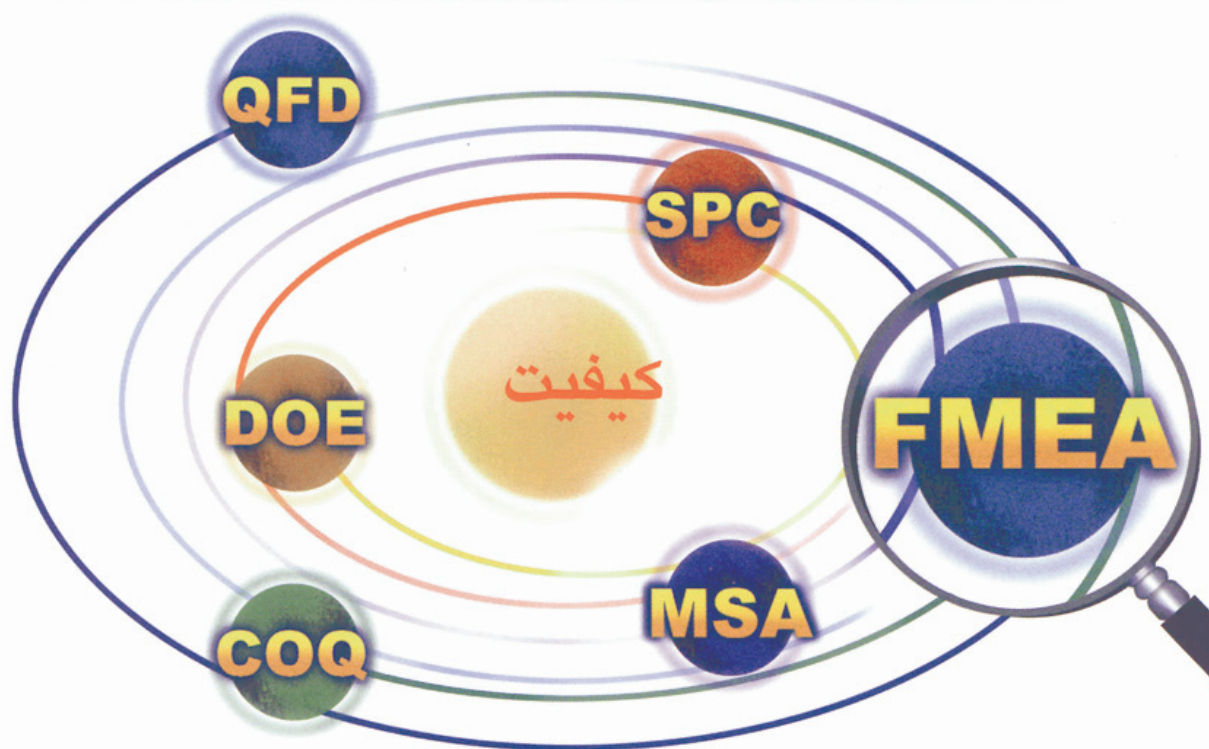


FMEA



آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن مفاهیم و روش پیاده سازی

ویرایش دوم

امور مهندسی مرغوبیت



آموزش سایه

آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن (FMEA) مفاهیم و روش‌های پیاده‌سازی

ترجمه و تألیف:

غلامرضا دبیری

حیدر ودایع خیری

واحد آموزش

شرکت طراحی مهندسی و تأمین قطعات ایران خودرو (سپکو)

فهرست

فصل اول - معرفی تکنیک FMEA

۷	۱-۱. معرفی تکنیک FMEA و اهداف آن
۹	۲-۱. کاربرد FMEA
۱۰	۳-۱. تأثیر FMEA بر نرخ خرابی محصول
۱۱	۴-۱. مراحل تهیه FMEA
۱۲	۵-۱. فواید اجرای FMEA
۱۲	۶-۱. انواع FMEA

فصل دوم - کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در طراحی سیستم

۱۳	۱-۲. تعریف System-FMEA
۱۴	۲-۲. خروجی System-FMEA
۱۵	۳-۲. فواید اجرای System-FMEA
۱۵	۴-۲. گامبه‌گام با تحلیل System-FMEA

فصل سوم - کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در طراحی / محصول

۲۷	۱-۳. مبنا و هدف از تهیه DFMEA
۲۸	۲-۳. تعریف حالات بالقوه خرابی
۲۸	۳-۳. تعریف DFMEA
۲۹	۴-۳. کاربردهای DFMEA
۲۹	کاربرد DFMEA در صنعت خودرو
۲۹	۵-۳. فواید استفاده از DFMEA
۳۰	۶-۳. تیم DFMEA
۳۰	۷-۳. تعریف مشتری در DFMEA
۳۱	۸-۳. نقطه شروع کار
۳۱	۹-۳. مراحل تهیه DFMEA

فصل چهارم - کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در فرایندهای تولید

۴۴	۱-۴. چرا از Process FMEA استفاده می‌کنیم؟
۴۵	۲-۴. تعریف حالت خرابی در فرایند
۴۵	۳-۴. تعریف Process FMEA
۴۶	۴-۴. کاربردهای PFMEA
۴۶	کاربرد PFMEA در صنعت خودرو
۴۶	۵-۴. فواید بالقوه اجرای PFMEA
۴۷	۶-۴. نیازمندی‌های اجرای PFMEA
۴۸	مراحل تهیه PFMEA

فصل پنجم - کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در ماشین و ابزارهای تولید

۶۳	۱-۵. تعریف MFMEA
----	------------------

۶۴	۲-۵. فواید اجرای MFMEA
۶۴	۳-۵. تشریح مفاهیم ستون‌های یک فرم MFMEA

فصل ششم – کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در ارائه خدمات

۷۳	۱-۶. تعریف Service FMEA
۷۵	۲-۶. اهداف اجرای Service FMEA
۷۶	۳-۶. تشریح ستون‌های یک فرم Service FMEA
۸۹	پیوست
۸۹	استفاده از System- FMEA
۸۹	در طراحی سیستم A/C خودرو
۹۵	منابع

تیم ابزارهای کیفیت ساپکو در سال ۱۳۷۸ تحت عنوان تیم SPC کار خود را در زمینه تکنیک SPC آغاز کرد. این تیم، در سال ۱۳۸۰ با شروع کار در زمینه ۳ ابزار کیفی دیگر (MSA, DOE, FMEA) به «گروه ابزارهای کیفیت» تغییر نام یافت. این تیم تاکنون بیش از ۸۰ تجربه در برگزاری کلاس‌ها و کارگاه‌های آموزشی و ۲۰۰ تجربه همکاری در اجرای ابزارهای کیفی چهارگانه یاد شده برای سازندگان مختلف، داشته است.

ترجمه‌ها: کارگاه آموزشی کنترل آماری فرایند (SPC) و راهنمای حل مشکلات اجرایی SPC. تألیفات: مفاهیم و روش پیاده‌سازی کنترل آماری فرایند، آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن (FMEA) و تجزیه و تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری (MSA).

هریک از این کتاب‌ها در زمره کامل‌ترین مراجع فارسی در زمینه هریک از این ابزارهای کیفی است. به‌صورتی‌که علاوه بر متن و محتوای هریک از ابزارها، شامل مثال‌های واقعی، راهنمای گام‌های اجرایی، گانت چارت، تمامی فرمول‌های مورد نیاز و چک‌لیست ارزیابی هر ابزار است. تیم ابزارهای کیفیت در سال ۱۳۸۱ علاوه بر فعالیت‌های اجرایی و آموزشی در زمینه‌های MSA, DOE, SPC و FMEA قصد دارد کار تحقیقاتی خود را در زمینه‌های QFD و تجزیه و تحلیل هزینه‌های کیفی (COQ) ادامه دهد.

خواننده محترم همواره باید به یاد داشته باشد که این کتاب درواقع محصول کاری تیمی است. این کتاب، علاوه بر نویسندگان آن (آقایان: غلامرضا دبیری و حیدر ودایع خیری) یا در واقع کسانی که طی یک‌سال مطالعه، تحقیق و کار اجرایی، سرانجام متن حاضر را به رشته تحریر درآورده‌اند، محصول کارگروهی افرادی است که بدون همکاری صمیمانه آنها آماده‌سازی آن کاری امکانپذیر نبود.

آقای «محمدعلی کفاشی قاسم آبادی» با کوششی فراوان، همه کتاب‌ها و منابع مورد نیاز در زمینه ابزارهای کیفی (تکنیک‌ها) تحت بررسی را از چار گوشه جهان - به معنای واقعی کلمه - تهیه کردند.

سرکار خانم «مریم توسلی» که دقت و حوصله ایشان در تایپ متن و نیز بارها و بارها اعمال اصلاحات طی چندماه گذشته، بسیار فراتر از همکاری ساده بود.

عزیزان «گروه انتشارات ساپکو» که با وجود حجم کاری فراوان و محدودیت وقت، برای آماده‌سازی این کتاب از هیچ‌گونه همکاری دریغ نکردند.

آقای مهندس «کاوکانی» مدیر امور مهندسی مرغوبیت و آقای مهندس «شبان» رئیس بخش تضمین کیفیت که ما را پشتیبانی کردند.

شرکت‌های «کاوه» و «پلیمت» که در اجرای پایلوت HAS با ما همکاری کردند.
شرکت «آرمانکار» که مطلب «ارتباط بین قدرت تفکیک و R&D» را ارائه داده است.
ما از تمامی این عزیزان صمیمانه قدردانی و تشکر می‌کنیم.

معرفی تکنیک

افزایش رقابت، افزایش توقعات و تقاضاهای مکرر مشتری و تغییرات سریع فناوری، باعث افزایش سریع تعهدات تولیدکنندگان امروزی شده است. هر کمبود و انحراف در عملکرد محصول، باعث از دست دادن سهم بازار می‌شود. این عوامل موجب شده که امروز سازمان‌ها به استفاده از این تکنیک روی آورند تا به کمک آن مطمئن شوند محصولی بی‌عیب و قابل رقابت روانه بازار می‌کنند.

اهم مطالبی که در این فصل به اختصار توضیح داده می‌شوند عبارتند از:

۱. معرفی تکنیک FMEA و اهداف آن

۲. کاربرد FMEA

۳. تأثیر FMEA بر نرخ خرابی محصول

۴. توصیف اصول تهیه یک فرم FMEA

۵. فواید FMEA

۶. انواع FMEA

۱-۱. معرفی تکنیک FMEA و اهداف آن

تعریف: FMEA متدلوژی یا روشی است سیستماتیک که به دلایل زیر به کار می‌رود:

- الف- شناسایی و اولویت‌بندی حالات بالقوه خرابی در یک سیستم، محصول، فرایند و یا سرویس.
- ب- تعریف و اجرای اقداماتی به منظور حذف و یا کاهش میزان وقوع حالات بالقوه خرابی.
- پ- ثبت نتایج تحلیل‌های انجام شده به منظور فراهم کردن مرجعی کامل برای حل مشکلات در آینده.

در دهه ۱۹۵۰ اهمیت مسائل ایمنی و پیشگیری از حوادث قابل پیش‌بینی در صنعت هوا- فضا، علت اصلی پیدایش FMEA شد. چندی بعد، این روش به عنوان ابزاری کلیدی برای افزایش

ایمنی در فرایندهای صنایع شیمیایی مطرح شد و از آن به بعد، هدف از اجرای FMEA پیشگیری از تصادفات و اتفاقات تعریف شده است. در فوریه ۱۹۹۲، استاندارد SAE-J-1739 به عنوان استاندارد مرجع FMEA در صنایع خودرو معرفی شد و به دنبال آن در سالهای اخیر، توسعه سیستمهای تضمین کیفیت در صنعت خودرو به خصوص وضع استاندارد QS-9000 در صنعت خودروی آمریکا، موجب شد که استفاده از FMEA رواج بیشتری یابد.

FMEA تکنیکی تحلیلی و متکی بر قانون «پیشگیری قبل از وقوع» است که برای شناسایی عوامل بالقوه خرابی به کار می رود. توجه به این تکنیک بر بالا بردن ضریب امنیت و درنهایت رضایت مشتری، از طریق پیشگیری از وقوع خرابی است. FMEA ابزاری است که با کمترین ریسک، برای پیشبینی مشکلات و نقصها در مراحل طراحی و توسعه فرایندها و خدمات در سازمان به کار می رود.

یکی از عوامل موفقیت FMEA زمان اجرای آن است. این تکنیک برای آن طرح ریزی شده که «یک اقدام قبل از واقعه باشد» نه «یک تمرین بعد از آشکار شدن مشکلات». به بیانی دیگر، یکی از تفاوت های اساسی FMEA با دیگر تکنیک های کیفی این است که FMEA یک اقدام کنشی^۱ است، نه واکنشی. در بسیاری از موارد، وقتی با مشکلی مواجه می شویم، ممکن است برای حذف آن، اقدامات اصلاحی تعریف و اجرا شود. این اقدامات، واکنشی است در برابر آنچه اتفاق افتاده است. در چنین مواردی حذف همیشگی مشکل، به هزینه و منابع زیاد نیاز دارد؛ زیرا حرکت از وضعیت موجود به سمت شرایط بهینه اینرسی زیادی خواهد داشت، اما در اجرای FMEA با پیشبینی مشکلات بالقوه و محاسبه میزان ریسک پذیری آنها، اقداماتی در جهت حذف یا کاهش میزان وقوع آنها تعریف و اجرا می شود. این برخورد پیشگیرانه، کنشی است در برابر آنچه که ممکن است در آینده رخ دهد و مسلماً اعمال اقدامات اصلاحی در مراحل اولیه طراحی محصول یا فرایند، هزینه و زمان بسیار کمتری در برخواهد داشت. علاوه بر این، هر تغییری در این مرحله بر روی طراحی محصول یا فرایند به راحتی انجام شده و در نتیجه احتمال نیاز به تغییرات بحرانی در آینده را حذف می کند یا کاهش خواهد داد.

FMEA اگر درست و به موقع اجرا شود، فرایندی زنده و همیشگی است؛ یعنی هرزمان که قرار است تغییرات زیادی در طراحی محصول و یا فرایند تولید (یا مونتاژ) انجام گیرد باید به روز شود و لذا همواره ابزاری پویاست که در چرخه بهبود مستمر به کار می رود.

هدف از اجرای FMEA جست و جوی تمام مواردی است که باعث شکست یک محصول یا فرایند می شود، قبل از این که آن محصول به مرحله تولید برسد و یا فرایند آماده تولید شود.

^۱ . Priactive

FMEA به تنهایی مسائل و مشکلات را برطرف نمی‌کند، بلکه باید در کنار دیگر تکنیک‌های حل مسئله مورد استفاده قرار گیرد. تهیه FMEA فرصت‌هایی را برای سازمان فراهم می‌کند که اگر فقط در قالب یک فرم مستند شوند، هرگز مشکلات را حل نمی‌کنند.

۲-۱. کاربرد FMEA

FMEA در هریک از شرایط زیر اجرا می‌شود:

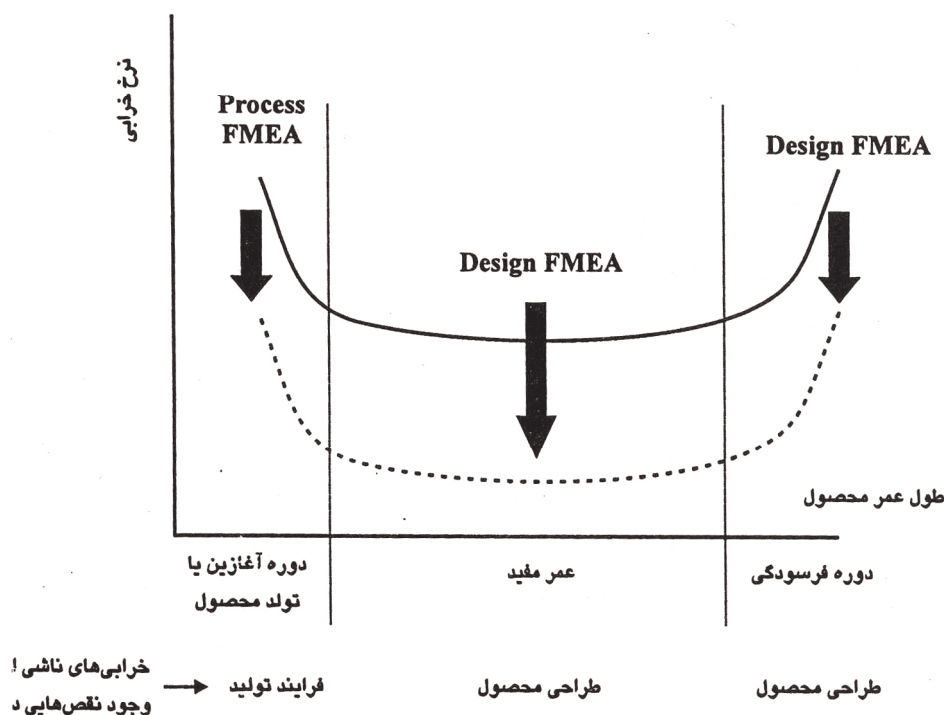
۱. در زمان طراحی سیستمی جدید، محصولی جدید و یا فرایندی جدید
۲. زمانی که قرار است طرح‌های موجود و یا فرایند تولید/ مونتاژ تغییر کند
۳. زمانی که فرایندهای تولید یا مونتاژ و یا یک محصول در محیطی جدید و یا شرایط کاری جدید قرار می‌گیرد. (Carry Over Designs/ Processes)
۴. برنامه‌های بهبود مستمر

۳-۱. تاثیر FMEA بر نرخ خرابی محصول

استفاده از FMEA در مراحل مختلف، موجب کاهش نرخ خرابی محصول در زمان مصرف می شود.

الف- اجرای FMEA - (System) / Design : فرایند طراحی را با کاهش میزان ریسک خرابی، استحکام می بخشد. همچنین با تصحیح نقص ها و اشکالات طراحی محصول (یا سیستم)، میزان خرابی را در دوره «عمر مفید» کاهش داده، و شکست های محتمل در زمان فرسودگی را نیز به تعویق می اندازد (شکل ۱).

ب- اجرای FMEA - Process : عوامل بالقوه خرابی فرایند ساخت یا مونتاژ را که منجر به تولید محصول نامناسب می شود، شناسایی می کند و لذا فرایند ساخت و تولید محصول را با کاهش ریسک خرابی، استحکام می بخشد. PFMEA با اصلاح نقص های فرایند ساخت و یا مونتاژ، نرخ خرابی های محصول را در دوره «عمر آغازین» محصول کاهش می دهد (شکل ۱).



شکل ۱-۱: اثر FMEA - بر کاهش نرخ خرابی در طول عمر محصول

۴-۱. مراحل تهیه FMEA

۱. تهیه FMEA نیازمند فعالیت تیمی است. تعداد ترکیب افراد در تیم FMEA به پیچیدگی فرایند یا محصول تحت بررسی بستگی دارد، اما توصیه می‌شود که تعداد افراد تیم بیشتر از ۶ نفر نباشد. در صورت پیچیدگی محصول یا فرایند، بهتر است کمیته‌های متعددی تشکیل شوند و هر تیم فرعی، قسمتی از موضوع را به عهده بگیرد. تیم‌ها از افراد خبره که بیشترین شناخت را از محصول/فرایند دارند، تشکیل می‌شود؛ افرادی چون مهندسین و متخصصین طراحی، ساخت و مونتاژ، کیفیت، خدمات پس از فروش، بازاریابی و تدارکات. این تیم‌ها از مراحل آغازین کار تا زمان اجرای اقدامات پیشنهادی و بررسی نتایج آنها و نهایتاً تکمیل FMEA، مسئولیت تمام فعالیت‌های مربوط را به عهده خواهند داشت. یکی از فواید این رویکرد تیمی این است که هر فعالیتی که تعریف می‌شود همواره مورد توافق همه واحدهای سازمان خواهد بود و بنابراین، اجرای آنها هیچ‌گونه مشکل و یا مقاومتی را در پی نخواهد داشت.

۲. به منظور تکمیل فرم FMEA تیم باید برای سوالات زیر پاسخ‌های کاملی تهیه کند:
الف- تحت چه شرایطی محصول نمی‌تواند اهداف و مقاصد طراحی را برآورده سازد و یا نیازهای فرایند تحقق نمی‌یابند؟

ب- حالات خرابی چه تاثیری بر مشتری و یا فعالیت‌های بعدی خواهند داشت؟

پ- اثر خرابی (بر اساس رتبه‌بندی ۱ تا ۱۰) چه شدتی دارد؟ (عدد شدت).

ت- علل بالقوه خرابی کدامند؟

ث- احتمال علل وقوع خرابی (بر اساس رتبه‌بندی ۱ تا ۱۰) چقدر است؟ (عدد وقوع).

ج- در حال حاضر چه کنترل‌هایی به منظور پیشگیری و یا تشخیص حالات خرابی و علل آن انجام می‌شود؟

چ- قدرت تشخیص کنترل‌های موجود (بر اساس رتبه‌بندی ۱ تا ۱۰) چه میزان است؟ (عدد تشخیص).

ح- میزان خطرپذیری حالات بالقوه خرابی به ازای علل مختلف چه مقدار است؟ (محاسبه RPN).

(تشخیص) × (وقوع) × (شدت) = (RPN) نمره اولویت ریسک^۱

خ- به منظور کاهش میزان خطرپذیری چه اقداماتی می‌تواند صورت گیرد؟

FMEA به دلایل زیر به عنوان سوابق محصول و یا فرایند مستند می‌شود:

۱. ارتباطات به سادگی برقرار می‌شود (به عنوان یک زبان مشترک برای همه افراد).

۲. به عنوان یک منبع اطلاعاتی مفید برای تهیه FMEA آتی قابل استفاده است.

^۱ . Risk Priority Number

۳. تمامی تفکرات و نظرهای افراد جمع‌آوری می‌شود.

۴. یکی از منابع مهم بهبود مستمر است.

۵-۱. فواید اجرای FMEA

پاره‌ای از فواید اجرای FMEA عبارتند از:

۱. بهبود کیفیت، افزایش درجه اطمینان کالا و ایمنی محصولاتی که تولید خواهند شد.
۲. کاهش زمان معرفی محصول به بازار. دیر رفتن محصول به بازار معمولاً ناشی از بروز مسائل و مشکلاتی در مراحل نهایی و یا مراحل اولیه تولید است. اجرای FMEA با شناسایی چنین مشکلاتی در مراحل آغازین کار از وقوع آنها جلوگیری می‌کند.
۳. نیاز به تغییرات ضروری در فرایند و یا محصول در زمان تولید انبوه کاهش می‌یابد.
۴. بهبود تصویر سازمان در نظر مشتری، چراکه مشتری عیوب کم‌تری را تجربه می‌کند و موجب افزایش رقابت‌پذیری سازمان در بازار می‌شود.
۵. کاهش هزینه‌های مرتبط با محصولات خراب و یا نامنطبق.
۶. رواج فرهنگ کار تیمی در درون سازمان.

۶-۱. انواع FMEA

در حال حاضر بیشترین کاربرد FMEA شامل موارد زیر است:

۱. طراحی سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها از ابتدایی‌ترین مراحل (System- FMEA).
۲. طراحی قطعات جدید و یا اعمال تغییرات در طرح‌های جاری (Design- FMEA)
۳. طراحی و یا توسعه فرایندهای تولید یا مونتاژ (Process- FMEA)
۴. طراحی و یا توسعه فعالیت‌ها و ارائه خدمات (Service- FMEA)
۵. طراحی ماشین‌آلات (Machinery- FMEA)

نتیجه‌گیری

شما اگر کارتان را برطبق روال قبل انجام دهید، چیزی را به‌دست خواهید آورد که قبلاً به‌دست آورده‌اید. اگر سازمانی از نتایج کار خود راضی است نیازی به اجرای FMEA ندارد، اما اگر مشکلاتی در پیش‌رو دارد، اجرای FMEA در کنار دیگر تکنیک‌های حل مسئله چاره‌ساز خواهد بود.

کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در طراحی سیستم (System- FMEA)

اهم مطالبی که در این فصل به اختصار توضیح داده می‌شوند، عبارتند از:

۱. تعریف System FMEA

۲. خروجی حاصل از اجرای System FMEA

۳. فواید اجرای System FMEA

۴. مراحل تهیه System FMEA

تعریف سیستم

سیستم مجموعه‌ای نظام‌یافته است که برای هدف خاصی طراحی شده باشد که خود شامل اجزا یا زیرسیستم‌های دیگر می‌شود، مثل جعبه‌دنده، سیستم خنک‌کننده خودرو، سیستم تعلیق.

۱-۲. تعریف System-FMEA

System-FMEA روشی سیستماتیک است که به منظور تحلیل و بررسی یک سیستم و زیرسیستم‌های آن در ابتدایی‌ترین مراحل طراحی استفاده می‌شود. System-FMEA عموماً بر حالات بالقوه خرابی که می‌تواند در عملکردهای سیستم رخ دهد تمرکز می‌کند. این خرابی‌ها از وجود نقصان و یا کمبودهایی در طراحی سیستم و یا وجود تقابل نامطلوب بین عملکرد مؤلفه‌های سیستم یا زیرسیستم ناشی می‌شوند.

دامنه شمول System-FMEA دربرگیرنده مراحل طراحی مفهومی، طراحی جزئی، تکوین، آزمایش و ارزیابی سیستم است و بنابراین ابتدایی‌ترین FMEA است که تکمیل می‌شود و به بررسی آثار متقابل اجزا و زیرسیستم‌ها بر یکدیگر و یا بر سیستم‌های دیگر می‌پردازد. طرح در این

مرحله، فرایند تکاملی دارد و در آن، چگونگی استفاده از روش‌ها و تکنولوژی‌های مختلف برای رسیدن به یک سیستم ایده‌آل مطرح است. نتیجه این تجزیه و تحلیل، اطلاعات اولیه برای اجرای Design FMEA خواهد بود. درواقع، DFMEA پس از تکمیل System-FMEA تهیه می‌شود و عموماً علل خرابی در System-FMEA حالات خرابی در DFMEA هستند. این موضوع در شکل ۱ نشان داده شده است.

