام مطالعات کتابخانه ای و بررسی منابع موجود.
- B. انجام مصاحبه با خبرگان جهت شناسایی مسائل بالقوه.
- C. دادن امتیازات به هریک از مسائل بوسیله خبرگان: در اینجا با استفاده از جداول شدت خرابی (S)، احتمال وقوع خرابی (O) و احتمال کشف (D)، به هریک از بعدها امتیازات ۱ تا ۱۰ داده شده است.
- D. در مرحله چهارم سه بعد S، O و D در یکدیگر ضرب شده و تکنیک تحلیل حالات بالقوه خرابی (FMEA) در حالت سنتی بدست می آید.
- E. در این مرحله به محاسبه بعد هزینه مربوط به مسائل بالقوه طبق مقایسات زوجی پرداخته می شود. این مرحله با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس انجام می شود.
- F. با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس چهار معیار شدت، احتمال خرابی، احتمال کشف و هزینه مورد انتظار را مقایسات زوجی کرده و به هریک از معیارها وزن می دهیم.
- G. وزن هریک از حالات خرابی را در وزن چهار معیار شدت، احتمال خرابی، احتمال کشف و هزینه مورد انتظار ضرب می کنیم

H. بعد از ضرب هریک از حالات خرابی در وزن چهار معیار، حالات خرابی در هریک از چهار معیار را با هم جمع می کنیم. که در این مرحله MAFMA بدست می آید.

I. دادن امتیازات در مقیاس فازی به هریک از سه معیار S، O و D.

J. ضرب هریک از سه معیار در هم که حاصل آن بدست آمدن FMEA فازی است.

K. بدست آوردن وزن هریک از حالات خرابی مربوط به معیار هزینه با استفاده از نرم افزار تحلیل سلسله مراتبی فازی.

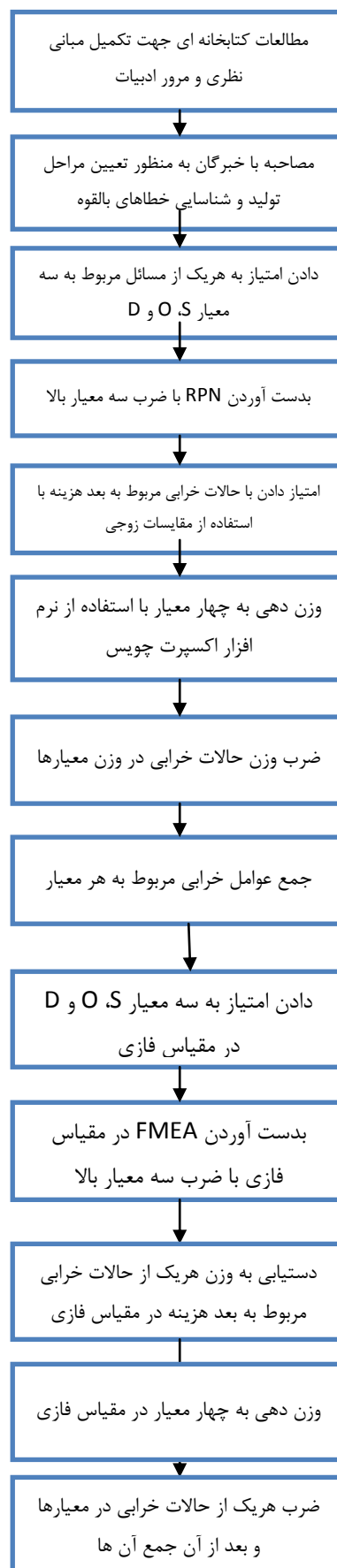
L. دادن وزن به هریک از چهار معیار با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی.

M. ضرب هریک از حالات خرابی در وزن چهار معیار.

N. جمع هریک از حالات خرابی، که در این مرحله MAFMA در شرایط فازی بدست می آید.

O. مقایسه هریک از جداول FMEA سنتی، MAFMA، FMEA فازی و MAFMA در شرایط فازی.

در شکل ۳-۱ مراحل انجام پژوهش در فلوچارت نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: مراحل انجام پژوهش

۳-۴- منطق فازی

منطق فازی اولین بار در پی تنظیم نظریه مجموعه‌های فازی به وسیله پروفیسور لطفی زاده (۱۹۶۵ م) در صحنه محاسبات نو ظاهر شد. واژه فازی به معنای غیردقیق، ناواضح و مبهم (شناور) است در واقع آن دسته از مجموعه‌هایی هستند که اعضای آنها دقیق و مشخص نیستند. دکتر عسگرزاده برای تجزیه و تحلیل این مجموعه‌ها، به هر یک از اعضای چنین مجموعه‌هایی عددی از بازه (۰ و ۱) به عنوان درجه عضویت آن عضو در آن مجموعه نسبت داده است.

واژه فازی در فرهنگ لغت آکسفورد بصورت مبهم، گنگ، نادقیق، گیج، مغشوش، در هم و نامشخص تعریف شده است. ما در متن همان واژه فازی را استفاده می‌کنیم. سیستمهای فازی، سیستمهایی هستند با تعریف دقیق و کنترل فازی نیز نوع خاصی از کنترل غیر خطی می‌باشد که آنهم دقیقاً تعریف می‌گردد. این مطلب مشابه کنترل و سیستم‌های خطی می‌باشد که واژه خطی یک صفت فنی بوده که حالت و وضعیت سیستم و کنترل را مشخص می‌کند. چنین چیزی در مورد واژه فازی نیز وجود دارد. اساساً گرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند، با این حال خود تئوری فازی یک تئوری دقیق می‌باشد.

دو نوع توجیه برای تئوری سیستم‌های فازی وجود دارد:

- دنیای واقعی ما بسیار پیچیده تر از آن است که بتوان یک توصیف و تعریف دقیق برای آن بدست آورد بنابراین باید یک توصیف تقریبی یا همان فازی که قابل قبول و قابل تجزیه و تحلیل باشد، برای یک مدل معرفی شود.
- با حرکت ما بسوی عصر اطلاعات، دانش و معرفت بشری بسیار اهمیت پیدا می‌کند. بنابراین ما به فرضیه‌ای نیاز داریم که بتواند دانش بشری را به شکلی سیستماتیک فرموله کرده و آنرا به همراه سایر مدل‌های ریاضی در سیستم‌های مهندسی قرار دهد.

در سیستم های عملی اطلاعات مهم از دو منبع سرچشمه می گیرند. یکی از منابع، افراد خبره می باشند که دانش و آگاهی شان را در مورد سیستم با زبان طبیعی تعریف می کنند. منبع دیگر اندازه گیری ها و مدل های ریاضی هستند که از قواعد فیزیکی مشتق شده اند. بنابراین یک مسئله مهم ترکیب این دو نوع اطلاعات در طراحی سیستمها است. برای انجام این ترکیب سؤال کلیدی این است که چگونه می توان دانش بشری را در چهارچوبی مشابه مدل های ریاضی فرموله کرد. به عبارت دیگر سؤال اساسی این است که چگونه می توان دانش بشری را به یک فرمول ریاضی تبدیل کرد. اساساً آنچه که یک سیستم فازی انجام می دهد، همین تبدیل است. برای اینکه بدانیم این تبدیل چگونه صورت می گیرد، ابتدا باید بدانیم سیستم های فازی چگونه سیستم هایی هستند.

سیستم های فازی، سیستم های مبتنی بر دانش یا قواعد می باشند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر- آنگاه فازی تشکیل شده است. یک قاعده اگر- آنگاه فازی یک عبارت اگر- آنگاه بوده که بعضی کلمات آن بوسیله توابع متعلق پیوسته مشخص شده اند. بعنوان مثال عبارت فازی زیر را در نظر بگیرید:

اگر سرعت اتومبیل بالا است، آنگاه نیروی کمتری به پدال گاز وارد کنید.

اعداد فازی نوعی خاص از مجموعه های فازی هستند. بنابراین با درک مفهوم مجموعه فازی می توان اعداد فازی را به سادگی فرا گرفت. در منطق کلاسیک هر عدد یک مقدار قطعی و مشخص است اما در منطق فازی هر عدد مقداری تقریبی است. عدد فازی یک مجموعه فازی با شرایط سه گانه زیر است:

- نرمال باشد.
- محدب باشد
- مجموعه پشتیبان آن محدود باشد.

انواع بسیار متنوعی از اعداد فازی با نام‌ها و ویژگی‌های متفاوت ارائه شده و بکار گرفته شده است. اما یک اصل مهم در بکارگیری تئوری فازی کارایی محاسباتی آن است. کار کردن با اعداد فازی مختلف دشواری‌های زیادی دارد. دیدیه دوبوا و هنری پراد برای رفع این مشکل اعداد فازی «راست و چپ» موسوم به اعداد LR را معرفی کردند. پس از آن روش‌های متعددی برای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی پیشنهاد شد.

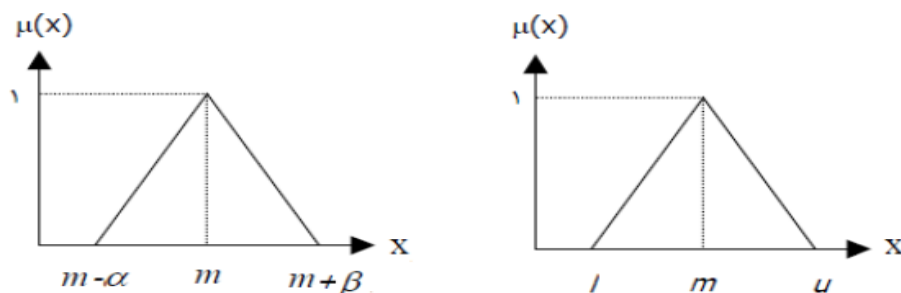
۳-۴-۱- عدد فازی مثلثی^۱ (TFN)

عدد فازی مثلثی یک عدد فازی است که با سه عدد حقیقی به صورت $F=(I,M,U)$ نمایش داده می‌شود (در بعضی از مراجع عدد فازی مثلثی را با (α, M, β) نیز نشان می‌دهند). کران بالا که با U نمایش داده می‌شود بیشینه مقادیری است که عدد فازی F می‌تواند اختیار کند. کران پایین که با l نشان داده می‌شود کمینه مقادیری است که عدد فازی F می‌تواند اختیار کند. مقدار M محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به صورت رابطه ۱ است:

$$\mu_f(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & l < x < m \\ \frac{u-x}{u-m} & m < x < u \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \quad \text{رابطه (1)}$$

¹- Triangular fuzzy number

عدد فازی مثلثی $F=(I,M,U)$ در فضای هندسی به صورت شکل ۲-۳ نمایش داده می‌شود:



شکل ۲-۳: نمایش اعداد فازی مثلثی

با توجه به تابع عضویت اعداد مثلثی مشخص است اگر x بین l و m باشد آنگاه هر چه بزرگتر باشد درجه عضویت آن نیز بزرگتر خواهد شد تا جائیکه برای $x=m$ درجه عضویت برابر یک می‌شود. اگر x بین m و u باشد هرچه بزرگتر باشد، درجه عضویت کوچکتر خواهد شد و در $x=u$ درجه عضویت صفر خواهد شد.

۲-۴-۳ - غیر فازی کردن عدد فازی

جهت تبدیل یک عدد فازی به یک مقدار دقیق روشهای مختلفی از جمله روش مرکز ثقل، روش بیشترین تابع عضویت، روش امتیاز دهی به چپ و راست عدد فازی و ... وجود دارد. در اینجا از روش امتیاز دهی به چپ و راست عدد فازی استفاده شده است. در این روش امتیاز کل دقیق یک عدد فازی A از مقدار امتیازات چپ و راست از دو مجموعه ویژه حداقل ($\min$) و حداکثر ($\max$) و درجه عضویت عدد فازی بدست می‌آید. این دو مجموعه $\min$ و $\max$ با فرض اینکه دامنه اعداد فازی $\{0,1\}$ باشند به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} 1-x & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad \text{رابطه (۳)}$$

امتیاز سمت چپ A به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\mu_L(A) = 1 - \frac{m}{1+\alpha} \quad \text{رابطه (۴)}$$

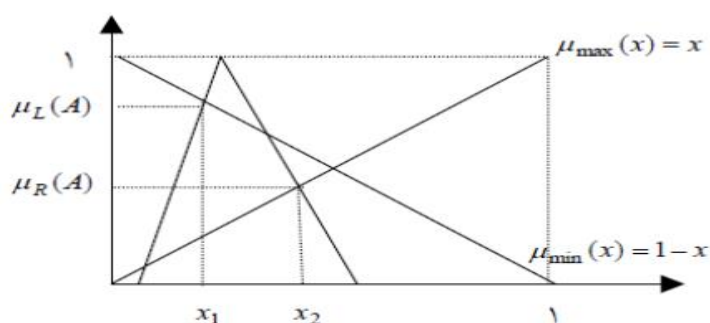
امتیاز سمت راست A به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\mu_R(A) = \frac{m+\beta}{1+\beta} \quad \text{رابطه (۵)}$$

با بدست آوردن این امتیازات می توان امتیاز کل را از رابطه ۶ بدست آورد:

$$\mu_T(A) = \frac{\mu_R(A) + 1 - \mu_L(A)}{2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

فرض کنید یک مجموعه فازی مثلثی تحت عنوان $A=(\alpha, m, \beta)$ داریم، شکل ۳-۳ مقادیر این امتیازات چپ و راست را به صورت گرافیکی نشان می دهد.



شکل ۳-۳: شکل گرافیکی امتیازات مقادیر چپ و راست

۳-۵- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

دنیای اطراف ما مملو از مسائل چند معیاره است و انسان ها همیشه مجبور به تصمیم گیری در این زمینه ها هستند. از احداث یک سد اهداف مختلفی مانند توسعه کشاورزی، تولید برق، توسعه اقتصادی و اجتماعی و تغییر شرایط آب و هوایی و... دنبال می شود که تصمیم گیرندگان علاقه مندند که همه این اهداف در حد ممکن بهینه شوند. در تصمیم گیری های کلان مانند تنظیم بودجه سالانه کشور نیز متخصصین اهداف مختلفی مانند امنیت، آموزش، توسعه صنعتی، بهداشت و... را تعقیب می کنند و مایلند که این اهداف را بهینه نمایند. در هر تصمیم گیری فضای تصمیم سازی به صورت پیوسته یا گسسته است. همچنین ممکن است تصمیم گیری تک معیاره یا چند معیاره باشد. بعلاوه این معیارها می توانند بصورت های کمی، کیفی و یا تلفیقی از هر دو (در حالت چند معیاره) باشند. در فضای گسسته و حالت تک معیاره، تصمیم گیری راحت است. در حالتی که معیار کیفی باشد، تصمیم گیری مقداری مشکل بوده و لازم است که ابتدا استاندارد تعریف شود. در حالتی که معیارهای چندگانه (اعم از کیفی و یا کمی) مطرح باشند، علاوه بر حالت فوق مساله تبدیل معیارها به هم نیز مطرح است. بنابراین فرآیند تصمیم گیری با دو مشکل اساسی زیر روبرو است:

- فقدان استاندارد برای اندازه گیری معیار کیفی.
 - فقدان واحد برای تبدیل معیارها (اعم از کیفی و کمی) به یکدیگر.
- فورمن (۱۹۸۵)، معتقد است که یک سیستم پشتیبانی تصمیم گیری چند معیاره باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- امکان فرموله کردن مساله و تجدیدنظر در آن را بدهد.
- گزینه های مختلف را در نظر بگیرد.
- معیارهای مختلف را در نظر بگیرد.

- معیارهای کمی و کیفی را در تصمیم گیری دخالت دهد.
- نظرات افراد مختلف را در مورد گزینه ها و معیارها لحاظ کند.
- امکان تلفیق قضاوت ها برای محاسبه نرخ نهایی را بدهد.
- بر مبنای یک تئوری قوی استوار باشد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع ترین سیستم های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مساله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می آورد و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد. این فرآیند گزینه های مختلف را در تصمیم گیری دخالت می دهد و امکان تحلیل حساسیت را دارد. علاوه براین، بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است، که محاسبات را تسهیل می نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می دهد که از مزایای این تکنیک در تصمیم گیری چند معیاره است. بعلاوه از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و براساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروفترین فنون تصمیم گیری چند منظوره است که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی عراقی الاصل در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی منعکس کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این تکنیک، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آن ها مورد بررسی قرار می دهد و آن ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن می پردازد. AHP یک متد تضمینی چند شاخصه (MADM) به شمار می رود.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم گیری روبروست می تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیمش را آغاز می کند. درخت سلسله مراتبی تصمیم، عوامل مورد مقایسه و

گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم نشان می‌دهد. در نهایت منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید.

توماس ساعتی چهار اصل زیر را به عنوان اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بیان نموده و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول بنا نهاده است. این اصول عبارتند از:

اصل ۱. شرط معکوسی

اصل ۲. همگنی

اصل ۳. وابستگی

اصل ۴. انتظارات

شرط معکوسی: اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر $1/n$ خواهد بود.

شرط همگنی: عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشند. به بیان دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

شرط وابستگی: هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

شرط انتظارات: هرگاه تغییری در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد فرآیند ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد. (قدسی پور، ۱۳۸۱، ص ۶).

۳-۵-۱- مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

بکارگیری این روش مستلزم چهار قدم عمده زیر می‌باشد:

الف) مدل سازی

در این قدم، مسأله و هدف تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی از عناصر تصمیم که با هم در ارتباط می‌باشند، در آورده می‌شود. عناصر تصمیم شامل «شاخص‌های تصمیم‌گیری» و «گزینه‌های تصمیم» می‌باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نیازمند شکستن یک مسأله با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. سطح بالا بیانگر هدف اصلی فرآیند تصمیم‌گیری است. سطح دوم، نشان دهنده شاخص‌های عمده و اساسی که ممکن است به شاخص‌های فرعی و جزئی‌تر در سطح بعدی شکسته شود، می‌باشد. سطح آخر گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند.

ب) قضاوت ترجیحی (مقایسات زوجی)

انجام مقایساتی بین گزینه‌های مختلف تصمیم، بر اساس هر شاخص و قضاوت در مورد اهمیت شاخص تصمیم با انجام مقایسات زوجی، بعد از طراحی سلسله مراتب مسأله تصمیم، تصمیم‌گیرنده می‌بایست مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌نماید، ایجاد کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. برای انجام این کار معمولاً از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های i ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های j ام استفاده می‌شود که در جدول ۳ نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم نشان داده شده است.

ج) محاسبه وزن نسبی

در فرآیند سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر بصورت زوجی مقایسه شده و وزن آن ها محاسبه می گردد. که این وزن ها را وزن نسبی می نامیم. تعیین وزن «عناصر تصمیم» نسبت به هم از طریق مجموعه ای از محاسبات عددی انجام می شود. قدم بعدی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس های مقایسات زوجی است. خلاصه عملیات ریاضی در این مرحله به صورت زیر است:

مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسات زوجی را محاسبه کرده، سپس هر عنصر ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می کنیم. ماتریس جدیدی که بدین صورت بدست می آید، «ماتریس مقایسات نرمال شده» نامیده می شود. میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسات نرمال شده را محاسبه می کنیم. این میانگین وزن نسبی عناصر تصمیم با سطرهای ماتریس را ارائه می کند.

روش های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی وجود دارد مانند روشهای حداقل مربعات، حداقل مربعات لگاریتمی، بردار ویژه، میانگین هندسی، مجموع سطری و مجموع ستونی و ... وجود دارد که ما در اینجا از روش میانگین هندسی استفاده کرده ایم.

میانگین هندسی: در این روش میانگین هندسی عناصر هر سطر محاسبه می شود. نرمال شده بردار حاصل، بردار وزن خواهد بود.

(د) ادغام وزن های نسبی

به منظور رتبه بندی گزینه های تصمیم، در این مرحله بایستی وزن نسبی هر عنصر را در وزن عناصر بالاتر ضرب کرد تا وزن نهایی آن بدست آید. با انجام این مرحله برای هر گزینه، مقدار وزن نهایی بدست می آید که آن را وزن مطلق می نامیم.

