**ISIRI-IEC**

**12391**

**1st. Edition**

جمهوری اسلامی ایران

**Islamic Republic of Iran**

مؤسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران

**Institute of Standards and Industrial Research of Iran**

استاندارد ملی ایران

۱۲۳۹۱

چاپ اول

# فنون تحلیل قابلیت اطمینان سیستم روش اجرایی تحلیل نوع و اثرات وقوع خرابی(FMEA)

# Analysis techniques for system reliability- Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)

ICS: 03.120.01;03.120.30;21.020

## به‌نام خدا

## آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه[*] صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود .پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی( رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[۱] کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[۴] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره‌گیری می‌شود.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشو ر و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. مؤسسه می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سا زمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، مؤسسهٔ استاندارد این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عمل‌کرد آن‌ها نظارت می کند .ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این مؤسسه است.

---

[*] موسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1- International organization for Standardization
2 - International Electro technical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

## « فنون تحلیل قابلیت اطمینان سیستم روش اجرایی تحلیل نوع و اثرات وقوع خرابی(FMEA)»

| **رئیس:** | **سمت و/ یا نمایندگی** |
|---|---|
| سقایی، عباس<br>(دکترای مهندسی صنایع) | هیئت علمی دانشگاه آزاد– نایب رئیس انجمن مدیریت کیفیت ایران |
| **دبیر:** | |
| بستان دوست راد، احسان<br>(کارشناسی مهندسی صنایع) | مدیر عامل شرکت مهندسی سیستم‌های مدیریت قابلیت اعتماد توازن |
| **اعضاء**: (اسامی به ترتیب حروف الفبا) | |
| ذرّه، مهدی<br>(کارشناسی ارشد مهندسی برق) | کارشناس استاندارد |
| ذرّه، هومن<br>(کارشناسی ارشد ریاضی) | شرکت واصل الکتریک الوند |
| راعی، جلال<br>(کارشناسی ارشد مدیریت) | معاونت آماد و پشتیبانی دانشگاه هوایی– کارشناس استاندارد |
| طوماریان، سهیلا<br>(کارشناسی مهندسی الکترونیک) | کارشناس مسئول دفتر امور تدوین موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران |
| عزیززاده فیروزی، عین اله<br>(کارشناسی ارشد مهندسی معدن) | کارشناس شرکت مهندسی سیستم‌های مدیریت قابلیت اعتماد توازن |

## فهرست مندرجات

**عنوان** **صفحه**

آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ج
پیش گفتار ه
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ کلیات ۳
۴ ۱ مقدمه ۳
۴ ۲ قصد و اهداف تحلیل ۵
۵ تحلیل انواع و اثرات وقوع خرابی ۶
۵ ۱ ملاحظات کلی ۶
۵ ۲ تکالیف اولیه ۷
۵ ۳ تحلیل نوع، اثرات و خطیر بودن وقوع خرابی (FMECA) ۱۸
۵ ۴ گزارش تحلیل ۲۹
۶ ملاحظات دیگر ۳۰
۶ ۱ وقوع خرابی های علت مشترک ۳۰
۶ ۲ عوامل انسانی ۳۱
۶ ۳ خطاهای نرم‌افزاری ۳۱
۶ ۴ FMEA مربوط به عواقب وقوع خرابی سیستم ۳۲
۷ کاربردها ۳۲
۷ ۱ استفاده از FMECA/FMEA ۳۲
۷ ۲ مزایای FMEA ۳۴
۷ ۳ محدودیت ها و کم و کاستی های FMEA ۳۴
۷ ۴ روابط با سایر روش ها ۳۵

پیوست الف (اطلاعاتی) خلاصه ای از روش های اجرایی FMEA و FMECA ۳۸
پیوست ب (اطلاعاتی) مثال هایی از تحلیل ها ۴۲

کتابنامه ۴۹

## پیش گفتار

استاندارد" فنون تحلیل قابلیت اطمینان سیستم روش اجرایی تحلیل نوع و اثرات وقوع خرابی(FMEA) " که پیش نویس آن درکمیسیون های مربوط توسط شرکت مهندسی سیستم های مدیریت قابلیت اعتماد توازن تهیه و تدوین شده و در هشتاد و دومین اجلاس کمیتهٔ ملی استاندارد رایانه مورخ ۱۳۸۸/۰۸/۳۰ مورد تصویب قرار گرفته است ، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ ، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود .
برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت.بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:
IEC 60812:2006, Analysis techniques for system reliability-Procedures for failure mode and effects analysis (FMEA)

# فنون تحلیل برای قابلیت اطمینان سیستم روش اجرایی تحلیل نوع و اثرات وقوع خرابی (FMEA)

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد توصیف تحلیل نوع و اثرات وقوع خرابی (FMEA)[۱] و تحلیل نوع، اثرات و خطیر بودن وقوع خرابی (FMECA)[۲] بوده و با انجام موارد زیر راهنمایی را در مورد چگونگی اعمال آن‌ها برای به دست آوردن اهداف مختلف، ارائه می‌کند.