System FMEA

	Failure Mode	Effect	Cause	
	The problem	The ramifications of the problem	The causes of the problem	

Design FMEA

	Failure Mode	Effect	Cause	
	The causes of the problem from the system FMEA	The effect from the system FMEA with perhaps of better definition	New root causes for the design failure mode	

شکل ۱: ارتباط بین System-FMEA و Design-FMEA. اجرای System-FMEA اطلاعات مهمی را برای اجرای DFMEA و PFMEA تهیه می‌کند. اگرچه آثار خرابی در این فرم‌ها تغییری نمی‌کند، اما علل خرابی در System-FMEA حالات خرابی DFMEA خواهند بود.

هدف از اجرای System-FMEA به حداقل رساندن ریسک خرابی در طراحی سیستم براساس نیاز و خواسته‌های مشتری است. این نیازها و خواسته‌ها می‌تواند برگرفته از QFD باشد.

۲-۲. خروجی System-FMEA

۱. فهرستی از حالات بالقوه خروجی که براساس شاخص RPN رتبه‌بندی شده‌اند.
۲. فهرستی از آزمایش‌هایی که می‌توانند حالت‌های خرابی را کشف کنند.
۳. فهرستی از اقدامات پیشنهادی (Design actions) به‌منظور حذف حالات خرابی، افزایش ایمنی و یا کاهش میزان وقوع.

۲-۳. فواید اجرای System-FMEA

۱. کمک به انتخاب طراحی بهینه سیستم از بین تمامی طرح‌های پیشنهادی،
۲. کمک به تعیین سیستم‌های جبرانی،
۳. افزایش احتمال مورد توجه قرار گرفتن حالات بالقوه خرابی،
۴. تعیین حالات بالقوه خرابی در سیستم و آثار متقابل آنها با زیرسیستم‌ها و یا دیگر سیستم‌ها.

۲-۴. گام به گام با تحلیل System-FMEA

دو نیازمندی برای تکمیل System-FMEA وجود دارد. اولین نیازمندی عبارت است از شناسایی فرمی مناسب و دومین آن عبارت است از شناسایی و یا تدوین راهنماهای رتبه‌بندی. فرم استاندارد برای System-FMEA وجود ندارد و هر شرکت فرم مخصوص به خود دارد که نشان‌دهنده نیازهای سازمان و مشتریان آن است. در صنعت خودروسازی، تلاش‌ها بی‌نتیجه نمانده و در ژوئیه ۱۹۹۲ فرم و روشی توسط «AIAG» استاندارد شده و به چاپ رسیده است.

آنالیز حالات بالقوه خرابی در طراحی سیستم

۸. تاریخ اجرای FMEA:

۹. تاریخ بازنگری:

صفحه از صفحه

۴. تأمین کنندگان:

۵. نام محصول / مدل:

۶. تاریخ انتشار مشخصات سیستم:

۷. تهیه کننده:

۱. نام سیستم:

۲. مسئول سیستم:

۳. نام اعضای تیم:

اقلام سیستم (عملکرد)	حالات بالقوه خرابی	اثر بالقوه خرابی	جدول	Class	علل بالقوه خرابی	کنترل‌های جاری طراحی	RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت اجرا و تاریخ اتمام	نتایج اقدامات			
										شماره	تاریخ	تأیید	RPN
(۱۰)	(۱۱)	(۱۲)	(۱۳)		(۱۴)	(۱۵)	(۱۶)	(۱۷)	(۱۸)	(۱۹)	(۲۰)	(۲۱)	(۲۲)
کار گروهی													

راهنمای رتبه‌بندی نیز جهانی یا استاندارد شده نیست و هر شرکت راهنمای مخصوص به خود دارد که نیازهای سازمان، محصول و مشتریان مربوطه را نشان می‌دهد. فرم موجود در صفحه قبل، متداول‌ترین فرم System-FMEA است. فرم به دو بخش تقسیم می‌شود. اولین بخش شامل قسمت‌های ۱ تا ۹ مربوط به معرفی فرم است. این‌ها اطلاعاتی را به System-FMEA اضافه می‌کنند که می‌توانند در طی نوشتن FMEA مورد نیاز باشند.

بخش دوم فرم، شامل قسمت‌های ۱۰ تا ۲۲ است. این‌ها موارد اجباری برای یک فرم System-FMEA هستند. عناوین ستون‌ها ممکن است تغییر کند و ستون‌هایی اضافه شوند، اما هیچ‌کدام از این ستون‌ها را نمی‌توان حذف کرد. قسمت‌های ۱۰ تا ۲۲ پیکره اصلی فرم System-FMEA هستند.

۲-۴-۱. مشخصات سیستم

نام سیستم را مشخص می‌کند.

۲-۴-۲. مسئولیت سیستم

نام سازمان مسئول و بخش یا واحدی که مسئول طراحی سیستم است. گاه لازم است نام فرد یا کسی که مسئول طراحی سیستم است عنوان شود.

۲-۴-۳. نام اعضای تیم

نام اعضای تیم و دیگر واحدهای داخل سازمان را که بر طراحی سیستم اثرگذار هستند نام ببرید.

۲-۴-۴. تأمین‌کنندگان و دیگر افراد درگیر

افراد دیگر، تأمین‌کنندگان و یا کارگاه‌های خارج از سازمان را که بر طراحی سیستم اثرگذارند و درگیر طراحی ساخت و یا مونتاژ یا سرویس هستند، نام ببرید.

۲-۴-۵. مدل یا محصول

مدل یا محصولی را که از سیستم استفاده می‌کند، نام ببرید.

۲-۴-۶. تاریخ انتشار مشخصات سیستم

تاریخی را که مشخصات طراحی سیستم باید طبق برنامه منتشر شوند، ذکر کنید.

۲-۴-۷. تهیه‌کننده

عموماً نام مهندس طراحی سیستم که مسئول FMEA است، ذکر می‌شود. گاه اطلاعات بیشتری نیز ثبت می‌شود. مانند:

- شماره تلفن مهندس طراحی سیستم

- آدرس مهندس طراح سیستم
- فعالیت سازمانی و به عبارت دیگر، بخش یا واحد و ...
- اعضای تیم (نام، تلفن، آدرس و غیره)

۲-۴-۸. تاریخ اجرای FMEA

تاریخ شروع FMEA را ثبت کنید.

۲-۴-۹. تاریخ بازنگری FMEA

تاریخ آخرین بازنگری را ثبت کنید.

۲-۴-۱۰. نام اجزای سیستم یا زیرسیستم‌ها/ تشریح عملکرد

نام اجزا و یا زیرسیستم‌ها باید نوشته شود. عملکرد سیستم باید برگرفته از نیازهای سیستم در دست طراحی و یا خواسته‌ها و توقعات مشتری باشد. این‌ها شامل نیازمندی‌های ایمنی، مقررات دولتی و دیگر ضروریاتی هستند که از درون یا برون سازمان تعیین شده‌اند. عموماً این نیازها، خواسته‌ها و توقعات از طریق QFD تعیین می‌شوند.

برای اینکه عملکرد سیستم رسا و گویا باشد، باید با جزئیات و با بیانی دقیق، ساده و مختصر ساده شود. همچنین می‌توان این عملکرد را از طریق «بلوک دیاگرام»^۱ نشان داد که این دیاگرام، اجزای سیستم را به صورت مجزا نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که رسم این دیاگرام به این منظور است که اجزای مهم سیستم و چگونگی تأثیر آنها بر سیستم یا سیستم‌های دیگر نشان داده شود.

۲-۴-۱۱. حالات بالقوه خرابی

هر نوع نقص، مشکل و یا حتی فرصت برای بهبود در سیستم می‌تواند یک حالت خرابی باشد. معمولاً وقتی در مورد حالات بالقوه خرابی بحث می‌شود باید به از دست رفتن کارایی سیستم فکر کرد.

برای هر عملکرد سیستم، باید خرابی‌های مربوط به آن مشخص شود. برای کمک به تشخیص حالات بالقوه خرابی - همان‌طور که گفته شد - معمولاً باید به از دست رفتن کارایی فکر کرد؛

^۱ . Block diagram

مانند: باز نمی‌شود، مولد برق کافی تهیه نمی‌کند، رله عمل نمی‌کند، دریچه بسته نمی‌شود و سرعت موتور کنترل نمی‌شود.

۲-۴-۱۲. آثار بالقوه خرابی

اثر بالقوه خرابی نتیجه یک حالت خرابی در سیستم است. سؤالی که مطرح می‌شود این است که بر اثر وقوع این خرابی چه اتفاقی می‌افتد؟ این نتیجه و اثر ممکن است مربوط به خود سیستم، محصول، مشتری و یا مقررات دولتی باشد. معمولاً اثر خرابی از دیدگاه مشتری و یا براساس تجربه او در استفاده از آن محصول یا محصولات مشابه، مشخص می‌شود.

از منابع زیر می‌توان آثار بالقوه خرابی را کشف کرد:

- مدارک خدمات پس‌ازفروش

- شکایات مشتری

- مطالعات امکان‌سنجی

مهم نیست که آثار خرابی چگونه شناسایی می‌شوند، آنچه اهمیت دارد، تعیین تمام آثار بالقوه است. مثالی برای اثر خرابی به قرار زیر است:

حالت خرابی برای سیستم خنک‌کننده: ترموستات عمل نمی‌کند.

- اثر خرابی بر سیستم‌های دیگر: هیچ

- اثر خرابی بر محصول: موتور داغ می‌کند.

- اثر خرابی بر مشتری: سیستم عمل نمی‌کند، مشتری کاملاً ناراضی می‌شود.

- تطابق با قوانین دولتی: مطابق استاندارد ملی شماره نیست.

مشخصات بحرانی معمولاً در System- FEMA وجود ندارد زیرا در این مرحله هنوز سخت‌افزار سیستم نهایی نشده است و تازمانی که سخت‌افزار نهایی نشده باشد، مشخصات مهم و بحرانی را نمی‌توان تعریف کرد.

تعریف مشخصات بحرانی در DFMEA است جایی که معرفی این مشخصات فقط به منظور تعیین کنترل‌های مخصوص برای فرایند و یا سرویس است (این مشخصات بحرانی از DFMEA به PFMEA و نهایتاً به برنامه کنترل منتقل می‌شود).

شدت، عبارت از رتبه‌ای است که حاد بودن اثر حالت بالقوه خرابی سیستم را نشان می‌دهد. شدت همیشه در مورد آثار حالت خرابی به‌کار می‌رود (برای هر اثر خرابی، یک رتبه شدت انتخاب می‌شود). درواقع، رابطه‌ای مستقیم بین اثر و شدت وجود دارد. به‌عنوان مثال، اگر اثر خرابی بحرانی باشد (به‌عبارت دیگر، ایمنی مشتری را مختل و یا استانداردهای دولتی را نقض کند) شدت بالا خواهد بود و اگر اثر بحرانی نباشد، شدت کم است.

شدت از تمام زوایا، شامل اثر خرابی بر خود سیستم، سیستم‌های دیگر، مشتری، محصول و یا مقررات دولتی بررسی می‌شود. در جدول ۲-۱ راهنمای پیشنهادی برای رتبه‌بندی شدت ارائه شده است. توجه کنید که این راهنما (و همچنین راهنماهای وقوع و تشخیص) می‌توانند برحسب نیازهای خاص سازمان، توسط اعضای تیم، قبل از شروع FMEA تعریف شوند.

۲-۴-۱۴. علل خرابی

علت یک حالت خرابی در سیستم عبارت است از ضعف یا اشکالی در طراحی سیستم که نتیجه آن، وقوع حالت خرابی است. باید توجه داشت که وقتی روی عاملی تمرکز می‌کنیم، باید به‌دنبال علت‌های ریشه‌ای باشیم نه نشانه‌های خرابی. برای شناسایی خوب و درست علت خرابی، باید سیستم را شناخت و با طرح سؤالات مناسب به‌دنبال علت ریشه‌ای خرابی بود. در این مورد بعضی از تکنیک‌هایی را که می‌توان به‌کار برد عبارتند از: طوفان ذهنی و تحلیل علت و معلول.

^۱ . Severity

جدول ۲ - ۱: راهنمای رتبه‌بندی شدت

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

سؤال اساسی و مهم در این باره عبارت است از: «این سیستم به چه شکلی از انجام عملکرد مورد انتظار باز می‌ماند؟». برای رسیدن به پاسخ مناسب می‌توان به طرح سؤالاتی با کلمه «چرا» و تا ۵ مرحله به علل اصلی رسید. علت یک حالت خرابی ممکن است وجود نقص در یکی از اجزا یا چند جزء از سیستم باشد. علاوه بر آن، علت خرابی می‌تواند «تقابلی»^۱ نامطلوب بین اجزای یک سیستم و یا بین سیستم تحت بررسی با سیستم‌های دیگر باشد.

لازم به تأکید است که یکی از بزرگ‌ترین مزایای System- FEMA عبارت است از تعیین حالات بالقوه خرابی سیستم که در اثر خرابی اجزای سیستم و یا تقابل اجزای آن به وجود می‌آید. این تقابل‌ها ممکن است شامل عواملی انسانی نیز باشند. رابطه بین حالت خرابی و علت خرابی، خطی و یا یک به یک نیست. به عبارت دیگر، ممکن است برای یک حالت خرابی، چندین علت وجود داشته باشد.

^۱. Intraction

وقوع، عبارت است از مقادیر رتبه‌بندی که براساس احتمال - و گاه برحسب مجموع - وقوع خرابی ناشی از علت موردنظر که در طول عمر پیش‌بینی شده در طراحی سیستم به‌وجود می‌آید، در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین میزان فراوانی هر خرابی ناشی از علت موردنظر، ساده‌ترین راه، استفاده از «مجموع خرابی‌های اجزا» (CNF)^۲ در ۱۰۰۰ محصول (یا سیستم)، در طول عمر پیش‌بینی شده در طراحی است، این طول عمر، دوره زمانی است که بعد از آن، اجزا دور انداخته می‌شوند؛ زیرا:

۱. عملکرد متوقف می‌شود.

۲. تعمیر آن خیلی گران می‌شود.

اگر احتمال یا مجموع خرابی را نتوان تخمین زد، می‌توان از سوابق مربوط به سیستم مشابه یا اجزای سیستم مشابه استفاده کرد.

عموماً System- FEMA تحت فرضیه خرابی تک‌نقطه‌ای کار می‌کند. خرابی تک‌نقطه‌ای به این معناست که خرابی یکی از اجزا سبب از کار افتادن سیستم می‌شود و با روش‌های جانشین جبران نمی‌شود. به‌عنوان مثال، اگر بالابری که با یک طناب کار می‌کند، بیش از اندازه بارگذاری شود، طناب پاره می‌شود و چون سیستم جانشین ندارد، سیستم از کار می‌افتد. ولی با در نظر گرفتن یک طناب اضافه به‌عنوان جانشین، این مشکل حل می‌شود. جدول (۲-۲) یک راهنمای پیشنهادی رتبه‌بندی وقوع را نشان می‌دهد.

^۱ . Occurrence

^۲ . Cumulative Number of Failure

جدول ۲-۲: راهنمای انتخاب رتبه وقوع

معیار	CNF/1000	رتبه	وقوع
خرابی وجود ندارد سوابق خرابی نشان نمی‌دهند	< 0.0058	۱	تقریباً غیرممکن
احتمال خرابی بسیار نادر است	0.0068	۲	به ندرت
احتمال خرابی بسیار کم است	0.0063	۳	خیلی کم
احتمال خرابی کم است	0.46	۴	کم
گاهی اوقات خرابی دیده می‌شود	2.7	۵	نسبتاً کم
تعداد خرابی کمی در حد متوسط است	12.4	۶	متوسط
تعداد خرابی نسبتاً زیاد است	46	۷	متوسط مایل به زیاد
تعداد خرابی زیاد است	134	۸	زیاد
تعداد خرابی خیلی زیاد است	316	۹	خیلی زیاد
خرابی حالت بحرانی دارد. سابقه خرابی از طراحی قبلی یا طراحی مشابه استخراج شده است	>316	۱۰	تقریباً قطعی

۲-۴-۱۶. کنترل‌های جاری (متدها و روش‌های تشخیص)

عبارت است از یک روش (رویکرد)، آزمایش، مروری بر طراحی و یا تحلیل مهندسی که می‌توانند از ابتدایی‌ترین روش‌های تشخیص خرابی در سیستم باشند. این کنترل‌ها می‌توانند بسیار ساده و یا خیلی فنی و پیشرفته (شبیه‌سازی رایانه‌ای یا آزمون‌های آزمایشگاهی) باشند. هدف این است که هرچه زودتر نقص‌های طراحی سیستم تشخیص داده شود. عقیده بر این است که تشخیص اولیه در System- FEMA موجب می‌شود کنترل‌های طراحی کارآمدتر شوند. از آنجا که System- FEMA در ابتدایی‌ترین زمان شکل می‌گیرد، گاه برآورد رتبه تشخیص مشکل می‌شود. در این حالت، یک راه، استفاده از سوابق موجود است، یا انواع اطلاعات از اجزای مشابه و یا سیستم‌های مشابه. بعضی اوقات ممکن است که روش، آزمایش و یا تکنیکی برای تشخیص خرابی نداشته باشیم. در این صورت در این ستون، جمله‌ای هم‌معنا با «در این زمان تشخیصی وجود ندارد» درج می‌شود.

یکی از روش‌های تشخیص، روش طوفان‌ذهنی است. دو سؤال اساسی در فرایند طوفان ذهنی که می‌تواند راهنما باشد به قرار زیر است:

۱. چگونه این خرابی کشف می‌شود؟
۲. از چه راهی می‌توان این خرابی را شناخت؟

۲-۴-۱۷. رتبه تشخیص^۱

تشخیص عبارت است از احتمال اینکه کنترل‌های جاری یک سیستم بتوانند یک خرابی یا علت خرابی را قبل از اینکه طراحی اجزای سیستم آغاز شود، تشخیص دهند. برای تعیین رتبه تشخیص باید توانایی کنترل‌های جاری- و یا متدهای تشخیص تعریف شده- را در شناسایی خرابی قبل از اینکه مشخصات سیستم (System specification) به تأیید نهایی برسد، تخمین زد. به بیانی دیگر، باید برآورد که آیا کنترل‌های تعیین شده برای طراحی سیستم کارا هستند یا خیر؟ اگر توانایی کنترل‌ها در تشخیص خرابی شناخته نشده و یا احتمال تشخیص قابل تخمین نیست، رتبه تشخیص ۱۰ فرض می‌شود. در جدول ۲-۳ یک نمونه راهنمای رتبه‌بندی تشخیص ارائه شده است.

۲-۴-۱۸. محاسبه RPN

این عدد، حاصلضرب شدت، وقوع و تشخیص است. RPN اولویت‌بندی خرابی‌ها را نشان می‌دهد و به‌تنهایی معنا و ارزشی ندارد، بلکه فقط برای رتبه‌بندی نقص‌های بالقوه سیستم به‌کار می‌رود.

۲-۴-۱۹. اقدامات پیشنهادی

اجزای FMEA بدون داشتن اقدام پیشنهادی، بی‌معناست. اقدامات پیشنهادی می‌تواند اقدامات اجرایی و یا مطالعات و تحقیقات بیشتری باشند. ایده اقدامات پیشنهادی در FMEA به منظور کاهش شدت، وقوع، تشخیص و یا همه آنهاست. درواقع، اجرای System- FMEA با هدف حذف نقص‌های سیستم و در نتیجه حذف خرابی‌ها انجام می‌شود.

برای تسهیل رسیدن به این هدف، تیم FMEA باید حالب خرابی را به طرق زیر اولویت‌بندی کند:

- بالاترین RPN

- بالاترین شدت

- بالاترین وقوع

سپس برای خرابی‌های دارای بالاترین اولویت، اقدام اصلاحی مناسبی تعریف کند. نمونه‌هایی از اقدامات پیشنهادی عبارتند از:

- در داخل سیستم، وسائل تشخیص اضافه کنید.

- برای سیستم، جایگزین کمکی تعبیه کنید.

^۱. Detection

- یک زیرسیستم جبرانی اضافه کنید.

جدول ۲-۳: راهنمای انتخاب رتبه تشخیص

رتبه	معیار	تشخیص
۱	در مرحله طراحی مفهومی، روش‌های تشخیصی مطمئنی وجود دارد	تقریباً قطعی
۲	در مرحله طراحی اولیه، تحلیل‌های رایانه‌ای مطمئنی وجود دارد	خیلی زیاد
۳	در مراحل طراحی اولیه، مدل‌سازی یا شبیه‌سازی وجود دارد	زیاد
۴	آزمایش‌هایی برای اجزای سیستم در نمونه‌های اولیه وجود دارد	نسبتاً زیاد
۵	آزمایش‌هایی برای اجزای سیستم در پیش از تولید وجود دارد	متوسط
۷	آزمایش‌هایی برای محصول با نمونه اولیه‌ای که اجزای سیستم آن نصب شده است وجود دارد	کم
۸	فقط آزمایش‌های دوام مطمئنی برای محصولی که اجزای سیستم آن نصب شده است، وجود دارد	خیلی کم
۹	فقط تکنیک‌های نامطمئن یا ناتوان وجود دارد	به ندرت
۱۰	متد و یا روش تشخیصی وجود ندارد.	تقریباً غیرممکن

۲-۴-۲۰. مسئولیت و تاریخ اجرا

در این قسمت، واحد یا فرد مسئول اجرای اقدامات و تاریخ نهایی اجرا معین می‌شود.

۲-۴-۲۱. اقدامات انجام شده

این قسمت، پیگیری این امر است که آیا اقدام پیشنهادی در تاریخ مقرر انجام شده است یا خیر؟ معمولاً مهندس طراحی سیستم، نحوه اجرای اقدامات پیشنهادی را پیگیری می‌کند تا مشخص شود آیا به حد کفایت هستند یا خیر؟

گفتنی است که System- FMEA مستند زنده‌ای است که مسئولیت به روزآوری آن برعهده مهندس طراح سیستم قرار دارد. او باید مطمئن شود که System- FMEA مدرکی زنده و بازتابی از آخرین اطلاعات و اقدامات است. پس از اجرای اقدامات، تاریخ اتمام به همراه مختصری از اقدامات درج می‌شود.

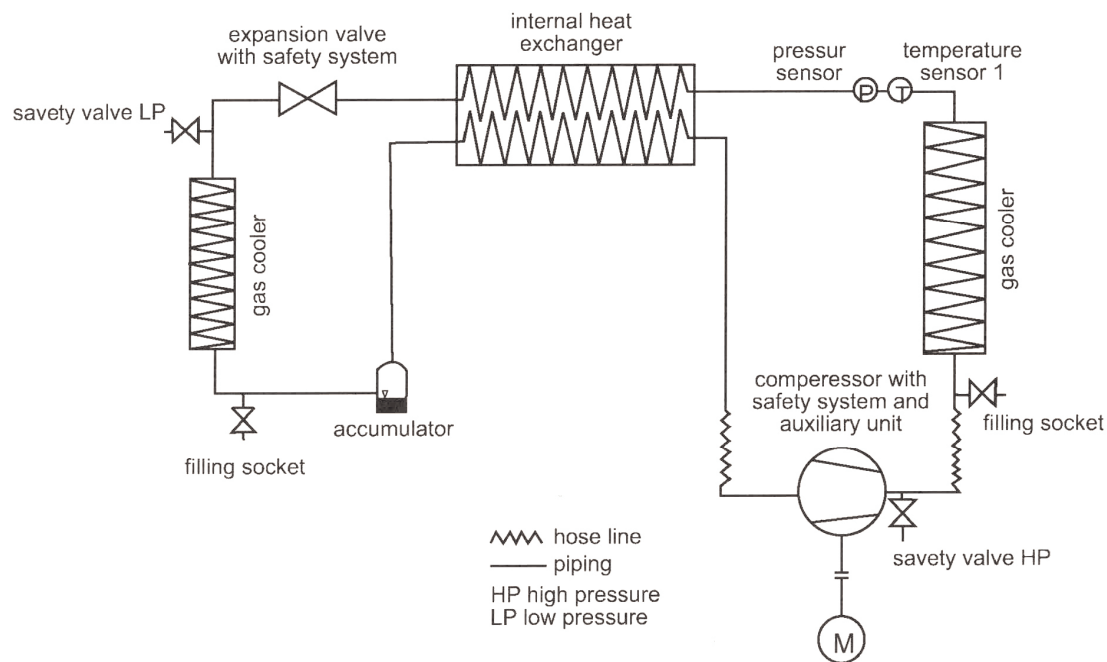
۲-۴-۲۲. تجدیدنظر در RPN

پس از اقدامات پیشنهادی، تیم FMEA باید دوباره رتبه‌های شدت، وقوع و تشخیص را ارزیابی و RPN جدید را محاسبه کند. این فرایند باید آنقدر تکرار شود تا تیم به این نتیجه برسد که تمامی خواسته‌های مربوطه تأمین شده است.

به منظور آشنایی بیش‌تر با مقوله System- FMEA یک مطالعه موردی بررسی می‌شود. در این مطالعه، یک سیستم تهویه مطبوع با گاز CO2 (Co2Air-Condition) که در فاز طراحی اولیه است، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. تیمی متشکل از کارشناسان شرکت‌های دنسو، بی‌ام‌و، فولکس‌واگن و دایملر/کرایسلر به ارزیابی این سیستم جدید پرداخته است. برای تهیه System- FMEA استاندارد SAE-J-1739 مبنای کار قرار گرفته است. هدف از اجرای FMEA توسط تیم یاد شده عبارت است از:

۱. شناسایی خرابی‌ها و مشکلات بالقوه و نیز آثار آن
 ۲. تعیین اقدامات متقابل برای حذف خرابی و یا کاهش آثار
 ۳. تصدیق قابلیت استفاده از فناوری به‌کارگیری گاز Co2 با توجه به دو مقوله ایمنی و قابلیت اطمینان در محصول
 ۴. اجرای اقدامات لازم برای ایجاد تعادل در میزان ریسک خرابی‌های سیستم (کاهش شاخص RPN به کم‌تر از عدد ۱۰۸)
 ۵. تهیه System- FMEA به‌عنوان مبنایی برای اجرای System- FMEA
- شکل (۲-۲) شمایی از سیستم طراحی شده را نشان می‌دهد. همچنین نمونه‌ای از فرم System- FMEA تکمیل شده در جدول ۲-۴ ارائه شده است. نتایج حاصل از این مطالعه در پیوست ۱ ذکر شده است.