در جدول ۳-۱ مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی آورده شده است.

جدول ۳-۱: مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی

مقدار	ترجیحات (قضاوت شفاهی)	
9	Extremely preferred	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر یا کاملاً مطلوب تر
7	very strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
5	strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
3	Moderately preferred	کمی مرجح یا کمی مهمتر یا کمی مطلوب تر
1	Equally preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان
2,4,6,8	—	ترجیحات بین فواصل

۳-۵-۲- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی اگر چه افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای انجام مقایسات استفاده می‌نمایند، اما باید به این نکته توجه داشت که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را بطور کامل ندارد. استفاده از اعداد فازی سازگاری بیشتری با عبارات کلامی و گاه مبهم انسانی دارد بنابراین بهتر است که با بکارگیری اعداد فازی به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت.

دو پژوهشگر هلندی به نام فان لارهوفن و پدریک به سال ۱۹۸۳ برای نخستین بار روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد نمودند. این روش با جایگزینی اعداد فازی مثلی در ماتریس مقایسه‌های زوجی و بر مبنای حداقل مجذورات لگاریتمی بنا نهاده شده است. پیچیدگی مراحل این روش باعث شده این روش چندان مورد استفاده قرار نگیرد.

در سال ۱۹۹۲ روشی با عنوان روش تحلیل توسعه ای توسط چانگ ارایه گردید. بعدها به سال ۱۹۹۶ این روش توسط خود وی بهبود بخشیده شد. روش گسترش یافته چانگ بیش از همه روش‌های دیگر برای محاسبات تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته است. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلی فازی هستند. چانگ جهت تعمیم تکنیک AHP به فضای فازی از مفهوم درجه

امکانپذیری استفاده کرده است. منظور از درجه امکانپذیری آن است که مشخص شود چقدر احتمال دارد یک عدد فازی بزرگتر از یک عدد فازی دیگر باشد. در جدول ۱-۳ طیف فازی معادل مقیاس نه درجه ای ساعتی نشان داده شده است.

جدول ۱-۳: طیف فازی معادل مقیاس نه درجه ای ساعتی

عبارات کلامی	معادل فازی	عدد استفاده شده در جداول	معادل فازی معکوس	عدد استفاده شده در جداول
ترجیح یکسان	(۱و۱)	1	(۱و۱)	1
بینابین	(۱و۲و۳)	2	(۰,۳۳۳و۰,۵و۱)	1/2
کمی مرجع	(۲و۳و۴)	3	(۰,۲۵و۰,۳۳۳و۰,۵)	1/3
بینابین	(۳و۴و۵)	4	(۰,۲و۰,۲۵و۰,۳۳۳)	1/4
خیلی مرجع	(۴و۵و۶)	5	(۰,۱۶۶و۰,۲و۰,۲۵)	1/5
بینابین	(۵و۶و۷)	6	(۰,۱۴۲و۰,۱۶۶و۰,۲)	1/6
خیلی زیاد مرجع	(۶و۷و۸)	7	(۰,۱۲۵و۰,۱۴۲و۰,۱۶۶)	1/7
بینابین	(۷و۸و۹)	8	(۰,۱۱۱و۰,۱۲۵و۰,۱۴۲)	1/8
کاملاً مرجع	(۹و۹و۹)	9	(۰,۱۱۱و۰,۱۱۱و۰,۱۱۱)	1/9

۳-۵-۲-۱- مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

- تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه های زوجی
- تشکیل ماتریس مقایسه های زوجی با به کارگیری اعداد فازی
- محاسبه Si برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی که با استفاده از رابطه ۱۰ بدست می آید:

$$Si = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در این رابطه i بیانگر شماره سطر و j بیانگر شماره ستون می باشد. M_{gi}^j در این رابطه اعداد فازی مثلثی ماتریس های مقایسه زوجی هستند. هریک از مقادیر در فرمول از طریق روابط زیر بدست می آید. در این روابط d_i و m_i به ترتیب مولفه های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

$$\sum_{j=1}^m M = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m \mu_j \right) \quad \text{رابطه (8)}$$

$$\text{رابطه (9)} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left[\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n \mu_i \right]$$

$$\text{رابطه (10)} \quad \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \mu_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right]$$

• محاسبه درجه بزرگی S_i نسبت به همدیگر:

به طور کلی اگر $M_1=(l_1, m_1, u_1)$ و $M_2=(l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1

نسبت به M_2 به صورت زیر تعریف می شود:

$$V(M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1 & m_1 \geq m_2 \\ 0 & \mu_1 \leq l_2 \\ \frac{l_2 - \mu_1}{(m_1 - \mu_1) - (m_2 - l_2)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{رابطه (11)}$$

• محاسبه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس های مقایسه زوجی

• محاسبه بردار وزن نهایی: برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در

مرحله قبل نرمالیزه کرد.

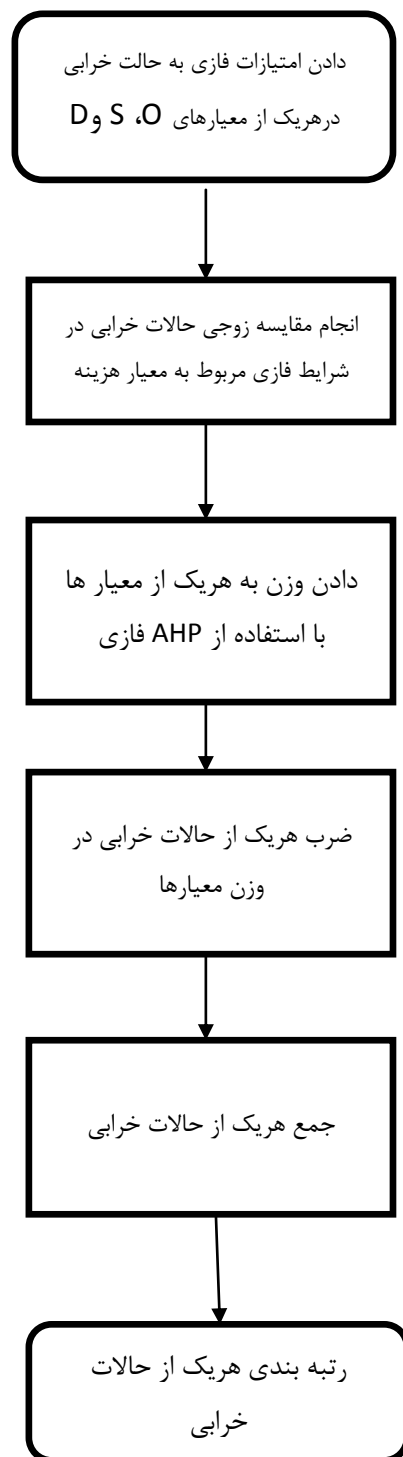
۳-۶- مدل MAFMA فازی

تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی (FMEA) به تشخیص قابلیت اطمینان با لحاظ کردن علل بالقوه خرابی و آثار آنها بر سیستم تحت مطالعه اختصاص می یابد. این نگرش از پائین به بالا را می توان در هر سطحی از سیستم های کامل تا اجزاء به کار برد. با وجودی که FMEA احتمالا متداول ترین ابزار تجزیه و تحلیل حالت خرابی و قابلیت اطمینان است نقاط ضعف هایی را به همراه دارد. یک نقطه ضعف این تکنیک آن است که این تکنیک فقط برخی از ابعاد خرابی را در نظر می گیرد در حالی که پارامتر مهم بعد اقتصادی را در نظر نمی گیرد. در این تحقیق با در نظر گرفتن معیارهای

متفاوتی که در تکنیک تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی وجود دارد و با در نظر گرفتن بعد هزینه، یک نگرش چند خصیصه ای بر مبنای تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پیشنهاد می شود که جنبه های اولیه FMEA و ملاحظات اقتصادی را در نظر می گیرد. با پیروی از این رویه که تجزیه و تحلیل خرابی چند خصیصه ای (MAFMA) نامیده می شود یک درجه بندی نهایی برای هر علت خرابی بدست می آید (پراگلیا).

این روش نیز با مشکلاتی روبرو است، یکی از این مشکلات مبهم و نادقیق بودن اعدادی است که خبرگان به هر حالت خرابی می دهند. دراین پژوهش با استفاده از منطق فازی به حل این مشکل می پردازیم.

مراحل کار در این روش به صورت شکل ۳-۴ می باشد:



شکل ۳-۴: مراحل روش MAFMA فازی

۳-۷- جمع آوری اطلاعات

جمع آوری اطلاعات در یک پژوهش علمی از حساسیت زیادی برخوردار است و برای آن که نتایج به دست آمده و نتیجه گیری قابل اعتماد باشد باید کلیه اطلاعات به طور مرتب و سیستماتیک جمع آوری شوند. برای جمع آوری اطلاعات از روشهای متعددی استفاده می شود که انتخاب هر روش با توجه به شرایط و نوع اطلاعات مورد نظر صورت می گیرد. در یک پیش نویس طرح تحقیقاتی، جزئیات روشهای جمع آوری اطلاعات و همچنین وسائل و ابزارهای مورد استفاده و میزان اعتبار هر کدام و چگونگی اعمال کنترل بر روی هر یک از روشها باید ذکر گردد. به طور کلی روشهای جمع آوری اطلاعات شامل مشاهده، مصاحبه و ... است.

مصاحبه و پرسشنامه کتبی (چهره به چهره): مصاحبه یکی از روش های جمع آوری اطلاعات است که در آن به صورت حضوری یا غیر حضوری از افراد یا گروهی از آنان پرسش می شود. نکته مهم آن است که سوالات مصاحبه از پیش اندیشیده شده و تعیین شده است. آنچه مصاحبه را به صورت های مختلف طبقه بندی می کند میزان انعطاف پذیری آن و یا نحوه اجرای آن است. مصاحبه را یکی از روش هایی دانسته اند که امکان دریافت پاسخ در آن بیش از روش های دیگر است، زیرا در هنگام مصاحبه امکان تحریک آزمودنی برای دادن پاسخ وجود دارد و نیز می توان در صورت ابهام با توضیح موضوع را روشن ساخت.

مهمترین انواع مصاحبه به شرح زیر عنوان شده اند:

- مصاحبه انعطاف پذیر یا آزاد: در این نوع، چارچوب و حدود پرسش برای مصاحبه گر مشخص است ولی زمان و توالی پرسش به سلیقه مصاحبه گر بستگی دارد. در این حالت رفتار آزمودنی طبیعی تر است و اطلاعات واقعی تری بدست می آید. مصاحبه گر می تواند سوالات اضافی نیز طرح کند.

- مصاحبه با انعطاف پذیری متوسط یا منظم: در این نوع مصاحبه، مصاحبه گر از پرسشنامه ای با پرسش های مشخص و با توالی ثابت استفاده می کند، اما معمولاً پرسش ها به صورت باز هستند. در این جا جمع آوری اطلاعات کمی و سطحی است.
- مصاحبه انعطاف ناپذیر یا پرسشنامه همراه با مصاحبه: مصاحبه گر از پرسش نامه ای با پرسش های مشخص و با توالی استاندارد استفاده می کند. پاسخها ثابت و از قبل پیش بینی و طبقه بندی شده اند و معمولاً پرسش ها به صورت بسته هستند. این روش در مطالعات بزرگ و زمانی که پژوهشگر از تنوع پاسخ ها اطلاع دارد بکار می رود.

نکات مهم در مورد انجام مصاحبه:

- تکلم با زبان شخص مصاحبه شونده
 - دخالت ندادن تمایلات شخصی مصاحبه گر
 - کسب اجازه در هنگام استفاده از دستگاه ضبط صدا
 - رعایت مقام و موقعیت اجتماعی افراد
 - بیان توضیحات کافی قبل از شروع مصاحبه
- پرسشنامه:** پرسشنامه به عنوان یکی از متداول ترین ابزار جمع آوری اطلاعات در تحقیقات پیمایشی مورد استفاده قرار می گیرد و عبارت است از مجموعه ای از پرسش های هدف دار که با بهره گیری از مقیاس های گوناگون نظر، دیدگاه و بینش یک فرد پاسخگو را مورد سنجش قرار می دهد. پرسشنامه شامل دسته ای از پرسش ها است که برطبق اصول خاصی تدوین گردیده است و به صورت کتبی به افراد ارائه می شود و پاسخگو بر اساس تشخیص خود جواب ها را در آن می نویسد. هدف از ارائه پرسشنامه کسب اطلاعات معین در مورد موضوعی مشخص است. بزرگ بودن گروه یا جامعه

مورد مطالعه یکی از دلایل مهم برای استفاده از پرسش نامه است چرا که امکان مطالعه نمونه های بزرگ را فراهم می آورد. کیفیت تنظیم پرسشنامه در بدست آمدن اطلاعات صحیح و درست و قابل تعمیم بسیار با اهمیت است. در این تحقیق ما با استفاده از مصاحبه با انعطاف پذیری متوسط به جمع آوری اطلاعات پرداختیم. در ابتدا با استفاده از مصاحبه از سه نفر از خبرگان به جمع آوری اطلاعات در مورد حالات خرابی پرداخته شد، که حالات خرابی فرآیند تولید همودیالیز مشخص شد. در مرحله دوم دو نوع پرسشنامه که در اختیار خبرگان قرار داده شد پرسشنامه اول مربوط به معیارهای شدت، احتمال وقوع و احتمال تشخیص است که خبرگان با استفاده از جداول مربوط به این معیارها به هریک از حالات خرابی امتیاز دادند. پرسشنامه دوم مربوط به معیار هزینه است که در این معیار خبرگان هریک از حالات خرابی را با استفاده از مقایسه زوجی امتیازدهی کردند.

۳-۸- مطالعه موردی

این پژوهش در زمینه حوزه سلامت انجام شده است. حوزه سلامت طی سال های اخیر اهمیت قابل توجه ای پیدا کرده است و در این بین اهمیت ساخت تجهیزات پزشکی قابل توجه است. مطالعه موردی تحقیق حاضر در شرکت فارمد که در زمینه ساخت تجهیزات پزشکی اعم از دیالیز، همودیالیز، کسپه خون و... فعالیت دارد انجام شده است. ما در این تحقیق فرآیند ساخت محلول همودیالیز را بررسی و به تحلیل حالات بالقوه خرابی آن می پردازیم.

شرکت صنایع پزشکی فارمد در شهریور ماه ۱۳۸۴ با هدف اصلی تولید تجهیزات دیالیز و سایر تجهیزات پزشکی مطابق با تکنولوژی روز و استانداردهای جهانی به ثبت رسید. پس از برنامه ریزی و امکان سنجی اولویت های تولید محصولات، این مجموعه از سال ۱۳۹۱ فعالیت خود را آغاز کرد. گستره فعالیت این شرکت تولید تجهیزات، اشکال و ملزومات دارویی تعریف شده است. شرکت فارمد دومین عضو کنسرسیوم دیالیز ایران است که عمده توان خود را برای تولید محصولات مصرفی دیالیز، و تولید برخی کالاهای پزشکی مانند کسپه خون صرف می کند. این شرکت با استفاده از دانش و

تجربیات شرکت‌های پیشرو در جهان و به‌کارگیری آخرین فناوری‌های روز، همواره برای ارتقای کیفی محصولات گام بر می‌دارد. محصولات فارمد با استفاده از مواد اولیه مرغوب تولید می‌شود و از استاندارد سیستم مدیریت کیفیت ISO بهره‌مند است.

به طور کلی مأموریت شرکت فارمد عملی کردن تولید محصول پزشکی نوین با رعایت الزامات قانونی و کیفیت مطابق با استانداردهای بین‌المللی است.

اهداف استراتژیک:

- تولید کالا و تجهیزات پزشکی با قیمت مناسب و کیفیت بالا
 - صادرات به منطقه
 - عضویت در کنسرسیوم جهانی
- شرکت صنایع پزشکی فارمد در جایگاه یک نهاد تولیدی و تحقیقاتی با ظرفیت قابل اتکا، علاوه بر سرمایه‌گذاری و جلب مشارکت شرکتهای پشستاز خارجی در توسعه مدیریت مشارکتی و ارتقاء سطح علمی و فنی کارکنان، ارتباط مؤثری با سایر نهادهای مرتبط دارد و به این ترتیب طرح‌ها و پروژه‌ها را به‌انجام می‌رساند. پایبندی بر این خط مشی و تحقق اهداف مورد اشاره، مستلزم بهره‌مندی از سیستم‌های مدیریتی است که با گامهای زیر محقق می‌شود:

- بهبود مستمر در رفتار سازمانی
- جلب رضایت مشتریان
- آموزش موثر پرسنل
- ایجاد بستر و فرهنگ مدیریت مشارکتی
- برقراری محیط کار سالم و ایمن

شرکت فارمد با تولید محصولات با کیفیت و مطابق با استانداردهای بین‌المللی و فن‌آوری روز در پیشگیری و درمان بیماران به‌طور مؤثر نقش‌آفرینی می‌کند. فارمد با حمایت از ارزش‌های انسانی بیشترین ارزش افزوده را برای طرف‌های ذینفع (بیماران، کارکنان و سهامداران) به ارمغان می‌آورد. فرایند ساخت محلول همودیالیز:

- A. مواد اولیه: مواد اولیه را با آب مخلوط کرده و کیفیت و درجه خلوص آن‌ها را بررسی می‌کنیم.
- B. دستگاه‌های توزین مواد اولیه: این دستگاه مقدار عنصر را تعیین می‌کند و از هر عنصر مقدار مواد لازم را مشخص می‌کند.
- C. دستگاه مورد نیاز جهت آماده‌سازی و ساخت
- D. تانکر: همه مواد را در تانکر می‌ریزیم.
- E. میکسر: وظیفه یکنواختی محلول را بر عهده دارد.
- F. پمپ: وظیفه پمپاژ کردن به درون گالن را دارد.
- G. لوله پرکننده: لوله‌ای است که در نهایت محلول را در گالن می‌ریزد.
- H. دستگاه ساخت گالن
- I. بسته‌بندی

۳-۹- جمع‌بندی

در این فصل روش کار پژوهش را شرح دادیم به این ترتیب که در ابتدا روش‌های گردآوری اطلاعات را بیان کردیم که در اینجا روش گردآوری اطلاعات ما مصاحبه و پرسشنامه است. در بخش بعد مراحل کار پژوهش را بیان کردیم. در بخش چهارم به شرح منطق فازی پرداختیم و عدد فازی مثلثی و طریقه غیر فازی کردن عدد فازی را بیان کردیم. در بخش بعد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و چگونگی بدست آوردن آن‌ها را شرح دادیم. و در بخش پایانی مدل

MAFMA فازى را به همراه شكل و فرآيند ساخت محلول همودياليز را كه مطالعه موردى اين تحقيق است را توضيح داديم.

فصل ۴ - نتایج

۴-۱- مقدمه

در ابتدا با استفاده از مصاحبه با خبرگان به جمع آوری حالات بالقوه خرابی پرداخته شد. سپس پرسشنامه های مربوط به معیارهای شدت، احتمال وقوع و احتمال تشخیص به خبرگان داده شد و آن ها با استفاده از جداول از قبل تهیه شده به هریک از حالات خرابی امتیازاتی در حالت ساده و فازی دادند. در مرحله بعد پرسشنامه مربوط به معیار هزینه به خبرگان داده شد و آن ها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به وزن دهی حالات خرابی در حالت ساده و فازی پرداختند. در نهایت پرسشنامه مربوط به چهار معیار به آن ها داده شد و به وزن دهی چهار معیار در شرایط ساده و فازی پرداختند.

۴-۲- حالات بالقوه خرابی در فرآیند تولید

پس از مصاحبه با خبرگان تعداد ۳۵ حالت خرابی بالقوه در فرآیند تولید محلول همودیالیز مشخص شد که در

جدول ۴-۱ آورده شده است.