- فراهم کردن گام های روش اجرایی ضروری برای اجرای یک تحلیل؛
- شناسایی واژه‌ها، فرضیات، مقیاس‌های خطیر بودن، انواع وقوع خرابی؛
- تعریف اصول مبنایی؛
- فراهم کردن مثال‌هایی از برگه‌های کاری یا سایر فرم‌های جدولی ضروری

تمامی ملاحظات کیفی کلی ارائه شده برای FMEA به FMECA نیز اعمال خواهد شد، زیرا FMECA بسطی از FMEA است.

## ۲ مراجع الزامی

مراجع الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع شده است. به این ترتیب آن مقررات جزءئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شوند. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه های بعدی آن مورد نظر می باشد.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است.

**2-1** IEC 60300-3-1:2003, Dependability management-Part 3-1: Application guide-Analysis techniques for dependability-Guide on methodology

**2-2** IEC 61025, Fault tree analysis (FTA)

**2-3** IEC 61078, Analysis techniques for dependability-Reliability block diagram method

## ۳ اصطلاحات و تعاریف

برای این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود.

### ۱ ۳

**قلم**[۳]

هر قطعه، جزء، وسیله، زیر سیستم، واحد وظیفه‌ای، تجهیزات یا سیستم که بتوان آن را جداگانه مورد بررسی قرار داد.

---

[1] -Failure mode and effects analysis

[2] - Failure mode, effects and criticality analysis

[3] -Item

**یادآوری ۱-** قلم می‌تواند از سخت افزار، نرم افزار یا هر دوی آن‌ها تشکیل شود و در موارد خاص ممکن است انسان را هم شامل شود.

**یادآوری ۲** تعدادی از قلم ها مانند جامعه‌ای از قلم‌ها یا یک نمونه را هم می توان به عنوان یک قلم مورد بررسی قرار داد.

[استاندارد ملی ۱- ۱- ۱۹۱- ۱۰۴۲۵]

فرآیند را می‌توان به صورت قلم نیز تعریف کرد که وظیفه از پیش تعیین شده را انجام می‌دهد و برای فرآیند، FMEA یا FMECA انجام می‌شود. معمولاً FMEA سخت‌افزاری به اشخاص و تعامل‌های آن‌ها با سخت‌افزار/نرم‌افزار ارجاع نمی‌دهد، اما FMEA فرآیندی معمولاً شامل اقدامات اشخاص است.

### ۳-۲

**وقوع خرابی**[1]

پایان قابلیت قلم برای انجام یک وظیفه‌ی الزام شده.

[استاندارد ملی ۱- ۴- ۱۹۱- ۱۰۴۲۵]

### ۳-۳

**خرابی**[2]

حالت قلم که با عدم قابلیت برای اجرای وظیفه‌ی الزام شده مشخص می‌شود به استثنای عدم قابلیت طی نگهداری پیش‌گیرانه یا فعالیت‌های طرح‌ریزی شده دیگر یا به علت فقدان منابع بیرونی.

**یادآوری ۱-** خرابی اغلب نتیجه وقوع خرابی خود قلم است ولی ممکن است بدون وقوع خرابی پیشین هم وجود داشته باشد.

[استاندارد ملی ۱- ۵- ۱۹۱- ۱۰۴۲۵]

**یادآوری ۲-** در این مدرک، به دلایل سابقه‌ای "خرابی" به صورت قابل جایگزینی با واژه "وقوع خرابی" استفاده می‌شود.

### ۳-۴

**اثر وقوع خرابی**[3]

عواقب نوع خرابی بر حسب بهره‌برداری، وظیفه یا حالت قلم.

### ۳-۵

**نوع وقوع خرابی** [4]

طریقه‌ای که قلم خراب می‌شود.

---

[1] -Failure

[2] -Fault

[3] -Failure effect

[4] -Failure mode

### ۶ ۳

### خطیر بودن وقوع خرابی[1]

ترکیبی از شدت اثر و فراوانی رخداد آن یا سایر صفات وقوع خرابی به عنوان مقیاسی از نیاز برای پرداخت و کاهش

### ۷ ۳

سیستم[2]

مجموعه عناصر دارای ارتباط درونی یا دارای تعامل

**یادآوری ۱-** در زمینه قابلیت اعتماد، سیستم دارای

الف) مقاصد تعریف شده‌ای است که بر حسب وظایف الزام شده بیان می شود؛

ب)شرایط بیان شده‌ای از کاربرد بهره‌برداری است (به ۴۲- ۱- ۱۹۱ مراجعه کنید)؛

پ) مرز تعریف شده است.