شکل ۲-۲: شمایی از سیستم پیشنهادی A/C با فناوری گاز CO2



جدول ۲-۴: نمونه فرم System- FMEA تهیه شده برای سیستم پیشنهادی A/C با فناوری

گاز Co2

Item	عملکرد	حالات بالقوه خرابی	اثر بالقوه خرابی	Sev	Class	علل بالقوه خرابی	Occur	کنترل‌های جاری طراحی	Detec	RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت اجرا و تاریخ اتمام	نتایج اقدامات پیشنهادی	Sev	Occur	Detec	RPN
کمپرسور	تراکم گاز - انتقال گاز	خراب شدن اتصالات	جدا شدن لوله‌ها - وجود نشتی	۹		خرابی یا اشکال در مواد	۱	کنترل کیفیت	۲	۱۸	آزمون oscillation	تیم A xx/xx/xx		۹	۱	۱	۹
Gas Cooler	تبادل گرما با محیط خارجی	بسته شدن جریان سرمایش	کاهش ظرفیت خنک‌کنندگی و افزایش فشار	۶		خمیدگی زیاد و یا انسداد لوله‌ها	۲	دفرمه شدن - محافظ - طراحی اجزا	۱۰	۱۲۰	اضافه کردن حسگر فشار در جلوی Gas Cooler	تیم B xx/xx/xx		۶	۲	۶	۷۲

کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در طراحی قطعه / محصول (Design- FMEA)

پیشگفتار

در این فصل، نحوه کاربرد تکنیک FMEA در فرایند طراحی اجزای محصول یا طراحی یک قطعه، بیان می‌شود و در مورد فواید استفاده از DFMEA، کاربرد DFMEA در صنعت خودرو، زمان مناسب تهیه DFMEA، و مراحل تهیه آن توضیحاتی ارائه خواهد شد. همچنین برای درک بهتر مطالب و بررسی گام به گام یک فرم DFMEA، مثالی از فرایند طراحی بلبرینگ ارائه می‌شود. پس از مطالعه این فصل، می‌توانید به سؤالات زیر پاسخ بدهید:

۱. هدف از انجام DFMEA چیست؟
۲. حالات بالقوه خرابی در طراحی چیست؟
۳. کاربردهای بالقوه DFMEA در صنعت خودرو کدامند؟
۴. فواید اجرای DFMEA چیست؟
۵. چه چیزهایی برای تهیه DFMEA لازم است؟
۶. مفاهیم ستون‌های فرم DFMEA چیست؟

۱-۳. مبنا و هدف از تهیه DFMEA

امروزه کاملاً واضح است که ایجاد کیفیت مطلوب در زمان طراحی محصول بسیار سهل‌تر، مؤثرتر و کم‌هزینه‌تر از آن است که بخواهیم پس از بروز مشکلات، با انجام اقدامات اصلاحی به کیفیت دلخواه برسیم. بنابراین در زمان طراحی محصول، تیم طراحی باید به تمام خواسته‌های مشتریان و نیازمندی‌های کیفی محصول آگاهی کامل داشته، از برآورده شده این خواسته‌ها در طرح، اطمینان

یابد. تهیه DFMEA به تیم طراحی کمک می‌کند تا با نقد طراحی، از برآورده شدن تمامی نیازها و خواسته‌های کیفی اطمینان یافته، در صورت لزوم، تغییراتی به‌منظور بهبود کیفیت انجام دهد.

۲-۳. تعریف حالات بالقوه خرابی

هر حالتی که باعث شود قطعه یا محصولی در برآوردن عملکرد مورد انتظار از آن توانایی لازم را نداشته باشد، یک حالت بالقوه خرابی به‌شمار می‌رود. بعضی از این حالات عبارتند از:

- نشت کردن
- ترک خوردن
- اتصال کوتاه
- تاییدگی
- تغییر رنگ
- خاموش شدن
- خوردگی
- از کار افتادن

حالات خرابی در طراحی ناشی از وجود کمبودها و نقصان‌هایی در طراحی محصول است که بعضی از آنها عبارتند از:

- مشخصات مهندسی تعریف شده با توانایی فرایند مطابقت ندارد.
- میزان سختی مواد بسیار پایین است.
- دستورالعمل‌های تعمیرات و نگهداری تهیه شده توسط طراح، نامناسبند.
- محافظت در برابر عوامل محیطی ضعیف است.
- تنش واقعی اعمال شده بر قطعه، بیش‌تر از مقدار تعریف شده است.
- امکان دسترسی مناسب در انجام برنامه‌های سرویس و نگهداری در طرح پیش‌بینی نشده است.
- گشتاور تعریف شده برای قطعه کم است.
- روغنکاری نامناسب و ناکافی است.

۳-۳. تعریف DFMEA

DFMEA روشی است سیستماتیک که به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی نقص‌ها و کاستی‌های طراحی یک محصول/قطعه - که منجر به بروز خرابی‌های بالقوه در محصول می‌شود - و در نهایت اقدام برای حذف آنها استفاده می‌شود.

DFMEA فرایند طراحی را با کاهش ریسک خرابی به روش‌های زیر استحکام می‌بخشد:

۱. کمک به تیم طراحی در ارزیابی الزامات طراحی
۲. افزایش احتمال مورد توجه قرار دادن حالات خرابی محتمل و آثار آن بر مشتری
۳. فراهم کردن چارچوبی برای بررسی و ارزیابی پیشنهادها و اقدامات لازم برای کاستن از خطرپذیری خرابی‌ها.

۴. تهیه فهرستی رتبه‌بندی شده از حالات بالقوه خرابی به منظور پی‌ریزی برنامه‌ای مدون برای بهبود طراحی و تصدیق روش‌های کنترل طراحی.
- همچنین DFMEA به تیم طراحی اطمینان می‌دهد که:
- الف- محصول طراحی شده به‌طور مناسب ساخته و سرویس خواهد شد.
- ب- از هیچ چیز چشم‌پوشی نشده است.

۴-۳. کاربردهای DFMEA

DFMEA به‌عنوان یکی از عناصر هر سیستم کیفی فراگیر در موارد زیر به‌کار می‌رود:

۱. به‌عنوان یکی از اجزای برنامه‌ریزی کیفیت برای:
 - تمام محصولات جدید
 - محصولات تغییر یافته
 - قطعات مشترک مورد استفاده در شرایط جدید کارکردی و یا محیطی.^۱
۲. یکی از تکنیک‌های مؤثر در روش‌های حل مسئله است.
۳. در فعالیتهای بهبود مستمر، به‌عنوان مستندی زنده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاربرد DFMEA در صنعت خودرو

۱. برنامه‌ریزی کیفیت محصول (APQP): یکی از فنون کاربردی APQP استفاده از تکنیک FMEA است. تیم APQP باید در زمان طراحی محصول جدید و یا فازهای توسعه محصول از DFMEA استفاده کند.
۲. فرایند تأیید قطعه تولیدی (PPAP): نظامنامه PPAP یکی از عناصر سیستم‌های تضمین کیفیت در صنعت خودرو محسوب می‌شود. در این نظامنامه تأکید شده است که تأمین‌کنندگان قطعات باید قبل از ارسال اولین محموله جدید و یا محصول تغییر یافته یک DFMEA برای آنها تهیه کرده، به مشتری ارائه کنند.

۵-۳. فواید استفاده از DFMEA

۱. کاهش نرخ شکست محصول در دوره عمر مفید آن
۲. کاهش زمان معرفی محصولات جدید: DFMEA با شناسایی مشکلات، کمک چشمگیری به حل سریع آنها می‌کند. تأخیر در عرضه محصول به بازار، ناشی از بروز مشکلاتی است که در زمان

^۱ . Carry over

نهایی شدن طرح یا شروع تولید انبوه اتفاق می‌افتد و با تهیه DFMEA از بروز آنها جلوگیری می‌شود.

۳. جلوگیری از صرف هزینه‌های اضافی. DFMEA فرایندی کنشی (Proactive) است، نه واکنشی؛ به این ترتیب که در ابتدایی‌ترین مرحله با شناسایی مشکلات، قبل از وقوع از بروز آنها جلوگیری می‌شود. بدیهی است که رفع یک مشکل بعد از وقوع بسیار پرهزینه‌تر از پیشگیری از وقوع آن است.

۴. اجرای DFMEA اطلاعات مفیدی را به منظور ممیزی طرح ارائه می‌دهد.

۵. مشخصه‌هایی از محصول را که به کنترل‌های ویژه نیاز دارند، شناسایی می‌کند.

۶. اقدامات و فعالیت‌های لازم را برای بهبود طراحی اولویت‌بندی می‌کند.

۷. چون تهیه DFMEA مبتنی بر کار گروهی است، اجرای آن، احساس همکاری و سهیم بودن در موفقیت‌های طراحی محصول را در بین تمام افراد تیم به وجود می‌آورد.

۳-۶. تیم DFMEA

FMEA رویکردی مبتنی بر کار گروهی است. به منظور تهیه DFMEA، مسئول طرح (مدیر پروژه طراحی) وظیفه تشکیل تیم و هدایت آن را برعهده دارد. اعضای این تیم باید از واحدهای مختلف سازمان، از جمله واحدهای طراحی مهندسی، تولید، کیفیت، مونتاژ، تعمیرات و نگهداری، فروش و بازاریابی و تأمین‌کنندگان مواد اولیه و قطعات باشند. تعداد و ترکیب اعضای تیم می‌تواند در طی مراحل تکمیل DFMEA تغییر کند؛ ولی توصیه می‌شود:

- در ابتدای کار برای جمع‌آوری تمامی اطلاعات مورد نیاز، همه اعضا حضور فعال داشته باشند.
- در ادامه فعالیت‌ها، یک تیم اصلی^۱ وظیفه تکمیل، توسعه و برقراری DFMEA را به‌عهده داشته باشد.

۳-۷. تعریف مشتری در DFMEA

در تهیه DFMEA مشتری عبارت است از:

- مشتری نهایی یا مصرف‌کننده محصول
- مهندس یا تیم مسئول طراحی سیستم
- مهندسان یا تیم مسئول فرایندهای تولید، مونتاژ و ارائه خدمات (مشتری داخلی)

^۱ . Core- team

۳-۸. نقطه شروع کار

تمامی اعضای تیم DFMEA در ابتدا باید به کمک منابع و اطلاعات زیر با محصول آشنا شوند:

۱. مطالعه نقشه‌های اولیه محصول

۲. مطالعه Block Diagram

۳. مطالعه نیازمندی‌های مشتری (اطلاعات به‌دست آمده براساس مطالعات بازاریابی، QFD، نیازمندی‌های فرایندهای ساخت و مونتاژ محصول و نیازمندی‌های محصول).

۴. DFMEA محصولات مشابه

همچنین اعضای تیم باید درخصوص موارد زیر توافق کامل داشته باشند:

۱. تعریف واژه‌های کلیدی

۲. احراز و انتخاب رتبه‌های شدت، وقوع و تشخیص

۳-۹. مراحل تهیه DFMEA

نمونه‌ای از فرم DFMEA در صفحه بعد ارائه شده است. در قسمت بالای فرم، سمت چپ، نام قطعه و اطلاعات مربوط به محل مونتاژ قطعه، نوع و مدل خودرو درج شده است. در سمت راست، شماره DFMEA، تاریخ تهیه و تاریخ بازنگری و دیگر اطلاعات عمومی فرم درج می‌شود. همچنین در فرم باید نام اعضای گروه اصلی و تأیید مهندس مسئول طراحی نوشته شود. برای تهیه DFMEA مراحل زیر به ترتیب انجام می‌شود. برای معرفی هر یک از ستون‌های فرم یاد شده، مثالی از طراحی یک بلبرینگ تشریح شده است.

۳-۹-۱. معرفی قطعات تشکیل‌دهنده محصول و عملکرد آنها

در این ستون، نام قطعات تشکیل‌دهنده محصول و اطلاعات مربوط (از جمله شماره قطعه، شماره نقشه و ...) نوشته می‌شود. همچنین، عملکرد آنها به‌طور مختصر و با عبارات فنی درج می‌شود (مثلاً حفاظت از قسمت سخت‌افزار، کنترل‌کننده جریان برق، قطع‌کننده عملیات و ...) توصیه می‌شود در این ستون، ابتدا قطعاتی معرفی شوند که عملکرد مهمی در محصول دارند. علاوه بر ثبت عملکرد، تمام شرایطی که قطعه تحت آن شرایط عمل می‌کند، بیان می‌شوند (به‌عنوان مثال، شرایط محیطی مثل دما و رطوبت مجاز و شرایط کارکردی، مثل تنش‌های درگیر و فشار). اگر قطعه دارای چندین عملکرد باشد، عملکردی که در صورت انجام نشده بیشترین اثر را بر قطعه دارد، در ابتدا نوشته می‌شود.

۳-۹-۲. حالات بالقوه خرابی

در این ستون، حالات خرابی که به‌طور بالقوه در قطعه ایجاد می‌شوند، درج خواهند شد. حالات بالقوه خرابی باید با عباراتی ساده و فنی بیان شوند؛ مثلاً، ترک در قطعه- چسبندگی در قطعه - قطع ناگهانی عملکرد.

آنالیز حالات بالقوه خرابی در طراحی سیستم

۱. نام سیستم:
۲. مسئول سیستم:
۳. نام اعضای تیم:
۴. تأمین‌کنندگان:
۵. نام محصول / مدل:
۶. تاریخ انتشار مشخصات سیستم:
۷. تهیه‌کننده:
۸. تاریخ اجرای FMEA:
۹. تاریخ بازنگری:
- صفحه از صفحه

اقدام سیستم (عملکرد)	حالات بالقوه خرابی	اثر بالقوه خرابی	فرد	Class	علل بالقوه خرابی	RPN	کنترل‌های جاری طراحی	تفصیل	RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت اجرا و تاریخ اتمام	نتایج اقدامات پیشنهادی	نتایج اقدامات
ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف
(۱۰)	(۱۱)	(۱۲)	(۱۳)	(۱۴)	(۱۵)	(۱۶)	(۱۷)	(۱۸)	(۱۹)	(۲۰)	(۲۱)	(۲۲)	(۲۳)
کار گروهی													

باید توجه داشت که حالت بالقوه خرابی نباید با اثر آن اشتباه شود. حالت بالقوه خرابی عموماً تغییری فیزیکی در قطعه است که می‌تواند عملکرد آن را مختل کند، اما اثر آن نشانه‌ای^۱ از وجود حالت خرابی است. در این مورد، به مثال‌های زیر توجه کنید:

حالت خرابی	اثر
نشستی رادیاتور	گرم شدن موتور
سوراخ شدن لاستیک	خالی شدن باد چرخ
مختل شدن عملکرد جعبه دنده	از کار افتادن خودرو

راهنمایی‌هایی برای تعیین حالات بالقوه خرابی

ابتدا حالا بالقوه خرابی شناخته شده را با کمک سوابق کیفی شناسایی کنید؛ از جمله:

- FMEA های گذشته
- گزارش‌های کیفی
- گزارش‌های خدمات پس از فروش

^۱. Symptom

- گزارش‌های کنترل فرایند

- نتایج آزمون‌ها

سپس از طریق طوفان ذهنی و با طرح چند سؤال، حالات بالقوه خرابی قطعه را شناسایی کنید؛ مثلاً:

۱. چه اشتباهاتی ممکن است در زمان کارکرد قطعه رخ دهد؟

۲. اگر قطعه در شرایط خاص، مثل: گرما، سرما، رطوبت، خشکی، گردوغبار و یا در مجاورت با مواد شیمیایی کار کند، چه خرابی‌هایی به وجود می‌آید؟

۳. در زمان استفاده از قطعه در شرایط خاص عملکردی، مثل: ولتاژ کم، روشن و خاموش کردن‌های متوالی، استفاده نکردن طولانی از قطعه و ... چه خرابی‌هایی ممکن است حادث شود؟

● توجه داشته باشید که حالات خرابی ناشی از شرایط خاص عملکردی و محیطی را در تحلیل‌های خود در نظر بگیرید.

اقدام	حالات خرابی	اثر خرابی	شدت	Class	علل بالقوه خرابی	درجه	کنترل‌های جاری طراحی	تجهیز	RPN
پوسته خارجی (case) بلبرینگ عملکرد: - تثبیت موقعیت ساچمه‌ها - کمک در حرکت یکنواخت غلثشی بلبرینگ - پخش یکنواخت تنش	شکستن پوسته								

۳-۹-۳. آثار بالقوه حالات خرابی

آثار بالقوه خرابی، نتیجه و پیامد حالت خرابی بر عملکرد است، به‌طوری که مشتری (مشتری داخلی و نهایی) آن را مشاهده و یا تجربه می‌کند. باید توجه داشت که اثر خرابی شامل یک توالی از اثر خرابی بر خود قطعه، اثر خرابی بر سیستم، اثر خرابی بر خودرو و سرانجام تجربه مشتری و عدم تطابق با استانداردهای دولتی است. به مثال زیر توجه کنید:

حالت خرابی	تأثیر بر قطعه	تأثیر بر سیستم	تأثیر بر خودرو	تأثیر بر مشتری
پاره شدن لاستیک	خراب شدن قطعه	وجود ارتعاش و لرزش در موتور	عدم ثبات عملکرد خودرو	در نارضایتی مشتری
شدید				

برای هر یک از حالات خرابی شناسایی شده، آثار بالقوه بر مشتری نهایی و داخلی را فهرست کنید.
برای تعیین آثار بالقوه خرابی:

۱. ابتدا آثار شناخته شده خرابی را به کمک سوابق و مستندات کیفی مشخص کنید؛ از جمله:

- FMEAهای گذشته

- گزارش های تعمیرات و نگهداری

- گزارش های خدمات پس از فروش

- شکایات مشتری

۲. سپس با طرح برخی سؤالات و با کمک روش طوفان ذهنی، دیگر آثار بالقوه را شناسایی کنید؛ از جمله:

- حالات بالقوه خرابی متعاقباً چه اثری بر عملکرد قطعه، سطوح بالاتر تولید، کل سیستم و یا بر مشتری نهایی دارد؟

- مشتری چه چیزی را می بیند، احساس می کند، می شنود و یا تجربه می کند؟

- آیا ایمنی قطعه لحاظ شده است؟ آیا در قطعه (یا محصول) استانداردهای دولتی و یا دیگر استانداردهای لازم رعایت شده است؟

اقدام عملکرد	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	Class رتبه	علل بالقوه خرابی	کنترل های جاری طراحی	RPN رتبه بالقوه
پوسته خارجی (case) بلبرینگ عملکرد: - تثبیت موقعیت ساچمه ها - کمک در حرکت یکنواخت غلنشی بلبرینگ - پخش یکنواخت تنش	شکستن پوسته	- خراب شدن بلبرینگ - عملکرد سیستم متوقف می شود. - ایمنی به مخاطره می افتد.				

۳-۹-۴. شدت (Severity)

شدت عبارت است از میزان حاد بودن اثر خرابی بر مشتری (مشتری داخلی و نهایی). برای انتخاب رتبه شدت ابتدا باید یک معیار رتبه بندی آثار خرابی توسط تیم DFMEA تهیه شود.
نمونه ای از راهنمای رتبه بندی که در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

حتماً مطمئن باشید که اعضای تیم در مورد رتبه شدت توافق کامل دارند و آن را به کار می بندند.

۳-۹-۵. کلاسه‌بندی^۱

در این ستون، آن دسته از مشخصات مهم و بااهمیت قطعه که بر ایمنی محصول و یا عدم تطابق با استانداردهای ملی و نیز رضایت‌مندی مشتری اثر مستقیمی دارند، با علامت خاصی شناسایی می‌شوند.

این خصوصیات مهم و بحرانی قطعه نیازمند کنترل‌های ویژه‌ای در مراحل طراحی، ساخت، مونتاژ، حمل‌ونقل و یا دیگر سطوح می‌باشند.

انتخاب رتبه‌های ۹ و ۱۰ شدت برای یک اثر خرابی، نشان‌دهنده وجود مشخصه‌ای بحرانی در محصول (و نیاز به اقدامی اصلاحی در طرح قطعه/محصول) است.

اقدام عملکرد	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	رتبه شدت	Class	علل بالقوه خرابی	رتبه شدت	کنترل‌های جاری طراحی	رتبه شدت	RPN
پوسته خارجی (case) بلبرینگ عملکرد: - تثبیت موقعیت ساچمه‌ها - کمک در حرکت یکنواخت غلطی بلبرینگ - پخش یکنواخت تنش	شکستن پوسته	- خراب شدن بلبرینگ - عملکرد سیستم متوقف می‌شود. - ایمنی به مخاطره می‌افتد.	۹	C					

۳-۹-۶. علل بالقوه خرابی

علل بالقوه خرابی، کمبودها، اشکالات و نقص‌های طراحی هستند؛ مانند: انتخاب نامناسب مواد، درنظر گرفتن گشتاور ناکافی، محافظت ضعیف در مقابل عوامل محیطی، دسترسی ضعیف برای سرویس و ...

نقص‌ها و کمبودهای طراحی باعث می‌شوند:

۱. در عملکرد قطعه، خرابی ایجاد شود.
۲. در فرایند ساخت و یا مونتاژ، اشکالات و خطاهایی بروز کند و یا به دلیل نادیده گرفتن امکانات تولید در مرحله طراحی، حالت خرابی به وجود آید.

^۱ . Classification

جدول ۳ - ۱: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه شدت

رتبه	معیار: شدت اثر	اثر خرابی
۱۰	حالت خرابی عملکرد ایمنی خودرو / محصول را به مخاطره می اندازد و بدون هشدار استانداردهای اجباری و قانونی را رعایت نکند. ایمنی مشتری به خطر می افتد. رتبه شدت خیلی بالا	به خطر افتادن ایمنی بدون هشدار
۹	حالت خرابی عملکرد ایمنی خودرو / محصول را به مخاطره می اندازد و یا استانداردهای اجباری و قانونی را با اعلان هشدار رعایت نکند. ایمنی مشتری به خطر می افتد. رتبه شدت خیلی بالا	به خطر افتادن ایمنی با هشدار
۸	عملکرد اصلی خودرو / محصول کاملاً از بین می رود. مشتری به شدت ناراضی است.	بسیار زیاد
۷	خودرو / محصول قابل استفاده است ولی در سطح بسیار پایینی از عملکرد. مشتری بسیار ناراضی است.	زیاد
۶	خودرو / محصول قابل استفاده است اما سطح عملکرد پایین است. آیتم های مرتبط با راحتی غیر قابل استفاده اند مشتری ناراضی است.	متوسط
۵	خودرو / محصول قابل استفاده است اما سطح عملکرد نسبتاً پایین است. آیتم های مرتبط با راحتی مشتری در سطح پایین تر از انتظار عملکرد دارند. مشتری ناراضی است.	کم
۴	آیتم های مربوط به مناسب بودن و کیفیت نهایی محصول / خودرو در نظر گرفته نشده است. اکثر مشتریان (بیش از ۷۵ درصد) این عیوب را متوجه می شوند.	خیلی کم
۳	آیتم های مربوط به مناسب بودن و کیفیت نهایی محصول / خودرو در نظر گرفته نشده است. ۵۰ درصد از مشتریان این عیوب را متوجه می شوند.	ناچیز
۲	آیتم های مربوط به مناسب بودن و کیفیت نهایی محصول / خودرو در نظر گرفته نشده است. کم تر از ۲۵ درصد از مشتریان این عیوب را متوجه می شوند.	خیلی ناچیز
۱	هیچ اثری قابل تشخیص نیست	هیچ

● راهنمایی هایی برای تشخیص علل خرابی

۱. ابتدا اشکالات طراحی را که باعث به وجود آمدن خرابی هایی در عملکرد قطعه می شوند، شناسایی کنید. برای این منظور، فرض کنید مراحل ساخت و مونتاژ قطعه به درستی انجام می شود. نقص های شناخته شده را براساس داده های آزمون ها، آزمایش ها، گزارش های خدمات پس از فروش و دیگر مدارک مربوط شناسایی کنید. سپس دیگر اشکالات و کمبودهای بالقوه را از طریق طوفان ذهنی شناسایی کنید.

○ هدف شناسایی علل و عوامل ریشه ای است.

۲. سپس کمبودهای طراحی را که باعث اشکال در فرایند ساخت و مونتاژ می شوند، شناسایی کنید. مثال: - مطابقت نداشتن مشخصات با توانایی فرایند

- تسهیلات جابه‌جایی نامناسب

- عدم قرارگیری صحیح در فیکسچر

در این حالت نیز برای شناسایی کمبودهای طراحی، ابتدا موارد شناخته شده را با کمک سوابق کیفی شناسایی کرده، سپس با روش طوفان ذهنی دیگر نقص‌های بالقوه طراحی را شناسایی کنید.

اقدام	حالات خرابی	اثر خرابی	Class	علل بالقوه	کنترل‌های جاری طراحی	RPN
پوسته خارجی (case) بلبرینگ عملکرد: - تثبیت موقعیت ساچمه‌ها - کمک در حرکت یکنواخت غلشی بلبرینگ - پخش یکنواخت تنش	شکستن پوسته	- خراب شدن بلبرینگ - عملکرد سیستم متوقف می‌شود. - ایمنی به مخاطره می‌افتد.	C	وجود تنش پسماند در پوسته بعد از فرم‌دهی		

۳-۹-۷. وقوع

وقوع، تخمینی است از احتمال وقوع علت خرابی در طی زمان طول عمر^۱ طراحی شده قطعه/ محصول؛ و به بیانی دیگر عبارت است از اینکه با چه احتمالی، حالت خرابی ناشی از علت شناسایی شده رخ می‌دهد. برای انتخاب رتبه وقوع، ابتدا تیم FMEA باید یک معیار رتبه‌بندی وقوع خرابی تهیه کند. نمونه‌ای از راهنمای رتبه‌بندی وقوع که در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده در جدول ۳-۲ ارائه شده است.