جدول ۴-۱: حالات بالقوه خرابی در فرآیند تولید

۱. نام سیستم/ طرح/ فرایند:				۲. مسئول سیستم/ طرح/ فرآیند:				۳. درگیری قسمت های دیگر:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
۴. درگیری فروشندگان و غیره:				۵. مدل یا محصول:				۶. تاریخ انتشار اطلاعات فنی:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
۷. توسط:				۸. تاریخ شروع تحلیل:				۹. تاریخ بازبینی مجدد:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Action Results					مسئول و تاریخ تکمیل ۲۱					اقدامات پیشنهادی ۲۰					درجه ریسک (RPN) ۱۹					درجه بازبینی (D) ۱۸					کنترل های جاری تشخیص (شناسایی) ۱۷					کنترل های جاری پیشگیرانه ۱۶					وقوع (O) ۱۶					علل شکست بالقوه ۱۵					مشخصه های مهم (CLASS) ۱۴					شدت اثر (S) ۱۳					اثر (اثر) شکست بالقوه ۱۲					شکست بالقوه ۱۱					وظیفه سیستم/ طرح/ فرآیند ۱۰																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
R	P	N	D	E	T	O	C	C	S	E	V	اقدامات انجام شده																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</

																کیفیت محلول پایین می اید	شکستگی	یکنواخ ت
																	خوردگی	کردن
																	گردوخاک	محلول توسط میکسر
																دچار اختلال در فرایند تولید می شود	نشستی	هدایت
																	کم و زیاد بودن روغنکاری	محلول به
																	ترک	گالن
																	هرز شدن	بوسیله پمپ
																اختلال در پر کردن گالن ها بوجود می آید	خراب شدن برد	هدایت
																	افزایش فشاردر لوله	محلول
																	کاهش فشار در لوله	به
																	گرفتگی فیلتر	گالن بوسیله لوله پر کنند ده
																هدر رفتن محلول	مواد اولیه نامرغوب	ساخت گالن
																	مواد زائد	به
																	داغ بودن	منظور
																	سوراخ بودن	نگهدار ی محلول
																زمان از دست می رود	کننده شدن	لیبل زدن
																	خط خوردگی	بر روی گالن
																اختلال در تولید	دمای نامناسب	تنظیم دمای سالن
۲۴. امضا مرور کننده:									۲۳. امضا تأیید کننده:									
_____									_____									
_____									_____									

۴-۳- بدست آوردن RPN سنتی

ابتدا در جدول ۲-۴ نظرات خبرگان در مورد سه معیار شدت (S)، احتمال وقوع (O) و احتمال تشخیص (D) جمع آوری گردیده است. و در جدول ۳-۴ عملکردها، حالات خرابی، میانگین امتیازات S، O و D مربوط به خبرگان و RPN هر حالت خرابی آورده شده است. RPN از ضرب سه معیار S، O و D بدست می آید.

جدول ۴-۲: محدوده امکان حالات خرابی سه معیار S، O و D

		S			O			D	
FM	خربه ۱	خربه ۲	خربه ۳	خربه ۱	خربه ۲	خربه ۳	خربه ۱	خربه ۲	خربه ۳
FM1	۸	۷	۸	۳	۴	۴	۳	۲	۲
FM2	۹	۹	۸	۲	۲	۳	۲	۱	۲
FM3	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۵	۳
FM4	۷	۶	۵	۲	۲	۱	۲	۱	۱
FM5	۷	۷	۷	۳	۲	۳	۵	۵	۶
FM6	۷	۵	۷	۴	۴	۴	۲	۲	۳
FM7	۹	۸	۹	۳	۴	۳	۴	۵	۶
FM8	۶	۵	۷	۵	۴	۴	۳	۳	۴
FM9	۷	۸	۸	۴	۴	۴	۴	۳	۲
FM10	۶	۵	۶	۲	۳	۲	۲	۲	۲
FM11	۳	۴	۴	۴	۵	۴	۳	۳	۳
FM12	۴	۴	۳	۲	۲	۱	۴	۳	۵
FM13	۵	۶	۷	۲	۱	۱	۶	۶	۷
FM14	۳	۳	۲	۳	۵	۴	۶	۷	۷
FM15	۴	۳	۳	۵	۶	۵	۷	۷	۶
FM16	۵	۵	۵	۴	۶	۴	۳	۴	۴
FM17	۷	۶	۷	۳	۴	۴	۴	۴	۵
FM18	۵	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۵	۴
FM19	۷	۸	۸	۳	۳	۳	۶	۴	۴
FM20	۶	۵	۵	۴	۴	۳	۳	۲	۲
FM21	۷	۶	۷	۴	۵	۶	۳	۲	۳
FM22	۷	۶	۷	۴	۴	۳	۴	۵	۶
FM23	۸	۷	۸	۳	۲	۳	۶	۶	۶
FM24	۶	۷	۷	۲	۲	۲	۵	۵	۵
FM25	۷	۷	۸	۳	۳	۳	۳	۲	۳
FM26	۶	۷	۶	۵	۵	۵	۴	۳	۳
FM27	۴	۴	۳	۲	۲	۱	۳	۳	۳
FM28	۵	۵	۵	۳	۲	۲	۳	۳	۲
FM29	۷	۷	۷	۴	۴	۵	۲	۳	۲
FM30	۸	۹	۹	۳	۲	۲	۲	۱	۱
FM31	۹	۹	۸	۴	۴	۳	۲	۲	۲
FM32	۸	۸	۸	۲	۱	۱	۴	۴	۳
FM33	۳	۳	۴	۱	۱	۱	۲	۱	۱
FM34	۲	۲	۳	۲	۲	۱	۲	۲	۲
FM35	۵	۵	۶	۳	۲	۲	۲	۲	۲

							۲۶	۳۲	۴					۲			۴	شود	پروسه کند شود	ت
							۲۴	۳۶	۶					۱			۶	هرز شدن پیچ		
							۱۳	۸۴	۷					۴			۳	حجم سوراخ	ریخ	
							۶	۱۰۵	۷					۵			۳	محلول نشستی	تن	
							۱۰	۱۰۰	۴					۵			۵	کم و خاک	محلول در	
							۵	۱۱۲	۴					۴			۷	زیاد می شود خوردگی	تانکر	
							۱۰	۱۰۰	۵					۴			۵	شکستگی	یکنواخت کردن	
							۴	۱۲۰	۵					۳			۸	کیفیت محلول خوردگی	محلول ل	
							۲۳	۴۰	۲					۴			۵	پایین می آید گردو خاک	توسه میکسر	
							۶	۱۰۵	۳					۵			۷	نشستی دچار	هدایه	
							۲	۱۴۰	۵					۴			۷	اختلال در فرایند تولید می شود	ت محلول به گالن	
							۱	۱۴۴	۶					۳			۸	ترک	توسه ط	
							۱۶	۷۰	۵					۲			۷	هرز شدن	پمپ	
							۱۸	۶۳	۳					۳			۷	خراب شدن برد		
							۶	۱۰۵	۳					۵			۷	افزایش فشاردر لوله	هدایه محلول	
							۲۹	۲۴	۳					۲			۴	اختلال در پر کردن گالن ها بوجود می آید	ل به گالن توسه ط لوله	
							۲۸	۳۰	۳					۲			۵	گرفتگی فیلتر	پر کنند ه	
							۱۹	۵۶	۲					۴			۷	مواد ائلیه نامرغوب	ساخت گالن به	
							۳۲	۱۸	۱					۲			۹	هدر رفتن محلول مواد زائد	منظو	

							۱۴	۷۲	۲			۴			۹		داغ بودن	ر نگهدا
							۲۶	۳۲	۴			۱			۸		سورا خ بودن	ری مخلو ل
							۳۵	۳	۱			۱			۳	زمان از	کنده شدن	لیبل زدن
							۳۴	۸	۲			۲			۲	دست می رود	خط خورد گی	بر روی گالن
							۳۱	۲۰	۲			۲			۵	اختلال در تولید	دمای نامنا سب	تنظیم م دمای سالن

۴-۴- MAFMA

در این بخش برای بدست آوردن MAFMA ابتدا در جدول ۴-۴ معیارهای S، O، D و هزینه مورد انتظار را با استفاده از نظرات خبرگان و انجام مقایسات زوجی وزن دهی می کنیم. در جدول ۴-۵ نظرات خبرگان را با استفاده از میانگین هندسی میانگین گیری کرده و با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس وزن دهی می کنیم. در جدول ۴-۶ سه معیار شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف را نرمالیزه می کنیم. در

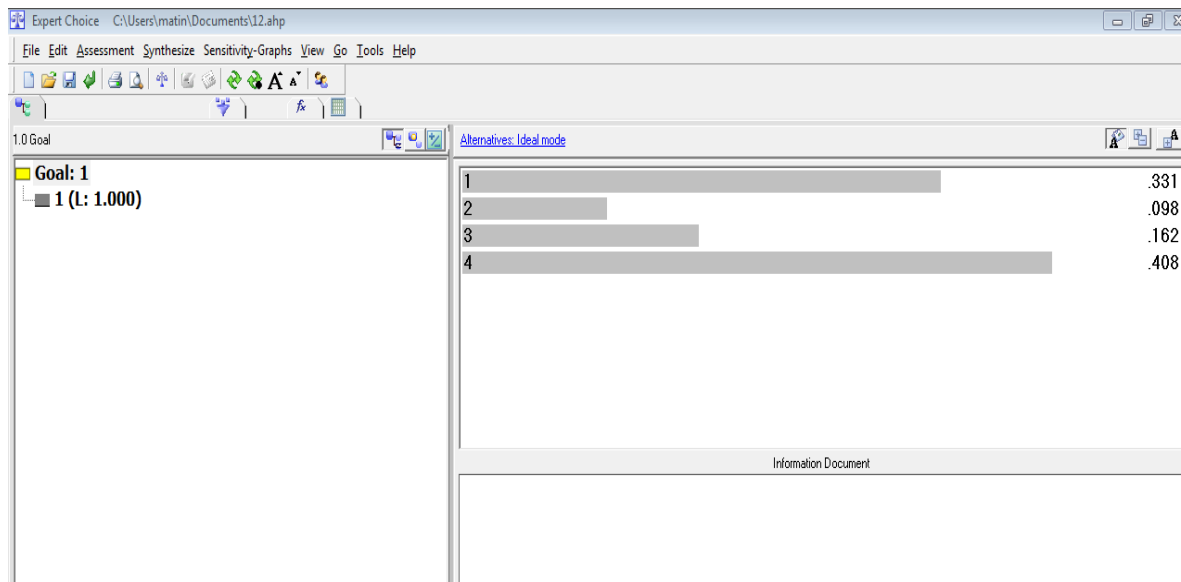
جدول ۴-۷ برای معیار هزینه هریک از حالات خرابی را با استفاده از نظر خبرگان دو به دو مقایسه زوجی می کنیم، در هر خانه جدول عدد اول مربوط به خبره اول، عدد دوم مربوط به خبره دوم و عدد سوم مربوط به خبره سوم است. در جدول ۴-۸ با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس مقایسه زوجی جدول بالا را وزن دهی می کنیم.

جدول ۴-۸ با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس حالات خرابی برای معیار هزینه وزن دهی می کنیم. در جدول ۴-۹ هریک از حالات خرابی را در وزن معیار ها ضرب می کنیم و در نهایت هریک از حالات خرابی که در معیار ها ضرب شده اند را با جمع کرده و در جدول ۴-۱۰ قرار می دهیم.

جدول ۴-۴: انجام مقایسات زوجی معیارها

موارد ارزیابی		S	O	D	EXPECTED COST
S	خبره ۱	۱	۳	۲	۱
	خبره ۲	۱	۴	۲	۱/۲
	خبره ۳	۱	۴	۳	۱
O	خبره ۱		۱	۱	۱/۴
	خبره ۲		۱	۱/۴	۱/۲
	خبره ۳		۱	۱/۵	۱/۲
D	خبره ۱			۱	۱/۳
	خبره ۲			۱	۱/۴
	خبره ۳			۱	۱/۵
Expected cost	خبره ۱				۱
	خبره ۲				۱
	خبره ۳				۱

در شکل ۴-۱ انجام مقایسات زوجی بوسیله نرم افزار اکسپرت چویس نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: وزن دهی چهار معیار S، O، D و هزینه مورد انتظار با نرم افزار اکسپرت چویس

جدول ۴-۵: وزن دهی معیارها با نرم افزار اکسپرت چویس

اولویت وزن	EXPECTED COST	D	O	S	موارد ارزیابی
۰,۳۳۱	۰,۷۹۳	۲,۲۸۹	۳,۶۳۴	۱	S
۰,۰۹۸	۰,۳۹۶	۰,۳۶۸	۱		O
۰,۱۶۲	۰,۲۵۵	۱			D
۰,۴۰۸	۱				Expected cost

در جدول ۴-۶ ابتدا امتیازات میانگین گیری شده را با هم جمع کرده و امتیاز هر حالت خرابی را بر جمع کل مربوط به همان معیار تقسیم می کنیم.

در

جدول ۴-۷ حالات خرابی مربوط به معیار هزینه را مقایسه زوجی انجام می دهیم.

جدول ۴-۶: نرمال کردن سه معیار S, O و D

		S		O		D
FM	امتیاز	اولویت	امتیاز	اولویت	امتیاز	اولویت
FM1	۸	۰,۰۳۷	۴	۰,۰۳۷	۲	۰,۰۱۶
FM2	۹	۰,۰۴۲	۲	۰,۰۱۸	۲	۰,۰۱۶
FM3	۴	۰,۰۱۹	۳	۰,۰۲۸	۴	۰,۰۳۳
FM4	۶	۰,۰۲۸	۲	۰,۰۱۸	۱	۰,۰۰۸
FM5	۷	۰,۰۳۲	۳	۰,۰۲۸	۵	۰,۰۴۱
FM6	۷	۰,۰۳۲	۴	۰,۰۳۷	۲	۰,۰۱۶
FM7	۹	۰,۰۴۲	۳	۰,۰۲۸	۵	۰,۰۴۱
FM8	۶	۰,۰۲۸	۴	۰,۰۳۷	۳	۰,۰۲۵
FM9	۸	۰,۰۳۷	۴	۰,۰۳۷	۳	۰,۰۲۵
FM10	۶	۰,۰۲۸	۲	۰,۰۱۸	۲	۰,۰۱۶
FM11	۴	۰,۰۱۹	۴	۰,۰۳۷	۳	۰,۰۲۵
FM12	۴	۰,۰۱۹	۲	۰,۰۱۸	۴	۰,۰۳۳
FM13	۶	۰,۰۲۸	۱	۰,۰۰۹	۶	۰,۰۴۹
FM14	۳	۰,۰۱۴	۴	۰,۰۳۷	۷	۰,۰۵۸
FM15	۳	۰,۰۱۴	۵	۰,۰۴۶	۷	۰,۰۵۸
FM16	۵	۰,۰۲۳	۵	۰,۰۴۶	۴	۰,۰۳۳
FM17	۷	۰,۰۳۲	۴	۰,۰۳۷	۴	۰,۰۳۳
FM18	۵	۰,۰۲۳	۴	۰,۰۳۷	۵	۰,۰۴۱
FM19	۸	۰,۰۳۷	۳	۰,۰۲۸	۵	۰,۰۴۱
FM20	۵	۰,۰۲۳	۴	۰,۰۳۷	۲	۰,۰۱۶
FM21	۷	۰,۰۳۲	۵	۰,۰۴۶	۳	۰,۰۲۵
FM22	۷	۰,۰۳۲	۴	۰,۰۳۷	۵	۰,۰۴۱
FM23	۸	۰,۰۳۷	۳	۰,۰۲۸	۶	۰,۰۴۹
FM24	۷	۰,۰۳۲	۲	۰,۰۱۸	۵	۰,۰۴۱
FM25	۷	۰,۰۳۲	۳	۰,۰۲۸	۳	۰,۰۲۵
FM26	۷	۰,۰۳۲	۵	۰,۰۴۶	۳	۰,۰۲۵
FM27	۴	۰,۰۱۹	۲	۰,۰۱۸	۳	۰,۰۲۵
FM28	۵	۰,۰۲۳	۲	۰,۰۱۸	۳	۰,۰۲۵
FM29	۷	۰,۰۳۲	۴	۰,۰۳۷	۲	۰,۰۱۶
FM30	۹	۰,۰۴۲	۲	۰,۰۱۸	۱	۰,۰۰۸
FM31	۹	۰,۰۴۲	۴	۰,۰۳۷	۲	۰,۰۱۶
FM32	۸	۰,۰۳۷	۱	۰,۰۰۹	۴	۰,۰۳۳
FM33	۳	۰,۰۱۴	۱	۰,۰۰۹	۱	۰,۰۰۸
FM34	۲	۰,۰۰۹	۲	۰,۰۱۸	۲	۰,۰۱۶
FM35	۵	۰,۰۲۳	۲	۰,۰۱۸	۲	۰,۰۱۶
جمع امتیاز	۲۱۵		۱۰۹		۱۲۱	

جدول ۴-۷: مقایسه زوجی حالات خرابی مربوط به معیار هزینه

FM	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱	۱ ۱ ۱	۳ ۲ ۲	۰.۵ ۲ ۲	۲ ۴ ۲	۱/۳ ۱/۳ ۱	۰.۵ ۲ ۱	۲ ۱ ۱	۱/۳ ۱/۴ ۱/۴	۰.۵ ۱/۴ ۰.۵	۳ ۲ ۳	۱ ۲ ۲	۳ ۴ ۳	۴ ۵ ۴	۵ ۵ ۵	۳ ۲ ۲	۲ ۲ ۲	۳ ۳ ۱
۲		۱ ۱ ۱	۱ ۲ ۱	۲ ۱ ۱	۳ ۲ ۱	۱ ۲ ۲	۱ ۱ ۲	۳ ۴ ۱	۲ ۴ ۳	۳ ۴ ۵	۵ ۴ ۵	۴ ۴ ۴	۴ ۴ ۶	۲ ۲ ۱	۳ ۳ ۲	۳ ۱ ۱	۳ ۲ ۲
۳			۱ ۱ ۱	۱ ۲ ۱	۲ ۲ ۲	۲ ۲ ۲	۳ ۲ ۱	۴ ۴ ۳	۴ ۳ ۳	۵ ۳ ۳	۴ ۵ ۶	۶ ۶ ۷	۷ ۶ ۵	۳ ۲ ۲	۳ ۴ ۳	۴ ۴ ۳	۳ ۴ ۲
۴				۱ ۱ ۱	۳ ۴ ۳	۳ ۴ ۴	۴ ۵ ۴	۴ ۶ ۵	۵ ۴ ۶	۵ ۴ ۵	۶ ۶ ۶	۵ ۶ ۶	۶ ۵ ۶	۳ ۴ ۲	۲ ۳ ۴	۲ ۴ ۴	۲ ۳ ۳
۵					۱ ۱ ۱	۲ ۱ ۱	۰.۵ ۰.۵ ۱	۲ ۱ ۱	۳ ۲ ۱	۳ ۲ ۲	۴ ۵ ۵	۴ ۴ ۴	۴ ۳ ۵	۲ ۱ ۱	۳ ۲ ۲	۲ ۲ ۱	۲ ۱ ۱
۶						۱ ۱ ۱	۰.۵ ۱/۳ ۱/۴	۲ ۴ ۲	۳ ۲ ۲	۱ ۲ ۱	۳ ۴ ۵	۴ ۴ ۴	۴ ۶ ۴	۱ ۲ ۱	۲ ۲ ۲	۲ ۳ ۳	۲ ۴ ۳
۷							۱ ۱ ۱	۴ ۴ ۵	۴ ۳ ۴	۲ ۲ ۳	۵ ۵ ۵	۶ ۵ ۶	۵ ۶ ۶	۲ ۳ ۳	۳ ۲ ۲	۴ ۵ ۴	۳ ۵ ۴
۸								۱ ۱ ۱	۱ ۲ ۱	۲ ۲ ۳	۴ ۲ ۲	۴ ۳ ۳	۳ ۳ ۲	۱/۳ ۱/۵ ۱/۴	۱/۴ ۱/۵ ۱/۵	۱/۵ ۱/۶ ۱/۵	۱/۵ ۱/۵ ۱/۴
۹									۱ ۱ ۱	۲ ۲ ۱	۳ ۲ ۳	۳ ۱ ۱	۳ ۲ ۲	۱/۵ ۱/۵ ۱/۶	۱/۶ ۱/۴ ۱/۶	۱/۵ ۱/۵ ۱/۵	۱/۶ ۱/۷ ۱/۷
۱۰										۱ ۱ ۱	۳ ۲ ۲	۳ ۲ ۴	۳ ۳ ۳	۱/۵ ۱/۵ ۱/۷	۱/۷ ۱/۷ ۱/۷	۱/۸ ۱/۷ ۱/۹	۱/۷ ۱/۷ ۱/۶
۱۱											۱ ۱ ۱	۱ ۲ ۱	۰.۵ ۱ ۱	۱/۵ ۱/۵ ۱/۶	۱/۶ ۱/۶ ۱/۶	۱/۷ ۱/۵ ۱/۵	۱/۵ ۱/۵ ۱/۶
۱۲												۱ ۱ ۱	۱ ۱ ۲	۱/۵ ۱/۵ ۱/۷	۱/۷ ۱/۷ ۱/۸	۱/۸ ۱/۸ ۱/۸	۱/۸ ۱/۸ ۱/۸
۱۳													۱ ۱ ۱	۱/۵ ۱/۵ ۱/۶	۱/۶ ۱/۶ ۱/۶	۱/۶ ۱/۷ ۱/۷	۱/۶ ۱/۵ ۱/۶
۱۴														۱ ۱ ۱	۱ ۲ ۱	۰.۵ ۱ ۱	۲ ۲ ۱
۱۵															۱ ۱ ۱	۲ ۱ ۲	۳ ۲ ۲
۱۶																۱	۳