**یادآوری ۲** ساختار سیستم، سلسله مراتبی است.

[استاندارد ملی، ایزو ۹۰۰۰]

### ۸ ۳

### شدت وقوع خرابی[3]

اهمیت یا درجه‌بندی اثر نوع وقوع خرابی بر بهره‌برداری قلم، بر محیط قلم، یا بر اپراتور قلم؛ شدت اثر نوع وقوع خرابی به صورتی که با مرزهای تعریف شده سیستم تحلیل شده، مرتبط است.

## ۴ کلیات

### ۱ ۴ مقدمه

تحلیل انواع و آثار وقوع خرابی(FMEA) روش اجرایی سیستماتیک برای تحلیل سیستم جهت شناسایی انواع بالقوه وقوع خرابی، علل و اثرات آن‌ها بر عمل‌کرد سیستم (عمل‌کرد مجموعه بلافصل و سیستم کل یا یک فرآیند) است. در این‌جا، واژه سیستم به عنوان نماینده‌ای از سخت‌افزار، نرم‌افزار (با تعامل آن‌ها) یا فرآیند استفاده می‌شود. تحلیل به صورت موفقی، ترجیحاً در اوایل چرخه تکوین اجرا می شود، به گونه‌ای که حذف یا کاهش نوع وقوع خرابی، به صرفه‌ترین باشد. این تحلیل می‌تواند به محض اینکه سیستم به اندازه کافی جهت نمایش به صورت یک نمودار بلوکی وظیفه ای تعریف شود، آغاز شود که در این نمودار، عمل‌کرد عناصر آن می‌تواند تعریف شود.

---

[1] -Failure criticality

[2] -System

[3] -Failure severity

زمان‌بندی FMEA، ضروری است و در صورتی که در زمان مناسبی در چرخه تکوین انجام شود، مشارکت‌دادن تغییرات طراحی برای غلبه بر کاستی های شناسایی شده توسط FMEA می‌تواند به صرفه باشد. لذا این امر اهمیت دارد که تکلیف FMEA و قابل تحویل های آن در طرح و برنامه زمان‌بندی تکوین مشارکت داده شود. بنابر این، FMEA یک فرآیند تکراری است که همزمان با فرآیند طراحی رخ می‌دهد.

FMEA در سطوح مختلف تجزیه سیستم از بالاترین سطح نمودار بلوکی تا وظایف اجزای مجزا یا دستورات نرم افزاری قابل کاربرد است. همچنین، FMEA فرآیندی تکراری است که در هنگامی تکوین طراحی، به‌هنگام می‌شود. تغییرات طراحی الزام خواهد کرد که قسمت‌های مربوط FMEA، بازنگری و به‌هنگام شود.

یک FMEA کامل، نتیجه کار تیمی از اشخاص احراز شده است که برای شناسایی و ارزیابی بزرگی و عواقب انواع مختلف نارسایی های بالقوه در طراحی محصول که ممکن است منجر به وقوع خرابی شود، تشکیل می‌شود. مزیت کار تیمی، انگیزه بخشیدن آن به فرآیند تفکر و تضمین مهارت ضروری است.

FMEA به عنوان روشی برای شناسایی شدت انواع بالقوه وقوع خرابی ها و فراهم کردن یک ورودی برای اقدامات کاهشی جهت کاهش ریسک، در نظر گرفته می‌شود. البته در برخی کاربردها، FMEA شامل برآوردی از احتمال رخداد انواع وقوع خرابی هاست. این امر با فراهم کردن مقیاسی از احتمال نوع خرابی، تحلیل را ارتقای کیفی می‌دهد.

FMEA بعد از تجزیه سلسله مراتبی سیستم (سخت‌افزار با نرم‌افزار یا یک فرآیند) به عناصر پایه‌ای‌تر آن، کاربرد می‌یابد. کاربرد نمودارهای بلوکی ساده برای نشان دادن این تجزیه (به IEC۶۱۰۷۸ مراجعه کنید) مفید است. آن‌گاه تحلیل با پایین ترین سطح عناصر شروع می‌شود. بنابر این یک اثر نوع خرابی در سطح پایین تر، ممکن است یک علت وقوع خرابی یک نوع وقوع خرابی یک قلم در سطح بالاتر بعدی باشد. تحلیل با روش از پایین به بالا ادامه می یابد تا زمانی که اثر نهایی سیستم، شناسایی شود. شکل ۱ این رابطه را نشان می‌دهد.

FMECA (تحلیل انواع، اثرات و خطیر بودن وقوع خرابی) بسطی از FMEA برای شامل شدن یک روش رتبه‌بندی شدت انواع وقوع خرابی برای امکان پذیر ساختن اولویت بندی اقدامات متقابل است. این امر با ترکیب مقیاس شدت و فراوانی رخداد برای تولید معیاری است که خطیر بودن نامیده می شود.