اقدام	حالات خرابی	اثر خرابی	Class	علل بالقوه	کنترل‌های جاری طراحی	RPN
پوسته خارجی (case) بلبرینگ عملکرد: - تثبیت موقعیت ساچمه‌ها - کمک در حرکت یکنواخت غلشی بلبرینگ - پخش یکنواخت تنش	شکستن پوسته	- خراب شدن بلبرینگ - عملکرد سیستم متوقف می‌شود. - ایمنی به مخاطره می‌افتد.	C	وجود تنش پسماند در پوسته بعد از فرم‌دهی		۸

^۱ . Design life

• راهنمایی‌هایی برای تعیین رتبه وقوع

۱. براساس اطلاعات و سوابق موجود قطعات مشابه، برای علل خرابی فهرست شده، رتبه وقوع مناسبی انتخاب کنید.

فاکتورهایی که باید در نظر بگیرید عبارتند از:

- قطعه طراحی شده چه مقدار با قطعه مشابه اختلاف دارد؟
- آیا کاربرد قطعه جدید تغییر کرده است؟
- آیا شرایط محیطی تغییر کرده است؟
- آیا آنالیز مهندسی (مثلاً محاسبه قابلیت اطمینان) برای تخمین وقوع انجام شده است؟
- آیا کنترل‌های پیشگیرانه‌ای در طراحی مانند استفاده از Design guide، Design checklist و ... وجود دارد.

۲. اگر نمی‌توان نرخ خرابی (ناشی از علت مورد مطالعه) را تخمین زد، با توجه به توضیحات سمت راست جدول ۲-۳ رتبه مناسب وقوع را تعیین کنید.

○ توجه: مطمئن باشید که تمامی اعضای تیم در مورد رتبه وقوع توافق دارند و آنرا به کار می‌بندند.

جدول ۲-۳: راهنمایی پیشنهادی انتخاب رتبه وقوع

رتبه وقوع	نرخ خرابی محتمل	احتمال خرابی
۱۰	نرخ خرابی بیش‌تر از ۱۰۰ در ۱۰۰۰ مورد است	خیلی زیاد: خرابی‌های مداوم
۹	نرخ خرابی ۵۰ در ۱۰۰۰ مورد است.	
۸	نرخ خرابی ۲۰ در ۱۰۰۰ مورد است	زیاد: خرابی به طور نسبی وجود دارد
۷	نرخ خرابی ۱۰ در ۱۰۰۰ مورد است	
۶	نرخ خرابی ۵ در ۱۰۰۰ مورد است	متوسط: خرابی‌های گاه و بی‌گاه
۵	نرخ خرابی ۲ در ۱۰۰۰ مورد است	
۴	نرخ خرابی ۱ در ۱۰۰۰ مورد است	
۳	نرخ خرابی ۰/۵ در ۱۰۰۰ مورد است	کم: خرابی به ندرت اتفاق می‌افتد
۲	نرخ خرابی ۰/۱ در ۱۰۰۰ مورد است	
۱	نرخ خرابی کمتر از ۰/۱ در ۱۰۰۰ مورد است	غیرمحتمل: وقوع خرابی بسیار بعید است

۳-۹-۸. کنترل‌های جاری در طراحی

کنترل‌های جاری در طراحی، تکنیک‌های ارزیابی طرح هستند؛ که توسط تیم طراحی تاکنون استفاده می‌شوند و یا در گذشته استفاده شده‌اند.^۱ بعضی از این کنترل‌ها عبارتند از:

- بازنگری طراحی،

- شبیه‌سازی رایانه‌ای

- آزمون‌های دوام و عملکرد

در مقابل هریک از علل خرابی، تمامی کنترل‌های مورد استفاده را در ستون کنترل‌های جاری فهرست کنید. اگر کنترلی در لیست کنترل‌های جاری وجود داشته باشد که علاوه بر شناسایی، قادر به پیشگیری از خرابی است می‌تواند رتبه وقوع را تحت تأثیر قرار دهد.

○ توجه: تمام روش‌های کنترلی استفاده شده قبل از تصویب طرح را فهرست کنید.

روش‌های کنترلی جدید و یا امتحان نشده در ستون اقدامات پیشنهادی آورده شوند.

● کنترل‌های تولید را در این حالت فهرست نکنید.

اقلام	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	Class	علل بالقوه خرابی	کنترل‌های جاری طراحی	RPN
پوسته خارجی (case) بلبرینگ عملکرد: - تثبیت موقعیت ساچمه‌ها - کمک در حرکت یکنواخت غلشی بلبرینگ - پخش یکنواخت تنش	شکستن پوسته	- خراب شدن بلبرینگ - عملکرد سیستم متوقف می‌شود. - ایمنی به مخاطره می‌افتد.	C	وجود تنش پسماند در پوسته بعد از فرم‌دهی	۸ آنالیز تنش به کمک نرم‌افزار	

۳-۹-۹. تشخیص

تشخیص، عبارت است از شانس شناسایی و کشف خرابی یا علت خرابی توسط کنترل‌های جاری، قبل از اینکه طراحی محصول/ قطعه برای تولید انبوه تأیید شود. رتبه تشخیص نشان‌دهنده قابلیت و توانایی کنترل‌های جاری در پیدا کردن خرابی (یا علت خرابی) است.

^۱. در کتاب راهنمای FMEA مربوط به استاندارد QS9000 (ویرایش سوم) کنترل‌های طراحی به دو دسته تقسیم شده‌اند:

الف- کنترل‌های پیشگیرانه (Prevention) که از وقوع حالت خرابی پیشگیری می‌کنند و یا نرخ وقوع را کاهش می‌دهند.

ب- کنترل‌های تشخیصی (Detection) که علت یا حالت خرابی را قبل از تایید نهایی طرح شناسایی می‌کنند (متدهای فنی و یا روش‌های تحلیلی). همچنین تاکید شده که رتبه تشخیص برای کنترل‌های تشخیصی تعریف می‌شود.

برای کنترل‌های جاری که در جلوی علل خرابی فهرست شده‌اند، با توجه به توانایی آنها در کشف خرابی یا علت خرابی، یک رتبه تشخیص تخمین زده می‌شود. هرگز نباید تصور شود که به‌خاطر پایین بودن رتبه وقوع، رتبه تشخیص نیز پایین است، بلکه فرض کنید که خرابی اتفاق افتاده و سپس توانایی کنترل‌های جاری را در کشف آن ارزیابی کنید.

برای انتخاب رتبه تشخیص، ابتدا تیم FMEA باید یک معیار رتبه‌بندی تشخیص که در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده در جدول ۳-۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۳-۳: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه تشخیص

رتبه تشخیص	معیار تشخیص: شانس شناسایی توسط کنترل طراحی	تشخیص
۱۰	کنترل طراحی نمی‌تواند علت خرابی و یا حالت خرابی را شناسایی کند و یا هیچ کنترلی وجود ندارد.	تقریباً غیرممکن
۹	کنترل طراحی شانس بسیار ناچیزی در شناسایی علت خرابی و یا حالت خرابی دارد.	خیلی بعید
۸	کنترل طراحی شانس ناچیزی در شناسایی علت خرابی و یا حالت خرابی دارد.	بعید
۷	کنترل طراحی شانس خیلی کمی در شناسایی علت خرابی و یا حالت خرابی دارد.	خیلی کم
۶	کنترل طراحی شانس کمی در شناسایی علت خرابی و یا حالت خرابی دارد.	کم
۵	کنترل طراحی در شناسایی علت خرابی و یا حالت خرابی شانس متوسطی دارد.	متوسط
۴	کنترل طراحی در شناسایی علت خرابی و یا حالت خرابی شانس زیادی دارد.	نسبتاً زیاد
۳	کنترل طراحی در شناسایی علت خرابی و یا حالت خرابی شانس خیلی زیادی دارد.	زیاد
۲	کنترل طراحی در شناسایی علت خرابی و یا حالت خرابی شانس خیلی زیادی دارد.	خیلی زیاد
۱	کنترل طراحی به طور حتم خرابی و یا حالت خرابی را شناسایی می‌کند.	تقریباً حتمی

○ راهنمایی‌هایی برای انتخاب رتبه تشخیص

با پاسخ به سؤالات زیر می‌توان رتبه تشخیص را با دقت بالاتری تعیین کرد:

۱. این روش کنترل، در گذشته چقدر موفق بوده است؟
۲. این روش در مقایسه با روش‌های کنترلی دیگر، چقدر مؤثر است؟
۳. چه تعداد نمونه با این روش مورد آزمون قرار می‌گیرد؟
۴. کنترل یاد شده چقدر به موقع به کار می‌رود (آیا به اندازه کافی کارایی دارد؟)

اقدام	عملکرد	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	شدت	Class	علل بالقوه خرابی	وقوع	کنترل‌های جاری طراحی	تشخیص	RPN
پوسته خارجی (case) بلبرینگ عملکرد: - تثبیت موقعیت ساچمه‌ها - کمک در حرکت یکنواخت غلشی بلبرینگ - پخش یکنواخت تنش	شکستن پوسته	خراب شدن بلبرینگ - عملکرد سیستم متوقف می‌شود. - ایمنی به مخاطره می‌افتد.	۹	C	وجود تنش پسماند در پوسته بعد از فرم‌دهی	۸	۲	آنالیز تنش به کمک نرم‌افزار	۲	

۳-۹-۱۰. نمره ریسک‌پذیری خرابی (RPN)

- میزان خطر حالت خرابی را نشان می‌دهد.
- از حاصلضرب اعداد «شدت × وقوع × تشخیص» به دست می‌آید.
- این عدد بین مقادیر ۱ ($1 \times 1 \times 1$) تا ۱۰۰۰ ($10 \times 10 \times 10$) است.
- RPN به تنهایی معنایی ندارد. یک شاخص برای اولویت‌بندی حالات خرابی براساس میزان خطرپذیری بالقوه آنهاست و لذا فقط در مقایسه با RPN خرابی‌های دیگر، معنا پیدا می‌کند.

اقدام	عملکرد	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	شدت	Class	علل بالقوه خرابی	وقوع	کنترل‌های جاری طراحی	تشخیص	RPN
پوسته خارجی (case) بلبرینگ عملکرد: - تثبیت موقعیت ساچمه‌ها - کمک در حرکت یکنواخت غلشی بلبرینگ - پخش یکنواخت تنش	شکستن پوسته	خراب شدن بلبرینگ - عملکرد سیستم متوقف می‌شود. - ایمنی به مخاطره می‌افتد.	۹	C	وجود تنش پسماند در پوسته بعد از فرم‌دهی	۸	۲	آنالیز تنش به کمک نرم‌افزار	۲	۱۴۴

۳-۹-۱۱. اقدامات پیشنهادی

- اقدامات پیشنهادی برای حالت خرابی با بالاترین RPN انجام می‌شود.
۱. شروع از ۱۰ درصدی که بیش‌ترین RPN را دارند، اقدامات پیشنهادی انجام شوند.
 ۲. اقدامات پیشنهادی باید به صورت دقیق و روشن به حالت خرابی اشاره کنند.
- هدف اقدامات پیشنهادی: کاهش رتبه شدت، وقوع یا در نهایت رتبه تشخیص است.
 - برای کاهش رتبه شدت:

۱. اثر حالت خرابی را حذف کنید و یا آن را تغییر دهید.

۲. در طراحی قطعه/ محصول بازنگری کنید.

○ برای کاهش رتبه وقوع:

۱. علت‌های خرابی شناسایی شده را برطرف کرده، یا تحت کنترل قرار دهید.

۲. در طراحی قطعه/ محصول بازنگری کنید.

○ برای کاهش رتبه تشخیص:

کنترل‌های جاری طراحی را افزایش یا بهبود دهید (مثال: ارزیابی زود هنگام طرح، افزایش تعداد نمونه‌ها، اضافه کردن ابزارهای تشخیص و ...)

پیشنهاد

پس از تعریف اقدام پیشنهادی، رتبه‌هایی را که حدس می‌زنیم با انجام آن به دست می‌آیند، می‌نویسیم. اگر اقدام یاد شده، شدت یا RPN را به مقدار قابل توجهی؟؟ دهد، اقدام پیشنهادی را انجام می‌دهیم. پس از اجرای اقدام پیشنهادی، رتبه‌های جدید را براساس نتایج به دست آمده، با مقادیر پیش‌بینی شده مقایسه و جایگزین می‌کنیم.

نتایج اقدامات پیشنهادی					مسئولیت پیش‌بینی تاریخ اقدام	اقدامات پیشنهادی	RPN
RPN	تشخیص	وقوع	شدت	نتیجه اجرا			
						طراحی مجدد قالب برای کاهش تنش‌های پسماند	۱۴۴

۳-۹-۱۲. مسئولیت و زمان اجرا

مسئول یا گروه مسئول اجرای اقدامات پیشنهادی و همچنین پیش‌بینی زمان اتمام اقدامات در این ستون ثبت می‌شود. رهبر تیم باید درباره موارد زیر اطمینان پیدا کند.

۱. اقدامات پیشنهادی انجام شده‌اند و نتایج ارزیابی شده است.

۲. تغییرات طراحی با تیم PFMEA مطرح شده است.

۳. در فرم DFMEA تأثیر اقدامات پیشنهادی در رتبه‌های شدت، وقوع و تشخیص، مشخص شده‌اند.

۳-۹-۱۳. نتایج اقدامات انجام شده

- ثبت اقدامات اصلاحی یا پیشگیرانه که عملاً انجام شده است.

- ارزیابی مجدد رتبه‌های شدت، وقوع و تشخیص بعد از انجام اقدامات پیشنهادی و وارد کردن این اعداد در جدول.

RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت پیش‌بینی تاریخ اقدام	نتایج اقدامات پیشنهادی			
			نتیجه اجرا	شدت	وقوع	تشخیص RPN
۱۴۴	طراحی مجدد قالب برای کاهش تنش‌های پسماند	دپارتمان طراحی قالب و ابزار	قالب مجدد طراحی و ساخته شد	۹	۲	۳۶

خلاصه

- DFMEA باید در دوره طول عمر محصول و هر بار که تغییراتی در طرح محصول ایجاد می‌شود، مورد بازنگری قرار گیرد. (به‌عنوان یک مستند زنده)
- DFMEA زمانی که کاربرد جدیدی برای محصول در نظر گرفته می‌شود، باید به روز شود.
- DFMEA باید قبل از نهایی شدن نقشه‌های تجهیزات تولید (ابزارها، گیج‌ها، قالب‌ها و ...) تکمیل شده باشد.

کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در فرایندهای تولید (Process - FMEA)

پیشگفتار

در این فصل، آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن در یک فرایند تولید مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای درک بهتر مطلب و بررسی گام به گام یک فرم PFMEA، مثالی از فرایند رنگ کاری ارائه خواهد شد. با مطالعه این فصل شما قادر خواهید بود برای سؤالات زیر پاسخ مناسب ارائه کنید.

۱. هدف از تهیه PFMEA چیست؟
۲. حالت خرابی در فرایند چیست؟
۳. تعریف Process-PFMEA چیست؟
۴. PFMEA در صنعت خودرو چه کاربردی دارد؟
۵. اجرای PFMEA چه فوایدی به دنبال خواهد داشت؟
۶. برای اجرای PFMEA چه نیازمندی‌هایی وجود دارد؟
۷. مفهوم هریک از ستون‌های یک فرم PFMEA چیست؟

۴-۱. چرا از Process FMEA استفاده می‌کنیم؟

کاهش تغییرات نامطلوب در فرایند، یکی از موضوعات مورد توجه در تولید است. PFMEA یکی از روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان مسائل و مشکلات بالقوه‌ای را که باعث ایجاد تغییرات نامطلوب در فرایند می‌شوند، شناسایی کرد و با تعریف اقدامات اصلاحی مؤثر، مانع از بروز آنها شد.

۴-۲. تعریف حالت خرابی در فرایند

حالت خرابی در فرایند، حالتی است که قطعه در یک عملیات مشخص مردود - یا خراب - شود، یا براساس خصوصیات تعریف شده مورد پذیرش قرار نگیرد.

مثال:

- خارج از مرکز بودن
 - عدم همراهی
 - کثیفی
 - سوراخ نخوردن
 - پوشش نامناسب
 - عدم پوشش کامل رنگ
 - تاول زدگی^۱
 - خمیدگی
 - خارج از اندازه بودن
 - زبری سطح
 - دفرمگی
 - اثر ابزار
- حالت‌های خرابی، حاصل نقص‌ها و اشکالاتی در فرایند هستند. برای مثال، بعضی از نقص‌های فرایند عبارتند از:

- تنظیم نامناسب دستگاه
- روغنکاری ناکافی
- سرعت نامنظم کانوایر
- خراب شدن ابزار یا قیدها
- سرعت زیاد تغذیه مواد اولیه
- بالا بودن دمای کوره

۴-۳. تعریف Process FMEA

PFMEA روشی سیستماتیک است که به منظور شناسایی و اولویت‌بندی و نهایتاً اقدام برای حذف کاستی‌های فرایند - که منجر به بروز حالت‌های خرابی در قطعه می‌شوند - به کار می‌رود.

PFMEA تمامی جوانب یک فرایند تولید را دربرمی‌گیرد که عبارتند از:

- جریان فرایند^۲
 - تجهیزات و ماشین‌آلات
 - آموزش اپراتورها و مونتاژکننده‌ها
 - محیط تولید
 - مواد مصرفی در تولید^۳
- هدف: پیشگیری از تولید محصول نامنطبق

^۱ . Blistered

^۲ . Process flow

^۳ . در این جا منظور، مواد اولیه یا کالای نیمه ساخته ورودی فرایند نیست.

۴-۴. کاربردهای PFMEA

۱. PFMEA به عنوان یکی از عناصر برنامه ریزی کیفی برای:

- فرایندهای تولیدی جدید
- تغییر در فرایندهای جاری
- فرایندهای تولیدی انتقالی به محیطی جدید (انتقال فناوری)
- ۲. روش های حل مسئله
- ۳. برنامه های بهبود مستمر
- به کار می رود.

کاربرد PFMEA در صنعت خودرو

۱. برنامه ریزی کیفیت محصول (APQP): تیم APQP در زمان طراحی محصول جدید و یا توسعه محصول پس از تهیه PFMEA و براساس نتایج آن باید برای فرایند تولید جدید - و یا توسعه فرایند موجود - یک PFMEA تهیه کند.
۲. فرایند تأیید قطعه برای تولید (PPAP): تأمین کنندگان باید قبل از ارسال اولین محموله از قطعات جدید - یک PFMEA برای فرایند تولید خود تهیه و به مشتری ارائه کنند.

۴-۵. فواید بالقوه اجرای PFMEA

۱. خروجی فرایند ثبات بیشتری خواهد داشت.
۲. نرخ ضایعات و دوباره کاری کاهش می یابد.
۳. بهره وری تولید افزایش می یابد.
۴. فرایند تولید (اصطلاحاً) روان تر می شود.
۵. اقدامات لازم برای بهبود فرایند اولویت بندی می شوند.
۶. احساس تشریک مساعی تمام اعضای تیم در موفقیت های به دست آمده افزایش می یابد.
۷. فرصت های استفاده از خلاقیت و ابتکار برای بهبود مستمر فرایند افزایش می یابد.

۴-۶. نیازمندی‌های اجرای PFMEA

۴-۶-۱. تیم PFMEA

مسئول یا مهندس تولید، وظیفه تشکیل تیم PFMEA را برعهده دارد. تیم PFMEA یک تیم تخصصی است که از واحدهای مختلف سازمان در آن عضویت خواهند داشت؛ از جمله:

واحد تولید و مونتاژ

- واحد کیفیت

واحد تعمیرات و نگهداری

- مهندسی تولید و پشتیبانی تولید (انبار مواد اولیه - محصول نهایی)

نمایندگان مشتری

- تأمین‌کنندگان مواد و قطعات

تعداد و ترکیب تیم PFMEA متناسب با فرایند تحت بررسی متفاوت است؛ اما توصیه می‌شود: در ابتدای کار، به منظور جمع‌آوری تمامی اطلاعات مورد نیاز، تمام اعضاء در تیم حضور داشته باشند.

- برای تکمیل، بررسی و تحلیل فرایند (تکمیل فرم PFMEA) یک تیم اصلی که اعضای آن بیش از همه از فرایند شناخت دارند، فعالیت را ادامه دهد.

۴-۶-۲. نقطه شروع کار

اعضای تیم PFMEA در ابتدا باید با قطعه و فرایند تولید آن آشنا شوند. هرچه میزان شناخت آنها بیش‌تر باشد، شناسایی حالت‌های خرابی سریع‌تر بوده و اعضاء بهتر به تفاهم خواهند رسید. اعضای تیم باید از طریق منابع زیر با قطعه و فرایند تولید آشنا شوند. البته وظیفه تهیه منابع و اطلاعات به عهده رهبر تیم است:

۱. نقشه‌های اولیه قطعه

۲. نمونه‌هایی از قطعه که غالباً در نمونه‌سازی به‌دست آمده است یا نمونه‌هایی از قطعات مشابه

۳. DFMEA تهیه شده برای قطعه

۴. نمودار جریان فرایند^۱

۵. گزارش‌های تعمیرات و نگهداری فرایند یا فرایندهای مشابه

۶. PFMEA گذشته برای قطعه قبلی یا قطعات مشابه

^۱ . Process flowchart

۷. نمودار پارتو برای قطعه یا قطعات مشابه

اعضای تیم باید در مورد تعریف واژه‌های کلیدی و همچنین انتخاب رتبه‌های شدت، وقوع و تشخیص توافق داشته باشند.

مراحل تهیه PFMEA

در ادامه مطالب به تشریح یک فرم PFMEA می‌پردازیم. به منظور درک بهتر هریک از ستون‌های فرم، یک مثال مطرح شده که عملیات رنگ‌کاری اولیه در یک فرایند رنگ‌آمیزی است.

۴-۷-۱. معرفی فرایند (عملکرد و نیازمندی‌های آن)^۱

در این ستون، عملیات را با عباراتی مختصر و ساده به شکلی که شامل نیازمندی‌ها و مشخصات فرایند باشد، تشریح کنید؛ مثال:

مونتاژ قطعه نگهدارنده روی بدنه. (گشتاور مجاور 5 ± 30 پوند)

عملیات جوشکاری قطعه A روی قطعه B

پرسکاری برای سایز کردن طول لوله $0.02 + 0.64$

موم‌ریزی به داخل درب

اگر عملیاتی شامل چند مرحله متفاوت باشد که هریک حالات خرابی خاصی دارد، هریک را می‌توان به‌عنوان یک عملیات مجزا در نظر گرفت و آنالیز کرد.

۴-۷-۲. حالات بالقوه خرابی^۲

حالات بالقوه خرابی در قطعه را که در عملیات تعریف شده حادث می‌شوند، شناسایی کنید.

الف- ابتدا حالات خرابی شناخته شده را با کمک منابع و اطلاعات زیر شناسایی کنید:

گزارش‌های رسیده از مصرف‌کنندگان و یا شکایات مشتریان داخلی (اپراتورهای تولید و کارکنان

مرتبط با فرایند) برای محصول مشابه یا قدیمی

گزارش‌های مربوط به خرابی مشاهده شده در قطعه

- مطالعه PFMEAهای گذشته

ب- سپس از طریق طوفان ذهنی و با طرح برخی سؤالات و به کمک نمودار فرایند عملیات، دیگر حالت‌های خرابی بالقوه را پیدا کنید؛ از جمله:

^۱ . Process function / requirement

^۲ . Potential failure mode

۱. چگونه قطعه مورد بررسی نمی‌تواند در این عملیات تیرانس‌های مهندسی را رعایت کند؟ (مثلاً: ابعاد نادرست)
 ۲. اپراتورها در عملیات بعدی چه چیزهای غیرقابل قبولی را پیدا می‌کنند؟ (مثلاً: اثر ابزار بر روی قطعه)
 ۳. مصرف‌کننده (مشتري نهایی) چه چیزهای غیرقابل قبولی را تجربه و یا پیدا می‌کند. (مثلاً: ظاهر نامناسب، لقی، سروصدا و ...)
 ۴. چگونه قطعه تولیدی در عملیات‌های بعدی می‌تواند مشکل‌ساز باشد؟
 ۵. چه اتفاقی در این مرحله از فرایند رخ می‌دهد که باعث می‌شود قطعه مورد پذیرش واقع نشود؟ (هرچند مطابق مشخصات فنی است). مثال: در فرایند پانچ پلیسه وجود دارد؟ اما ابعاد قطعه مطابق نقشه است.
- پ - اثر حالات خرابی در عملیات‌های قبلی را مورد توجه قرار دهید، چرا که اثر یک حالت خرابی در عملیات‌های آغازین، می‌تواند بازگوکننده حالات خرابی در مراحل بعدی باشد. (البته حالت خرابی عملیات‌های بعدی، از خرابی عملیات آغازین ناشی نمی‌شوند برای درک بهتر به مثال زیر توجه کنید.)

عملیات	حالت خرابی	اثر خرابی	علت خرابی
دوربری	وجود پلیسه در لبه‌ها	- خراب شدن قطعه	کند شدن قالب
...	...	- عملیات مونتاژ به خوبی انجام نمی‌شود	...
عملیات مونتاژ	سختی در مونتاژ	...	خرابی فیکسچر مونتاژ*

* (علت خرابی، پلیسه داشتن لبه‌های قطعه نیست، چون در تهیه PFMEA فرض می‌شود که مواد ورودی سالم است (به قسمت ۴-۶ مراجعه کنید).)