																1	4
																1	4

FM	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	3	3	4	2	6	5	5	4	4	6	7	5	3	2	3	7	7	4
	4	4	4	2	5	5	6	6	5	7	7	5	2	2	2	7	8	4
	5	2	4	1	6	5	7	6	6	7	7	6	2	2	4	9	8	3
2	4	5	2	5	6	7	7	3	3	3	4	2	2	3	3	7	8	5
	5	5	2	5	7	6	6	4	5	4	2	3	1	2	4	8	8	4
	5	6	3	6	6	5	6	5	3	3	2	2	1	2	2	9	8	4
3	5	5	4	5	5	6	4	5	5	5	4	3	3	2	3	7	7	5
	4	6	6	6	5	4	5	4	4	4	5	4	2	3	3	7	8	4
	4	4	4	6	5	4	5	6	5	4	5	2	2	2	3	7	7	6
4	5	4	4	6	6	6	4	3	5	5	3	2	2	4	4	7	8	5
	4	4	5	4	4	4	5	4	4	3	4	3	4	3	2	8	9	6
	4	4	5	4	5	5	5	5	4	3	4	3	4	3	3	8	8	5
5	2	2	4	5	5	5	4	5	6	5	5	2	2	2	2	7	8	5
	4	2	4	6	5	4	6	6	5	4	5	3	3	4	2	7	8	5
	3	4	3	5	5	4	6	5	4	3	3	4	3	4	2	8	9	6
6	4	5	6	6	4	3	4	4	6	5	5	3	3	2	+.5	6	7	5
	5	4	5	6	6	2	4	5	5	5	4	2	4	4	+.5	7	8	4
	5	4	5	5	4	3	4	6	5	4	6	2	2	3	+.5	8	8	4
7	4	5	2	4	2	2	2	5	5	4	4	4	2	4	2	7	7	5
	4	5	3	2	2	4	4	6	5	6	5	5	2	3	4	7	6	4
	5	5	2	2	4	3	4	5	4	6	6	5	1	2	4	7	8	5
8	3	2	1/4	2	3	2	3	2	2	2	2	1/6	1/7	1/5	1/7	5	6	3
	2	2	1/4	3	4	4	3	1	3	3	1	1/7	1/7	1/5	1/8	5	6	2
	1	1	1/3	3	4	3	2	1	2	3	2	1/7	1/8	1/5	1/8	6	6	3
9	1	2	3	3	1	2	2	3	3	4	4	1/6	1/4	1/4	1/6	5	5	4
	2	3	3	2	2	1	1	2	3	3	4	1/7	1/5	1/4	1/7	5	6	4
	2	3	2	2	2	1	2	2	4	3	4	1/5	1/5	1/5	1/7	4	6	3
10	1	3	+.5	1	2	1	2	2	2	2	+.5	1/6	1/5	1/7	1/6	5	5	4
	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	+.5	1/6	1/5	1/7	1/5	5	6	5
	2	2	1	2	3	1	1	2	2	2	1	1/5	1/6	1/6	1/7	5	6	3
11	+.5	1/3	1/6	2	2	1/3	1	2	3	2	2	1/5	1/7	1/7	1/8	4	4	5
	+.5	1/3	1/6	1	2	1/3	1	2	3	3	+.5	1/5	1/7	1/6	1/8	4	4	4
	1/3	1/4	1/6	1	3	1/3	2	3	3	3	1	1/5	1/7	1/7	1/9	3	5	4
12	+.5	1/3	1/5	3	3	+.5	+.5	2	1	1	+.5	1/5	1/6	1/7	1/7	5	5	3
	1/3	1/3	1/4	2	3	1	+.5	2	1	2	1/3	1/6	1/6	1/5	1/7	5	4	3
	1/3	1/4	1/4	2	3	1	+.5	2	2	2	+.5	1/6	1/7	1/5	1/8	5	4	3
13	1/3	1/5	1/7	2	3	2	3	2	4	4	3	1/7	1/7	1/6	1/5	5	5	5
	1/3	1/4	1/7	1	2	2	2	2	3	3	4	1/5	1/6	1/6	1/5	5	4	3
	1/3	1/3	1/7	2	3	3	3	3	3	3	3	1/6	1/6	1/6	1/6	5	5	3
14	1	2	2	4	5	5	5	4	4	4	5	3	3	1	1	7	7	5
	2	2	3	5	5	6	6	3	4	5	5	2	3	+.5	2	7	8	6
	2	2	2	4	5	6	5	3	4	5	5	2	2	+.5	2	7	8	6
15	4	4	3	4	5	4	5	5	5	5	3	3	3	+.5	1/3	7	7	4

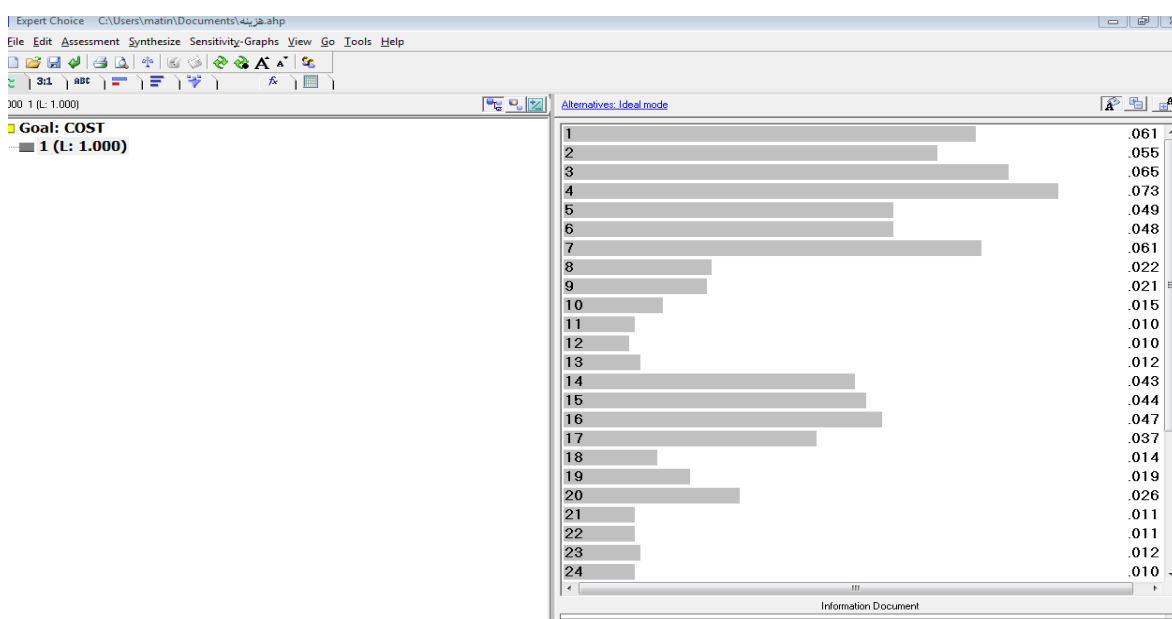
	۳	۴	۲	۴	۵	۵	۵	۴	۶	۶	۴	۲	۲	۱	۱/۳	۷	۸	۴
	۳	۴	۳	۵	۶	۵	۴	۴	۶	۶	۴	۲	۲	۱	۰.۵	۷	۸	۴
۱۶	۴	۲	۴	۵	۵	۵	۳	۵	۵	۵	۲	۲	۲	۳	۳	۷	۶	۴
	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۲	۴	۵	۶	۲	۲	۲	۲	۲	۶	۷	۵
	۲	۲	۳	۴	۵	۵	۲	۴	۵	۵	۲	۱	۲	۳	۲	۶	۷	۴

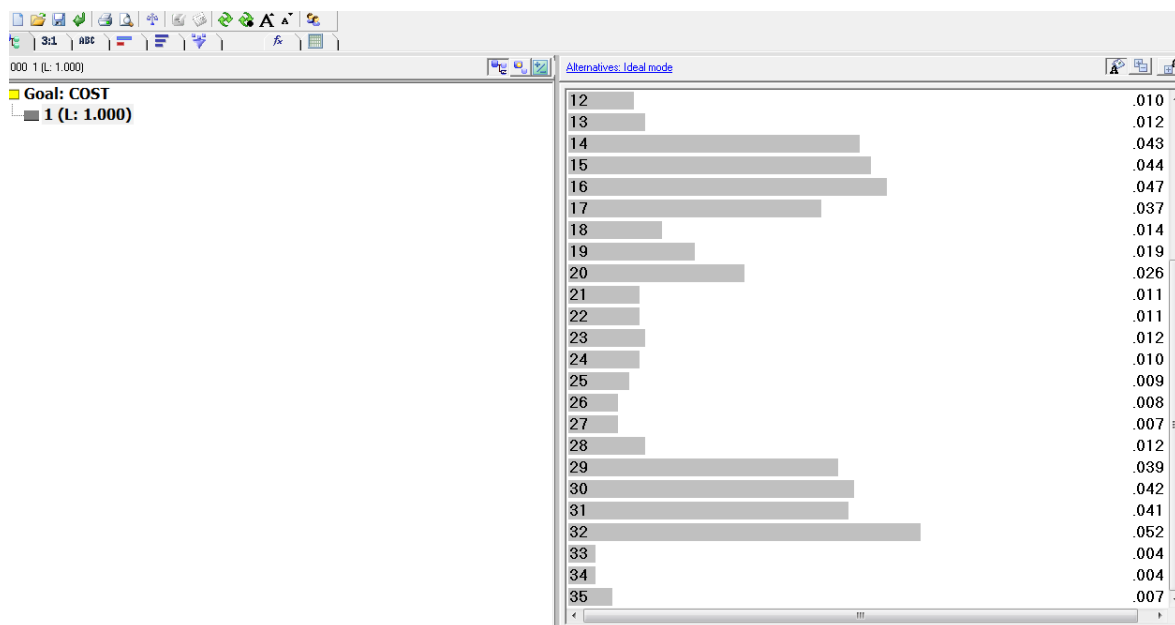
FM	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵
۱۷	۱	۳	۴	۳	۴	۳	۴	۴	۳	۴	۵	۳	۲	۲	۲	۰.۵	۶	۷	۴
	۱	۲	۳	۲	۳	۳	۴	۳	۳	۵	۴	۲	۲	۰.۵	۲	۰.۵	۶	۷	۴
	۱	۲	۳	۳	۳	۲	۴	۲	۴	۵	۴	۲	۰.۵	۱	۳	۲	۷	۷	۵
۱۸		۱	۲	۰.۵	۲	۰.۵	۲	۲	۳	۲	۲	۰.۵	۱/۳	۱/۳	۱/۵	۱/۵	۴	۳	۳
		۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱/۴	۱/۳	۱/۵	۱/۶	۴	۳	۲
		۱	۲	۱	۲	۱	۳	۲	۲	۱	۱	۱	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۳	۴	۲
۱۹			۱	۱/۳	۲	۳	۳	۴	۵	۴	۵	۵	۱/۳	۱/۴	۱/۳	۱/۵	۶	۷	۵
			۱	۱/۳	۲	۲	۴	۴	۴	۴	۶	۵	۰.۵	۱/۳	۰.۵	۱/۶	۶	۶	۴
			۱	۰.۵	۳	۲	۴	۳	۴	۴	۵	۵	۱/۳	۱/۳	۰.۵	۱/۶	۶	۶	۴
۲۰				۱	۵	۵	۵	۵	۴	۴	۴	۳	۰.۵	۱/۳	۰.۵	۰.۵	۶	۷	۵
				۱	۴	۴	۴	۴	۵	۵	۴	۲	۱	۰.۵	۱/۳	۰.۵	۷	۷	۴
				۱	۴	۵	۴	۳	۴	۵	۴	۲	۰.۵	۰.۵	۱/۳	۰.۵	۷	۸	۵
۲۱					۱	۱	۲	۰.۵	۰.۵	۲	۲	۳	۱/۴	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۴	۴	۴
					۱	۱	۲	۲	۰.۵	۲	۲	۲	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۴	۵	۳	۴
					۱	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۴	۴	۴
۲۲						۱	۳	۳	۳	۲	۳	۳	۱/۵	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۴	۵	۴
						۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱/۵	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۵	۵	۳
						۱	۲	۳	۲	۲	۳	۳	۱/۶	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۵	۵	۳
۲۳							۱	۲	۳	۳	۳	۲	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۵	۶	۴
							۱	۲	۲	۳	۲	۲	۱/۵	۱/۶	۱/۶	۱/۷	۵	۶	۴
							۱	۳	۳	۳	۲	۲	۱/۵	۱/۶	۱/۶	۱/۷	۶	۶	۳
۲۴								۱	۳	۲	۱	۱	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۷	۵	۶	۴
								۱	۳	۲	۲	۰.۵	۱/۵	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۶	۶	۴
								۱	۴	۱	۲	۲	۱/۶	۱/۷	۱/۷	۱/۸	۶	۷	۴
۲۵									۱	۲	۱	۰.۵	۱/۶	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۷	۶	۴
									۱	۲	۲	۰.۵	۱/۶	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۶	۶	۴
									۱	۱	۱	۰.۵	۱/۶	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۶	۷	۳
۲۶										۱	۱	۰.۵	۱/۴	۱/۵	۱/۵	۱/۶	۴	۴	۲
										۱	۱	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۵	۱/۶	۴	۴	۲
										۱	۲	۱/۳	۱/۵	۱/۵	۱/۶	۱/۵	۴	۳	۳
۲۷											۱	۰.۵	۱/۶	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۴	۳	۲
											۱	۰.۵	۱/۷	۱/۸	۱/۷	۱/۸	۴	۳	۲
											۱	۱	۱/۷	۱/۸	۱/۷	۱/۸	۳	۳	۲
۲۸												۱	۰.۵	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۶	۷	۵
												۱	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۶	۶	۴
												۱	۱/۳	۱/۴	۱/۶	۱/۶	۶	۶	۴
۲۹													۱	۲	۱	۲	۷	۷	۴
													۱	۱	۲	۲	۷	۷	۴
													۱	۱	۱	۱	۷	۸	۴
۳۰														۱	۲	۰.۵	۶	۷	۴
														۱	۲	۰.۵	۶	۶	۴
														۱	۱	۱	۷	۶	۴
۳۱															۱	۰.۵	۷	۷	۶
															۱	۰.۵	۷	۸	۵

															۱	۱/۳	۷	۷	۵
۳۲																۱	۷	۸	۴
																۱	۸	۸	۵
																۱	۸	۸	۵
۳۳																	۱	۲	۱/۳
																	۱	۲	۱/۳
																	۱	۲	۱/۴

۳۴																	۱	۱/۳
																	۱	۱/۴
																	۱	۱/۴
۳۵																		۱
																		۱
																		۱

در شکل ۲-۴ انجام مقایسات زوجی مربوط به معیار هزینه با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس نشان داده شده است.





شکل ۴-۲: انجام مقایسات زوجی مربوط به معیار هزینه

در جدول ۴-۸ با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس مقایسه زوجی جدول بالا را وزن دهی می کنیم.

جدول ۴-۸: اولویت بندی حالات خرابی برای معیار هزینه با نرم افزار اکسپرت چویس

اولویت	FM	اولویت	FM
0.19	FM19	0.061	FM1
0.26	FM20	0.055	FM2
0.11	FM21	0.065	FM3
0.11	FM22	0.073	FM4
0.12	FM23	0.048	FM5
0.10	FM24	0.048	FM6
0.08	FM25	0.061	FM7
0.08	FM26	0.022	FM8
0.07	FM27	0.021	FM9
0.12	FM28	0.015	FM10
0.39	FM29	0.010	FM11
0.42	FM30	0.010	FM12
0.41	FM31	0.012	FM13
0.52	FM32	0.043	FM14
0.05	FM33	0.044	FM15
0.04	FM34	0.047	FM16
0.07	FM35	0.037	FM17
		0.014	FM18

در جدول ۹-۴ هریک از وزن های حالات خرابی را در وزن معیار مربوطه ضرب می کنیم.