اصول یک FMEA می‌تواند در خارج از طراحی مهندسی اعمال شود. روش اجرایی FMEA می‌تواند به یک فرآیند ساخت یا فرآیندهای کاری دیگر از قبیل بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌های پزشکی، سیستم مدارس یا غیره اعمال شود. در صورتی که FMEA به یک فرآیند ساخت اعمال شود، به عنوان FMEA فرآیندی یا PFMEA [1] در صنعت معروف است. برای آنکه FMEA اثربخش باشد، باید منابع کافی برای کار تیمی، تعهد شود. درک کاملی از سیستم مورد تحلیل ممکن است برای FMEA اولیه، ضروری نباشد. تحلیل تفصیلی نوع وقوع خرابی در تکوین طراحی به دانش کاملی از عمل‌کرد طراحی و مشخصات آن نیاز دارد. طراحی‌های مهندسی پیچیده معمولاً نیازمند دخیل کردن چندین حوزه مهارت طراحی (از قبیل مهندسی مکانیک، مهندسی برق، مهندسی سیستم ها، مهندسی نرم‌افزار، پشتیبانی نگهداری و غیره) است.

---

[1] -Process FMEA

FMEA در حالت کلی با انواع منفرد وقوع خرابی و اثر این انواع وقوع خرابی بر سیستم، سروکار دارد. لذا این روش اجرایی برای در نظر گرفتن وقوع خرابی‌های وابسته یا وقوع خرابی های ناشی از یک توالی از رویدادها، نامناسب است. برای تحلیل این وضعیت ها، ممکن است به سایر روش ها و فنون از قبیل تحلیل مارکوف (به IEC ۶۱۱۶۵ مراجعه کنید) یا تحلیل درخت خرابی (به IEC ۶۱۰۲۵ مراجعه کنید) نیاز باشد.

در تعیین پیامد وقوع خرابی، باید وقوع خرابی های- القا شده نتیجه شده سطح بالاتر را در نظر گرفت. این تحلیل بایستی در هر جا که ممکن باشد، ترکیب انواع وقوع خرابی ها یا توالی آن‌ها که علت اثر سطح بالاتر بوده را مشخص کند. در این مورد برای برآورد بزرگی یا احتمال رخدادی از این قبیل اثر، ضروری است مدل‌سازی بیشتری انجام شود.

FMEA ابزاری انعطاف پذیر است که می‌تواند برای برآورده کردن نیازهای صنعتی یا محصول خاص، سازگارسازی شود. کاربرگ‌های تخصصی نیازمند ورودی‌های خاص ممکن است برای کاربردهای خاصی، وفق داده شوند. در صورت تعریف سطوح شدت انواع وقوع خرابی‌ها، می‌توان آن‌ها را برای سیستم های مختلف یا برای سطوح سیستمی مختلف، به صورت متفاوتی تعریف کرد.

## ۴ ۲ مقصود و اهداف تحلیل

دلایل تقبل تحلیل انواع و آثار وقوع خرابی (FMEA) یا تحلیل نوع، اثرات و خطیر بودن وقوع خرابی (FMECA) ممکن است شامل موارد زیر باشد:

الف) شناسایی آن وقوع خرابی هایی که دارای اثرات ناخواسته‌ای بر بهره‌برداری سیستم هستند، برای مثال مانع بهره‌برداری شده یا آن را به میزان قابل توجهی تنزل می دهند یا بر ایمنی کاربر اثر می گذارند؛

ب)برآورده کردن الزامات قراردادی مشتری، در صورت کاربرد؛

پ) امکان‌پذیر ساختن قابلیت اطمینان یا ایمنی سیستم (برای مثال با تعدیل های طراحی یا اقدامات تضمین کیفیت)؛

ت)امکان‌پذیر ساختن بهبودهای قابلیت نگهداری سیستم (با بارزسازی زمینه های ریسک یا عدم انطباق برای قابلیت نگهداری).

با در نظر گرفتن دلایل فوق برای تقبل تلاش FMEA، اهداف FMEA (یا FMECA) می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

الف) شناسایی و ارزیابی جامع تمامی اثرات ناخواسته در مرزهای تعریف شده سیستم مورد تحلیل و توالی‌های رویدادهای ناشی از هر نوع وقوع خرابی شناسایی شده قلم، به هر علت در سطوح مختلفی از سلسله مراتب وظیفه ای سیستم؛

ب)تعیین خطیر بودن یا اولویت برای پرداختن/کاهش (به بند ۶ مراجعه کنید) هر نوع وقوع خرابی با توجه به هر وظیفه یا عمل‌کرد درست سیستم و اثر آن بر فرآیند مورد نظر؛