عملیات نیازمندی‌ها	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	تدوین	Class	علل بالقوه خرابی	تجهیز	کنترل‌های جاری فرایند	تفصیل	RPN
اسپری اولیه - ایجاد پوشش با ضخامت مشخص شده برای چسبندگی مناسب رنگ	کثیف شدن سطح اسپری شده								

۴-۷-۳. آثار بالقوه خرابی^۱

آثار بالقوه، نتیجه و پیامد حالات خرابی است که در عملیات بعدی و یا مشتری نهایی بروز می‌کند. مانند:

حالت خرابی	اثر آن بر عملیات بعدی	اثر آن بر روی مشتری نهایی
خارج از مرکز بودن سوراخ	قطعه در مرحله مونتاژ، مونتاژ — نمی‌شود.	
گشادی قطعه	—	صدا می‌دهد (نارضایی مشتری)
خرابی سطح	—	مصرف‌کننده از ظاهر نامناسب ناراضی است

در تهیه PFMEA آثار خرابی را از سه منظر مورد بررسی قرار دهید:

- الف- اثر حالت خرابی بر محصول (مثال: ضایع شدن قطعه- انجام دوباره کاری روی قطعه).
 - ب- اثر خرابی بر فرایندهای بعدی (مشتری داخلی و احتمال به مخاطره افتادن ایمنی اپراتورهای تولید. (مثال: قابل مونتاژ نیست - فرایند بعدی متوقف می‌شود- اپراتور در معرض آسیب شدید قرار می‌گیرد).
 - پ- اثر خرابی بر مشتری نهایی (مصرف‌کننده خودرو) و نیز تطابق نداشتن با استانداردهای ملی. همچنین اثر خرابی در شرکت‌های مجموعه‌ساز و یا شرکت‌های خودروساز (خط مونتاژ).
- ابتدا با مروری بر PFMEA های قبلی، گزارش‌های خدمات پس از فروش و دیگر مدارک و مستندات، آثار شناخته شده را گردآوری کنید.

¹ . Potential effect of failure

سپس با طرح سؤالات زیر از طریق طوفان ذهنی، دیگر آثار بالقوه را شناسایی کنید:

۱. چگونه این حالت خرابی بر عملکرد فعالیت یا فعالیت‌های بعدی اثر می‌گذارد؟
 ۲. تجربه مشتری نهایی از بروز این خرابی چیست (مشتری نهایی با چه مشکلی مواجه می‌شود؟)
- آثار خرابی را با عباراتی ساده و دقیق بیان کنید. همچنین توجه کنید که آثار خرابی از سه دیدگاه فوق با یکدیگر ادغام نشوند؛ زیرا هر اثر خرابی در هر منظر تبعات خاص خود را دارد که در هنگام تعیین رتبه شدت به‌طور جداگانه بررسی خواهند شد.
- توجه: آثار خرابی از تجارب مشتری منتج می‌شود، لذا در تعیین آثار خرابی، بررسی نظر نمایندگان مشتری- و یا حضور آنها در جلسات تیم - الزامی است.

عملیات نیازمندی‌ها	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	رتبه	Class	علل بالقوه خرابی	کنترل‌های جاری فرایند	تفصیل RPN
اسپری اولیه -ایجاد پوشش با ضخامت مشخص شده برای چسبندگی مناسب رنگ	کثیف شدن سطح اسپری شده	خراب شدن سطح رنگ شده					

۴-۷-۴. شدت^۱

شدت، عبارت است از رتبه‌ای که نشان‌دهنده میزان حاد بودن اثر خرابی بر محصول و یا مشتری (داخلی یا خارجی) است. برای انتخاب رتبه شدت، ابتدا تیم FMEA باید یک راهنمای رتبه‌بندی تهیه کند. نمونه‌ای از راهنمای انتخاب رتبه شدت که در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده در جدول ۴-۱ ارائه شده است. با استفاده از مقیاس تعریف شده توسط تیم، برای هر اثر خرابی، با توجه به بحرانی بودن آن، یک رتبه شدت تخمین زده می‌شود.

○ توجه: مطمئن شوید که اعضای تیم در مورد این رتبه‌بندی توافق کامل دارند و آنها را به‌کار می‌بندند.

^۱ . Severity

عملیات	نیازمندی‌ها	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	رتبه	Class	علل بالقوه خرابی	کنترل‌های جاری فرایند	تشخیص	RPN
اسپری اولیه	-ایجاد پوشش با ضخامت مشخص شده برای چسبندگی مناسب رنگ	کثیف شدن سطح اسپری شده	خراب شدن سطح رنگ شده	۷					

جدول ۴ - ۱: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه شدت

اثر خرابی	معیار شدت اثر / (مصرف‌کننده نهایی)	این رتبه به اثر یک حالت بالقوه خرابی بر مشتری نهایی و یا اثر خرابی در فعالیت‌های تولیدی و یا مونتاژ در محل تولید، اختصاص می‌یابد، مشتری نهایی باید همواره در ابتدا در نظر گرفته شود. اگر هر دو اثر رخ دهد، بزرگ‌ترین رتبه را به اثر خرابی اختصاص دهید.	رتبه
به خطر افتادن ایمنی بدون هشدار	حالت خرابی عملکرد ایمن خودرو / محصول را بدون هشدار به مخاطره می‌اندازد و یا بدون هشدار قبلی استانداردهای اجباری و قانونی رعایت نشود. رتبه شدت خیلی بالا	حالت خرابی به اپراتور (ماشین یا فرآیند مونتاژ) بدون هشدار آسیب برساند.	۱۰
به خطر افتادن ایمنی با هشدار	حالت خرابی عملکرد ایمن خودرو / محصول را با اعلان هشدار قبلی به مخاطره می‌اندازد و یا با اعلان هشدار استانداردهای اجباری و قانونی رعایت نشود. رتبه شدت خیلی بالا	حالت خرابی به اپراتور (ماشین یا فرآیند مونتاژ) با اعلان هشدار آسیب برساند.	۹
بسیار زیاد	عملکرد اصلی خودرو / محصول کاملاً از بین می‌رود.	و یا ممکن است ۱۰۰ درصد محصولات ضایع شوند و یا خودرو / محصول نیاز به تعمیر (در واحد تعمیرات) داشته و زمان تعمیر بیش‌تر از یک ساعت باشد.	۸
زیاد	خودرو / محصول قابل استفاده است اما در سطح پایینی از عملکرد، مشتری بسیار ناراضی است.	یا ممکن است محصول نیاز به درجه‌بندی داشته باشد و بخشی از آن (کم‌تر از ۱۰۰ درصد) ضایع شود. و یا خودرو / محصول نیاز به تعمیر (در واحد تعمیرات) داشته و زمان تعمیر بین نیم و یک ساعت باشد.	۷
متوسط	خودرو / محصول قابل استفاده است (سطح عملکرد پایین) و آیتم‌های مرتبط با راحتی مشتری غیرقابل استفاده‌اند. مشتری ناراضی است.	یا بخشی از محصول (کم‌تر از ۱۰۰ درصد) ضایع شود و نیاز به درجه‌بندی آن نیست. خودرو / محصول نیاز به تعمیر (در واحد تعمیرات) داشته و زمان تعمیر کم‌تر از نیم ساعت باشد.	۶
کم	خودرو / محصول قابل استفاده است اما آیتم‌های مرتبط با راحتی مشتری در سطح عملکرد پایینی هستند. مشتری ناراضی است.	یا ۱۰۰ درصد محصول نیاز به دوباره‌کاری دارند. و یا خودرو / محصول در همان محل تولید نیاز به تعمیر دارد.	۵
خیلی کم	آیتم‌های مربوط به مناسب بودن و کیفیت نهایی خودرو / محصول رعایت نشده است. اکثر مشتریان (بیش از ۷۵ درصد) این عیوب را متوجه می‌شوند.	و یا محصول تولیدی نیاز به درجه‌بندی دارد بدون هیچ ضایعاتی و بخشی از محصول (کم‌تر از ۱۰۰ درصد) نیاز به دوباره‌کاری دارند.	۴
ناچیز	آیتم‌های مربوط به مناسب بودن و کیفیت نهایی خودرو / محصول رعایت نشده است. ۵۰ درصد مشتریان این عیوب را متوجه می‌شوند.	بدون ایجاد ضایعات، فقط بخشی از محصول تولیدی (کم‌تر از ۱۰۰ درصد) نیاز به دوباره‌کاری دارند. انجام دوباره‌کاری به طور هم‌زمان اما در خارج از ایستگاه تولیدی.	۳
خیلی ناچیز	آیتم‌های مربوط به مناسب بودن و کیفیت نهایی خودرو / محصول رعایت نشده است. کم‌تر از ۲۵ درصد مشتریان این عیوب را متوجه می‌شوند.	بدون ایجاد ضایعات، فقط بخشی از محصول تولیدی (کم‌تر از ۱۰۰ درصد) نیاز به دوباره‌کاری دارند. انجام دوباره‌کاری به طور هم‌زمان و در همان ایستگاه تولیدی.	۲
هیچ	هیچ اثری ندارد.	بدون اثر و یا اثر بسیار ناچیزی بر عملیات تولیدی دارد.	۱

در این ستون، آن دسته از مشخصات مهم و بااهمیت محصول (قطعه) که بر ایمنی محصول و یا تطابق با استانداردهای ملی و دولتی و نیز رضایتمندی مشتری، اثر مستقیم دارند، با علامت خاصی شناسایی می‌شوند. این مشخصات در فرایندهای ساخت، مونتاژ، بازرسی، حمل‌ونقل و دیگر زمینه‌ها، نیاز به کنترل‌های ویژه خواهند داشت.

این مشخصات ابتدا در DFMEA تعریف شده‌اند. اگر کنترل‌های مرسوم کافی نباشند، باید کنترل‌های ویژه‌ای تعیین و در برنامه کنترل منظور شود. انتخاب رتبه‌های ۹ و ۱۰ شدت برای یک حالت خرابی، نشان‌دهنده وجود یک مشخصه بحرانی در محصول است.

۴-۷-۵. علل بالقوه خرابی^۲

علل بالقوه خرابی عبارتند از نقص‌ها، کمبودها و اشکالات فرایند که موجب بروز خرابی در قطعه می‌شوند، آنها را برحسب مشخصاتی از فرایند بیان کنید، به‌گونه‌ای که امکان کنترل و اصلاح وجود داشته باشد؛ مثل:

- دما بسیار پایین است.
- فشار هوا بسیار پایین است.
- پیشروی ابزار مناسب تنظیم نشده است.

در پیدا کردن علل بالقوه فرض می‌شود که مواد یا قطعات ورودی سالم هستند و از این‌رو علل خرابی باید در خود فرایند جست‌وجو شوند (سرعت تغذیه مواد خیلی زیاد است، زمان واکنش خیلی کوتاه است و ...)

در تعیین علل خرابی، علل ریشه‌ای را جست‌وجو کنید، به‌طوری که بتوان با تعریف اقدامات اساسی، آنها را برای همیشه رفع کرد. توجه کنید که برای یک خرابی بالقوه ممکن است چندین علت وجود داشته باشد. بنابراین تمامی علل ریشه‌ای را تا حد امکان فهرست کنید. همچنین علل بالقوه را به‌طور مشخص و واضح بیان کنید. (مثال: خطای اپراتور در تنظیم دستگاه) و از به‌کار بردن عبارات مبهم پرهیزید (مثل خطای اپراتور، خرابی دستگاه).

ابتدا علل شناخته شده را براساس PFMEAهای قبلی یا دیگر گزارش‌ها تعیین کنید. سپس بقیه علل را با طرح چند سؤال و از طریق طوفان ذهنی و نمودار علت و معلول تعیین کنید؛ مثلاً:

۱. چرا قطعه تولیدی در فرایند تحت بررسی خراب می‌شود؟

^۱ . Classification

^۲ . Potential causes/ mechanism of failure

۲. چه مشخصه‌هایی از فرایند باعث ایجاد حالت خرابی می‌شوند؟
۳. منابع تغییرات در فرایند (تغییر در ابزار، ماشین‌آلات، اپراتور و ...) چه هستند؟
۴. چه عواملی باعث می‌شوند که فرایند خارج از کنترل شود؟
- اگر به نظر برسد که علت حالت خرابی از فرایند نیست و حاصل مواد ورودی است، آن مورد را به اطلاع تأمین‌کننده مربوطه برسانید. همچنین PFMEAهای فرایند قبلی را مجدد بررسی کنید تا مشکلات بالقوه حاصل از مواد ورودی - که خروجی فرایندهای قبلی هستند - مشخص شود.

RPN	تشخیص	کنترل‌های جاری فرایند	علل بالقوه خرابی	Class	اثر خرابی بالقوه	حالات خرابی بالقوه	عملیات
							نیازمندی‌ها
			تمیز نبودن نوک اسپری و پاشش بیش از حد		۷ خراب شدن سطح رنگ شده	کثیف شدن سطح اسپری شده	اسپری اولیه - ایجاد پوشش با ضخامت مشخص شده برای چسبندگی مناسب رنگ

۴-۷-۷. رتبه وقوع

عدد وقوع، تخمینی است از فراوانی حالات خرابی ناشی از علت تحت بررسی که همان نقص‌های مربوط به تولید است. به تعبیر دیگر، عدد وقوع، رتبه‌ای است در ارتباط با احتمال رخ دادن یک علت خرابی. بنابراین، وقوع، مفهومی نسبی است که نرخ حالت خرابی ناشی از یک علت را نشان می‌دهد. برای تخمین رتبه وقوع، ابتدا باید یک راهنمای رتبه‌بندی توسط تیم تهیه شود. نمونه‌ای از راهنمای رتبه‌بندی وقوع که در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده در جدول ۴-۲ آمده است.

برای تخمین وقوع، اطلاعات آماری فرایندهای مشابه را مرور کنید؛ مانند:

- مقدار CP_K
 - تعداد خرابی در ۱۰۰۰ قطعه
 - نسبت خرابی‌ها و دوباره‌کاری‌ها
- اگر داده‌ها غیرقابل اندازه‌گیری بودند و یا در دسترس نبودند، عدد وقوع را براساس توضیحات داده شده در سمت چپ جدول وقوع رتبه‌بندی کنید.
- توجه: تیم PFMEA باید برای هریک از علل خرابی یک رتبه وقوع انتخاب کند.
- توجه: مطمئن شوید که اعضای تیم در مورد اعداد وقوع اتفاق نظر دارند و آنها را به کار خواهند بست.

عملیات نیازمندی‌ها	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	شدت	Class	علل بالقوه خرابی	کنترل‌های جاری طراحی	RPN
اسپری اولیه - ایجاد پوشش با ضخامت مشخص شده برای چسبندگی مناسب رنگ	کثیف شدن سطح اسپری شده	خراب شدن سطح رنگ شده	۷		تمیز نبودن نوک اسپری و پاشش بیش از حد	۸	

جدول ۴-۲: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه وقوع

رتبه وقوع	نرخ خرابی محتمل	احتمال خرابی
۱۰	نرخ خرابی بیش‌تر از ۱۰۰ در ۱۰۰۰ مورد است	خیلی زیاد: خرابی‌های مداوم
۹	نرخ خرابی ۵۰ در ۱۰۰۰ مورد است.	
۸	نرخ خرابی ۲۰ در ۱۰۰۰ مورد است	زیاد: خرابی به طور نسبی وجود دارد
۷	نرخ خرابی ۱۰ در ۱۰۰۰ مورد است	
۶	نرخ خرابی ۵ در ۱۰۰۰ مورد است	متوسط: خرابی‌های گاه و بی‌گاه
۵	نرخ خرابی ۲ در ۱۰۰۰ مورد است	
۴	نرخ خرابی ۱ در ۱۰۰۰ مورد است	
۳	نرخ خرابی ۰/۵ در ۱۰۰۰ مورد است	کم: خرابی به ندرت اتفاق می‌افتد
۲	نرخ خرابی ۰/۱ در ۱۰۰۰ مورد است	
۱	نرخ خرابی کمتر از ۰/۰۱ در ۱۰۰۰ مورد است	غیرمحتمل: وقوع خرابی بسیار بعید است

۴-۷-۸. کنترل‌های جاری فرایند^۱

این کنترل‌ها، روش‌ها و یا تکنیک‌هایی هستند که به منظور پیشگیری از خرابی یا علل خرابی و یا شناسایی خرابی یا علل آن، در همان ایستگاه تولید و یا ایستگاه‌های بعدی- قبل از خروج محصول از فرایند- به کار می‌روند. این روش‌ها می‌توانند کنترل روی فرایند، مثل SPC، خطانپذیری و یا روش‌های ارزیابی ستانده فرایند^۲ یا بازرسی منطقه‌ای باشند.^۳ بعضی از روش‌های کنترل عبارتند از:

^۱ . Current Process control

^۲ . Post-process evaluation

^۳ . در استاندارد QS9000 (بازنگری سوم راهنمای اجرای FMEA) روش‌های کنترل فرایند به دو دسته تقسیم شده‌اند.

الف- روش‌های کنترلی پیشگیرانه (Prevention) که از بروز خرابی و یا علل آن پیشگیری می‌کنند و با نرخ وقوع آنها را کاهش می‌دهند.

ب- روش‌های کنترلی تشخیصی (Detection) که به منظور شناسایی خرابی‌ها و یا علل خرابی به کار می‌روند و گاه به کمک آنها می‌توان اقدام اصلاحی مناسبی را تعریف کرد.

- فیکسچرهای جلوگیری از خرابی
- تصدیق تنظیم بودن فرایند
- بازرسی چشمی محصول
- سیستم‌های اخطار

در مقابل هریک از علل خرابی، تمامی کنترل‌های جاری فرایند را در ستون کنترل‌های جاری فهرست کنید. ممکن است بعضی از کنترل‌های جاری فرایند بتوانند علاوه بر شناسایی خرابی، نرخ وقوع آن را نیز کاهش دهند. مثلاً کنترل فرایند به کمک نمودارهای کنترل^۱ قادر به شناسایی علل خرابی و پیشگیری از بروز آنهاست. استفاده از روش‌های خطاناپذیری^۲ نمونه‌ای دیگر است. در چنین مواردی، وجود این کنترل‌ها، نرخ خرابی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند رتبه وقوع علت خرابی را کاهش دهد.

نکات قابل توجه

۱- در بعضی موارد، ممکن است مجموعه‌ای از فعالیت‌های اجرایی برای جلوگیری از خرابی در فرایندهای تولیدی به‌کار روند که می‌توانند تحت عنوان «روش‌های کنترل» قرار گیرند. این فعالیت‌ها فقط بر کاهش رتبه وقوع اثر می‌گذارند، و اگر در ستون کنترل‌های جاری نوشته شوند، رتبه تشخیص به آنها تعلق نمی‌گیرد. به عبارت دیگر، این روش‌های کنترل از نوع پیشگیرانه بوده و قادر به شناسایی خرابی نیستند. بعضی از این فعالیت‌ها عبارتند از:

- برنامه‌های نگهداری و تعمیرات دوره‌ای ماشین‌آلات
- سرویس‌های دوره‌ای قالب
- کالیبراسیون دوره‌ای ابزارها و تجهیزات

۲. ممکن است برای یک حالت (یا علت) خرابی در یک فرایند تولید، چندین کنترل تعریف شده باشد. در این صورت برای آن خرابی، تمام کنترل‌ها را در ستون کنترل‌های جاری فهرست کنید.

مثال: برای کنترل حالت خرابی X روش‌های زیر وجود دارد:

الف- کنترل چشمی توسط اپراتور فرایند هر ساعت ۱۰ عدد

ب- کنترل یک پالت تولید شده توسط QC با AQL ۱٪

ج- کنترل نهایی در ایستگاه بازرسی نهایی

^۱. Control charts

^۲. Mistake proofing detection

در زمان تهیه FMEA باید برای حالت خرابی X در ستون کنترل‌های جاری، هر سه کنترل فوق فهرست شوند.

۳. پس از ثبت تمامی کنترل‌های جاری فرایند، آنها را مورد بازرسی قرار دهید تا دریابید آیا تأثیری بر رتبه‌های وقوع دارند یا خیر؟

۴. فقط کنترل‌هایی که در گذشته انجام می‌شده‌اند - و یا در فرایندهای مشابه استفاده می‌شوند - را ثبت کنید. برای ایده گرفتن، PFMEAهای انجام شده در فرایندهای مشابه را مطالعه کنید.

عملیات نیازمندی‌ها	حالات خرابی بالقوه	اثر خرابی بالقوه	Class	علل بالقوه خرابی	کنترل‌های جاری فرایند	تشخیص RPN
اسپری اولیه - ایجاد پوشش با ضخامت مشخص شده برای چسبندگی مناسب رنگ	کثیف شدن سطح اسپری شده	خراب شدن سطح رنگ شده	۷	تمیز نبودن نوک اسپری و پاشش بیش از حد	بازرسی و تمیز کردن اسپری توسط واحد تعمیرات	

۴-۷-۹. رتبه تشخیص (Detection)

تشخیص، برآوردی است از شانس اینکه کنترل (کنترل‌های) جاری بتواند حالت خرابی (یا علت خرابی) را قبل از اینکه قطعه از فرایند تولید یا مونتاژ خارج شود، شناسایی کند. در تعیین رتبه تشخیص باید قابلیت و توانایی این کنترل‌ها را در کشف حالت یا علت خرابی بررسی کرد. هرگز تصور نکنید که به‌خاطر پایین بودن رتبه وقوع، رتبه تشخیص نیز پایین است، بلکه فرض کنید که خرابی حادث شده است و سپس به قضاوت در مورد توانایی‌های کنترل‌های جاری پردازید.

برای انتخاب رتبه تشخیص، تیم ابتدا باید یک راهنمای رتبه‌بندی تشخیص تهیه کند. نمونه‌ای از این مقیاس رتبه‌بندی در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده که در جدول ۴-۳ ارائه شده است.

○ برای کنترل‌های جاری که جلوی هر خرابی در ستون مربوطه فهرست شده‌اند، یک رتبه تشخیص تعیین کنید.

○ توجه: هر روش کنترلی، محدودیت‌هایی دارد. در زمان تعیین رتبه تشخیص، عوامل قابل توجه عبارتند از:

- چه اطمینانی از کالیبراسیون گیج دارید؟ (در چه دوره‌هایی کالیبراسیون انجام می‌شود؟)
- چقدر به اپراتور اطمینان دارید؟ (اپراتور چقدر توانایی دارد؟)
- آیا کنترل، سیستم بازخورد دارد؟

○ در زمان تعیین رتبه تشخیص در PFMEA به نکات زیر توجه داشته باشید:

۱. هرگز تصور نکنید که به خاطر پایین بودن رتبه وقوع، تشخیص، رتبه پایینی خواهد داشت، زیرا بین این شاخص‌ها هیچ رابطه‌ای وجود ندارد.
۲. اعضای تیم PFMEA باید کارا بودن روش‌های کنترلی را براساس موارد زیر در نظر بگیرند، حتی اگر کنترل ۱۰۰ درصد خودکار باشد:
 - وضعیت تجهیزات آزمون
 - شرایط و ویژگی‌های کنترل
 - کالیبراسیون گیج‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری
 - میزان تکرارپذیری، تکثیرپذیری و نوسانهای موجود در سنج‌ها (بررسی R&R %)
 - احتمال خراب شدن سیستم اندازه‌گیری

جدول ۴-۳: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه تشخیص

رتبه	بعضی از متدهای تشخیصی پیشنهادی	نوع روش‌های بازرسی			معیار تشخیص	تشخیص
		C	B	A		
۱۰	کنترل موجود قادر به شناسایی نیست و یا هیچ کنترلی وجود ندارد.	x			کنترل / کنترل‌ها به طور حتم فاقد شناسایی هستند	تقریباً غیرممکن
۹	کنترل فقط به صورت تصادفی و رندم انجام می‌شود.	x			کنترل / کنترل‌ها احتمالاً قادر به تشخیص نیستند.	خیلی بعید است
۸	کنترل فقط به صورت بازرسی چشمی (۱۰۰ درصد) انجام می‌شود.	x			کنترل / کنترل‌ها شانس ضعیفی در تشخیص دارند.	بعید است
۷	کنترل فقط به صورت دو بار بازرسی چشمی (۱۰۰ درصد) انجام می‌شود.	x			کنترل / کنترل‌ها شانس ضعیفی در تشخیص دارند.	خیلی کم
۶	کنترل با استفاده از روش‌های نموداری مثل SPC (وصفی و یا کمی) انجام می‌شود.	x	x		کنترل / کنترل‌ها ممکن است قادر به تشخیص باشند.	کم
۵	کنترل با استفاده از ابزارهای کمی و پس از ترک قطعات از ایستگاه تولید، انجام می‌گیرد (۱۰۰ درصد) و یا با استفاده از گیج‌های برو / نرو ۱۰۰ درصد قطعات بازرسی می‌شوند.		x		کنترل / کنترل‌ها ممکن است قادر به تشخیص باشند.	متوسط
۴	استفاده از مکانیزم شناسایی خرابی در عملیات بعدی (مکانیزم خطاناپذیری در عملیات بعدی) و یا استفاده از روش‌های کمی در تنظیم اولیه عملیات و کنترل قطعات اولیه تولید (فقط برای علل خرابی ناشی از عدم تنظیم اولیه)		x	x	کنترل / کنترل‌ها شانس زیادی در تشخیص دارند.	نسبتاً زیاد

۳. اگر بازرسی ۱۰۰ درصد چشمی، از کنترل‌های موجود است، تیم PFMEA میزان کارایی این کنترل را براساس موارد زیر در نظر بگیرد:

الف- بازرسی ۱۰۰ درصد چشمی، بین ۷۹ تا ۱۰۰ درصد کارایی دارد که البته به شرایط بازرسی و مهارت بازرس بستگی دارد.

ب- چگونه نتایج بازرسی توسط بازرس مونیتور می‌شود؟

- ج- طبیعت و ماهیت خرابی چگونه است؟ آیا ممکن است که حالت خرابی مبهم و یا ناشناخته باشد، به طوری که روش بازرسی به توانایی بسیار بالا نیازمند باشد (تجربه و آموزش بیشتر)؟ و یا اینکه به قدری واضح و مشخص است که هرکس به راحتی می تواند آن را شناسایی کند؟
- به کمک روش طوفان ذهنی و طرح سؤالاتی رتبه مناسب تشخیص را تخمین بزنید؛ مثل:
- کنترل جاری چقدر می تواند علت خرابی را شناسایی کند؟
 - آیا کنترل برای علت خرابی است یا حالت خرابی؟
- مطمئن شوید که اعضای تیم در مورد رتبه های تشخیص توافق نظر دارند و آنها را به کار خواهند بست.

RPN	تشخیص	کنترل های جاری فرایند	رتبه	بالقوه خرابی	Class	رتبه	اثر خرابی بالقوه	حالات خرابی بالقوه	عملیات
									نیازمندی ها
	۵	بازرسی و تمیز کردن توسط واحد تعمیرات	۸	تمیز نبودن نوک اسپری و پاشش بیش از حد		۷	خراب شدن سطح رنگ شده	کثیف شدن سطح اسپری شده	اسپری اولیه - ایجاد پوشش با ضخامت مشخص شده برای چسبندگی مناسب رنگ

۴-۷-۱۰. محاسبه نمره ریسک پذیری خرابی (RPN)

این محاسبه مربوط است به اندازه گیری میزان خطرپذیری حالت خرابی، و از حاصل ضرب اعداد شدت، وقوع و تشخیص به دست می آید. عدد RPN بین ۱ و ۱۰۰۰ است.