در جدول ۱۰-۴ بعد از ضرب حالات خرابی در معیارها، هریک از حالات خرابی در معیارها را با هم

جمع می کنیم

جدول ۹-۴: ضرب اولویت های حالات خرابی در وزن معیارها

	(۰,۳۳۱)	S	(۰,۰۹۸)	O	(۰,۱۶۲)	D	(۰,۴۰۴)	EXPECTED COST
FM		امتیاز کلی		امتیاز کلی		امتیاز کلی		امتیاز کلی
FM1	۰,۰۳۷	۰,۰۱۲۲	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۶۱	۰,۰۲۴۹
FM2	۰,۰۴۲	۰,۰۱۳۹	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۵۵	۰,۰۲۲۴
FM3	۰,۰۱۹	۰,۰۰۶۲	۰,۰۲۸	۰,۰۰۲۷	۰,۰۳۳	۰,۰۰۵۳	۰,۰۶۵	۰,۰۲۶۵
FM4	۰,۰۲۸	۰,۰۰۹۲	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۰۸	۰,۰۰۱۳	۰,۰۷۳	۰,۰۲۹۸
FM5	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۲۸	۰,۰۰۲۷	۰,۰۴۱	۰,۰۰۶۶	۰,۰۴۸	۰,۰۱۹۶
FM6	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۴۸	۰,۰۱۹۶
FM7	۰,۰۴۲	۰,۰۱۳۹	۰,۰۲۸	۰,۰۰۲۷	۰,۰۴۱	۰,۰۰۶۶	۰,۰۶۱	۰,۰۲۴۹
FM8	۰,۰۲۸	۰,۰۰۹۲	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۲۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۲۲	۰,۰۰۸۹
FM9	۰,۰۳۷	۰,۰۱۲۲	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۲۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۲۱	۰,۰۰۸۵
FM10	۰,۰۲۸	۰,۰۰۹۲	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۱۵	۰,۰۰۶۱
FM11	۰,۰۱۹	۰,۰۰۶۲	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۲۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۱۰	۰,۰۰۴۱
FM12	۰,۰۱۹	۰,۰۰۶۲	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۳۳	۰,۰۰۵۳	۰,۰۱۰	۰,۰۰۴۱
FM13	۰,۰۲۸	۰,۰۰۹۲	۰,۰۰۹	۰,۰۰۰۸	۰,۰۴۹	۰,۰۰۷۹	۰,۰۱۲	۰,۰۰۴۹
FM14	۰,۰۱۴	۰,۰۰۴۶	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۵۸	۰,۰۰۹۴	۰,۰۴۳	۰,۰۱۷۵
FM15	۰,۰۱۴	۰,۰۰۴۶	۰,۰۴۶	۰,۰۰۴۵	۰,۰۵۸	۰,۰۰۹۴	۰,۰۴۴	۰,۰۱۷۹
FM16	۰,۰۲۳	۰,۰۰۷۶	۰,۰۴۶	۰,۰۰۴۵	۰,۰۳۳	۰,۰۰۵۳	۰,۰۴۷	۰,۰۱۹۱
FM17	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۳۳	۰,۰۰۵۳	۰,۰۳۷	۰,۰۱۵۱
FM18	۰,۰۲۳	۰,۰۰۷۶	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۴۱	۰,۰۰۶۶	۰,۰۱۴	۰,۰۰۵۷
FM19	۰,۰۳۷	۰,۰۱۲۲	۰,۰۲۸	۰,۰۰۲۷	۰,۰۴۱	۰,۰۰۶۶	۰,۰۱۹	۰,۰۰۷۸
FM20	۰,۰۲۳	۰,۰۰۷۶	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۲۶	۰,۰۱۰۶
FM21	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۴۶	۰,۰۰۴۵	۰,۰۲۵	۰,۰۰۴۱	۰,۱۱	۰,۰۰۴۵
FM22	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۴۱	۰,۰۰۶۶	۰,۰۱۱	۰,۰۰۴۵
FM23	۰,۰۳۷	۰,۰۱۲۲	۰,۰۲۸	۰,۰۰۲۷	۰,۰۴۹	۰,۰۰۷۹	۰,۰۱۲	۰,۰۰۴۹
FM24	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۴۱	۰,۰۰۶۶	۰,۰۱۰	۰,۰۰۴۱
FM25	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۲۸	۰,۰۰۲۷	۰,۰۲۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۰۸	۰,۰۰۳۳
FM26	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۴۶	۰,۰۰۴۵	۰,۰۲۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۰۸	۰,۰۰۳۳
FM27	۰,۰۱۹	۰,۰۰۶۲	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۲۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۰۷	۰,۰۰۲۹

FM28	۰,۰۲۳	۰,۰۰۷۶	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۲۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۱۲	۰,۰۰۴۹
FM29	۰,۰۳۲	۰,۰۱۰۵	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۳۹	۰,۰۱۵۹
FM30	۰,۰۴۲	۰,۰۱۳۹	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۰۸	۰,۰۰۱۳	۰,۰۴۲	۰,۰۱۷۱
FM31	۰,۰۴۲	۰,۰۱۳۹	۰,۰۳۷	۰,۰۰۳۶	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۴۱	۰,۰۱۶۷
FM32	۰,۰۳۷	۰,۰۱۲۲	۰,۰۰۹	۰,۰۰۰۸	۰,۰۳۳	۰,۰۰۵۳	۰,۰۵۲	۰,۰۲۱۲
FM33	۰,۰۱۴	۰,۰۰۴۶	۰,۰۰۹	۰,۰۰۰۸	۰,۰۰۸	۰,۰۰۱۳	۰,۰۰۵	۰,۰۰۲
FM34	۰,۰۰۹	۰,۰۰۲۹	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۰۴	۰,۰۰۱۶
FM35	۰,۰۲۳	۰,۰۰۷۶	۰,۰۱۸	۰,۰۰۱۷	۰,۰۱۶	۰,۰۰۲۶	۰,۰۰۷	۰,۰۰۲۹

جدول ۴-۱۰: بدست آوردن MAFMA با استفاده از جمع حالات خرابی

FM	امتیاز	رتبه بندی
FM1	۰,۰۴۳۳	۲
FM2	۰,۰۴۰۶	۵
FM3	۰,۰۴۰۷	۴
FM4	۰,۰۴۲۰	۳
FM5	۰,۰۳۹۴	۷
FM6	۰,۰۳۶۳	۱۱
FM7	۰,۰۴۸۱	۱
FM8	۰,۰۲۰۸	۱۹
FM9	۰,۰۲۸۴	۱۷
FM10	۰,۰۱۹۶	۲۸
FM11	۰,۰۱۸۰	۳۰
FM12	۰,۰۱۷۳	۳۱
FM13	۰,۰۲۲۸	۲۴
FM14	۰,۰۳۳۶	۱۴
FM15	۰,۰۳۶۴	۱۰
FM16	۰,۰۳۶۰	۹
FM17	۰,۰۳۴۰	۱۲
FM18	۰,۰۲۳۰	۲۳
FM19	۰,۰۲۹۳	۱۶
FM20	۰,۰۲۴۴	۲۱
FM21	۰,۰۲۳۶	۲۲
FM22	۰,۰۲۰۲	۲۰
FM23	۰,۰۲۷۷	۱۸
FM24	۰,۰۲۲۳	۲۶
FM25	۰,۰۲۰۶	۲۷
FM26	۰,۰۲۲۴	۲۵
FM27	۰,۰۱۴۹	۳۳

FM28	۰,۰۱۸۳	۲۹
FM29	۰,۰۳۲۶	۱۵
FM30	۰,۰۳۴۰	۱۳
FM31	۰,۰۳۶۸	۸
FM32	۰,۰۳۹۵	۶
FM33	۰,۰۱۵۹	۳۲
FM34	۰,۰۰۸	۳۵
FM35	۰,۰۱۴۸	۳۴

۴-۵- FMEA فازی

برای بدست آوردن FMEA در حالت فازی ابتدا هریک از سه معیار را با استفاده از متغیرهای زبانی که برای هریک از معیارها در جدول ۴-۱۱، جدول ۴-۱۲، جدول ۴-۱۳ تهیه شده است را با استفاده از نظرات خبرگان امتیازدهی می کنیم. در جدول ۴-۱۴ با استفاده از متغیرهای زبانی به هریک از حالات خرابی امتیاز می دهیم. در جدول ۴-۱۵ مقادیر دقیق هریک از متغیرهای زبانی را با استفاده از رابطه های ۴، ۵ و ۶ بدست آورده و در جدول ۴-۱۶ نظرات خبرگان را با استفاده از میانگین هندسی به یک عدد تبدیل کرده و در نهایت در

جدول ۴-۱۷ مقادیر هریک از حالات خرابی را در سه معیار شدت، احتمال وقوع و احتمال تشخیص در هم ضرب کرده و FMEA در شرایط فازی بدست می آید.

جدول ۴-۱۱: امتیازات فازی برای معیار شدت

اعداد فازی	متغیر زبانی	
(۰,۹و۱)	خطرناک بدون هشدار (HWO)	بسیار شدید بدون هشدار
(۰,۸و۰,۹و۱)	خطرناک با هشدار (HWW)	بسیار شدید با هشدار
(۰,۷و۰,۸و۰,۹)	خیلی بالا (VH)	سیستم غیر قابل استفاده با شکست مخرب
(۰,۶و۰,۷و۰,۸)	بالا (H)	سیستم غیر قابل استفاده با آسیب به تجهیزات
(۰,۵و۰,۶و۰,۷)	در حد متوسط (M)	سیستم غیر قابل استفاده با آسیب جزئی
(۰,۴و۰,۵و۰,۶)	کم (L)	سیستم غیر قابل استفاده بدون خسارت
(۰,۳و۰,۴و۰,۵)	خیلی کم (VL)	سیستم قابل اجرا با تغییر قابل توجه ای در عملکرد
(۰,۲و۰,۳و۰,۴)	جزئی (MR)	سیستم قابل اجرا با تغییر اندک در عملکرد
(۰,۱و۰,۲و۰,۳)	خیلی جزئی (VMR)	سیستم قابل اجرا با حداقل تداخل
(۰,۱و۰,۲و۰,۳)	هیچ (N)	بدون اثر

جدول ۴-۱۲: امتیازات فازی برای معیار احتمال کشف

اعداد فازی	متغیر زبانی	
(۰,۹و۱)	مطلقا نامشخص (AU)	هیچ شانس برای کشف وجود ندارد
(۰,۸و۰,۹و۱)	خیلی بعید (VR)	شانس کشف خیلی بعید است
(۰,۷و۰,۸و۰,۹)	بعید (R)	شانس کشف بعید است
(۰,۶و۰,۷و۰,۸)	خیلی کم (VL)	شانس خیلی کم است
(۰,۵و۰,۶و۰,۷)	کم (L)	شانس کشف کم است
(۰,۴و۰,۵و۰,۶)	متوسط (M)	شانس متوسط است
(۰,۳و۰,۴و۰,۵)	نسبتا بالا (M)	شانس کشف نسبتا بالا است
(۰,۲و۰,۳و۰,۴)	بالا (H)	شانس کشف بالا است
(۰,۱و۰,۲و۰,۳)	خیلی بالا (VH)	شانس کشف خیلی بالا است
(۰,۱و۰,۲و۰,۳)	تقریبا مطمئن (AC)	تقریبا مطمئن

جدول ۴-۱۳: امتیازات فازی برای معیار احتمال وقوع

اعداد فازی	متغیر زبانی	
(۰,۸و۰,۹و۱)	خیلی بالا (VH)	شکست تقریبا اجتناب ناپذیر است
(۰,۶و۰,۷و۰,۸)	بالا (H)	شکست های تکراری
(۰,۴و۰,۵و۰,۶)	متوسط (M)	شکست های گاه گاهی
(۰,۲و۰,۳و۰,۴)	کم (L)	نسبتا چندین شکست
(۰,۱و۰,۲و۰,۳)	بعید (R)	شکست بعید است

جدول ۴-۱۴: ارزیابی حالات خرابی با استفاده از متغیر های زبانی

		S			O			D	
FM	خربه ۱	خربه ۲	خربه ۳	خربه ۱	خربه ۲	خربه ۳	خربه ۱	خربه ۲	خربه ۳
FM1	VH	H	VH	L	L	L	H	VH	VH
FM2	HW	HW	HW	L	M	L	VH	VH	VH
FM3	MR	MR	MR	L	R	L	VH	MH	H
FM4	H	H	M	L	R	R	VH	VH	AC
FM5	H	VH	H	L	L	L	M	MH	M
FM6	M	H	M	L	L	M	H	MH	MH
FM7	HWW	VH	VH	L	L	L	MH	L	L
FM8	H	H	H	M	M	L	H	H	MH
FM9	M	M	H	M	L	L	MH	VH	VH
FM10	M	M	L	L	R	R	VH	H	H
FM11	VL	VL	MR	M	M	L	H	VH	H
FM12	L	L	L	R	R	R	M	M	H
FM13	L	M	L	R	R	L	VL	L	M
FM14	MR	MR	MR	M	M	L	VL	VL	L
FM15	VL	MR	VL	M	H	M	L	L	VL
FM16	L	M	L	M	H	M	H	MH	M
FM17	H	H	M	L	L	M	MH	MH	MH
FM18	L	M	L	L	M	M	L	M	M
FM19	H	H	H	L	L	L	L	MH	L
FM20	M	M	L	L	M	L	H	H	VH
FM21	H	H	M	L	M	M	H	VH	H
FM22	H	M	M	L	L	L	MH	L	L
FM23	VH	H	H	L	R	L	L	VL	L
FM24	M	H	M	R	R	R	L	L	VL
FM25	VH	H	VH	L	L	L	H	H	H
FM26	L	M	M	M	M	L	MH	VH	VH
FM27	VL	MR	MR	R	R	R	H	H	VH
FM28	L	VL	L	L	R	R	VH	VH	H
FM29	H	VH	H	L	M	L	VH	MH	MH
FM30	VH	VH	HWW	L	R	L	AC	AC	VH
FM31	HWW	VH	HWW	L	L	L	VH	H	H
FM32	VH	VH	VH	R	R	R	MH	MH	H
FM33	MR	VMR	VMR	R	R	R	H	H	H
FM34	VMR	N	VMR	R	L	R	VH	H	VH
FM35	VL	L	L	L	L	L	MH	M	MH

جدول ۴-۱۵: مقادیر دقیق متغیرهای زبانی برای معیارهای S، O و D

متغیر زبانی معیار D	امتیاز	متغیر زبانی معیار S	امتیاز	متغیر زبانی معیار O	امتیاز
AU	۰,۷۶۳۲	HWOW	۰,۷۶۳۲	VH	۰,۷۲۵
VR	۰,۷۲۵	HWW	۰,۷۲۵	H	۰,۶۳۵
R	۰,۶۸۳	VH	۰,۶۸۳	M	۰,۵۲۲
VL	۰,۶۳۵	H	۰,۶۳۵	L	۰,۳۷۵
L	۰,۵۸۲	M	۰,۵۸۲	R	۰,۱۷۱
M	۰,۵۲۲	L	۰,۵۲۲		
MH	۰,۴۵۴	VL	۰,۴۵۴		
H	۰,۳۷۵	MR	۰,۳۷۵		
VH	۰,۲۸۳	VMR	۰,۲۸۳		
AC	۰,۱۷۱	N	۰,۱۷۱		

جدول ۴-۱۶: میانگین هندسی بدست آمده برای سه معیار S، O و D در شرایط فازی

		S				O				D	
FM	میانگین		میانگین	FM				FM			
FM1	۰,۶۶۶	FM19	۰,۶۳۵	FM1	۰,۳۷۵	FM19	۰,۳۷۵	FM1	۰,۳۱۱	FM19	۰,۵۳۶
FM2	۰,۷۲۵	FM20	۰,۵۶۲	FM2	۰,۴۱۸	FM20	۰,۴۱۸	FM2	۰,۲۸۳	FM20	۰,۳۴۲
FM3	۰,۳۷۵	FM21	۰,۶۱۹	FM3	۰,۲۸۸	FM21	۰,۴۶۷	FM3	۰,۳۶۴	FM21	۰,۳۴۲
FM4	۰,۶۱۷	FM22	۰,۵۹۹	FM4	۰,۲۲۳	FM22	۰,۳۷۵	FM4	۰,۲۳۹	FM22	۰,۵۳۶
FM5	۰,۶۵۱	FM23	۰,۶۵۱	FM5	۰,۳۷۵	FM23	۰,۲۸۸	FM5	۰,۴۹۸	FM23	۰,۵۹۹
FM6	۰,۵۹۹	FM24	۰,۵۹۹	FM6	۰,۴۱۸	FM24	۰,۱۷۱	FM6	۰,۴۲۶	FM24	۰,۶۱۷
FM7	۰,۶۹۷	FM25	۰,۶۶۶	FM7	۰,۳۷۵	FM25	۰,۳۷۵	FM7	۰,۵۳۶	FM25	۰,۳۷۵
FM8	۰,۶۳۵	FM26	۰,۵۶۲	FM8	۰,۴۶۷	FM26	۰,۴۶۷	FM8	۰,۳۹۹	FM26	۰,۳۳۱
FM9	۰,۵۹۹	FM27	۰,۳۹۹	FM9	۰,۴۱۸	FM27	۰,۱۷۱	FM9	۰,۳۳۱	FM27	۰,۳۴۱
FM10	۰,۵۶۲	FM28	۰,۴۹۸	FM10	۰,۲۲۳	FM28	۰,۲۲۳	FM10	۰,۳۴۲	FM28	۰,۳۱۱
FM11	۰,۴۴۶	FM29	۰,۶۵۱	FM11	۰,۴۶۷	FM29	۰,۴۱۸	FM11	۰,۳۴۲	FM29	۰,۳۸۸
FM12	۰,۵۲۲	FM30	۰,۶۹۷	FM12	۰,۱۷۱	FM30	۰,۲۸۸	FM12	۰,۴۹۸	FM30	۰,۲۰۲
FM13	۰,۵۴۱	FM31	۰,۷۱۱	FM13	۰,۲۲۳	FM31	۰,۳۷۵	FM13	۰,۵۷۷	FM31	۰,۳۴۱
FM14	۰,۳۷۵	FM32	۰,۶۸۳	FM14	۰,۴۶۷	FM32	۰,۱۷۱	FM14	۰,۶۱۷	FM32	۰,۴۷۶
FM15	۰,۴۲۶	FM33	۰,۳۱۱	FM15	۰,۵۵۸	FM33	۰,۱۷۱	FM15	۰,۵۹۹	FM33	۰,۳۷۵
FM16	۰,۵۴۱	FM34	۰,۲۳۹	FM16	۰,۵۵۸	FM34	۰,۲۲۳	FM16	۰,۴۴۶	FM34	۰,۳۱۱
FM17	۰,۶۱۹	FM35	۰,۴۹۸	FM17	۰,۴۱۸	FM35	۰,۳۷۵	FM17	۰,۴۵۴	FM35	۰,۴۷۶
FM18	۰,۵۴۱			FM18	۰,۴۶۷			FM18	۰,۵۴۱		

جدول ۴-۱۷: بدست آوردن FMEA در شرایط فازی

FM	S	O	D	FRPN	RANKING
FM1	۰٫۶۶۶	۰٫۳۷۵	۰٫۳۱۱	۰٫۰۷۷۶۷	۲۲
FM2	۰٫۷۲۵	۰٫۴۱۸	۰٫۲۸۳	۰٫۰۸۵۷۶	۱۹
FM3	۰٫۳۷۵	۰٫۲۸۸	۰٫۳۶۴	۰٫۰۳۹۳۱	۳۰
FM4	۰٫۶۱۷	۰٫۲۲۳	۰٫۲۳۹	۰٫۰۳۲۸۸	۳۲
FM5	۰٫۶۵۱	۰٫۳۷۵	۰٫۴۹۸	۰٫۱۲۱۵۷	۶
FM6	۰٫۵۹۹	۰٫۴۱۸	۰٫۴۲۶	۰٫۱۰۶۶۶	۱۲
FM7	۰٫۶۹۷	۰٫۳۷۵	۰٫۵۳۶	۰٫۱۴۰۰	۲
FM8	۰٫۶۳۵	۰٫۴۶۷	۰٫۳۹۹	۰٫۱۱۸۳۲	۸
FM9	۰٫۵۹۹	۰٫۴۱۸	۰٫۳۳۱	۰٫۰۸۲۸۷	۲۰
FM10	۰٫۵۶۲	۰٫۲۲۳	۰٫۳۴۲	۰٫۰۴۲۸	۲۸
FM11	۰٫۴۴۶	۰٫۴۶۷	۰٫۳۴۲	۰٫۰۷۱۲۳	۲۳
FM12	۰٫۵۲۲	۰٫۱۷۱	۰٫۴۹۸	۰٫۰۴۴۴۵	۲۷
FM13	۰٫۵۴۱	۰٫۲۲۳	۰٫۵۷۷	۰٫۰۶۹۶۱	۲۴
FM14	۰٫۳۷۵	۰٫۴۶۷	۰٫۶۱۷	۰٫۱۰۸۰۵	۱۱
FM15	۰٫۴۲۶	۰٫۵۵۸	۰٫۵۹۹	۰٫۱۴۲۳۸	۱
FM16	۰٫۵۴۱	۰٫۵۵۸	۰٫۴۴۶	۰٫۱۳۴۶۳	۴
FM17	۰٫۶۱۹	۰٫۴۱۸	۰٫۴۵۴	۰٫۱۱۷۴۶	۹
FM18	۰٫۵۴۱	۰٫۴۶۷	۰٫۵۴۱	۰٫۱۳۶۶۸	۳
FM19	۰٫۶۳۵	۰٫۳۷۵	۰٫۵۳۶	۰٫۱۲۷۶۳	۵
FM20	۰٫۵۶۲	۰٫۴۱۸	۰٫۳۴۲	۰٫۰۸۰۳۴	۲۱
FM21	۰٫۶۱۹	۰٫۴۶۷	۰٫۳۴۲	۰٫۰۹۹۱۵	۱۴
FM22	۰٫۵۹۹	۰٫۳۷۵	۰٫۵۳۶	۰٫۱۲۰۳۹	۷
FM23	۰٫۶۵۱	۰٫۲۸۸	۰٫۵۹۹	۰٫۱۱۲۳	۱۰
FM24	۰٫۵۹۹	۰٫۱۷۱	۰٫۶۱۷	۰٫۰۶۳۱۹	۲۵
FM25	۰٫۶۶۶	۰٫۳۷۵	۰٫۳۷۵	۰٫۰۹۳۶۵	۱۵
FM26	۰٫۵۶۲	۰٫۴۶۷	۰٫۳۳۱	۰٫۰۸۶۸۷	۱۸
FM27	۰٫۳۹۹	۰٫۱۷۱	۰٫۳۴۱	۰٫۰۲۳۲۶	۳۳
FM28	۰٫۴۹۸	۰٫۲۲۳	۰٫۳۱۱	۰٫۰۳۴۵۳	۳۱
FM29	۰٫۶۵۱	۰٫۴۱۸	۰٫۳۸۸	۰٫۱۰۵۵۸	۱۳
FM30	۰٫۶۹۷	۰٫۲۸۸	۰٫۲۰۲	۰٫۰۴۰۵۴	۲۹
FM31	۰٫۷۱۱	۰٫۳۷۵	۰٫۳۴۱	۰٫۰۹۰۹۱	۱۶
FM32	۰٫۶۸۳	۰٫۱۷۱	۰٫۴۷۶	۰٫۰۵۵۵۹	۲۶
FM33	۰٫۳۱۱	۰٫۱۷۱	۰٫۳۷۵	۰٫۰۱۹۹۴	۳۴
FM34	۰٫۲۳۹	۰٫۲۲۳	۰٫۳۱۱	۰٫۰۱۶۵۷	۳۵
FM35	۰٫۴۹۸	۰٫۳۷۵	۰٫۴۷۶	۰٫۰۸۸۸۹	۱۷

۴-۶- MAFMA در شرایط فازی

برای بدست آوردن MAFMA در شرایط فازی در ابتدا با استفاده از جدول ۳-۱ و نظرات خبرگان چهار معیار شدت، احتمال وقوع، احتمال تشخیص و هزینه مورد انتظار را در شرایط فازی دو به دو مقایسه زوجی کرده در

جدول ۴-۱۸ آورده شده است و با استفاده از میانگین هندسی نظرات خبرگان را به یک عدد تبدیل می کنیم و در

جدول ۴-۱۹ می آوریم و طبق روابط ۷ تا ۱۰ وزن دهی می کنیم که نتیجه آن ها در جدول ۴-۲۰ آورده شده است. در جدول ۴-۲۱ سه معیار شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف را نرمال می کنیم. در جدول ۴-۲۲ مقایسه زوجی حالات خرابی مربوط به هزینه در شرایط فازی آورده شده است. در جدول ۴-۲۳ با استفاده از نرم افزار AHP فازی وزن حالات خرابی مربوط به معیار هزینه بدست آمده است. در جدول ۴-۲۴ اولویت هریک از حالات خرابی در وزن معیارها ضرب شده است. پس از ضرب حالات خرابی در معیارها، حالات خرابی در معیارها را با هم جمع کرده و MAFMA فازی در جدول ۴-۲۵ بدست می آید.