پ)طبقه بندی انواع شناسایی شده وقوع خرابی مطابق با ویژگی های مربوط، شامل سهولت آشکارسازی آن‌ها، توان‌مندی که باید تشخیص داده شود، قابلیت آزمون، شرایط جبران سازی و بهره‌برداری (تعمیر، نگهداری، لجستیک و غیره)؛

ت) شناسایی وقوع خرابی های وظیفه‌ای سیستم و برآورد مقیاس های شدت و احتمال وقوع خرابی؛

ث) تکوین طرح بهره‌برداری طراحی برای کاهش انواع وقوع خرابی؛

ج)پشتیبانی تکوین طرح اثربخش نگهداری برای تخفیف یا کاهش احتمال وقوع خرابی (به ۱ ۱- ۴ IEC۶۰۳۰۰ مراجعه کنید).

**یادآوری** زمانی که به خطیر بودن یا احتمال رخداد پرداخته می شود، توضیحات با روش شناسی FMECA مرتبط می باشند.

## ۵ تحلیل انواع و اثرات وقوع خرابی

### ۵ ۱ ملاحظات کلی

معمولاً FMEA با گستره وسیعی از روش‌ها، اجرا و نمایش داده می‌شود. تحلیل معمولاً با شناسایی انواع وقوع خرابی، علل متناظر آن‌ها و اثرات فوری و نهایی آن‌ها انجام می‌شود. نتایج تحلیلی می‌تواند با کاربرگ نشان داده شود که شامل هسته‌ای از اطلاعات اساسی برای کل سیستم و جزئیات تکوین داده شده برای آن سیستم خاص است. این نتایج راهی را که سیستم می‌تواند بالقوه خراب شود، اجزا و انواع وقوع خرابی آن‌ها که علت وقوع خرابی سیستم خواهد بود و علت(های) رخداد هر نوع وقوع خرابی منفرد را نشان می‌دهد.

تلاش FMEA اعمال شده به محصولات پیچیده می‌تواند بسیار گران باشد. این تلاش می‌تواند گاهی اوقات با در نظر داشتن این امر که طراحی برخی از زیرمجموعه ها یا قسمت های آن‌ها نمی تواند کاملا جدید باشد و با شناسایی قسمت هایی از طراحی محصول که تکرار یا تعدیلی از طراحی محصول قبلی هستند کاهش یابد. FMEA تازه ساخته شده بایستی تا بیشترین حد ممکن از اطلاعات زیرمجموعه های موجود استفاده کند و بایستی نیاز به آزمون نهایی یا تحلیل کامل خصوصیات یا اقلام جدید را نیز خاطرنشان کند. به محض اینکه FMEA تفصیلی برای طراحی ایجاد شود، می‌تواند برای تولیدهای بعدی آن طراحی به هنگام شده و بهبود داده شود که تلاش بسیار کمتری از تحلیل کاملاً جدید را تشکیل می‌دهد.

هنگام استفاده از FMEA موجود از نسخه محصول قبلی، ایجاد اطمینان از اینکه طراحی تکرار شده در حقیقت به همان صورت و تحت تنش های یکسان با طراحی قبلی استفاده می‌شود، ضرورت دارد. تنش‌های بهره‌برداری یا محیطی جدید ممکن است بازنگری FMEAای که قبلاً انجام شده را الزام کنند. تنش‌های محیطی و بهره‌برداری مختلف ممکن است الزام کنند که FMEA کاملاً جدیدی باید با نگاه به شرایط جدید بهره‌برداری ایجاد شود.

روش اجرایی FMEA از ۴ مرحله اصلی زیر تشکیل می‌شود:

الف) ایجاد دستورالعمل‌های مبنایی برای FMEA و طرح‌ریزی و زمان‌بندی برای اطمینان از این که زمان و مهارت برای انجام تحلیل، آماده است؛

ب)اجرای FMEA با استفاده از کاربرگ مناسب یا سایر روش ها از قبیل نمودارهای منطقی یا درخت‌های خرابی؛

پ)خلاصه سازی و گزارش تحلیل برای شامل شدن هر نتیجه و توصیه های انجام شده؛

ت)به هنگام سازی FMEA در هنگامی که فعالیت تکوین پیشرفت می‌کند.

## ۵ ۲ تکالیف اولیه

### ۵ ۲ ۱ طرح ریزی برای تحلیل

فعالیت‌های FMEA، فعالیت‌های پی‌گیری، روش‌های اجرایی، رابطه با سایر فعالیت های قابلیت اطمینان، فرآیندهایی برای مدیریت اقدامات اصلاحی و برای خاتمه آن‌ها و نقاط برجسته بایستی در طرح برنامه کلی تلفیق شود.

طرح برنامه قابلیت اطمینان بایستی روش تحلیل FMEA مورد استفاده را توصیف کند. این توصیف ممکن است یک توصیف خلاصه بوده یا ارجاعی به یک مدرک منبع شامل توصیف روش باشد.