RPN به تنهایی معنا ندارد و فقط با مقایسه RPN های دیگر معنا پیدا می کند تا مشخص شود کدام حالت خرابی، بیشترین خطرپذیری را دارد.

RPN	تشخیص	کنترل های جاری فرایند	رتبه	علل بالقوه خرابی	Class	رتبه	اثر خرابی بالقوه	حالات خرابی بالقوه	عملیات
									نیازمندی ها
۲۸۰	۵	بازرسی و تمیز کردن توسط واحد تعمیرات	۸	تمیز نبودن نوک اسپری و پاشش بیش از حد		۷	خراب شدن سطح رنگ شده	کثیف شدن سطح اسپری شده	اسپری اولیه - ایجاد پوشش با ضخامت مشخص شده برای چسبندگی مناسب رنگ

۴-۷-۱۱. اقدامات پیشنهادی / اصلاحی (Recommended Actions)

تهیه فرم FMEA بدون اجرای اقدامات پیشنهادی، بی‌معناست. اقدامات پیشنهادی روی خرابی‌های با بالاترین میزان خطرپذیری انجام می‌شود. به این منظور ابتدا بر خرابی‌هایی که بالاترین مقدار RPN را دارند، تمرکز کنید. علاوه بر این در شرایط زیر نیز اقدامات پیشنهادی «باید» صورت پذیرد.

عدد شدت ۹ یا ۱۰ باشد

حاصلضرب شدت در وقوع بالا باشد

اثر خرابی برای کارکنان تولیدی مخاطره‌آمیز باشد

○ هدف: به ترتیب اولویت کاهش رتبه‌های شدت، وقوع و تشخیص است.

○ کاهش شدت فقط با تغییر طراحی محصول یا فرایند انجام می‌شود.

○ برای کاهش وقوع دو حالت ممکن است:

۱. علل خرابی را از بین ببرید یا تحت کنترل درآورید (با انجام یک مطالعه جهت‌دار درخصوص فرایند تولید و با استفاده از تکنیک‌های آماری، همچون DOE و استفاده از بازخوردهای آن، می‌توان در قالب یک برنامه بهبود مستمر، رتبه وقوع را کاهش داد).

۲. تغییر در طراحی محصول یا فرایند تولید

○ برای کاهش تشخیص نیز دو حالت ممکن است:

۱. افزایش یا بهبود روش کنترل جاری به‌عنوان یک فعالیت موقتی، چون افزایش کنترل‌ها هزینه‌زاست؛ مثل افزایش دفعات نمونه‌گیری، افزایش اندازه نمونه، اضافه کردن کنترل جدید و ...

۲. اعمال کنترل روی علت خرابی؛ مثلاً استفاده از روش‌های خطاناپذیرسازی. در این حالت، وقوع نیز کاهش پیدا می‌کند.

RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت/پیش‌بینی تاریخ اتمام	نتایج اقدامات پیشنهادی			
			نتیجه اجرا	شدت	وقوع	تشخیص RPN
۲۸۰	اجرای برنامه PM و تهیه گزارش‌های مربوط					

۴-۷-۱۲. مسئول و زمان اقدام پیشنهادی

شخص یا گروهی را برای انجام اقدامات پیشنهادی مشخص کنید.

زمانی را که اقدامات پیشنهادی تکمیل خواهد شد، ثبت کنید.

RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت/پیش‌بینی	نتایج اقدامات پیشنهادی			
			نتیجه اجرا	شدت	وقوع	تشخیص RPN
۲۸۰	اجرای برنامه PM و تهیه گزارش‌های مربوط	واحد تعمیرات XX/۵/۳۰				

۴-۷-۱۳. نتایج اقدامات پیشنهادی

- عملی را که برای اصلاح فرایند انجام داده‌اید، ثبت کنید.
- پس از انجام اقدام پیشنهادی و مشاهده نتایج، بار دیگر اعداد شدت، وقوع و تشخیص را ارزیابی کنید.
- مسئول پروژه PFMEA باید اطمینان پیدا کند که تکمیل اقدامات پیشنهادی در تغییر رتبه‌های فرم PFMEA مؤثر بوده است.
- تهیه فرم FMEA بدون اجرای اقدام پیشنهادی، بی‌معناست.

RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت/پیش‌بینی	نتایج اقدامات پیشنهادی			
			نتیجه اجرا	شدت	وقوع	تشخیص RPN
۲۸۰	اجرای برنامه PM و تهیه گزارش‌های مربوط	واحد تعمیرات XX/۵/۳۰	طراحی و اجرای برنامه PM از تاریخ XX/۶/۱	۷	۳	۵
۱۰۵						

خلاصه

- فرم PFMEA در طی زمان تولید باید بازنگری شود.
- PFMEA باید همیشه بازخوردی از آخرین وضعیت فرایند داشته باشد.

راه‌حل‌هایی برای انتخاب رتبه تشخیص مناسب

سوال ۱:

اگر چند کنترل روی یک حالت خرابی وجود داشته باشد، مثلاً چند نفر پشت سرهم به یک شیوه یا شیوه‌های مختلف یک مورد را کنترل کنند، آیا برای هر کنترل باید یک رتبه تشخیص در نظر گرفت؟

پاسخ ۱:

خیر، اگر یک خرابی در طول فرایند چندبار کنترل می‌شود، به تمام کنترل‌ها، یک عدد تشخیص داده می‌شود. پرسشی که در این حالت مطرح می‌شود، این است که قابلیت و توانایی سیستم کنترلی موجود برای کشف خرابی (حالت یا علت خرابی) چه مقدار است. حاصل پاسخ به این پرسش، رتبه تشخیص است. پیشنهاد می‌شود که یک کنترل را تقویت کرده، بقیه کنترل‌ها حذف گردند.

سوال ۲:

سیستم دارای کنترل روی حالت خرابی و با قدرت تشخیص بالاست. رتبه وقوع بالا و اقدام پیشنهادی، کنترل یکی از علل خرابی است (مثلاً اجرای SPC) رتبه تشخیص چه می‌شود؟

پاسخ ۲:

اضافه نمودن کنترل روی علت خرابی موجب می‌شود که رتبه تشخیص آن علت کاهش یابد، اما تأثیری بر رتبه تشخیص دیگر علل ندارد. چنانچه کنترل، اقدام پیشگیرانه‌ای روی علت خرابی داشته باشد، رتبه وقوع نیز کاهش می‌یابد.



کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در طراحی ماشین‌آلات و ابزارهای تولید (Machinery- FMEA)

پیشگفتار

در این فصل، آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن در یک ماشین تولیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای درک بهتر مطالب و بررسی گام‌به‌گام یک فرم MFMEA، مثالی از یک ماشین «بورینگ» مطرح خواهد شد.

با مطالعه این فصل، شما قادر خواهید بود به سؤالات زیر پاسخ بدهید:

۱. هدف از تهیه MFMEA چیست؟
۲. حالت خرابی در ماشین چیست؟
۳. اجرای MFMEA چه فوایدی به دنبال خواهد داشت؟
۴. تشریح مفاهیم ستون‌های یک فرم MFMEA چگونه است؟

۵-۱. تعریف MFMEA

MFMEA همانند DFMEA است و در فاز طراحی به کار می‌رود، ولی به دلیل شرایط خاص طراحی یک ماشین، از قوانین خود تبعیت می‌کند. عموماً در دو مورد از MFMEA استفاده می‌شود:

زمانی که حجم طراحی خیلی کم است و به دست آوردن آمار خرابی بر روی نمونه‌های اولیه عملی نیست و به عبارت دیگر، تعداد ماشین‌های حاصل از طراحی بسیار پایین است و نمونه‌سازی منطقی و عملی نیست.

وقتی که زمان مصرف محصول حاصل از طراحی، خیلی طولانی است. مثلاً یک ماشین تراش برای مصرف در طی ۱۰ سال طراحی می‌شود.

- قبل از اینکه بحث در مورد MFMEA را شروع کنیم ضروری است با اصطلاحات رده‌بندی یک دستگاه آشنا شویم. تقسیم‌بندی یک دستگاه از کل به جزء به صورت زیر صورت می‌گیرد:
۱. ماشین/ دستگاه (Machine): مجموعه‌ای که به منظور استفاده در جهت هدف خاصی طراحی می‌شود.
 ۲. سیستم (System): قسمت‌هایی از ماشین که به صورت یک مجموعه عمل کرده، هدف خاصی را دنبال می‌کنند.
 ۳. زیرسیستم (Subsystem): زیرمجموعه‌ای از سیستم.
 ۴. مؤلفه‌ها (Components): تعدادی از قطعات که به منظور برآوردن هدفی خاص در یک زیرسیستم به کار می‌روند.
 ۵. قطعات (Parts): کوچک‌ترین جز یک ماشین
- باید توجه داشت وقتی فعالیت یک زیرسیستم را بررسی می‌کنیم، باید تمام شرایطی که این زیرسیستم در آن کار می‌کند، مورد توجه قرار گیرد.

۲-۵. 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 تأخیر در تحویل به موقع.
کاهش میزان مخاطره در برنامه‌های تولید محصول (توسط ماشین‌آلات)
کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری ماشین‌آلات و ابزارها در طی دوره عمر (از طریق ایجاد طرح مطلوب).

۳-۵. تشریح مفاهیم ستون‌های یک فرم MFMEA

۱-۳-۵. نام زیرسیستم و تشریح عملکرد

نام سیستم‌ها یا زیرسیستم‌های ماشین را در این ستون وارد کنید. همچنین عملکرد مورد انتظار از زیرسیستم تحت بررسی را با عباراتی کوتاه و مختصر بیان کنید. به علاوه اطلاعاتی درخصوص شرایط کارکرد زیرسیستم را (شرایط محیطی، نیازمندی‌های کارکردی لازم، مشخصات فنی مثل MTBF^۱ و MTTR^۱ در این ستون بنویسید. اگر زیرسیستم بیش از یک عملکرد داشته باشد که حالات خرابی متفاوتی دارند، آنها را جداگانه بیان کنید.

^۱ . Mean Time Between Failure

۵-۳-۲. حالات خرابی در ماشین

حالات خرابی در ماشین حالاتی هستند که باعث می‌شوند ماشین نتواند مطابق با عملکردهای طرح‌ریزی شده خود فعالیت کند. برای مثال، حالت خرابی در یک ماشین ابزار، واقعه‌ای است که به واسطه آن، ماشین نمی‌تواند قطعه‌ای را مطابق با مشخصات خواسته شده و براساس برنامه داده شده تولید کند و یا توانایی لازم را ندارد.

حالت‌های خرابی ماشین ممکن است به سه طریق رخ دهند:

۱. خرابی در مؤلفه‌های ماشین که می‌تواند باعث خرابی ماشین شود؛ مانند خرابی بلبرینگ یا شکستن یک شفت.

۲. خرابی در سیستم یا زیرسیستم ماشین؛ مانند افزایش لرزش ماشین، کاهش سیکل یا مثلاً دور ماشین.

۳. استفاده خلاف قاعده از ماشین که می‌تواند باعث خرابی یک سیستم ماشین شود. مثلاً باربرداری زیاد با سرعت بالا.

خرابی‌های ماشین را به نوع دیگر نیز می‌توان تقسیم کرد:

۱. عملکردی مانند:

۱-۱. خرابی عملکرد در زمان دستور فعالیت (ماشین در زمانی که باید کار کند متوقف شود).

۲-۱. خرابی در ایستادن عملکرد در زمان دستور توقف (ماشین در زمانی که باید متوقف شود، توقف نکند).

۳-۱. سایش: ابزار در زمانی سریع‌تر از زمان مشخص شده در طراحی، فرسوده شود.

۲. سخت‌افزاری، مانند: شکستن، تاب برداشتن، ترک، نشی و ... در مؤلفه‌ها.

به منظور یافتن حالات خرابی در MFMEA، مانند تمام روش‌های FMEA دو مسیر وجود دارد:

۱. بررسی سوابق MFMEA: گزارش‌های مربوط به آزمایش‌ها، خدمات پس‌ازفروش، روش‌های واحد تعمیرات، گزارش‌های واحد خدمات و اسناد مشابه دیگر.

۲. از طریق طوفان ذهنی با طرح سؤالاتی همانند:

زیرسیستم از چه طریقی می‌تواند در زمان انجام عملکردی که از آن انتظار می‌رود، خراب شود؟

زیرسیستم در زمان تولید یا مونتاژ چطور خراب می‌شود؟

حالات خرابی بالقوه را برای هریک از عملکردهای تشریح شده زیرسیستم‌ها بنویسید.

همچنین حالات خرابی را با عباراتی فنی و فیزیکی بیان کنید.

¹ . Mean Time To Repair

۵-۳-۳. اثر خرابی در ماشین

اثر خرابی، نتیجه حالات خرابی یک زیرسیستم است که معمولاً در قالب تأثیرگذاران بر مقوله ایمنی بیان می‌شود. همچنین آثار خرابی را می‌توان در ۷ طبقه عمده بیان کرد که به «هفت ضرر بزرگ» موسومند و عبارتند از:

۱. **توقف دستگاه:** ضررهای ناشی از عدم عملکرد (مکانیکی، شیمیایی و الکتریکی) یا کاهش عملکرد (مثل کار نکردن یک اسپندل روی یک مولتی اسپندل) روی یک قطعه از دستگاه باعث می‌شود دستگاه به دلیل لزوم انجام تعمیرات متوقف شود.

۲. **تنظیم پی‌درپی دستگاه:** ضررهایی که نتیجه تنظیم‌های پی‌درپی دستگاه هستند؛ مانند تعویض پی‌درپی ابزار، تعویض قالب یا تغییر شرایط دستگاه به منظور جلوگیری از تولید قطعات معیوب. این تنظیمات موجب تنزل کارایی ماشین می‌شوند.

۳. **اوقات به‌هدر رفته:** ضررهایی که نتیجه مسائل غیرمهم، مانند گیر کردن قطعه در دستگاه هستند.

۴. **کاهش زمان تولید:** ضررهای ناشی از اختلاف زمان ایده‌آل تولید یک قطعه و زمان واقعی تولید قطعه توسط ماشین.

۵. **توقف در شروع کار:** ضررهای ناشی از زمان لازم برای شروع تولید پس از توقف دستگاه در زمانهایی مانند آخر هفته، یا بین دو شیفت.

۶. **خرابی قطعات تولید شده به وسیله دستگاه:** ضررهای ناشی از زمانی که برای دوباره‌کاری یا تعمیر قطعات معیوب یا تولید قطعه معیوب - که به واسطه خرابی زیرسیستم ایجاد شده - صرف می‌شود.

۷. **خرابی ابزار:** ضررهای ناشی از خرابی ابزار یا شکست ابزار یا سایش ابزارهایی مانند ابزار برش، فیکسچرها، ابزار جوش و ... در این حالت، ابزار جزیی از ماشین تلقی نمی‌شود.

برای هریک از حالات خرابی، تمامی آثار خرابی را ثبت کنید. به این منظور می‌توان از گزارش‌ها و سوابق مربوط به دستگاه‌های مشابه، گزارش‌های گارانتی و MFMEAهای قبلی استفاده کرد.

۵-۳-۴. شدت

شدت عبارت است از میزان بحرانی بودن اثر خرابی که معمولاً در سه مقوله ایمنی کاری توقف دستگاه و خرابی قطعه تولید شده به وسیله دستگاه دیده می‌شود. باید توجه داشت که برای مسائل مربوط به ایمنی، شدت همیشه بالاست و برای توقف یا خرابی قطعه از سیستم مقایسه‌ای استفاده می‌کنیم. (جدول ۵-۱)

تیم MFMEA برای تعیین رتبه شدت، ابتدا باید راهنمای رتبه‌بندی مناسبی تهیه کرده و به تصویب تمامی اعضا برسد. نمونه‌ای از این راهنمای رتبه‌بندی که در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده در جدول ۵-۱ آمده است.

برای هر اثر خرابی، با توجه به میزان بحرانی بودن آن، یک رتبه شدت تخمین زده می‌شود. باید توجه داشت که اثر خرابی مربوط به توقف دستگاه (Downtime) و قطعات خراب تولید شده، مستقل از هم هستند و بنابراین بهتر است برای هر یک، رتبه‌ای جدا تعریف شود.

○ مطمئن شوید که اعضای تیم در مورد رتبه‌های شدت با هم توافق کامل دارند و آنها را به کار می‌بندند.

جدول ۵-۱: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه شدت

رتبه	معیار: شدت اثر خرابی	اثر
۱۰	شدت خیلی بالا: اثر روی ایمنی اپراتور، کارخانه یا پرسنل تعمیرات و یا در تناقض با مقررات دولتی	مخاطره‌آمیز بدون اخطار قبلی
۹	شدت بالا: اثر روی ایمنی اپراتور، کارخانه یا پرسنل تعمیرات و یا در تناقض با مقررات دولتی	مخاطره‌آمیز با اخطار قبلی
۸	توقف بیش‌تر از ۸ ساعت یا تولید محصول خراب طی ۴ ساعت تولید	زمان توقف خیلی زیاد یا تولید زیاد قطعات خراب
۷	توقف بین ۴ تا ۷ ساعت یا تولید محصول خراب بین ۲ تا ۴ ساعت تولید	زمان توقف زیاد یا تولید قطعات خراب
۶	توقف بین ۱ تا ۳ ساعت یا تولید محصول خراب بین ۱ تا ۲ ساعت تولید	زمان توقف متوسط یا تولید قطعات خراب
۵	توقف بین ۰/۵ تا ۱ ساعت یا تولید محصول خراب تا ۱ ساعت تولید	زمان توقف کم یا تولید قطعات خراب
۴	زمان توقف تا ۰/۵ ساعت و بدون تولید محصول خراب	اثر خیلی کم
۳	نوسانات پارامتر (محصول یا فرآیند) خارج از حدود کنترل است. تنظیم یا کنترل‌های دیگر پروسه لازم است. بدون تولید محصول خراب	اثر ناچیز
۲	نوسانات پارامتر (محصول یا فرآیند) داخل حدود کنترل است. تنظیم یا کنترل‌های دیگر پروسه لازم است. بدون تولید محصول خراب	اثر خیلی ناچیز
۱	نوسانات پارامتر (محصول یا فرآیند) داخل حدود کنترل است. تنظیم یا کنترل‌های دیگر پروسه لازم نیست یا می‌توانیم بین دو شیفت یا در تعمیرات معمول سازمان دستگاه را چک کنیم. بدون تولید محصول خراب	بی‌اثر

۵-۳-۵. علل بالقوه خرابی

هر خرابی در ماشین می‌تواند ناشی از دو علت باشد:

۱. نقص در طراحی

۲. وجود نوسان در زمان استفاده از ماشین که قابل تصحیح و کنترل است.

برای یافتن علل خرابی نیز همانند دیگر FMEA ها دو روش وجود دارد:

بررسی سوابق گزارش‌های مربوط به آزمون داده‌ها، خدمات پس‌ازفروش، بررسی MFMEA های گذشته و تمامی اسناد و مدارکی که در زمینه خدمات‌دهی و تعمیرات دستگاه‌های مشابه وجود دارد.

۲. از طریق طوفان ذهنی با طرح سؤالاتی همانند:

۲-۱. چه علتی می‌تواند باعث شود که زیرسیستم در این حالت خراب شود؟

۲-۲. چه علتی می‌تواند باعث خرابی عملکرد ماشین شود؟

○ توجه: در بررسی علل خرابی حتماً به سراغ علل ریشه‌ای بروید.

۵-۳-۶. وقوع حالت خرابی

وقوع، عبارت است از احتمال اینکه یک حالت خرابی در زمان کارکرد ناشی از علت تعریف شده ماشین، رخ دهد. توجه داشته باشید که بعضی از کنترل‌ها می‌توانند باعث کاهش وقوع خرابی شوند. در این مواقع، برای تقویت عدد وقوع به این نوع کنترل‌ها نیز باید توجه شود.

برای هریک از علل خرابی فهرست شده باید با توجه به احتمال وقوع - یا فراوانی تکرار علل خرابی - رتبه وقوع مناسبی تخمین زده شود. به این منظور، یکی از شاخص‌های مورد استفاده، متوسط زمان بین خرابی‌ها - ناشی از علت تحت بررسی - است که عبارت است از جمع زمانی که ماشین فعالیت می‌کند، تقسیم بر تعداد دفعات خرابی. مثلاً اگر زمان بین دو خرابی (یکسان) ماشین یک ساعت باشد MTBF خرابی برابر ۱ است.

جدول ۵-۲ نمونه از راهنمای رتبه‌بندی وقوع را که در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده نشان می‌دهد.

○ مطمئن شوید که اعضای تیم در مورد رتبه‌های وقوع توافق کامل دارند و آنها را به کار می‌بندند.

۵-۳-۷. کنترل‌های طراحی / کنترل‌های ماشین

کنترل‌های طراحی یا ماشین عبارتند از روش‌ها، تکنیک‌ها، شیوه‌ها یا آزمون‌هایی که به منظور:

- الف- جلوگیری از وقوع علت یا حالات خرابی یا کاهش احتمال وقوع آنها
- ب- تشخیص علت خرابی و هدایت در جهت تعریف اقدامات اصلاحی طراحی
- ج- تشخیص حالات خرابی
- به کار می‌روند.

توجه کنید که برای درج اطلاعات کنترل‌های طراحی و کنترل‌های ماشین در ستون ماشین، فقط کنترل‌هایی که قبل از تأیید نهایی طرح در فاز طراحی و نیز کنترل‌های موجود که در ماشین‌های مشابه به کار می‌روند، ثبت شوند و کنترل‌های جدید را در ستون اقدامات پیشنهادی ذکر کنید.

جدول ۵-۲: راهنمای پیشنهادی رتبه وقوع

رتبه	نرخ خرابی	احتمال وقوع خرابی
۱۰	متناوباً از هر ۱۰ قطعه تولیدی، یکی خراب می‌شود یا: $MTBF \leq 1$ ساعت	بسیار زیاد: خرابی اجتناب‌ناپذیر است
۹	متناوباً از هر ۱۰۰ قطعه تولیدی، یکی خراب می‌شود یا: $2 < MTBF \leq 10$ ساعت	
۸	متناوباً از هر ۱۰۰۰ قطعه تولیدی، یکی خراب می‌شود یا: $11 < MTBF \leq 100$ ساعت	زیاد: خرابی‌ها تکرار می‌شود
۷	متناوباً از هر ۱۰۰۰۰ قطعه تولیدی، یکی خراب می‌شود یا: $101 < MTBF \leq 400$ ساعت	
۶	$401 < MTBF \leq 1000$ ساعت	متوسط: خرابی‌ها گاه و بی‌گاه
۵	$1001 < MTBF \leq 2000$ ساعت	
۴	$2001 < MTBF \leq 3000$ ساعت	
۳	$3001 < MTBF \leq 6000$ ساعت	کم: خرابی‌ها نسبتاً کم
۲	$6001 < MTBF \leq 10000$ ساعت	
۱	$10000 < MTBF$ ساعت	بعید: احتمال وقوع خرابی خیلی کم است

برای درک بهتر انواع کنترل‌های طراحی / ماشین به مثال‌های زیر توجه کنید:

کنترل‌های ماشین	کنترل‌های طراحی
حسگرهای مجاورت	آنالیز بدترین حالت
حسگرهای دما	مطالعه تیرانس‌ها
چراغ فشار روغن	شبیه‌سازی
تعمیرات پیشگیرانه	مرور طرح

○ نکته: هدف یک طراح ماشین باید تولید ماشین قدرتمندی باشد که تا حد امکان نیاز کنترل های ماشین نداشته باشد.

۵-۳-۸. تشخیص

تشخیص، عبارت است از توانایی کنترل های طراحی یا ماشین در کشف و شناسایی علل خرابی و یا حالت خرابی. اگر برای یک خرابی، چندین کنترل وجود دارد، تمام کنترل ها را فهرست کرده، برای تک تک آنها با توجه به قدرتشان در شناسایی حالت یا علت خرابی، یک رتبه تشخیص تخمین بزنید. سپس بهترین رتبه را در ستون مربوط وارد کنید.

برای انتخاب رتبه تشخیص، تیم ابتدا باید یک راهنمای رتبه بندی تهیه کند. نمونه ای از راهنمای رتبه تشخیص که در استاندارد QS9000 پیشنهاد شده در جدول ۵-۳ ارائه شده است.

○ مطمئن شوید که اعضای تیم در مورد رتبه های تشخیص توافق کامل دارند و آنها را به کار می بندند.

۵-۳-۹. نمره ریسک پذیری خرابی RPN

این عدد، عبارت است از حاصل ضرب شدت × وقوع × تشخیص.

RPN، شاخصی است که برای اولویت بندی ضعف های طراحی ماشین، با توجه به میزان بحرانی بودن آنها، به کار می رود. بنابراین باید توجه داشته باشید که RPN به تنهایی هیچ معنایی ندارد و فقط در مقایسه با RPN های دیگر معنا پیدا می کند.

۵-۳-۱۰. اقدامات اصلاحی پیشنهادی

اقدامات پیشنهادی با هدف کاهش رتبه های شدت، وقوع و نهایتاً تشخیص پیشنهاد می شوند. این اقدامات باید در شرایط زیر تعریف و اجرا شوند:

۱. خرابی دارای شدت ۹ یا ۱۰ باشد.
۲. حالت خرابی دارای اعداد شدت و وقوع بالا باشد.
۳. حالت خرابی دارای RPN بالا باشد.