جدول ۴-۱۸: اولویت وزن دهی نسبت به معیارها در شرایط فازی

معیارها		S	O	D	EXPECTED COST
S	خبره ۱	1	3	3	1/2
	خبره ۲	1	2	3	1/2
	خبره ۳	1	2	2	2
O	خبره ۱		1	2	1/2
	خبره ۲		1	2	1/2
	خبره ۳		1	3	1/3
D	خبره ۱			1	1/2
	خبره ۲			1	1/2

	خبره ۳			1	2
Expected cost	خبره ۱				1
	خبره ۲				1
	خبره ۳				1

جدول ۴-۱۹: میانگین هندسی نظرات خبرگان

معیارها	S	O	D	EXPECTED COST
S	(۱ و ۱)	(۱,۲۶ و ۲,۲۹ و ۳,۳)	(۱,۵۹ و ۲,۶۲ و ۳,۶۳)	(۰,۴۸ و ۰,۸ و ۱,۴۴)
O	(۰,۳۰۳ و ۰,۴۴ و ۰,۸)	(۱ و ۱)	(۱,۲۶ و ۲,۲۹ و ۳,۳)	(۰,۳۰۳ و ۰,۴۴ و ۰,۸)
D	(۰,۲۸ و ۰,۳۸ و ۰,۶۳)	(۰,۳۰۳ و ۰,۴۴ و ۰,۸)	(۱ و ۱)	(۰,۴۸ و ۰,۸ و ۱,۴۴)
Expected cost	(۰,۷ و ۱,۲۶ و ۲,۰۸)	(۱,۲۶ و ۲,۲۹ و ۳,۳)	(۰,۷ و ۱,۲۶ و ۲,۰۸)	(۱ و ۱)

$$\sum_{j=1}^m M = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m \mu_j \right)$$

۴,۳۳	۶,۷۱	۹,۳۷
۲,۸۶۶	۴,۱۷	۵,۹
۲,۰۶۳	۲,۶۲	۳,۸۷
۳,۶۶	۵,۸	۸,۴۶

$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left[\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n \mu_i \right]$	۱۲,۹۳۹	۱۹,۳	۲۷,۶
$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \right]$	۰,۰۳۶۲	۰,۰۵۱۸	۰,۰۷۷۴

$$Si = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$$

۰,۱۵۶۷	۰,۳۴۷۵	۰,۷۲۵۲
۰,۱۰۳۷	۰,۲۱۶۰	۰,۴۵۶۶

۰,۰۷۴۶	۰,۱۳۵۷	۰,۲۹۹۵
۰,۱۳۲۴	۰,۳۰۰۴	۰,۶۵۴۸

$$V(M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1 & m_1 \geq m_2 \\ 0 & \mu_1 \leq l_2 \\ \text{otherwise} & \frac{l_2 - \mu_1}{(m_1 - \mu_1) - (m_2 - l_2)} \end{cases}$$

درجه بزرگی هریک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر به شرح زیر است:

$V(S_1 > S_2) = 1$	$V(S_1 > S_3) = 1$	$V(S_1 > S_4) = 1$
$V(S_2 > S_1) = 0.69$	$V(S_2 > S_3) = 1$	$V(S_2 > S_4) = 0.79$
$V(S_3 > S_1) = 0.4$	$V(S_3 > S_2) = 0.71$	$V(S_3 > S_4) = 0.5$
$V(S_4 > S_1) = 0.91$	$V(S_4 > S_2) = 1$	$V(S_4 > S_3) = 1$

جدول ۴-۲: وزن معیارها در شرایط فازی

	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
S	۱	۰,۳۳۳
O	۰,۶۹	۰,۲۳
D	۰,۴	۰,۱۳۴
Expected cost	۰,۹۱	۰,۳۰۳

جدول ۴-۲۱: نرمال کردن سه معیار S, O و D

		S		O		D
حالات	میانگین امتیازات	اولویت	میانگین امتیازات	اولویت	میانگین امتیازات	اولویت
FM1	۰,۶۶۶	۰,۳۳۷	۰,۳۷۵	۰,۳۰۵	۰,۳۱۱	۰,۲۰۲
FM2	۰,۷۲۵	۰,۳۶۷	۰,۴۱۸	۰,۳۴۱	۰,۲۸۳	۰,۱۸۴
FM3	۰,۳۷۵	۰,۰۱۹۰	۰,۲۸۸	۰,۰۲۳۴	۰,۳۶۴	۰,۲۳۷
FM4	۰,۶۱۷	۰,۳۱۳	۰,۲۲۳	۰,۰۱۸۲	۰,۲۳۹	۰,۱۵۵
FM5	۰,۶۵۱	۰,۳۳۰	۰,۳۷۵	۰,۳۰۵	۰,۴۹۸	۰,۳۲۴
FM6	۰,۵۹۹	۰,۳۰۳	۰,۴۱۸	۰,۳۴۱	۰,۴۲۶	۰,۲۷۷
FM7	۰,۶۹۷	۰,۳۵۳	۰,۳۷۵	۰,۳۰۵	۰,۵۳۶	۰,۳۴۹
FM8	۰,۶۳۵	۰,۳۲۲	۰,۴۶۷	۰,۳۸۱	۰,۳۹۹	۰,۲۵۹
FM9	۰,۵۹۹	۰,۳۰۳	۰,۴۱۸	۰,۳۴۱	۰,۳۳۱	۰,۲۱۵
FM10	۰,۵۶۲	۰,۲۸۵	۰,۲۲۳	۰,۰۱۸۲	۰,۳۴۲	۰,۲۲۲
FM11	۰,۴۴۶	۰,۲۲۶	۰,۴۶۷	۰,۳۸۱	۰,۳۴۲	۰,۲۲۲
FM12	۰,۵۲۲	۰,۲۶۴	۰,۱۷۱	۰,۰۱۳۹	۰,۴۹۸	۰,۳۲۴
FM13	۰,۵۴۱	۰,۲۷۴	۰,۲۲۳	۰,۰۱۸۲	۰,۵۷۷	۰,۳۶۲
FM14	۰,۳۷۵	۰,۰۱۹۰	۰,۴۶۷	۰,۳۸۱	۰,۶۱۷	۰,۴۰۱
FM15	۰,۴۲۶	۰,۰۲۱۶	۰,۵۵۸	۰,۴۵۵	۰,۵۹۹	۰,۳۹۰
FM16	۰,۵۴۱	۰,۲۷۴	۰,۵۵۸	۰,۴۵۵	۰,۴۴۶	۰,۲۹۰
FM17	۰,۶۱۹	۰,۳۱۴	۰,۴۱۸	۰,۳۴۱	۰,۴۵۴	۰,۲۹۵
FM18	۰,۵۴۱	۰,۲۷۴	۰,۴۶۷	۰,۳۸۱	۰,۵۴۱	۰,۳۵۲
FM19	۰,۶۳۵	۰,۳۲۲	۰,۳۷۵	۰,۳۰۵	۰,۵۳۶	۰,۳۴۹
FM20	۰,۵۶۲	۰,۲۸۵	۰,۴۱۸	۰,۳۴۱	۰,۳۴۲	۰,۲۲۲
FM21	۰,۶۱۹	۰,۳۱۴	۰,۴۶۷	۰,۳۸۱	۰,۳۴۲	۰,۲۲۲
FM22	۰,۵۹۹	۰,۳۰۳	۰,۳۷۵	۰,۳۰۵	۰,۵۳۶	۰,۳۴۹
FM23	۰,۶۵۱	۰,۳۳۰	۰,۲۸۸	۰,۰۲۳۴	۰,۵۹۹	۰,۳۹۰
FM24	۰,۵۹۹	۰,۳۰۳	۰,۱۷۱	۰,۰۱۳۹	۰,۶۱۷	۰,۴۰۱
FM25	۰,۶۶۶	۰,۳۳۷	۰,۳۷۵	۰,۳۰۵	۰,۳۷۵	۰,۲۴۴
FM26	۰,۵۶۲	۰,۲۸۵	۰,۴۶۷	۰,۳۸۱	۰,۳۳۱	۰,۲۱۵
FM27	۰,۳۹۹	۰,۰۲۰۲	۰,۱۷۱	۰,۰۱۳۹	۰,۳۴۱	۰,۲۲۲
FM28	۰,۴۹۸	۰,۲۵۲	۰,۲۲۳	۰,۰۱۸۲	۰,۳۱۱	۰,۲۰۲
FM29	۰,۶۵۱	۰,۳۳۰	۰,۴۱۸	۰,۳۴۱	۰,۳۸۸	۰,۲۵۲

FM30	۰,۶۹۷	۰,۳۵۳	۰,۲۸۸	۰,۲۳۴	۰,۲۰۲	۰,۱۳۱
FM31	۰,۷۱۱	۰,۳۶۰	۰,۳۷۵	۰,۳۰۵	۰,۳۴۱	۰,۲۲۲
FM32	۰,۶۸۳	۰,۳۴۶	۰,۱۷۱	۰,۱۳۹	۰,۴۷۶	۰,۳۱۰
FM33	۰,۳۱۱	۰,۱۵۷	۰,۱۷۱	۰,۱۳۹	۰,۳۷۵	۰,۲۴۴
FM34	۰,۲۳۹	۰,۱۲۱	۰,۲۲۳	۰,۱۸۲	۰,۳۱۱	۰,۲۰۲
FM35	۰,۴۹۸	۰,۲۵۲	۰,۳۷۵	۰,۳۰۵	۰,۴۷۶	۰,۳۱۰
جمع	۱۹,۷۱۷		۱۲,۲۶		۱۵,۳۵۴	

جدول ۴-۲۲: مقایسه زوجی حالات خرابی مربوط به معیار هزینه در شرایط فازی

FM	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱	1 1 1	2 3 3	1 2 1	2 3 4	1/3 1/2 2	1 2 1	2 2 1	1/2 1/2 1/3	1/2 1 1/3	3 2 2	1 2 1	3 2 2	3 4 4	4 4 5	3 2 2	2 1 2	3 2 2
۲		1 1 1	1 2 2	2 2 2	2 3 3	1 2 2	2 2 1	3 3 4	2 2 4	3 3 4	5 4 4	4 3 3	4 5 5	2 2 2	3 3 3	3 2 2	3 1 2
۳			1 1 1	1 2 2	2 3 2	2 1 2	3 3 1	3 3 3	4 5 5	5 4 4	5 5 6	7 7 6	7 4 5	3 4 3	4 3 3	3 3 3	3 4 3
۴				1 1 1	3 3 3	4 4 4	4 6 6	6 6 5	5 5 5	6 6 7	6 6 6	5 6 6	7 7 6	3 4 4	4 4 4	4 4 3	3 3 3
۵					1 1 1	2 2 2	1 2 1	2 2 1	2 2 3	3 3 3	4 4 4	4 4 3	3 2 2	3 2 2	3 2 2	3 2 2	3 4 3
۶						1 1 1	1 1/3 1/3	2 3 3	2 2 3	3 3 2	3 4 4	3 4 4	1 2 2	2 2 1	2 2 3	3 3 3	3 2 2
۷							1 1 1	4 4 4	4 4 3	3 4 4	4 4 4	5 5 6	6 6 6	3 3 4	3 4 2	4 3 3	3 3 2
۸								1 1 1	3 2 3	3 3 3	3 2 2	3 3 3	2 2 2	1/2 1/3 1/3	1/4 1/5 1/4	1/3 1/2 1/2	1/4 1/4 1/4
۹									1 1 1	3 2 2	3 3 3	2 2 2	3 3 3	1/5 1/7 1/6	1/6 1/7 1/7	1/6 1/6 1/6	1/5 1/6 1/6
۱۰										1 1 1	3 3 2	2 2 2	3 3 2	1/7 1/7 1/5	1/7 1/6 1/6	1/7 1/6 1/6	1/5 1/7 1/7
۱۱											1 1 1	2 2 2	1 1/2 1	1/5 1/6 1/6	1/5 1/7 1/7	1/6 1/7 1/7	1/6 1/6 1/7
۱۲												1 1 1	3 3 1	1/6 1/8 1/8	1/6 1/8 1/7	1/7 1/6 1/7	1/7 1/9 1/8
۱۳													1 1 1	1/3 1/4 1/5	1/5 1/6 1/5	1/5 1/6 1/6	1/5 1/6 1/6
۱۴														1 1 1	2 3 3	4 3 3	3 3 3
۱۵															1 1 1	2 2 3	3 3 2
۱۶																1 1 1	4 5 5

FM	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	3	3	4	2	6	4	5	4	4	6	7	5	3	2	3	8	8	4
	2	2	5	2	5	4	6	4	5	7	6	5	3	1	2	8	8	4
	2	3	5	1	4	5	5	5	5	5	6	4	3	1	3	7	8	5
2	4	5	2	5	6	6	7	5	4	4	4	3	2	3	4	7	7	5
	4	4	2	4	5	5	7	4	4	4	3	3	2	2	3	7	7	4
	3	6	2	5	5	5	6	4	3	4	3	2	1	2	3	9	8	4
3	5	6	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3	2	2	3	7	7	4
	4	6	6	6	6	4	5	4	4	4	3	3	2	2	3	7	7	4
	5	5	5	5	7	6	4	4	3	5	3	2	2	3	3	7	8	5
4	5	5	6	5	6	6	5	3	4	4	4	5	3	4	4	8	7	5
	4	4	6	5	5	5	5	5	4	4	3	4	3	4	3	7	7	5
	4	6	5	6	5	5	5	4	4	3	4	4	2	4	3	7	7	7
5	4	3	5	5	4	4	6	5	5	6	6	3	2	3	4	8	8	5
	3	3	4	5	6	5	6	5	5	6	5	3	3	3	4	9	8	5
	3	3	4	5	6	6	6	5	5	5	5	3	3	3	3	8	7	6
6	4	4	5	4	5	4	5	5	6	5	5	5	3	4	1	7	6	3
	4	5	4	4	5	4	5	5	5	6	5	6	3	4	1/2	7	8	4
	4	5	4	4	4	4	6	5	7	5	4	6	4	5	1	8	8	4
7	4	3	2	3	4	3	2	5	6	5	5	5	3	2	3	7	7	3
	4	3	3	3	4	2	2	5	5	5	5	5	2	2	3	7	6	4
	3	3	3	3	4	2	3	6	5	4	5	4	3	2	2	6	6	4
8	2	3	1/2	2	2	2	2	3	2	2	3	1/6	1/6	1/4	1/6	6	7	3
	2	3	1/3	2	2	2	3	3	2	2	3	1/7	1/6	1/7	1/6	6	7	3
	3	2	1/3	3	1	3	4	3	1	3	2	1/5	1/6	1/6	1/5	6	6	3
9	2	3	2	2	3	2	3	2	4	3	3	1/5	1/4	1/5	1/5	5	6	5
	3	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	1/4	1/6	1/5	1/5	6	6	5
	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	1/6	1/6	1.5	1/7	6	6	5
10	2	3	3	3	2	3	4	2	2	2	1/2	1/5	1/5	1/7	1/4	6	7	4
	2	2	2	3	2	3	3	3	2	2	1	1/6	1/7	1/6	1/5	6	5	4
	2	2	2	3	2	3	3	2	2	2	1/2	1/6	1/7	1/7	1/5	5	5	3
11	1/3	1/3	1/5	2	3	1/3	3	2	3	3	1	1/7	1/5	1/7	1/6	6	6	3
	1/3	1/2	1/7	2	3	1/3	2	2	2	3	2	1/7	1/5	1/7	1/6	6	6	4
	1/2	1	1/7	2	2	1/2	2	3	3	2	1	1/6	1/7	1/7	1/7	7	6	4
12	1/4	1/4	1/7	3	2	1	1	1	2	1	1/3	1/6	1/5	1/6	1/6	5	4	3
	1/5	1/6	1/6	2	2	1/2	1	2	2	2	1/2	1/5	1/6	1/7	1/6	5	5	4
	1/6	1/6	1/7	2	2	1	2	2	2	2	1/2	1/5	1/6	1/7	1/7	4	5	4
13	1/6	1/6	1/7	3	4	3	3	3	4	3	2	1/6	1/6	1/6	1/7	5	4	3
	1/6	1/6	1/7	4	4	4	3	3	3	3	3	1/7	1/7	1/7	1/6	4	5	4
	1/6	1/7	1/8	3	4	3	3	3	3	2	3	1/6	1/6	1/7	1/8	4	4	3
14	3	3	3	3	5	5	6	6	7	6	5	2	1	2	3	5	6	3
	3	2	2	3	5	5	6	6	6	8	5	2	2	3	2	5	6	3
	2	2	3	3	5	3	6	5	6	8	4	1	2	3	2	6	6	3
15	4	4	3	4	6	7	6	6	5	5	3	3	3	1/2	1/3	7	6	6
	3	4	4	4	6	7	5	5	5	6	3	4	2	1/2	1/4	7	7	6
	4	3	3	3	7	7	6	5	5	6	3	3	2	1/3	1/4	7	7	6
16	3	4	4	4	7	7	5	6	6	6	6	3	2	2	5	7	7	5
	3	4	3	4	6	6	5	5	5	6	5	2	3	3	5	6	7	5
	3	3	3	3	6	5	5	5	5	6	4	2	3	3	5	6	7	4