این طرح بایستی شامل موارد زیر باشد:

- تعریف روشنی از مقاصد خاص تحلیل و نتایج مورد انتظار؛
- دامنه کاربرد تحلیل حاضر بر حسب اینکه چگونه بایستی FMEA بر عناصر خاص طراحی تمرکز کند. دامنه کاربرد بایستی بلوغ طراحی، عناصری از طراحی که ممکن است به خاطر اینکه آن‌ها یک وظیفه بحرانی اجرا می‌کنند یا به خاطر نابالغی فن‌آوری مورد استفاده، یک ریسک در نظر گرفته شوند را بازتاب دهد.
- توصیفی از اینکه چگونه تحلیل حاضر از قابلیت اعتماد کلی پروژه پشتیبانی می‌کند.
- اقدامات شناسایی شده مورد استفاده برای کنترل بازنگری های FMEA و مستندسازی مربوط. کنترل بازنگری مستندات تحلیل و برگه های کاری و روش های بایگانی بایستی مشخص شود.
- مشارکت متخصصان طراحی در تحلیل به صورتی که آن‌ها در زمان نیاز آماده باشند.
- نقاط برجسته برنامه زمان‌بندی پروژه کلیدی به روشنی علامت گذاری شود تا اطمینان حاصل شود که تحلیل به صورت زمان بندی شده ای اجرا می‌شود.
- روش خاتمه تمامی اقدامات شناسایی شده در فرآیند کاهش انواع وقوع خرابی های شناسایی شده‌ای که نیاز است پرداخته شوند.

طرح بایستی اجماع تمامی شرکت کنندگان را بازتاب دهد و بایستی توسط مدیریت پروژه تأیید شود. بازنگری نهایی FMEA تکمیل شده در مرحله نهایی طراحی یک پروژه یا فرآیند ساخت آن (FMEA فرآیند)، تمامی اقدامات ثبت شده برای کاهش انواع وقوع خرابی مورد نظر و روش خاتمه آن‌ها را شناسایی می‌کند.

### ۵ ۲ ۲ ساختار سیستم

#### ۵ ۲ ۲ ۱ اطلاعات ساختار سیستم

اقلام زیر نیاز است در اطلاعات ساختار سیستم گنجانده شوند:

الف) عناصر سیستمی مختلف با ویژگی ها، عملکردها، نقش ها و وظایف آن‌ها؛

ب) ارتباطات منطقی بین عناصر؛

پ)سطح ردوندانسی و ماهیت ردوندانسی ها؛

ث) موقعیت و اهمیت سیستم در کل تاسیسات (در صورت امکان)؛

ج)ورودی ها و خروجی های سیستم؛

چ) تغییرات در ساختار سیستم برای انواع متغییر بهره‌برداری.

اطلاعات مرتبط به وظایف، ویژگی ها و عمل‌کردها برای تمامی سطوح سیستمی در نظر گرفته شده تا بالاترین سطح مورد نیاز می باشند به گونه ای که FMEA می‌تواند به درستی انواع وقوع خرابی‌ها که مانع آن وظایف می‌شوند بپردازد.

### ۵ ۲ ۲ ۲ تعریف مرز سیستم برای تحلیل

مرز سیستم، رابطی فیزیکی و وظیفه‌ای بین سیستم و محیط آن را تشکیل می‌دهد و شامل سیستم‌های دیگری است که سیستم تحلیل شده با آن تعامل می‌کند. تعریف مرز سیستم برای تحلیل بایستی مطابق با مرزی باشد که برای طراحی و نگهداری تعریف شده است. این مرز بایستی برای یک سیستم در هر سطحی اعمال شود. سیستم ها و/یا اجزای خارج از مرزها بایستی صریحاً برای استثنا کردن، تعریف شوند.

تعریف مرز سیستم بیش از آن که توسط الزامات بهینه FMEA تأثیر پذیرد از طراحی، کاربرد مورد نظر، منبع تامین یا معیارهای اقتصادی تأثیر می‌گیرد. به هر حال، در جایی که تعریف مرزها برای تسهیل FMEA سیستم و تلفیق آن در سایر مطالعات مرتبط در برنامه امکان‌پذیر باشد، چنین اقدامی ترجیح داده می‌شود. این امر به ویژه زمانی برقرار است که سیستم از نظر وظیفه ای با ارتباطات متقابل چندگانه بین اقلام درون مرز و خروجی های چندگانه عبوری از مرز، پیچیده باشد. در چنین مواردی، تعریف یک مرز مطالعه از نقطه نظر وظیفه ای به جای دیدگاه سخت افزاری و نرم افزاری برای محدود کردن تعداد پیوند های ورودی و خروجی به سیستم های دیگر، می‌تواند مفید باشد. این امر تعداد اثرات وقوع خرابی سیستم را کاهش خواهد داد.