جدول ۵-۳. راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه تشخیص

رتبه	معیار: احتمال تشخیص به وسیله کنترل طراحی / ماشین	تشخیص
۱۰	کنترل‌های ماشین نمی‌توانند علل و یا حالت خرابی را شناسایی کنند و یا هیچ کنترل طراحی و یا ماشین وجود ندارد.	کاملاً نامعلوم
۹	خیلی بعید است که کنترل‌های طراحی / ماشین بتوانند علل و یا حالات خرابی را پیدا کنند.	بسیار بعید
۸	بعید است که کنترل‌های طراحی / ماشین بتوانند علل و یا حالات خرابی را پیدا کنند. کنترل‌های ماشین، علائم خرابی قریب‌الوقوع را نمایان می‌کنند.	بعید
۷	شانس خیلی کمی وجود دارد که کنترل‌های طراحی / ماشین بتوانند علل و یا حالات خرابی را پیدا کنند. کنترل‌های ماشین از خرابی قریب‌الوقوع جلوگیری می‌کنند (مثلاً توقف دستگاه)	بسیار کم
۶	شانس کمی وجود دارد که کنترل‌های طراحی / ماشین بتوانند علل و یا حالات خرابی را پیدا کنند. کنترل‌های ماشین از خرابی قریب‌الوقوع جلوگیری می‌کنند. (مثلاً توقف دستگاه)	کم
۵	شانس متوسطی وجود دارد که کنترل‌های طراحی / ماشین بتوانند علل و یا حالات خرابی را پیدا کنند. کنترل‌های ماشین از خرابی قریب‌الوقوع جلوگیری کرده (مثلاً توقف دستگاه) علت خرابی را ایزوله می‌کنند.	متوسط
۴	شانس بالایی وجود دارد که کنترل‌های طراحی / ماشین بتوانند علل و یا حالات خرابی را پیدا کنند. کنترل‌های ماشین از خرابی قریب‌الوقوع جلوگیری کرده (مثلاً توقف دستگاه) علت خرابی را ایزوله می‌کنند. (ممکن است کنترل ماشین لازم باشد)	نسبتاً بالا
۳	شانس بالایی وجود دارد که کنترل‌های طراحی / ماشین بتوانند علل و یا حالات خرابی را پیدا کنند. کنترل‌های ماشین از خرابی قریب‌الوقوع جلوگیری کرده (مثلاً توقف دستگاه) علت خرابی را ایزوله می‌کنند. (ممکن است کنترل ماشین لازم باشد)	بالا
۲	شانس خیلی بالایی وجود دارد که کنترل‌های طراحی / ماشین بتوانند علل و یا حالات خرابی را پیدا کنند (کنترل ماشین لازم نیست).	بسیار بالا
۱	کنترل‌های طراحی / ماشین یقیناً علل و یا حالات خرابی را پیدا می‌کنند (کنترل ماشین لازم نیست)	به طور قطعی

اگر برای یک خرابی، رتبه شدت ۹ یا ۱۰ باشد، اقدامات اصلاحی (اعمال تغییرات در طراحی) لزوماً باید قبل از اینکه طرح مراحل تأیید نهایی را سپری کند، اجرا شوند. در این حالت، هدف باید از بین بردن مخاطرات مربوط به ایمنی باشد.

اگر تیم برای یک خرابی اقدامی پیشنهاد نکند، بهتر است که در ستون مربوطه، عبارت «به انجام هیچ اقدامی در این زمان نیازی نیست» نوشته شود تا قضاوتی مبنی بر کامل نبودن اجرای MFMEA صورت نپذیرد.

ستون‌های بعدی یک فرم MFMEA همانند فرم‌های دیگر FMEA پر می‌شود و پس از انجام اقدامات اصلاحی، نتایج حاصله ثبت می‌شوند. همچنین اعداد شدت، وقوع و تشخیص مجدداً ارزیابی شده و در ستون‌های مربوطه وارد می‌شوند.

توجه داشته باشید که فرم MFMEA فرمی زنده است و در طول مدت استفاده از ماشین از آن استفاده می‌شود و طراح می‌تواند در طراحی‌های بعدی از آن الهام بگیرد. در خاتمه قسمتی از یک فرم MFMEA برای آشنایی بیشتر با این ابزار ارائه می‌شود.

آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن بر ماشین

شماره FMEA تهیه شده به وسیله صفحه از

نام ماشین: ماشین بورینگ ABC مدل: تاریخ تهیه:

مسئولیت طراحی: شرکت ماشین ابزار ABC - گروه ماشینکاری تیم FMEA تاریخ بازنگری:

نام زیرسیستم	حالات خرابی بالقوه	اثر بالقوه خرابی	علل بالقوه خرابی	کنترل طراحی و کنترل ماشین	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت اجرا و تاریخ تکمیل	نتایج اقدامات پیشنهادی	تاریخ بازنگری	RPN
اسپیندل‌های بورینگ عملکرد، سوارکاری روی آلومینیوم E40D ببارهای اجرایی، نگهداری در ۱۲۰۰ دور برای ۲۳ ثانیه در زمان سوارکاری. قابلیت استفاده: MTBF=400 ساعت	کاهش سرعت سوارکاری	سوراخ خارج از اندازه	سایش، خرابی یا پاره شدن تسمه مشخصات: براساس استاندارد ANSI-RAM IP-20	بازرسی و تنظیم تسمه هر ۲۰۰ ساعت	از تسمه با کیفیت بالاتر استفاده شود پیشنهاد: تسمه ۷ شکل بر اساس استاندارد ANSI RAM-IP-22 بازرسی و تنظیم هر ۵۰۰ ساعت تعویض تسمه هر ۲۵۰۰ ساعت	آقای شیلدر و قنذر	به روز کردن مشخصات ماشین براساس اقدام پیشنهادی و برنامه تعمیرات	۶	۱۲۶
	عدم صافی سطح		شل بودن پولی یا خار نگهدارنده	بازرسی و تعویض پولی هر ۵۰۰ ساعت	اطمینان بایم شفت موتور براساس استاندارد فورد (EM-1) باشد. بازرسی چشمی همزمان با تسمه هر ۵۰۰ ساعت	آقای شیلدر و قنذر	به روز کردن مشخصات ماشین براساس اقدام پیشنهادی	۵	۱۰۵
	سوراخ کامل نمی‌شود		سایش یا خط افتادن یا تاقان‌های اسپیندل	روغنکاری هر ۳۰۰ ساعت. کنترل سرعت اسپیندل. آنالیز لرزش هر ۶۰۰ ساعت	تعویض یا تاقان‌های اسپیندل هر ۲۴ ماه، روغنکاری هر ۱۰۰ ساعت	آقای فورد	به روز کردن مشخصات	۲	۲۸



کاربرد آنالیز حالات بالقوه خرابی در ارائه خدمات (Service- FMEA)

پیشگفتار

در این فصل، آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن در فرایندهای خدماتی بررسی می‌شود. با مطالعه این فصل شما می‌توانید به سؤالات زیر پاسخ مناسب بدهید:

۱. Service FMEA چیست؟
۲. حالت خرابی در سرویس و خدمات چیست؟
۳. هدف از اجرای Service FMEA چیست؟
۴. اجرای Service FMEA چه فوایدی را به دنبال خواهد داشت؟
۵. ستون‌های یک فرم Service FMEA چه مفاهیمی دارند؟

۶-۱. تعریف Service FMEA

Service FMEA روشی است تحلیلی و نظام‌یافته به منظور شناسایی حالات خرابی بالقوه (یا شناخته شده)، اولویت‌بندی آنها و سرانجام تعیین اقدامات پیشگیرانه برای حذف خرابی‌ها، قبل از ارائه اولین خدمات به مشتریان. اولین خدمت^۱ به فعالیتی تلقی می‌شود که برای مشتری خاص به‌عنوان بخشی از فعالیت روزمره انجام گیرد. این تعریف از «اولین خدمت» حائز اهمیت است؛ چون شامل خدمات آزمایشی و خدمات آموزشی نمی‌شود.

زمان شروع «اولین خدمت» نیز مهم است؛ زیرا تا آن زمان هرگونه تغییر و یا اصلاح در نحوه ارائه خدمت، واقعه مهمی تلقی نمی‌شود. از زمان ارائه اولین خدمت، رویه‌های تصدیق و یا تأیید خدمت نیز تعریف می‌شوند. همچنین مشتری نقش مهمی در ایجاد هرگونه تغییر در سرویس

^۱ . First Service

خواهد داشت زیرا ممکن است به علت نارضایتی، شکواییه و یا اخطار دهد و یا حتی نارضایتی او منجر به توقف خدمت شود.

معمولاً Service FMEA به منظور بررسی تقابل‌های موجود بین اجزای یک خدمت، شامل نیروی انسانی، ماشین، روش، مواد اولیه و محیط پیرامون انجام می‌شود. البته هریک از این عناصر، وظیفه خاص خود را در ارائه خدمت دارد که ممکن است به تنهایی و یا در اثر تقابل با یکدیگر خرابی‌هایی را به وجود آورند. از همین رو، اجرای Service FMEA بسیار حائز اهمیت بوده و وقت‌گیر است. همچنین آشنایی با «سرویس» به منظور شناسایی علل ریشه‌ای حالات خرابی ضرورت خواهد داشت.

Service FMEA می‌تواند در هر موقعیتی و برای هر سازمانی که خدماتی را ارائه می‌کند، مورد استفاده قرار گیرد. بعضی از موارد کاربرد عبارتند از:

- پیمانکاران تعمیرات و نگهداری می‌توانند با استفاده از Service FMEA مدت چرخه تعمیرات را کم و حتی در مواردی آن را کاملاً حذف کنند.
- مؤسسات مالی می‌توانند با استفاده از این تکنیک، میزان مؤثر بودن خدمتشان را بررسی کنند یا در مورد خدماتی که به مشتری ارائه می‌کنند توجه خاصی داشته باشند؛ خدماتی همچون تصویب درخواست‌های وام، روش‌های انتقال وجوه نقد و اسناد بهادر، مشکلات مربوط به کدگذاری و ...
- مؤسساتی که با موضوعات ایمنی سروکار دارند می‌توانند با استفاده از این تکنیک، نه فقط نسبت به شناسایی مشکلات اقدام کنند، بلکه درباره تبعات آتی نیز پیش‌بینی‌های لازم را به عمل آورند. وقتی این تکنیک همزمان با تکنیک‌هایی همچون «FTA»¹ و آنالیز ریسک مورد استفاده قرار گیرد، روشی بسیار قوی برای تصمیم‌گیری و قضاوت درخصوص موارد ایمنی است.
- صنایع مهمان‌پذیری، همچون هتل‌ها و رستوران‌ها می‌توانند به منظور شناسایی مشکلات خاص و پیامد آنها در نحوه ارائه خدمتشان، از این تکنیک استفاده کنند؛ مشکلاتی همچون دوستانه نبودن رفتار کارمندان، ارائه سرویس ضعیف، عمل نکردن دستگاه اعلام ساعت بیداری، نظافت ضعیف، سرد شدن غذا در زمان سرو، روش‌های دریافت و پرداخت صندوق و ...

¹ . Fault Tree Analysis

- شرکت‌های تأمین قطعات می‌توانند به‌منظور شناسایی مشکلات خاص و پیامد حاصل از تغییر فرایندهای کاری خود از این تکنیک استفاده کنند؛ مشکلاتی همچون تغییر رویه‌ها، تغییر ساختار، چگونگی ارتباط با مشتریان و رقبا و ...
 - بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها می‌توانند به‌منظور شناسایی مشکلات بالقوه و پیامد آنها - قبل از آنکه به وقوع بپیوندند - Service FMEA را اجرا کنند؛ مواردی همچون تجویز اشتباه دارو، نارضایتی همراهان بیمار، شکایت مشتری در این دوران پس از جراحی و ...
- اصولاً اجرای یک FMEA کارا و مؤثر برای تحلیل عوامل شکست در ارائه خدمات (Service FMEA) از طریق مشارکت فعال تمامی واحدهای مربوط - از جمله خدمات مشتریان، بازاریابی، توسعه محصول (یا خدمت)، تضمین کیفیت و تحقیقات - حاصل می‌شود.
- برای شناسایی «مشخصات خدماتی»^۱ که ارائه خواهد شد، می‌توان از تکنیک‌های زیر استفاده کرد:
۱. Benchmarking: ممکن است محک زدن خدماتی که در رقبای مؤسسه ارائه می‌کنند در شناسایی و نحوه ارائه خدمات بهتر به مشتریان مؤثر باشد.
 ۲. QFD: این روش را می‌توان برای شناسایی نیازمندی‌های مشتریان و خواسته‌های خاص آنان به‌کار گرفت.
 ۳. مطالعات بازار: با استفاده از این روش با کمک مدل‌های ریاضی می‌توانیم نیازهای بازار را مطالعه و بررسی کنیم.
- در زمان مستندسازی Service FMEA نداشتن اطلاعات کافی درخصوص مشخصات خدمت، تهیه بی‌نقص آن را با مشکل مواجه می‌سازد.

۲-۶. اهداف اجرای Service FMEA

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 به‌گونه‌ای که مشتری می‌خواهد و یا در مشخصات سرویس تعریف شده است. برای رسیدن به این هدف در Service FMEA باید از داده‌های به‌دست آمده از QFD، نیازهای داخلی سازمان، نتایج حاصل از Benchmarking و ... استفاده کرد.

خروجی و نتیجه اجرای Service FMEA ارائه خدماتی است (می‌تواند کاملاً عوض شده و یا اصلاح شده باشد) با یک ساختار اساسی که براساس تحقق نیازهای تلویحی و تصریحی مشتری ایجاد شده و مشخصات آن منطبق با این نیازها است. (اولین خدمت)

¹. Service Specification

بعضی از سؤالات که در طول اجرای Service FMEA می‌توانند راهنمای کار باشند عبارتند از:

۱. خدمات تحت بررسی چه اثر و عملکردی خواهند داشت؟
۲. خدمات چگونه مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
۳. آیا شرایط تعیین شده اولیه برای ارائه خدمات مناسب بوده و و برآورده خواهند شد؟
۴. وظایف خدمات چگونه اجرا می‌شود؟
۵. چه چیزها و یا سرویس‌های دیگری برای ارائه خدمات مورد نیازند؟
۶. چگونه و تحت چه شرایطی این خدمات با فعالیت‌های دیگر مواجه می‌شوند؟
۷. چه ستانده‌هایی از طریق اجرای این خدمات به دست می‌آید؟
۸. مراحل اجرایی ارائه خدمات چیست؟
۹. این خدمات چگونه نگهداری می‌شود، تغییر می‌یابد و یا متوقف می‌شود؟
۱۰. چه کسانی در ارتباط با ارائه خدمات درگیر هستند و درجه صلاحیت آنها در ارائه خدمات چقدر است؟

آنالیز حالات بالقوه خرابی در طراحی خدمات / سرویس

۱. نام سرویس:
۲. مسئول اجرای سرویس:
۳. نام اعضای تیم:
۴. تامین‌کنندگان نیازمندی‌ها:
۵. تاریخ انتشار مشخصات سرویس:
۶. تهیه‌کننده:
۷. تاریخ اجرای FMEA:
۸. تاریخ بازنگری:
- صفحه از صفحه

اقدام سرویس عملکرد/وظیفه	حالات بالقوه خرابی	اثر بالقوه خرابی	علل بالقوه خرابی	کنترل‌های جاری سرویس	RPN	اقدامات پیشنهادی	مسئولیت اجرا و تاریخ اتمام	نتایج اقدامات پیشنهادی	نتایج اقدامات
ردیف	شرح	تجهیز	RPN	کار گروهی					
ردیف	شرح	تجهیز	RPN						
				کار گروهی					

۳-۶. تشریح ستون‌های یک فرم Service FMEA

برای استفاده از FMEA در بررسی و تحلیل خدمات باید موارد زیر انجام شده باشند:

۱. تهیه یک فرم مناسب: در این مورد، فرمی به صورت استاندارد وجود ندارد و هر سازمان می‌تواند با توجه به نیاز خود فرمی تهیه کند. نمونه‌ای از یک فرم Service FMEA در صفحه قبل ارائه شده است.

۲. تعیین دستورالعمل‌هایی برای تعیین رتبه‌های شدت، وقوع و تشخیص. این دستورالعمل‌ها نیز استاندارد نیستند و هر سازمان با توجه به اطلاعاتی که در درون سازمان وجود دارد و یا براساس نیازهای سازمان، آنها را تهیه می‌کند و ممکن است کمی و یا کیفی باشند.

۶-۳-۱. شرح عملکرد (وظیفه) خدمت^۱

در این ستون، شرحی از عملکرد و یا وظایفی که در تعریف خدمت آورده شده نوشته می‌شود. معمولاً وظایف خدمت با استفاده از «نمودار جریان فرایند»^۲ و یا به وسیله تکنیک «تجزیه و تحلیل کار»^۳ مشخص می‌گردند.

در «تجزیه و تحلیل کار» نحوه و ترتیب انجام یافتن کاری که باید توسط هر فرد صورت گیرد، مشخص می‌شود. این مرحله از شناسایی کارها، مهم است، زیرا توزیع نامناسب کارها برای هر فرد باعث افزایش میزان خطای اپراتور شده، منجر به بروز مشکلات بحرانی و ایمنی می‌شود. «تجزیه و تحلیل کار» موجب شناسایی موارد زیر خواهد شد:

۱. نحوه آغاز فعالیت

۲. تجهیزاتی که برای انجام دادن فعالیت استفاده می‌شود

۳. واکنش افراد

۴. خصوصیات و مشخصه‌های خروجی فعالیت و نیز نیازمندی‌های اجرای فعالیت

به منظور تشریح مؤثر «وظایف خدمت» بهتر است آنها را به‌طور مختصر، کامل و ساده بیان کرد تا به‌خوبی قابل درک باشند. همچنین توصیه می‌شود در تشریح وظایف خدمت از افعال معلوم به همراه اسم استفاده شود.

- ارائه سرویس به انواع مدل‌های تلویزیون

- طراحی یک سایت تبلیغاتی در اینترنت

روش دیگر برای شناسایی عملکردهای (وظایف) خدمت، طرح سؤال‌های زیر است:

۱. هدف، مقصود و منظور از ارائه خدمت چیست؟

۲. ارائه خدمت موردنظر چگونه تعریف شده است؟

اگر بیش از یک عملکرد برای خدمت موردنظر وجود داشته باشد، لازم است که هرکدام جداگانه توضیح داده شود، زیرا احتمالاً، حالات خرابی متفاوتی خواهند داشت.

^۱ . Service - Function

^۲ . Process Flow Diagram

^۳ . Task Analysis

مشکلات، اشتباهات، خطاها، فرصت بهبود و داشتن عیب، هرکدام یک حالت خرابی است. هر عیب یا نقص در ارائه خدمت زمانی پیش می‌آید که معیارها و ضوابط تعریف شده در طراحی خدمت و یا خواسته‌های مشتری توسط خدمت ارائه شده، ارضا نشده است. بعضی از معیارها ضابطه‌ها چنین تعریف شده‌اند.

الف- قابلیت استفاده: آیا خدمت ارائه شده قابل استفاده است؟ آیا ارائه خدمت کمکی به سازمان می‌کند؟ آیا خدمت، سوددهی خاصی برای مؤسسه خواهد داشت؟ اگر پاسخ به سؤالات مثبت باشد، آیا امکان بهبود ارائه خدمت وجود دارد؟

ب- هویت داشتن، شخصیت، تفاوت و رجحان داشتن: آیا این خدمت منحصر به فرد است؟ نظر مشتری در مورد خدمت چیست؟ آیا خدمت با خدمات مشابه قابل رقابت است؟ آیا ملاحظات مربوط به زیبایی و مقبول افتادن رعایت شده است؟ اگر جواب مثبت است، چطور اگر منفی است، چرا؟

ج- رفتار و طرز برخورد با خدمت: طرز برخورد، دیدگاه و نگرش مشتریان، کارکنان و تأمین‌کنندگان در ارائه خدمت چگونه است؟

هنگامی که یک حالت خرابی مدنظر است، ابتدا می‌توان از دست دادن عملکرد (وظیفه) خدمت را درنظر گرفت. هر اندازه حالات خرابی مشخص‌ر بیان شود بهتر می‌توان آثار و علل آن را شناسایی کرد. معمولاً حالت خرابی در ارائه خدمت، زمانی به وقوع می‌پیوندد که خدمت موردنظر، در برآورده کردن عملکردهای (وظایف) تعریف شده دچار مشکل شود و یا در به حداقل رساندن آثار قابل اجتناب یک حادثه توان خود را از دست بدهد و یا در ارائه خدمت مورد انتظار مشتری ناکارا باشد.

برای هریک از عملکردهای (وظایف) خدمت که در ستون قبلی نوشته شده، حالات خرابی (از دست دادن عملکرد، برآورده نشدن وظایف و ...) را ثبت کنید. ممکن است برای یک عملکرد، بیش از یک حالت خرابی وجود داشته باشد.

مثال:

- ارائه ناقص سرویس
- برقراری ارتباط ضعیف
- عملکرد نامناسب صندوق‌دار درخصوص چک‌های برگشتی
- ارائه سرویس نامناسب و ضعیف به مشتری

¹ . Potential Failure Mode

برای شناسایی حالات خرابی، می‌توان از روش طوفان ذهنی و طرح سؤالاتی از قبیل سؤالات زیر استفاده کرد:

۱. سرویس یاد شده چگونه در اجرای کامل وظایف دچار مشکل می‌شود؟
 ۲. چه چیزهایی در مورد ارائه خدمت، برای مشتری غیرقابل قبول خواهد بود؟
 ۳. در چه حالت‌هایی ارائه خدمت با مشخصات تعریف شده مطابقت نمی‌کند؟
- راه دیگری که می‌تواند در شناسایی حالات خرابی بالقوه سودمند باشد، مطالعه سوابق قبلی، شکایات قبلی مشتریان و مشکلات مستند در داخل شرکت است.

۳-۳-۶. آثار بالقوه خرابی^۱

اثر بالقوه خرابی نتیجه و پیامد حالت خرابی است که متوجه فرایند بعدی، محصول، مشتری و یا قوانین دولتی می‌شود. سؤالاتی که در این‌باره مطرح می‌شود این است که:

- مشتری پس از اتفاق افتادن حالت خرابی، چه چیزی را تجربه می‌کند؟
- با وقوع حالت خرابی چه اتفاقی می‌افتد؟

یکی از روش‌های اصلی شناسایی آثار بالقوه خرابی، ارزیابی نظرها و تجارب مشتری است. همچنین می‌توانیم از منابع زیر استفاده کنیم:

- سوابق قبلی
 - مطالعات امکان‌سنجی
 - FMEAهای قبلی
 - شکایات مشتریان
 - اطلاعات به‌دست آمده از آنالیز داده‌های خدمات ارائه شده
- همان‌طور که گفته شد در بررسی آثار بالقوه خرابی باید به خدمتی که ارائه می‌شود، فرایند بعدی، محصول، مسائل ایمنی، ماشین‌آلات و تجهیزات، مشتریان و قوانین دولتی توجه خاص شود. اگر توجه به مسائل ایمنی به‌عنوان یکی از موارد موردنظر باشد، این ستون تنها قسمتی است که می‌توانید مطالب را در آن ثبت کنید.

مثال:

- اثر روی عملیات بعدی: چیزی مشاهده نشده است.
- اثر روی خدمت ارائه شده: ضعف در اجرا
- اثر روی مشتری: عدم رضایت کامل مشتری

^۱ . Potential Failure Effect

- اثر روی قوانین دولتی: عدم مطابقت کامل با استاندارد ... - STD

نکته: موضوع دارای اهمیت در تعیین آثار بالقوه خرابی این است که اثر بالقوه از طریق بحث و تبادل نظر تیم FMEA به دست آید.

۴-۳-۶. مشخصه‌های بحرانی^۱

این ستون زمانی تکمیل می‌شود که یک عدم تطابق با مسائل ایمنی، قوانین دولتی و مشخصات بحرانی طراحی شده برای سرویس وجود داشته باشد.

مشخصه‌هایی از یک سرویس، زمانی بحرانی و با اهمیت تلقی می‌شوند که:

۱. شرایط ارائه خدمت در عوامل ایمنی تأثیر می‌گذارد.

۲. شرایط ارائه خدمت در ارتباط با شرایط و یا قوانین دولتی است.

۳. شرایط ارائه خدمت به اقدامات و کنترل‌های خاصی نیاز دارد.

هدف از تعیین مشخصه‌های بحرانی، معین کردن آثار بالقوه‌ای است که تأثیر مهمی بر ایمنی، مشتری و یا قوانین دولتی دارند. انتخاب رتبه‌های شدت ۹ و ۱۰ برای آثار خرابی نشان‌دهنده وجود یک مشخصه بحرانی برای خدمت است. تعیین مشخصه‌های بحرانی در Service- FMEA فقط به منظور تعیین کنترل‌های ویژه در زمان ارائه خدمت انجام می‌گیرد.

۵-۳-۶. شدت

شدت معیاری است که میزان حاد بودن اثر حالات خرابی را نشان می‌دهد و همواره در ارتباط با اثر خرابی است. به عبارت بهتر، ارتباطی مستقیم بین اثر خرابی و درجه شدت وجود دارد. معمولاً جدول رتبه‌بندی برای شدت، از دیدگاه تأثیر خرابی بر مشتری، قوانین دولتی و خود سرویس تعریف می‌شود. نمونه‌ای از رتبه‌بندی شدت در جدول ۶-۱ ارائه شده است.

«بلانکارد» (۱۹۸۷) پیشنهاد کرد که شدت اثر خرابی در Service- FMEA به صورت دسته‌بندی زیر مورد قضاوت و ارزیابی قرار گیرد:

دسته ۱- موارد فاجعه‌انگیز (بسیار پرمخاطره)^۲: در این طبقه، حالات خرابی در ارائه خدمت، نتایج خطرناک و مصیبت‌باری در پی خواهد داشت. برای مثال: در اثر خرابی ماشین اتوماتیک پرداخت وجه، مبلغ زیادی پول پرداخت خواهد شد یا شهادت دادن یک شاهد در لحظات آخر تکمیل پرونده.