FM	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵
۱۷	1 1 1	3 4 3	3 4 3	3 3 4	4 3 3	3 4 3	4 4 4	4 4 5	3 2 2	5 5 5	6 6 6	2 1 1	1 2 1	2 2 1	3 2 2	1/2 1/2 1	7 7 7	5 5 5	3 4 4
۱۸		1 1 1	1 2 2	2 1 1	2 3 2	1 3 3	2 3 3	3 3 2	2 2 2	1 2 2	1 2 2	1/5 1/7 1/5	1/4 1/6 1/6	1/7 1/6 1/4	1/6 1/6 1/6	1/5 1/5 1/6	5 5 4	4 5 5	3 3 3
۱۹			1 1 1	1/5 1/6 1/4	4 3 3	5 5 5	5 4 4	4 4 4	6 6 6	6 6 6	1/4 1/5 1/7	1/5 1/6 1/7	1/6 1/5 1/6	1/6 1/6 1/4	1/6 1/7 1/6	1/5 1/5 1/6	7 7 7	8 7 7	4 4 5
۲۰				1 1 1	5 6 6	6 6 5	7 6 5	5 6 6	4 6 6	5 7 6	3 3 3	3 2 1	1/2 1 1	1/3 1/3 1/4	1/3 1/5 1/4	1/3 1/4 1/5	7 6 6	6 5 6	3 4 3
۲۱					1 1 1	2 2 3	3 3 1	1 2 2	2 2 1	2 2 2	2 1 2	2 2 2	1/4 1/5 1/4	1/3 1/4 1/5	1/6 1/6 1/6	1/6 1/6 1/5	4 4 4	5 4 4	4 3 2
۲۲						1 1 1	4 4 3	4 5 4	4 3 4	4 4 4	3 3 3	3 4 3	1/4 1/6 1/5	1/4 1/5 1/7	1/5 1/7 1/7	1/6 1/6 1/5	5 5 5	4 5 5	2 2 3
۲۳							1 1 1	4 4 4	2 3 3	3 3 3	2 2 3	2 2 3	1/5 1/5 1/6	1/6 1/6 1/6	1/5 1/6 1/6	1/5 1/5 1/5	5 5 5	6 5 5	3 3 2
۲۴								1 1 1	2 1 1	2 3 1	1 2 2	2 1 1	1/7 1/6 1/7	1/7 1/6 1/7	1/6 1/6 1/5	1/6 1/7 1/8	6 7 7	7 7 7	4 4 2
۲۵									1 1 1	2 2 1	2 1 1	1/2 1 1/2	1/5 1/8 1/7	1/7 1/7 1/7	1/6 1/6 1/8	1/7 1/6 1/7	7 8 4	6 7 6	4 3 3
۲۶										1 1 1	2 2 1	1/3 1/2 1/2	1/4 1/5 1/4	1/4 1/4 1/4	1/5 1/4 1/4	1/5 1/4 1/4	4 5 5	4 4 4	3 3 3
۲۷											1 1 1	1/2 1 1/3	1/5 1/6 1/6	1/6 1/6 1/7	1/7 1/8 1/7	1/6 1/7 1/7	4 3 3	4 3 3	2 3 3
۲۸												1 1 1	1/4 1/3 1/3	1/3 1/3 1/4	1/5 1/6 1/5	1/6 1/4 1/4	8 7 7	7 7 7	4 5 5
۲۹													1 1 1	2 2 2	3 2 2	2 2 2	6 7 6	6 6 6	5 5 5
۳۰														1 1 1	3 3 3	1/2 1/4 1/3	6 7 7	7 6 6	3 4 4
۳۱															1 1 1	1/3 1/4 1/3	6 6 8	5 6 5	3/3 3 2
۳۲																1 1 1	8 8 7	7 6 7	4 6 6
۳۳																	1 1 1	3 4 3	1/3 1/3 1/5

۳۴																		1	1/4
																		1	1/4
																		1	1/6

در جدول ۴-۲۳ برآورد اولویت هزینه در شرایط فازی با استفاده از نرم افزار تحلیل سلسله مراتبی فازی بدست آمده است.

جدول ۴-۲۳: برآورد اولویت هزینه در شرایط فازی با استفاده از نرم افزار AHP فازی

اولویت	FM	اولویت	FM
۰,۰۲۹۵	FM19	۰,۰۴۵۵	FM1
۰	FM20	۰,۰۴۲۸	FM2
۰,۰۲۸۱	FM21	۰,۰۵۰۸	FM3
۰,۰۱۷۴	FM22	۰,۰۳۸۸	FM4
۰,۰۲۰۱	FM23	۰,۰۵۲۲	FM5
۰,۰۲۲۷	FM24	۰,۰۴۱۵	FM6
۰,۰۲۹۵	FM25	۰,۰۳۶۱	FM7
۰	FM26	۰,۰۳۲۱	FM8
۰,۰۲۴۱	FM27	۰	FM9
۰	FM28	۰,۰۲۵۴	FM10
۰,۰۴۵۵	FM29	۰,۰۲۲۷	FM11
۰,۰۵۳۵	FM30	۰	FM12
۰,۰۳۰۷	FM31	۰,۰۱۸۷	FM13
۰,۰۳۶۱	FM32	۰,۰۵۶۲	FM14
۰,۰۱۶۱	FM33	۰,۰۴۶۸	FM15
۰	FM34	۰,۰۴۴۱	FM16
۰,۰۲۶۷	FM35	۰,۰۴۱۴	FM17
		۰,۰۲۴۱	FM18

جدول ۴-۲۴ هریک از حالات خرابی در وزن معیار مربوطه ضرب شده و در جدول ۴-۲۵ با هم جمع می شوند و جدول MAFMA در شرایط فازی بدست می آید

جدول ۴-۲۴: ضرب اولویت های حالات خرابی در وزن معیارها

FM	۰,۳۳۳	S	۰,۲۳	O	۰,۱۳۴	D	۰,۳۰۳	Expected cost
FM1	۰,۰۳۳۷	۰,۰۱۱۲۲	۰,۰۳۰۵	۰,۰۰۷۰۱	۰,۰۲۰۲	۰,۰۰۲۷۰	۰,۰۴۵۵	۰,۰۱۳۷۸
FM2	۰,۰۳۶۷	۰,۰۱۲۲۲	۰,۰۳۴۱	۰,۰۰۷۸۴	۰,۰۱۸۴	۰,۰۰۲۴۶	۰,۰۴۲۸	۰,۰۱۲۹۶
FM3	۰,۰۱۹۰	۰,۰۰۶۳	۰,۰۲۳۴	۰,۰۰۵۳۸	۰,۰۲۳۷	۰,۰۰۳۱۷	۰,۰۵۰۸	۰,۰۱۵۳۹
FM4	۰,۰۳۱۳	۰,۰۱۰۴۲	۰,۰۱۸۲	۰,۰۰۴۱۸	۰,۰۱۵۵	۰,۰۰۲۰۷	۰,۰۳۸۸	۰,۰۱۱۷۵
FM5	۰,۰۳۳۰	۰,۰۱۰۹۸	۰,۰۳۰۵	۰,۰۰۷۰۱	۰,۰۳۲۴	۰,۰۰۴۳۴	۰,۰۵۲۲	۰,۰۱۵۸۱
FM6	۰,۰۳۰۳	۰,۰۱۰۰۸	۰,۰۳۴۱	۰,۰۰۷۸۴	۰,۰۲۷۷	۰,۰۰۳۷۱	۰,۰۴۱۵	۰,۰۱۲۵۷
FM7	۰,۰۳۵۳	۰,۰۱۱۷۵	۰,۰۳۰۵	۰,۰۰۷۰۱	۰,۰۳۴۹	۰,۰۰۴۶۷	۰,۰۳۶۱	۰,۰۱۰۹۳
FM8	۰,۰۳۲۲	۰,۰۱۰۷۲	۰,۰۳۸۱	۰,۰۰۸۷۶	۰,۰۲۵۹	۰,۰۰۳۴۷	۰,۰۳۲۱	۰,۰۰۹۷۲
FM9	۰,۰۳۰۳	۰,۰۱۰۰۸	۰,۰۳۴۱	۰,۰۰۷۸۴	۰,۰۲۱۵	۰,۰۰۲۸۸	۰	۰
FM10	۰,۰۲۸۵	۰,۰۰۹۴۹	۰,۰۱۸۲	۰,۰۰۴۱۸	۰,۰۲۲۲	۰,۰۰۲۹۷	۰,۰۲۵۴	۰,۰۰۷۶۹
FM11	۰,۰۲۲۶	۰,۰۰۷۵۲	۰,۰۳۸۱	۰,۰۰۸۷۶	۰,۰۲۲۲	۰,۰۰۲۹۷	۰,۰۲۲۷	۰,۰۰۶۸۷
FM12	۰,۰۲۶۴	۰,۰۰۸۷۹	۰,۰۱۳۹	۰,۰۰۳۱۹	۰,۰۳۲۴	۰,۰۰۴۳۴	۰	۰
FM13	۰,۰۲۷۴	۰,۰۰۹۱۲	۰,۰۱۸۲	۰,۰۰۴۱۸	۰,۰۳۶۲	۰,۰۰۴۸۵	۰,۰۱۸۷	۰,۰۰۵۶۶
FM14	۰,۰۱۹۰	۰,۰۰۶۳	۰,۰۳۸۱	۰,۰۰۸۷۶	۰,۰۴۰۱	۰,۰۰۵۴۱	۰,۰۵۶۲	۰,۰۱۷۰۲
FM15	۰,۰۲۱۶	۰,۰۰۷۱۹	۰,۰۴۵۵	۰,۰۱۰۴۶	۰,۰۳۹۰	۰,۰۰۵۲۲	۰,۰۴۶۸	۰,۰۱۴۱۸
FM16	۰,۰۲۷۴	۰,۰۰۹۱۲	۰,۰۴۵۵	۰,۰۱۰۴۶	۰,۰۲۹۰	۰,۰۰۳۸۸	۰,۰۴۴۱	۰,۰۱۳۳۶
FM17	۰,۰۳۱۴	۰,۰۱۰۴۵	۰,۰۳۴۱	۰,۰۰۷۸۴	۰,۰۲۹۵	۰,۰۰۳۹۵	۰,۰۴۱۴	۰,۰۱۲۵۴
FM18	۰,۰۲۷۴	۰,۰۰۹۱۲	۰,۰۳۸۱	۰,۰۰۸۷۶	۰,۰۳۵۲	۰,۰۰۴۷۱	۰,۰۲۴۱	۰,۰۰۷۳۰
FM19	۰,۰۳۲۲	۰,۰۱۰۷۲	۰,۰۳۰۵	۰,۰۰۷۰۱	۰,۰۳۴۹	۰,۰۰۴۶۷	۰,۰۲۹۵	۰,۰۰۸۹۳
FM20	۰,۰۲۸۵	۰,۰۰۹۴۹	۰,۰۳۴۱	۰,۰۰۷۸۴	۰,۰۲۲۲	۰,۰۰۲۹۷	۰	۰
FM21	۰,۰۳۱۴	۰,۰۱۰۴۵	۰,۰۳۸۱	۰,۰۰۸۷۶	۰,۰۲۲۲	۰,۰۰۲۹۷	۰,۰۲۸۱	۰,۰۰۸۵۱
FM22	۰,۰۳۰۳	۰,۰۱۰۰۸	۰,۰۳۰۵	۰,۰۰۷۰۱	۰,۰۳۴۹	۰,۰۰۴۶۷	۰,۰۱۷۴	۰,۰۰۵۲۷
FM23	۰,۰۳۳۰	۰,۰۱۰۹۸	۰,۰۲۳۴	۰,۰۰۵۳۸	۰,۰۳۹۰	۰,۰۰۵۲۲	۰,۰۲۰۱	۰,۰۰۶۰۹
FM24	۰,۰۳۰۳	۰,۰۱۰۰۸	۰,۰۱۳۹	۰,۰۰۳۱۹	۰,۰۴۰۱	۰,۰۰۵۴۱	۰,۰۲۲۷	۰,۰۰۶۸۷
FM25	۰,۰۳۳۷	۰,۰۱۱۲۲	۰,۰۳۰۵	۰,۰۰۷۰۱	۰,۰۲۴۴	۰,۰۰۳۲۶	۰,۰۲۹۵	۰,۰۰۸۹۳
FM26	۰,۰۲۸۵	۰,۰۰۹۴۹	۰,۰۳۸۱	۰,۰۰۸۷۶	۰,۰۲۱۵	۰,۰۰۲۸۸	۰	۰
FM27	۰,۰۲۰۲	۰,۰۰۶۷۲	۰,۰۱۳۹	۰,۰۰۳۱۹	۰,۰۲۲۲	۰,۰۰۲۹۷	۰,۰۲۴۱	۰,۰۰۷۳

FM28	۰,۰۲۵۲	۰,۰۰۸۳۹	۰,۰۱۸۲	۰,۰۰۴۱۸	۰,۰۲۰۲	۰,۰۰۲۷۰	۰	۰
FM29	۰,۰۳۳۰	۰,۰۱۰۹۸	۰,۰۳۴۱	۰,۰۰۷۸۴	۰,۰۲۵۲	۰,۰۰۳۳۷	۰,۰۴۵۵	۰,۰۱۳۷۸
FM30	۰,۰۳۵۳	۰,۰۱۱۷۵	۰,۰۲۳۴	۰,۰۰۵۳۸	۰,۰۱۳۱	۰,۰۰۱۷۵	۰,۰۵۳۵	۰,۰۱۶۲۱
FM31	۰,۰۳۶۰	۰,۰۱۱۹۸	۰,۰۳۰۵	۰,۰۰۷۰۱	۰,۰۲۲۲	۰,۰۰۲۹۷	۰,۰۳۰۷	۰,۰۰۹۳
FM32	۰,۰۳۴۶	۰,۰۱۱۵۲	۰,۰۱۳۹	۰,۰۰۳۱۹	۰,۰۳۱۰	۰,۰۰۴۱۵	۰,۰۳۶۱	۰,۰۱۰۹۳
FM33	۰,۰۱۵۷	۰,۰۰۵۲۲	۰,۰۱۳۹	۰,۰۰۳۱۹	۰,۰۲۴۴	۰,۰۰۳۲۶	۰,۰۱۶۱	۰,۰۰۴۸۷
FM34	۰,۰۱۲۱	۰,۰۰۴۰۲	۰,۰۱۸۲	۰,۰۰۴۱۸	۰,۰۲۰۲	۰,۰۰۲۷۰	۰	۰
FM35	۰,۰۲۵۲	۰,۰۰۸۳۹	۰,۰۳۰۵	۰,۰۰۷۰۱	۰,۰۳۱۰	۰,۰۰۴۱۵	۰,۰۲۶۷	۰,۰۰۸۰۹

جدول ۴-۲۵: نتایج اولویت بندی حالات خرابی با روش MAFMA فازی

رتبه بندی	امتیاز	حالات
۹	۰,۰۳۴۷۱	ناخالصی در مواد
۶	۰,۰۳۵۴۸	آلودگی در مواد
۱۷	۰,۰۳۰۲۴	مرطوب بودن مواد
۲۰	۰,۰۲۸۴۲	تغییر رنگ مواد
۱	۰,۰۳۸۱۴	ناخالصی آب
۱۱	۰,۰۳۴۲۰	دمای نامناسب آب
۱۰	۰,۰۳۴۳۶	وجود ذراتی در آب
۱۲	۰,۰۳۲۶۷	کالیبره نبودن دستگاه توزین
۲۹	۰,۰۲۰۸۰	نامتوازن بودن دستگاه توزین
۲۶	۰,۰۲۴۳۳	شکستگی دستگاه توزین
۲۴	۰,۰۲۶۱۲	خراب شدن تسمه نقاله
۳۳	۰,۰۱۶۳۲	کند شدن پروسه
۲۷	۰,۰۲۳۸۱	هرز شدن پیچ
۲	۰,۰۳۷۴۹	سوراخ شدن تانک
۳	۰,۰۳۷۰۵	نشستی تانک
۴	۰,۰۳۶۸۲	وجود گردو خاک در تانک
۸	۰,۰۳۴۷۸	خوردگی تانک
۱۸	۰,۰۲۹۸۹	شکستگی میکسر
۱۳	۰,۰۳۱۳۳	خوردگی میکسر
۳۰	۰,۰۲۰۳۰	وجود گردو خاک در میکسر
۱۵	۰,۰۳۰۶۹	نشستی پمپ
۲۳	۰,۰۲۷۰۳	کم وزیاد بودن روغنکاری در پمپ
۲۱	۰,۰۲۷۶۷	ترک روی پمپ
۲۵	۰,۰۲۵۵۵	هرز شدن پیچ های پمپ
۱۶	۰,۰۳۰۴۲	خراب شدن بر الکتریکی
۲۸	۰,۰۲۱۱۳	افزایش فشار در لوله
۳۱	۰,۰۲۰۱۸	کاهش فشار در لوله
۳۴	۰,۰۱۵۲۷	گرفتگی فیلتر

مواد اولیه نامرغوب در ساخت گالن	۰,۰۳۵۹۷	۵
مواد زائد در گالن	۰,۰۳۵۰۹	۷
داغ بودن گالن	۰,۰۳۱۲۶	۱۴
سوراخ بودن گالن	۰,۰۲۹۷۹	۱۹
کنده شدن لیبل	۰,۰۱۶۵۴	۳۲
خط خوردگی لیبل	۰,۰۱۰۹	۳۵
دمای نامناسب	۰,۰۲۷۶۴	۲۲

۴-۷- جمع بندی

در این فصل به گردآوری اطلاعاتی که از طریق مصاحبه با خبرگان انجام شد پرداختیم. در ابتدا تعداد ۳۵ حالت خرابی را جمع آوری کردیم و در بخش بعد به گردآوری پرسشنامه هایی که در اختیار خبرگان قرار دادیم پرداختیم. در بخش دوم FMEA در حالت سنتی را که از ضرب سه عامل S، O و D است را بدست آوردیم. در بخش سوم MAFMA را که با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی بدست می آید را بدست آوردیم. در بخش چهارم با استفاده از متغیرهای زبانی FMEA فازی را بدست آوردیم. در نهایت در بخش آخر MAFMA فازی را که مبنای کار تحقیق است را بدست آوردیم.

فصل ۵ - نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

در این فصل به جمع بندی و نتیجه گیری تحقیق حاضر پرداخته می شود. در ابتدا مرور مختصری از تحقیق ارائه می شود سپس نتایج و یافته های پژوهش و بعد از آن به مقایسه بین تجزیه و تحلیل چند خصیصه ای حالات بالقوه در حالت ساده و در شرایط فازی پرداخته می شود. و در انتها به ارائه پیشنهاد در جهت بهبود کارهای آتی پرداخته می شود.

۵-۲- مرور مختصری بر تحقیق

تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی تکنیکی برای جلوگیری از بروز خرابی است که از ضرب سه عامل شدت، احتمال وقوع و احتمال تشخیص بدست می آید. این روش با اشکالات متعددی همراه است که در طی زمان سعی در برطرف کردن این مشکلات شده است. استفاده از انواع روش های تصمیم گیری چند معیاره، تحلیل پوششی داده ها و استفاده از منطق فازی و خاکستری و ... روش هایی هستند که برای برطرف کردن مشکلات سنتی این تکنیک به کار برده شده اند یکی از اشکالات این روش نادیده گرفتن بعد مهم هزینه است. تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه چند خصیصه ای (MAFMA)، یک نگرش چند خصیصه ای بر مبنای تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که هم ابعاد FMEA و هم بعد هزینه را در نظر می گیرد (براگلیا، ۲۰۰۰). روش کار در این تکنیک به این صورت است که ابتدا معیارهای شدت، احتمال وقوع، احتمال تشخیص و هزینه مورد انتظار را با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی دو به دو مقایسه زوجی انجام داده و وزن هریک را بدست می آوریم. در مرحله دوم معیارهای شدت، احتمال خرابی و احتمال تشخیص را برای هریک از حالات خرابی با استفاده از جداول از قبل طراحی شده وزن می دهیم. در مورد معیار هزینه مورد انتظار حالات خرابی را در این معیار دو به دو با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی وزن دهی می کنیم. در مرحله سوم وزن هریک از حالات خرابی را در وزن معیار مربوطه ضرب کرده و در مرحله آخر هریک از حالات خرابی را با توجه به معیار ها با هم جمع نموده و به رتبه بندی آن ها می پردازیم. این مدل

نیز به دلیل استفاده از اعداد قطعی نیز با اشکال مواجه است و ما در این تحقیق با استفاده از منطق فازی سعی در برطرف کردن این اشکال داشته ایم. برای معیارهای شدت، احتمال وقوع و احتمال تشخیص با استفاده از جداول فازی مربوط به هر معیار برای هریک از حالات خرابی توسط خبرگان وزن داده شد و برای معیار هزینه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی برای هریک از حالات خرابی وزن تعیین گردید و در نهایت با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه چند خصیصه ای، تجزیه و تحلیل حالات خرابی بالقوه چند خصیصه ای در شرایط فازی بدست آمد.