با بیان صریح این‌که سیستم ها یا اجزای دیگر خارج از مرزهای سیستم از مطالعه به خصوصی، استثنا شده اند بایستی دقت کرد تا اطمینان یافت که آن‌ها فراموش نمی شوند.

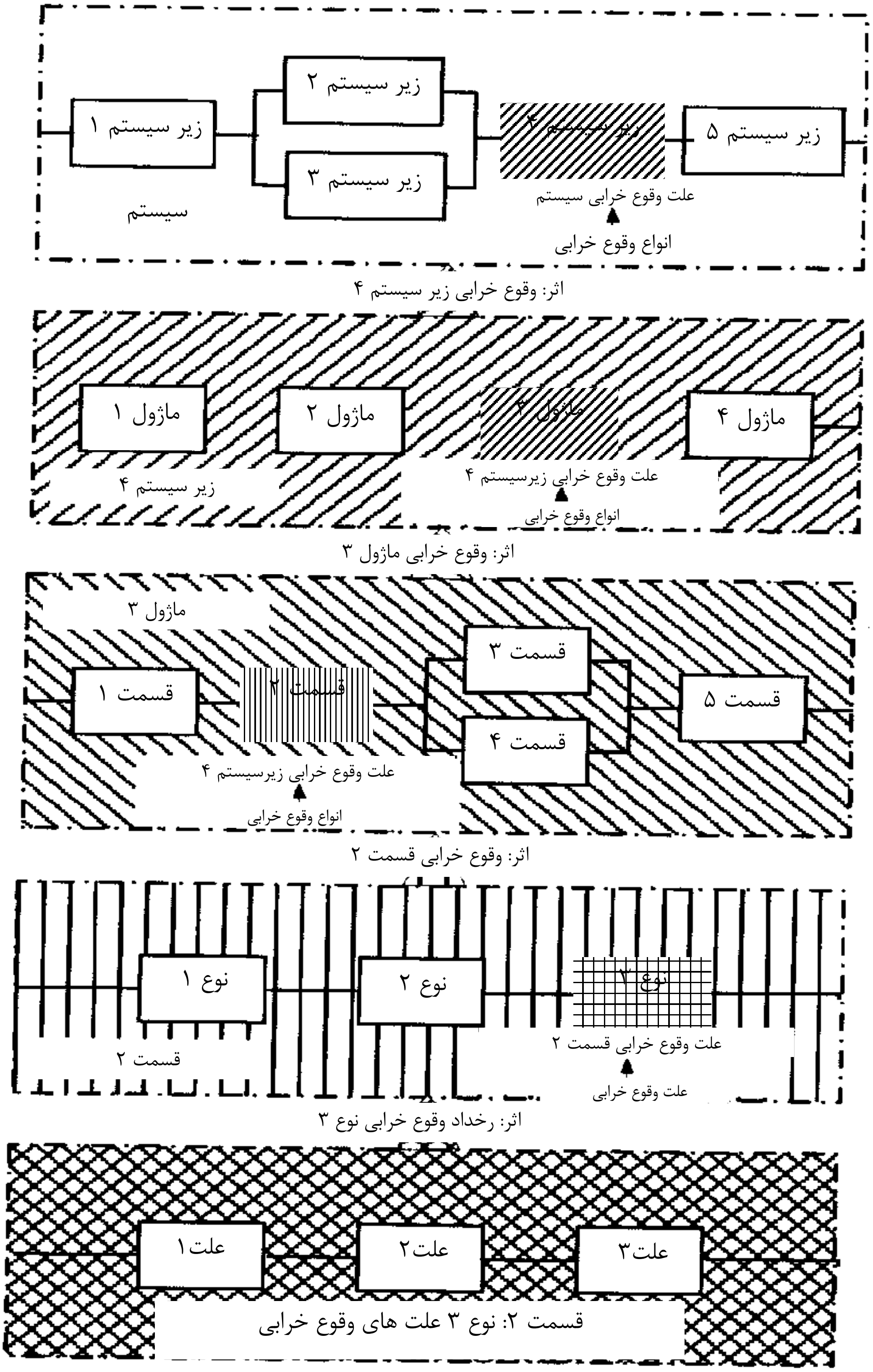
### ۵ ۲ ۲ ۳ سطوح تحلیل

تعیین سطح قراردادی در سیستمی که برای تحلیل استفاده خواهد شد، اهمیت دارد. برای مثال، سیستم‌ها می توانند با استفاده از وظیفه یا به زیر سیستم‌ها، واحدهای قابل جایگزین، یا اجزای منفرد تجزیه شوند (به شکل ۱ مراجعه کنید). دستورالعمل‌های انتخاب سطوح قراردادی سیستم برای تحلیل به نتایج مورد نظر و آمادگی اطلاعات طراحی بستگی دارد. دستورالعمل‌های زیر مفید هستند:

الف) بالاترین سطح در سیستم از مفهوم طراحی و الزامات خاص خروجی انتخاب می‌شود.