^۱ . Critical Characteristic

^۲ . Catastrophic

جدول ۶-۱: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه شدت

رتبه	معیار: شدت اثر	اثر
۱۰	اثر خرابی مخاطره‌آمیز است، ایمنی را بدون اختلال قبلی تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. مغایر با قوانین و استانداردهای دولتی است	مخاطره‌آمیز - پرخطر
۹	اثر بالقوه شدیدی وجود دارد. ممکن است موجب توقف ارائه سرویس بدون حادثه خطرناک شود. امکان تداخل یا قوانین دولتی - و یا گرفتاری‌های حقوقی - وجود دارد، ادامه سرویس ممکن نیست.	جدی
۸	مشتری خیلی ناراضی است، ایمنی را به مخاطره نمی‌اندازد، اما ارائه سرویس متوقف می‌شود.	بسیار زیاد
۷	مشتری ناراضی است، عملکرد سرویس (ارائه خدمت) تحت تاثیر قرار گرفته، اما متوقف نشده است. بعید است ارائه سرویس ادامه داشته باشد.	زیاد
۶	مشتری احساس ناراحتی می‌کند. عملکرد سرویس (ارائه خدمت) افت می‌کند، اما متوقف نشده است. ارائه سرویس ممکن است ادامه یابد.	مهم
۵	مشتری کمی ناراضی است. اثر متوسطی بر عملکرد سرویس (ارائه خدمت) دارد، اما متوقف نشده است. ارائه سرویس با اصلاحاتی ادامه خواهد داشت.	متوسط
۴	مشتری کمی رنجیده می‌شود. اثر کمی بر عملکرد سرویس (ارائه خدمت) دارد، اما متوقف نشده است. ارائه سرویس ادامه خواهد داشت.	کم
۳	مشتری نسبتاً رنجیده می‌شود. اثر بسیار کمی بر عملکرد سرویس دارد	نسبتاً کم
۲	مشتری رنجیده نمی‌شود، اثر ناچیزی بر عملکرد سرویس دارد	بسیار ناچیز
۱	بدون اثر	هیچ

دسته ۲- موارد بحرانی و حیاتی^۱: در این طبقه، حالت خرابی در ارائه خدمت یک زیان اصلی به بار می‌آورد؛ به‌عنوان مثال کارت اعتباری پرداخت پول، توسط رایانه درست خوانده نشود.

دسته ۳- موارد متوسط^۲: در این طبقه، حالت خرابی در ارائه خدمت، صدمات نسبتاً سنگینی ایجاد می‌کند؛ مثل رفتار ناخوشایند گارسون با مشتری.

دسته ۴- موارد کم‌اهمیت^۳: در این طبقه، حالت خرابی در ارائه خدمت، اثر کمی برجا خواهد گذاشت.

^۱ . Critical
^۲ . Mariginal
^۳ . Negligible

۶-۳-۶. علل بالقوه خرابی^۱

علل خرابی در سرویس، نقص‌ها و کمبودهایی است که در ارائه خدمت به وجود می‌آیند. در زمان تعیین علل خرابی باید به ریشه خرابی توجه کرد، نه به علائم آن. به منظور تعیین علل بالقوه خرابی باید درکی کامل از خدمتی که ارائه می‌شود، وجود داشته باشد که با طرح سؤالاتی مناسب می‌توان به این منظور رسید؛ مثل:

- آیا تبلیغات و آگهی تبلیغاتی نامناسب باعث فروش کم‌تر شده است؟
- آیا عدم آموزش صحیح به کارکنان موجب از دست دادن مشتری خواهد شد؟
- با استفاده از تکنیک‌هایی همچون نمودار علت و معلول و یا طوفان ذهنی می‌توان علل بالقوه را شناسایی کرد. طرح سؤالاتی مانند سؤالات زیر در شناخت علل خرابی مؤثر است:

۱. چرا در ارائه خدمت به اهداف موردنظر نمی‌رسیم؟
 ۲. کدام رویدادها و وقایع باعث ایجاد خرابی می‌شوند؟
 ۳. چگونه و به چه طریقی، ارائه خدمت در برآوردن انتظارات مشتری دچار نقصان خواهد شد؟
 ۴. با استفاده از روش تحلیلی «Five- Why» یا «پنج چرا» می‌توان به علل ریشه‌ای رسید. بعضی علل خرابی در ارائه خدمت، می‌توانند موارد زیر باشند:
- ایجاد تمرکز بیش‌ازحد در یک مرحله از ارائه خدمت
 - استفاده ناصحیح از فرایند
 - آموزش نامناسب
 - تقابل با خدمات دیگر
 - عدم نصب و نگهداری صحیح
 - فقدان وسایل ایمنی
 - دستورالعمل‌های عملیاتی نامناسب
 - خطاهای انسانی
- توجه: چنانچه شدت اثر حالت خرابی بین ۸ تا ۱۰ ارزیابی شود باید تا حد امکان به شناسایی هرچه بهتر علل خرابی توجه ویژه شود.

¹ . Potential Cause of Failure

وقوع رتبه‌ای است مربوط به فراوانی تخمینی و یا مقدار تجمعی خرابی‌هایی که به ازای یک علت خاص در یک دوره زمانی به وقوع می‌پیوندد. به عبارت دیگر، رتبه وقوع، بیان‌کننده احتمال وقوع علت خرابی است.

برای محاسبه رتبه وقوع می‌توان تعداد خرابی (ناشی از یک علت) در طی طول عمر خدمت را برای هزار یا ۱۰ هزار خدمت تخمین زده و یا تخمینی از احتمال وقوع خرابی در طول عمر خدمت (ناشی از علت تحت بررسی) به دست می‌آورد. در این مورد می‌توان از اطلاعات مربوط به سرویس‌های مشابه و یا خدمات جانشین استفاده کرد.

برای هریک از علت‌های خرابی باید یک رتبه وقوع مناسب تعیین شود. اگر به دلیل فقدان اطلاعات نتوان رتبه وقوع را تخمین زد، تیم می‌بایست به جمع‌آوری اطلاعات در این خصوص اقدام کند. یکی از نمونه‌های راهنمای تعیین رتبه وقوع در جدول ۶-۲ ارائه شده است.

○ مطمئن شوید که تمامی اعضای تیم در مورد رتبه‌های انتخابی توافق کامل دارند و آنها را به کار می‌برند.

۶-۳-۸. روش‌های کنترل (تشخیص)^۱

هر متد و روشی که به منظور شناسایی و یا پیشگیری از خرابی در ارائه خدمت استفاده می‌شود، در این ستون ثبت می‌شود. این کنترل‌ها می‌توانند خیلی ساده باشند، مثل آدیت، نمونه‌برداری، آزمایش و ... یا تکنیک‌های پیشرفته‌تر، مثل استفاده از آزمون‌های آماری، شبیه‌سازی و ... هدف از جمع‌آوری اطلاعات درخصوص روش‌های کنترل، مطالعه میزان کارایی آنها در شناسایی یا پیشگیری از خرابی خدمت است.

یکی از روش‌ها برای تمرکز روی کنترل‌ها و نیز شناخت روش‌های جدید شناسایی خرابی، استفاده از طوفان ذهنی است. البته روش‌های کنترلی جدید باید به عنوان اقدامی پیشنهادی معرفی شوند. با طرح سؤالات زیر می‌توان به این هدف رسید:

- چگونه می‌توان این حالت خرابی را پیدا کرد؟
 - به چه طریقی می‌توان این حالت خرابی را تشخیص داد؟
- تعدادی از روش‌های کنترل عبارتند از:

۱. استفاده از مدل‌ها و آزمون‌های مبتنی بر آمار و احتمالات و نظریه قابلیت اطمینان
۲. فرایند ممیزی ارائه خدمت

^۱ . Detection method

۳. مطالعه و مرور نتایج آزمون‌های انجام شده در زمینه موارد ایمنی

۴. استفاده از چک لیست برای اطمینان از کامل بودن مستندات مربوط به تطابق با خواسته‌های مشتری، استانداردها، حصول اطمینان از ایمن بودن و سودمند بودن نحوه ارائه خدمت و ...

ارزیابی یک خدمت در مراحل آغازین و شروع خدمت، یکی دیگر از روش‌های تشخیص خرابی است. واقعیت این است که ارزیابی خدمت در طی زمان و همراه با تکامل «ارائه خدمت» انجام می‌گیرد. معمولاً در زمان تهیه Service- FMEA از دو نوع تکنیک ارزیابی خدمات می‌توان استفاده کرد:

جدول ۶-۲: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه وقوع

معیار	1000/تعداد خرابی	رتبه	وقوع
خرابی حالت بحرانی دارد	>316	۱۰	تقریباً قطعی
تعداد خرابی خیلی زیاد است	316	۹	بسیار زیاد
تعداد خرابی زیاد است	134	۸	زیاد
تعداد خرابی نسبتاً زیاد است	46	۷	متوسط مایل به زیاد
تعداد خرابی در حد متوسط است	12.4	۶	متوسط
گاهی اوقات خرابی دیده می‌شود	2.7	۵	نسبتاً کم
احتمال خرابی کم است	0.46	۴	کم
احتمال خرابی بسیار کم است	0.0063	۳	بسیار کم
تعداد خرابی بسیار نادر است	0.0068	۲	به ندرت
احتمال خرابی وجود ندارد (سوابق، خرابی نشان نمی‌دهد)	<0.0058	۱	تقریباً غیرممکن

۱. مطالعه صلاحیت (قابلیت) فرایند: این مطالعه به منظور مشخص کردن قابلیت ذاتی عناصر «خدمت» مورد استفاده قرار می‌گیرد، مثل بررسی قابلیت ماشین یا قابلیت فرایند در کوتاه‌مدت و بلندمدت. سؤالاتی که در این زمینه مطرح می‌شوند عبارتند از:
 - آیا این خدمت قابل ارائه شدن است؟
 - چگونه سازمان می‌تواند چنین خدمتی را ارائه دهد؟
۲. ارزیابی اجباری سرویس^۱: معمولاً ارزیابی تمام عوامل یک «خدمت» مشکل است. بنابراین سازمان‌ها در نقاط حساس و یا برای عوامل بسیار مهم خدمت، ارزیابی اجباری را با استفاده از ارقام کمی انجام می‌دهند. این ارزیابی‌های اجباری اغلب در موارد زیر مفید واقع می‌شوند:
 - شناسایی شرایط مورد نیاز مشتریان

^۱ . Mandatory Service Evaluation

- شناسایی شرایط و استانداردهای ملی و دولتی
 - تعیین مشخصات فنی و یا روش‌های قابل قبول
- برخی از نقاطی که امکان ارزیابی آنها وجود دارد، عبارتند از:
- الف- تأیید مهارت کارکنان: افراد باید مهارت‌های لازم را داشته باشند. این تأیید برای فعالیت‌های بحرانی لازم است؛ مثل مهارت صندوقدار، پرستار، کارکنان اداره وام و ...
- ب- تأیید ابزار مورد استفاده: آیا ابزارها، فیکسچرها و گیج‌ها نیاز به تأییدیه دارند؟ (مثلاً ماشین صندوقدار، دستگاه اشعه ایکس، ماشین کدگذاری و ...)
- پ- تعیین مراحل حیاتی و حساس فرایند ارائه خدمات: فرایندهای بحرانی که عمدتاً با ایمنی مشتری و استانداردهای دولتی سروکار دارند- باید تعیین و به‌طور دوره‌ای ارزیابی و تأیید شوند؛ مثلاً تمامی تجهیزات پزشکی، روش پرداخت وام و یا پس گرفتن وجوه و ...
- د- عملیات آزمون: بسیاری از فرایندهای آزمون، نیازمند نظارت و بازنگری هستند تا از دقت آنها اطمینان حاصل شود.

۶-۳-۹. رتبه تشخیص

تشخیص عبارت است از شانس اینکه روش‌های کنترل جاری بتوانند حالت خرابی و یا علل وقوع خرابی در خدمت را قبل از اینکه به‌دست مشتری برسد و یا سرویس تکمیل شود، شناسایی کنند. به‌منظور تعیین رتبه تشخیص باید توانایی هریک از روش‌های کنترل جاری را در تشخیص و یا پیشگیری از خرابی قبل از رسیدن به مشتری تخمین زد. در زمان تعیین رتبه تشخیص، فرض بر این است که خرابی اتفاق می‌افتد و هرگز روی احتمال خرابی (وقوع) تمرکز نمی‌کنیم.

چون اجرای Service- FMEA معمولاً در شروع کار (در زمان طراحی و یا شروع ارائه خدمت) انجام می‌شود، اغلب رسیدن به یک رتبه تشخیص مطمئن بسیار مشکل است. در چنین مواردی می‌توان از اطلاعات گذشته، اطلاعات به‌دست آمده از سرویس‌های مشابه، نظارت مشتری و ... استفاده کرد. در بعضی از موارد ممکن است برای یک خرابی در خدمت، روش کنترل موجود نباشد. در این صورت، عبارت «هیچ کنترلی در این زمان، تعریف نشده است» را در ستون کنترل‌های جاری وارد کرده و رتبه ۱۰ را به آن تخصیص دهید. نمونه‌ای از راهنمای رتبه‌بندی تشخیص در جدول ۶-۳ ارائه شده است.

در زمان تعیین رتبه تشخیص در Service- FMEA به نکات زیر توجه داشته باشید:

۱. هرگز تصور نکنید که به‌خاطر پایین بودن رتبه وقوع، تشخیص رتبه پایینی خواهد داشت، زیرا بین این دو شاخص هیچ رابطه‌ای وجود ندارد.

۲. اگر یکی از روش‌های کنترلی، کنترل ۱۰۰ درصد اتوماتیک باشد، اعضای تیم FMEA باید کارا بودن این روش را براساس موارد زیر در نظر بگیرند:
- شرایط و ویژگی‌های کنترل
 - شرایط تجهیزات آزمون
 - احتمال خراب شدن سیستم اندازه‌گیری
- مطمئن شوید که تمامی اعضای تیم در مورد رتبه‌های انتخابی توافق کامل دارند و آنها را به کار می‌برند.

۶-۳-۱۰. نمره ریسک‌پذیری (RPN)

RPN از حاصلضرب اعداد شدت، وقوع و تشخیص حاصل می‌شود. RPN به تنهایی هیچ معنایی ندارد، بلکه فقط معیاری برای رتبه‌بندی خرابی‌ها در یک خدمت است. کاهش RPN از طریق زیر صورت می‌گیرد:

۱. کاهش رتبه شدت
 ۲. کاهش رتبه وقوع
 ۳. کاهش رتبه تشخیص
 ۴. ترکیبی از کاهش هر سه معیار
- رتبه شدت فقط از طریق تغییر در طراحی خدمت (سرویس) کاهش می‌یابد. با انجام تغییراتی در طرح می‌توان خرابی را حذف کرد و یا اثر آن را کاهش داد.
- رتبه وقوع را می‌توان از طریق بهبود در نیازهای ارائه سرویس و یا مشخصات تعریف شده برای خدمت به‌منظور پیشگیری از بروز و یا کاهش میزان فراوانی آن، کاهش داد.
- رتبه تشخیص را می‌توان با اضافه کردن و یا بهبود دادن متدهای کنترل استفاده شده، افزایش تعداد نمونه و یا اضافه کردن تجهیزات کنترل کاهش داد. در این مورد، هدف، افزایش میزان توانایی کنترهای جاری در تشخیص خرابی قبل از رسیدن به دست مشتری است.

جدول ۶-۳: راهنمای پیشنهادی انتخاب رتبه تشخیص

رتبه	معیار	تشخیص
۱۰	هیچ کنترلی برای شناسایی خرابی وجود ندارد	امکان ناپذیر
۹	کنترل وجود دارد، اما قابل اطمینان نیست و بسیار ناکارآمد است و یا موثر بودن آن معلوم نیست	بعید
۸	کنترل در شناسایی خرابی شانس بسیار ناچیزی دارد	بسیار ناچیز
۷	کنترل در شناسایی خرابی شانس کمی دارد و موثر بودن کنترل کم است	ناچیز
۶	کنترل در شناسایی خرابی شانس کمی دارد و موثر بودن کنترل کم است	کم
۵	کنترل در شناسایی و کشف خرابی شانس متوسطی دارد و قابلیت اطمینان و موثر بودن کنترل متوسط است	متوسط
۴	کنترل در شناسایی و کشف خرابی شانس خوبی دارد و قابلیت اطمینان و موثر بودن کنترل نسبتاً خوب است	نسبتاً متوسط
۳	کنترل در شناسایی و کشف خرابی شانس خیلی زیادی دارد و امکان عدم تشخیص خرابی بسیار ناچیز است	زیاد
۲	کنترل در شناسایی و کشف خرابی شانس خیلی زیادی دارد و امکان عدم تشخیص خرابی بسیار ناچیز است.	بسیار زیاد
۱	کنترل قطعاً قادر به شناسایی و کشف خرابی است	کاملاً قطعی

۶-۳-۱۱. اقدامات پیشنهادی^۱

FMEA بدون انجام اقدامات پیشنهادی، هدفی بی معنا و اقدامی و بی نتیجه است. به منظور کاهش رتبه‌های شدت، وقوع، تشخیص و یا همه آنها باید اقدامات پیشگیرانه تعریف شوند. این اقدامات می‌توانند یک اقدام اصلاحی و یا مطالعه و تحقیق درخصوص شرایط و موقعیت‌ها باشند. هدف از تعریف اقدامات پیشنهادی، حذف حالات خرابی در ارائه خدمت و یا حذف کمبودها و نقصان‌ها در ارائه خدمت (علل خرابی) است. برای رسیدن به این هدف، تیم FMEA باید ابتدا آن حالات خرابی که بالاترین RPN را دارند، با در نظر گرفتن بالاترین رتبه شدت و رتبه وقوع انتخاب کند.

۶-۳-۱۲. تاریخ تکمیل و مسئول اجرا

تاریخ پیش‌بینی اتمام اقدام پیشنهادی و شخص یا بخش مسئول اجرای اقدامات در این ستون نوشته می‌شوند.

^۱ . Recommended action

۶-۳-۱۳. ثبت نتایج اقدامات اجرا شده

مسئول تیم FMEA باید نحوه اجرای اقدامات پیشنهادی را دنبال کند تا مطمئن شود آیا اقدامات پیشنهادی به طور مناسب و کامل انجام می‌شوند یا خیر؟ همچنین باید توجه داشت که Service- FMEA یک مستند زنده است و باید همواره به روز باشد. به بیانی دیگر، مسئول تیم Service- FMEA باید مطمئن باشد که Service- FMEA تهیه شده همواره حاوی آخرین اطلاعات و بررسی اقدامات انجام شده بر روی ارائه خدمت است. پس از اجرای اقدامات پیشنهادی در این ستون، تاریخ اتمام و مختصری از آنچه که انجام شده است، ثبت می‌شود.

۶-۳-۱۴. تجدیدنظر در RPN

پس از اجرای اقدامات پیشنهادی، تیم FMEA باید مجدداً مقادیر شدت، وقوع و تشخیص را ارزیابی کند. ارزیابی مجدد براساس بررسی و تحلیل نتایج حاصل از اجرای اقدامات انجام می‌شود. پس از تعیین مقادیر جدید RPN، حالات خرابی مجدداً رتبه‌بندی می‌شوند. این فرایند تا زمانی که اعضای تیم FMEA مطمئن شوند که به اهداف رسیده‌اند، ادامه می‌یابد.

استفاده از System- FMEA

در طراحی سیستم A/C خودرو

FMEA of CO₂ Air Conditioning Systems

On SAE 2000 Automotive Alternative Refrigerant System Symposium July 11-13, 2000, Resort Suites Hotel, Scottsdale, AZ

By Dr. Ing. Ulrich Hussels

RISA Sicherheitsanalysen GmbH, Germany

e-mail: Ulrich. hussels@risa.de

The RISA Company

Founded in 1990, situated in Berlin, Germany

10 specialized engineers from research institutes of the Technical University of Berlin

Working areas are safety analysis and software development (databases)

Customers from nuclear-, automotive and LPG- industry

Where this kind of Analysis is needed (examples):

Higher amount of energy in a small amount of space (high energy density)

Nuclear power plants: reactor core cooling, pressure

Automotive: velocity, pressure

LPG: great amount of inflammable and explosive fluid/ gas mixture

Initiators and Core Team members

- Robert Mager, BMW AG (Chairman)
- Jürgen Wertenbach, Daimler Chrysler AG
- Baroto Adiprasito, Volkswagen Deutschland
- Frank Obrits, Obrits Engineering

Aims of the analysis for a prototypical CO₂ – AC System

- Diagnosis of potential effects of failure events
- Determination of countermeasure
- Proof of mastering all relevant effects
- Confirmation of the usability of CO₂ – technology regarding to safety and product liability
- System- FMEA as a basis for a design- FMEA from of the Analysis
- System- FMEA based on SAE J-1739
- Additional classification for consequence to human health
- Instructions to reduce the risk priority number if it is greater than 108 to get a balanced risk level over all failure events

Risk Priority Number

RPN= Severity × Occurrence × Detection

Severity 1-10 (8= Very High, 9 Hazardous with warning)

Occurrence 1-10 (4-6= Moderate)

Detection 1-10 (3= High)

RPN 1-1000 ($9 \times 4 \times 3 = 108$, according to an engineering judgement)

Table-Layout

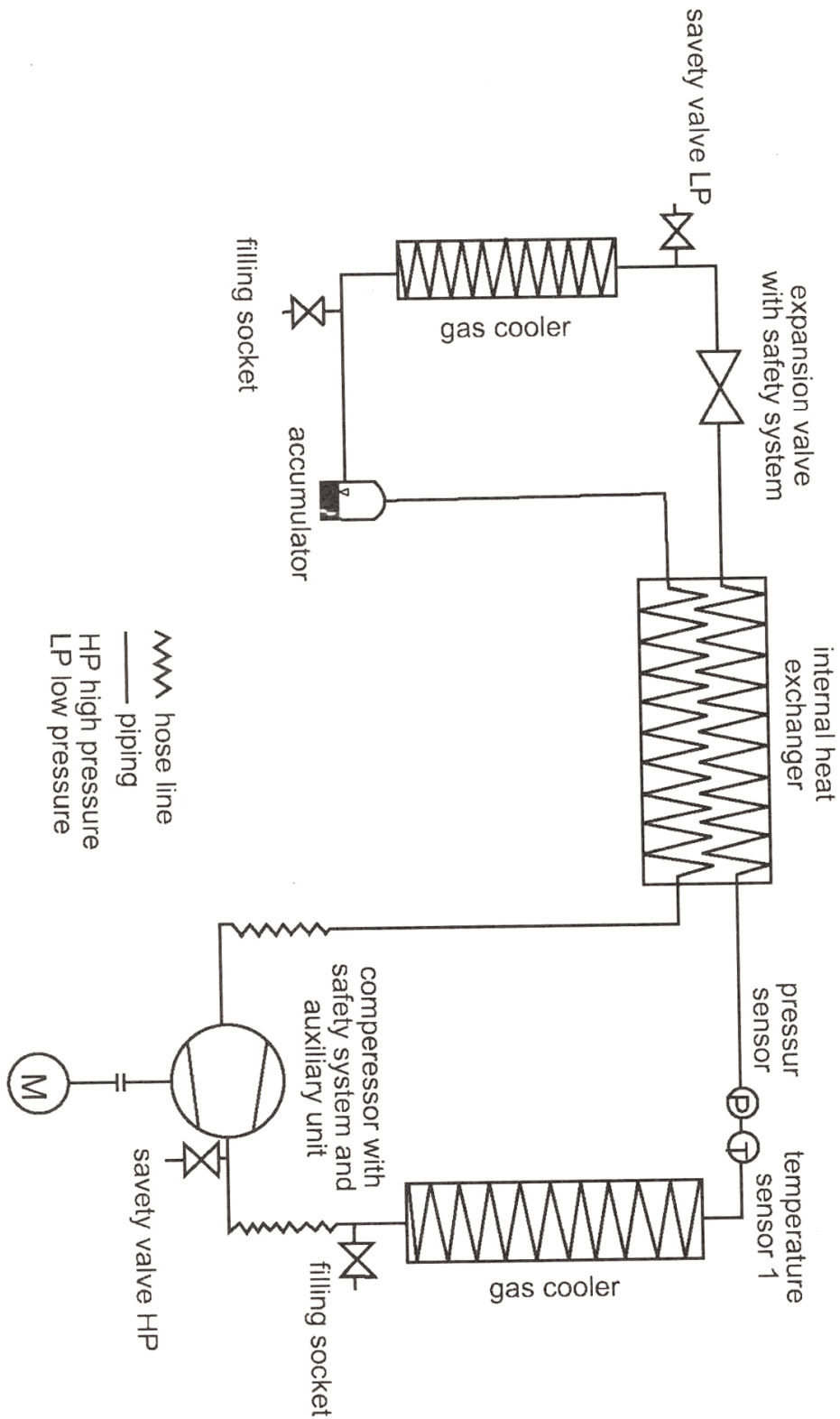
Item	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Class	Potential Cause(s) Mechanism(s) of Failure	Occur	Current Design Controls	Detec	RPN	Recommend ed Action(s)	Responsibility (for the Recommended Action)	Actions Taken	Sev	Occ	Det	RPN
Compressor	Transport the medium; compresses the medium	Losing of fastenings	Refrigerant pipe detaches, externa leaks	9	B	Material faults, loosening of fastening	1	Quality control	2	18	Oscillation tests			9	1	1	9
Gas cooler	Conducts heat to the External Environment	Blockage in refrigerant flow	Low cooling capacity, increase in pressure	6	A	Bends, Blockages	2	Deformation guard, layout; design of component	10	120	Parallel procedures, pressure sensor switched in front of the gas cooler, plussibility control via regulation control			6	2	6	72

Scope of the Analysis

- 23 components within the system with
- 107 failure events in respect to

- 3 operating modes,
- 3 (+2) vehicle running modes and
- 3 environment conditions

PI-Diagram



Results

- An automotive CO₂ AC- system in safe:
- General rules for the arrangement of the components have to be taken into account
- Safety components are detected

Outlook

- Development of common safety standards for an automotive CO₂ –AC system
- Systematic sampling of all failure rates during the operation of prototype system hours
- Performing a fault- and event tree analysis

Further Activities

- Further activities should be done to gain international acceptance

1. Technicomp Inc, 1995, Failure Mode & Effect Analysis.
2. D.H. Stamatis, ASQPress, 1994, Failure Mode and Effect Analysis (from theory to execution).
3. Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Third Edition, July 2001, potential Failure mode and effects analysis (FMEA)
4. The Cayman Business System, potential failure mode and effects analysis (FMEA), (WWW.QS9000.com/FMEA).