۵-۳- نتایج و یافته های پژوهش

با استفاده از مصاحبه حضوری که با خبرگان انجام شد تعداد ۳۵ حالت خرابی بدست آمد. بعد از این مرحله پرسشنامه های مربوط به چهار معیار در اختیار خبرگان قرار داده شد و آن ها به هریک از حالات خرابی با توجه به معیار مربوطه امتیاز دادند. و در آخر به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته شد. که چهار نتیجه از آن ها بدست آمد که عبارت اند از:

- FMEA در حالت سنتی
- FMEA در شرایط فازی
- MAFMA
- MAFMA در شرایط فازی

مقایسه نتایج در چهار حالت بالا در جدول ۵-۱ آورده شده است.

جدول ۵-۱: مقایسه نتایج FMEA، FMEA فازی و MAFMA با MAFMA فازی

حالات	رتبه RPN	MAFMA	FRPN	FMAFMA
FM1	۱۷	۲	۲۲	۹
FM2	۲۴	۵	۱۹	۶
FM3	۲۱	۴	۳۰	۱۷
FM4	۳۳	۳	۳۲	۲۰
FM5	۶	۷	۶	۱
FM6	۱۹	۱۱	۱۲	۱۱
FM7	۳	۱	۲	۱۰
FM8	۱۴	۱۹	۸	۱۲
FM9	۱۲	۱۷	۲۰	۲۹
FM10	۲۹	۲۸	۲۸	۲۶
FM11	۲۱	۳۰	۲۳	۲۴
FM12	۲۶	۳۱	۲۷	۳۳
FM13	۲۴	۲۴	۲۴	۲۷
FM14	۱۳	۱۴	۱۱	۲
FM15	۶	۱۰	۱	۳
FM16	۱۰	۹	۴	۴
FM17	۵	۱۲	۹	۸
FM18	۱۰	۲۳	۳	۱۸
FM19	۴	۱۶	۵	۱۳
FM20	۲۳	۲۱	۲۱	۳۰
FM21	۶	۲۲	۱۴	۱۵
FM22	۲	۲۰	۷	۲۳
FM23	۱	۱۸	۱۰	۲۱
FM24	۱۶	۲۶	۲۵	۲۵
FM25	۱۸	۲۷	۱۵	۱۶
FM26	۶	۲۵	۱۸	۲۸
FM27	۲۹	۳۳	۳۳	۳۱
FM28	۲۸	۲۹	۳۱	۳۴
FM29	۱۹	۱۵	۱۳	۵
FM30	۳۲	۱۳	۲۹	۷
FM31	۱۴	۸	۱۶	۱۴
FM32	۲۶	۶	۲۶	۱۹
FM33	۳۵	۳۲	۳۴	۳۲
FM34	۳۴	۳۵	۳۵	۳۵
FM35	۳۱	۳۴	۱۷	۲۲

همانطور که در جدول بالا ملاحظه می کنید نتایج چهار حالت اندازه گیری حالات خرابی نشان داده شده است. به طور مثال حالت خرابی شماره ۱۵ که مربوط به نشتی تانکر است در حالت FMEA سنتی رتبه ۶، در حالت FMEA فازی رتبه ۱، در حالت MAFMA رتبه ۱۰ و در حالت MAFMA فازی رتبه ۳ را داشته است. در ابتدا محاسبه FMEA از طریق ضرب سه معیار شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف بدست می آمد. این روش با اشکالات متعددی همراه بود که یکی از این اشکالات دادن امتیازات قطعی به هریک از حالات خرابی بود که با در نظر گرفتن منطق فازی سعی شده است این مشکل حل شده و رتبه بندی دقیق تری در حالات خرابی بوجود آید. در تکنیک MAFMA با در نظر گرفتن معیار هزینه نسبت به حالت قبل رتبه بندی واقع بینانه تری بوجود می آید که نسبت به دو تکنیک قبل کارایی بیشتری دارد. این تکنیک نیز به دلیل استفاده از اعداد قطعی با مشکل مواجه می شود که ما با استفاده از منطق فازی سعی می کنیم این مشکل را برطرف کرده و رتبه بندی دقیق تری نسبت به حالات قبل صورت می گیرد. به منظور ارزیابی نتایج و اعتبار سنجی روش پیشنهادی، نتایج با خبرگان و متخصصین حوزه تحقیق در میان گذاشته شد و خبرگان رتبه بندی حاصل از FMAFMA را بهتر و صحیح تر تشخیص دادند.

۵-۴- مزایای روش MAFMA فازی

استفاده از روش پیشنهادی دارای مزایایی است که در زیر به آن ها اشاره می کنیم:

- در نظر گرفتن معیار مهم هزینه: با در نظر گرفتن این بعد مهم به واقعیت در مورد حالات خرابی بیشتر نزدیک می شویم.
 - استفاده از منطق فازی برای امتیاز دهی به چهار معیار: استفاده از منطق فازی به دلیل اینکه در غالب عبارات زبانی بیان می شوند اشکالات روش سنتی را برطرف می کند.
- هدف از این تحقیق رتبه بندی مسائل فرآیند تولید محلول همودیالیز است. که برای رسیدن به این هدف ابتدا باید به هدف های فرعی دست یافت. با مصاحبه ای که با خبرگان این صنعت به عمل آمده

است ابتدا فرآیند تولید محلول همو دیالیز مشخص شد. در مرحله بعد حالات بالقوه خرابی در فرآیند تولید بدست آمد. بعد از مشخص شدن تعداد حالات خرابی به امتیاز دهی چهار معیار شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف و هزینه مورد انتظار پرداختیم. ابتدا با استفاده از مقایسه زوجی به وزن دهی معیارها پرداخته شد. سپس با استفاده از جداول امتیازدهی، سه معیار شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف را امتیازدهی کرده و برای معیار هزینه، به مقایسه زوجی حالات خرابی پرداخته شد. مهمترین مساله در معیار شدت، احتمال وقوع، احتمال تشخیص و هزینه مورد انتظار به ترتیب مربوط به مربوط به حالات خرابی دوم، پانزدهم، چهاردهم و سی ام است. در نهایت با استفاده از تکنیک MAFMA فازی رتبه بندی نهایی بدست آمد که مهمترین حالات خرابی مربوط به حالت پنجم است.

۵-۵- پیشنهاد برای تحقیقات آتی

این تحقیق با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در شرایط فازی برای رتبه بندی حالات خرابی در زمینه تجهیزات پزشکی انجام شده است. پیشنهاد می شود در تحقیقات آتی علاوه بر اینکه می توان از انواع تصمیم گیری های چند معیاره، تحلیل پوششی داده ها، اعداد فازی شهودی، منطق خاکستری و... استفاده کرد، می توان با اضافه کردن معیارهای مختلف به چهار معیار شدت، احتمال وقوع، احتمال تشخیص و هزینه مورد انتظار به رتبه بندی دقیق تری دست پیدا کرد. به طور مثال با اضافه کردن معیار زمان می توان به نتایج بهتری دست پیدا کرد، به طور مثال اگر حالت خرابی اول اتفاق بیافتد در فرایند تولید چه مدت اختلال ایجاد می شود و این اختلال را با چهار معیار دیگر ترکیب کرد و تکنیک جدیدی بوجود آورد.

فهرست مراجع

۱. احدی، حمیدرضا: (بکارگیری روش AHP فازی گروهی در انتخاب بهترین تامین کننده ناوگان ریلی). مجله مهندسی حمل و نقل. شماره دوم، ۱۳۹۱.
۲. اردشیر، عبدالله: (ارزیابی ریسکهای ایمنی در پروژههای انبوهسازی با استفاده از ترکیب روشهای فازی FMEA، فازی FTA و AHP-DEA). دو ماهه سلامت کار ایران. ۴۴-۲۹، ۱۳۹۲.
۳. اصغر پور، محمدجواد: تصمیم گیری های چند معیاره. ناشر: دانشگاه تهران. سال انتشار: ۱۳۹۴.
۴. امیدواری، منوچهر: (ارائه الگوی ارزیابی بهداشت حرفه ای و محیط در حمل و نقل فرآورده های نفتی با استفاده از FMEA و AHP). مجله تحقیقات نظام سلامت. ۱۸۹-۱۷۷، ۱۳۹۱.
۵. بقال، محمد: (کابرد FMEA در ارزیابی ریسک زیست محیطی: مورد کاوی لایروبی اسکله های بندر امام خمینی). فصلنامه علمی پژوهشی تالاب. ۱۴-۳، ۱۳۹۰.
۶. جوزی، سید علی: (شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات ناشی از خطوط انتقال برق در مناطق مسکونی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن). فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت ایران. ۶۴-۵۵، ۱۳۹۲.
۷. خراسانی، اباصلت: کاربرد تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی در فرآیند آموزش و توسعه منابع. ناشر: علم استادان. سال انتشار: ۱۳۹۵.
۸. دبیری، غلامرضا: آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن مفاهیم و روش پیاده سازی. ناشر: مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران. سال انتشار: ۱۳۸۸.
۹. صداقت، علی: (ارزیابی و مدیریت ریسک یک اورژانس صحرایی نظامی با استفاده از FMEA). فصلنامه طب نظامی. ۱۷۴-۱۶۷، ۱۳۸۷.
۱۰. عرب زاده، سید محمد: (ارائه رویکرد جدید تامین کنندگان بر مبنای مدل کراچیک با استفاده از تکنیک FMEA و برنامه ریزی عدد صحیح). مجله مدیریت تولید و عملیات. ۳۸-۱۷، ۱۳۹۱.
۱۱. عطائی، محمد: تصمیم گیری چند معیاره فازی. جلد اول. ناشر: دانشگاه صنعتی شاهرود. سال انتشار: ۱۳۹۵.
۱۲. عطائی، محمد: تصمیم گیری چند معیاره. جلد اول. ناشر: دانشگاه صنعتی شاهرود. سال انتشار: ۱۳۹۵.

۱۳. علی محمدی، ایرج: (مقایسه ایمنی کوره های موجود در دو کارخانه تولید گچ بوسیله روش FMEA). فصلنامه سلامت کار ایران. ۷۱-۶۱. ۱۳۸۷.
۱۴. قدسی پور، ح: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). ناشر: دانشگاه امیرکبیر. سال انتشار: ۱۳۸۷.
۱۵. مک درموت، رابین: روش های تجزیه و تحلیل شکست وعوامل آن. مترجم: نوشاد حقیقی، مریم. ناشر: شرکت طراحی مهندسی و تامین قطعات ایران خودرو (سپکو)، واحد آموزش. سال انتشار: ۱۳۷۹.
۱۶. ناظمی، شمس الدین: (ارائه مدل تلفیق شکاف عملکردی با AHP گروهی فازی برای تعیین اولویت های بهبود). مجله مدلسازی در مهندسی. شماره ۲۷، ۱۳۹۰.
۱۷. نژاد علی، حجت: (ارزیابی ایمنی مخزن کروی با استفاده از روش های FMEA و ETAB) فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه. ۱۹۰-۱۸۰، ۱۳۸۷.

18. Ahmet Can Kutlu & Mehmet Ekmekciog˘lu. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. Expert Systems with Applications 39 61–67.
19. Antonella Certa, Fabrizio Hopps, Roberta Inghilleri, Concetta Manuela La Fata. (2017). Dempster-Shafer Theory-based approach to the Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) under epistemic uncertainty. Reliability Engineering and System Safety 159 , 69–79
20. Braglia, M. (2000). MAFMA: Multi-attribute failure mode analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, 17, 1017–1033.
21. Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003). Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis. Quality and Reliability Engineering International, 19, 425–443.
22. Braglia, M., & Bevilacqua, M. (2000). Fuzzy modelling and analytical hierarchy processing as a means of quantifying risk levels associated with failure modes in production systems. Technology, Law and Insurance, 5, 125–134.
23. Braglia, M., Fantoni, G., & Frosolini, M. (2007). The house of reliability. International Journal of Quality & Reliability Management, 24, 420–440.
24. Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003). Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, 20, 503–524.

25. B. Almannai, & R. Greenough. (2008). A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 24, 501–507
26. C. ENRIQUE & JOHN B. BOWLES.(1996). Electrical and Computer Engineering Department, 88, 177-179.
27. Chang, C., Wei, C., & Lee, Y. (1999). Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. *Kybernetes*, 28, 1072–1080.
28. Chen, L. H., & Ko, W. C. (2009). Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA. *Applied Mathematical Modelling*, 33, 633–647.
29. Chang, C. L., Liu, P. H., & Wei, C. C. (2001). Failure mode and effects analysis using grey theory. *Integrated Manufacturing Systems*, 12(3), 211–216.
30. Chang, K. H., & Wen, T. C. (2010). A novel efficient approach for DFMEA combining 2-tuple and the OWA operator. *Expert Systems with Applications*, 37, 2362–2370.
31. Chin, K. S., Chan, A., & Yang, J. B. (2008). Development of a fuzzy FMEA based product design system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 633–649.
32. Carmignani, G. (2009). An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority-cost FMECA. *Reliability Engineering and System Safety*, 94, 861–871.
33. Chang, K.-H., & Cheng, C.-H. (2011). Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 113–129.
34. Chang, D. S., & Sun, K. L. P. (2009). Applying DEA to enhance assessment capability of FMEA. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26, 629–643.
35. Dong, C. (2007). Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24, 958–971.
36. Franceschini, F., & Galetto, M. (2001). A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA. *International Journal of Production Research*, 39, 2991–3002.
37. Forman. E. H. (1985). Decision Support for Executive Decision- Makers, *Information Strategy: The Executives Journal*, Vol 1. No 4. P. 4- 14.

38. Guimaraes, A. C. F., & Lapa, C. M. F. (2007). Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. *Applied Soft Computing*, 7, 17–28.
39. Giardina.M & Morale.M. (2015). Safety study of an LNG regasification plant using an FMECA and HAZOP integrated methodology. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 35,35-45.
40. John B. Bowles & C. Enrique Peldez.(1995). *Electrical and Computer Engineering*, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA. 203-213.
41. Jia Huang , Zhaojun (Steven) Li , Hu-Chen Liu. (2017). New approach for failure mode and effect analysis using linguistic distribution assessments and TODIM method. *Reliability Engineering and System Safety*. doi: 10.1016/j.ress.2017.06.014
42. Kutlu, A. C., & Ekmekciog˘lu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39, 61–67.
43. Kuei- Hu chang (2016). Generalized multi- attribute failure mode analysis. *Neurocomputing*, 175, 90-100.
44. Kwai-Sang Chin& Ying-Ming Wang& Gary Ka Kwai Poona& Jian-Bo Yangc. (2009). Failuremode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. *Computers & Operations Research* 36, 1768 - 1779
45. Kwai-Sang Chin & Ying-Ming Wang & Gary Ka Kwai Poon & Jian-Bo Yang.(2009). Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis. *Decision Support Systems* 48, 246–256
46. Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22, 986–1004.
47. Song, Huang, j.(2010). The Ecological vulnerability Evaluation in Southwestern Mountain Region of China Basad on GIS and AHP method. *Procedia Environmental Science* . volume 2. Pages 465-475.
48. Sambasivan, R. and Flyvbjerg, B,(2008). Evaluation of critical success Factors of implementation of iso 14001 using analytic Hierarchy Process (AHP): a case study From Malaysia. *Journal of cleaner Production*.volume16. Pages 1424-1433.
49. Nannan Zhang& Kefa Zhou & Xishihui Du.(2017). Application of fuzzy logic and fuzzy AHP to mineral prospectivity mapping of porphyry and hydrothermal vein copper deposits in the Dananhu-Tousuquan island arc, Xinjiang, NW China. *Journal of African Earth Sciences*, 1e13

50. Omidvar Mohsen & Nirumand Fereshteh. (2017). An extended VIKOR method based on entropy measure for the failure modes risk assessment – A case study of the geothermal power plant (GPP). *Safety Science* 92, 160–172
51. Pelaez, C. E., & Bowles, J. B. (1996). Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis. *Information Sciences*, 88, 177–199.
52. Qingji Zhou & Vinh V. Thai. (2016). Fuzzy and grey theories in failure mode and effect analysis for tanker equipment failure prediction. *Safety Science* 83, 74–79
53. Rakesh.R& Bobin Cherian Jos& George Mathe. (2008). FMEA Analysis for Reducing Breakdowns of a Sub System in the Life Care Product Manufacturing Industry. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* Volume 2, Issue 2.
54. Vahdani, B., Salimi, M., & Charkhchian, M. (2015). A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77, 357–368.
55. Wang, Y.-M., Chin, K.-S., Poon, G., & Yang, J.-B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*, 36, 1195–1207.
56. Wenhua Li & Suihuai Yu& Huining Pei& Chuan Zhao& Baozhen Tian.(2017). A hybrid approach based on fuzzy AHP and 2-tuple fuzzy linguistic method for evaluation in-flight service quality. *Journal of Air Transport Management* 60, 49e64
57. Wen Jian & Chunhe Xie & BoyaWei & Deyun Zhou.(2016). A modified method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft turbine rotor blades. *Advances in Mechanical Engineering*. Vol. 8(4) 1–16
58. Wen Jiang& Chunhe Xie Miaoyan& Zhuang Yongchuan. (2017). Failure Mode and Effects Analysis based on a novel fuzzy evidential method. *Applied Soft Computing*.
59. Youngjung Geum& Yangrae Cho& Yongtae Park. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling* 54, 3126–3142.
60. Yongliang Deng & Qiming Li & Ying Lu.(2015). A research on subway physical vulnerability based on network theory and FMECA. *Safety Science* 80, 127–134

61. Zayed, T. and Kahneman, D.(2008). Assessing Risk and Uncertainty Incurrent in Chinese Highway Project Using AHP. Journal of Project Management.pp.408-419
62. Zhang, Z., & Chu, X. (2011). Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. Expert Systems with Applications, 38, 206–214.
63. Zammori, F., & Gabbrielli, R. (2011). ANP/RPN: A multi criteria evaluation of the risk priority number. Quality and Reliability Engineering International, 28, 85–104.

Abstract

Addressing the issue of quality and producing with the least error and according to customer demand is very important. Because of this, the tools for quality improvement and avoiding errors have found a special position in manufacturing and service organizations. One of these tools is failure mode and effect analysis. This technique is driven by multiplying the three criteria of severity, occurrence probability and probability of detection. Over the course of time, several bugs have been taken from this technique. One of these bugs is considering absolute numbers for these criteria. Also another bug of this technique is that it only considers the above named three criteria. By considering a fourth criterion named cost, which is based on the analytical hierarchy process a multi attribute point of view named multi attribute failure mode analysis is being introduced. But it was also using absolute numbers. For this reason, in this research by using the fuzzy logic we attempted to fix this problem.

Keywords: failure mode and effect analysis, risk priority number, fuzzy logic, analytical hierarchy process, multi attribute failure mode analysis.



Shahrood University of Technology

Faculty of Industrial Engineering and Management

M.Sc. Thesis in Industrial Management

**Reviewing and rating failure using analysis MAFMA in fuzzy
conditions (Case Study: The process of producing medical
device in farmed)**

By: Ramin Felegari

Supervisor:

Dr Seyed Mohammad Hassan Hosseini

September 2017