ب) پایین ترین سطح در سیستم که در آن تحلیل اثربخش است، سطحی است که برای آن، اطلاعات جهت ایجاد تعریف و توصیف وظایف آماده است. انتخاب سطح سیستمی مناسب تحت تاثیر تجربه قبلی قرار می‌گیرد. تحلیلی کمتر تفصیلی ممکن است بر مبنای یک طراحی بالغ، با قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و ثبت ایمنی خوب، توجیه شود. بالعکس، جزئیات بیشتر و متناظراً سطح سیستمی پایین تر برای سیستمی که به تازگی طراحی شده یا برای سیستمی با سابقه قابلیت اطمینان نامعلوم، نشان داده می‌شود.

ت)نگهداری و سطح تعمیر مشخص شده یا مورد نظر می توانند راهنمایی ارزشمند در تعیین سطوح پایین تر سیستم باشند.


زیر سیستم ۱
زیر سیستم ۲
زیر سیستم ۳
زیر سیستم ۴
زیر سیستم ۵
سیستم
علت وقوع خرابی سیستم
انواع وقوع خرابی
اثر: وقوع خرابی زیر سیستم ۴
ماژول ۱
ماژول ۲
ماژول ۳
ماژول ۴
زیر سیستم ۴
علت وقوع خرابی زیرسیستم ۴
انواع وقوع خرابی
اثر: وقوع خرابی ماژول ۳
ماژول ۳
قسمت ۱
قسمت ۲
قسمت ۳
قسمت ۴
قسمت ۵
علت وقوع خرابی زیرسیستم ۴
انواع وقوع خرابی
اثر: وقوع خرابی قسمت ۲
نوع ۱
نوع ۲
نوع ۳
قسمت ۲
علت وقوع خرابی قسمت ۲
علت وقوع خرابی
اثر: رخداد وقوع خرابی نوع ۳
علت۱
علت۲
علت۳
قسمت ۲: نوع ۳ علت های وقوع خرابی

**شکل ۱- رابطه بین انواع وقوع خرابی و اثرات وقوع خرابی در سلسله مراتب سیستم**

در FMEA، تعاریف انواع وقوع خرابی، علل وقوع خرابی و اثرات وقوع خرابی به سطح تحلیل و معیار وقوع خرابی سیستم بستگی دارد. با پیشرفت تحلیل، اثرات وقوع خرابی شناسایی شده در سطح پایین تر ممکن است در سطح بالاتر به انواع خرابی تبدیل شوند. انواع وقوع خرابی در سطح پایین تر ممکن است در سطح بالاتر به علت وقوع خرابی تبدیل شوند و الی آخر.

هنگامی که سیستم به عناصر خود تجزیه می‌شود، اثرات یک یا چند علل نوع وقوع خرابی یک نوع خرابی ایجاد می‌کنند که به نوبه خود یک علت اثر سطح بالاتر، یک وقوع خرابی قسمتی است. آنگاه وقوع خرابی قسمتی، علت یک وقوع خرابی ماژولی (اثر) است که خود علت یک وقوع خرابی زیرسیستمی است. آنگاه اثر علت از سطح سیستمی به علت اثری دیگر در سطح بالاتر تبدیل می‌شود. منطق فوق در شکل ۱ نشان داده شده است.

### ۵ ۲ ۲ ۴ نمایش ساختار سیستم

نمایش‌های نمادین ساختار و بهره‌برداری سیستم، به ویژه نمودارها، برای کمک به تحلیل بسیار مفید هستند. نمودارهای ساده بایستی ایجاد شوند و وظایف اساسی برای سیستم را مشخص کنند. بلوک ها در نمودار به وسیله خطوطی به هم پیوند دارند که ورودی ها و خروجی ها را برای هر وظیفه نشان می‌دهد. معمولاً ماهیت هر وظیفه و هر ورودی نیازمند آن است که به دقت توصیف شود. ممکن است چندین نمودار برای پوشش دادن فازهای مختلف بهره‌برداری سیستم وجود داشته باشد.

با پیشرفت طراحی سیستم، می‌توان نمودار بلوکی جزء را با بلوک‌هایی که معرف جزها یا قسمت های واقعی هستند ایجاد کرد. با این دانش بیشتر، شناسایی دقیق تر انواع و علل بالقوه وقوع خرابی امکان‌پذیر می‌شود.

نمودارها بایستی هر گونه رابطه سری و ردوندانت بین عناصر و وابستگی های متقابل وظیفه ای بین آن‌ها را نشان دهند. این امر به وقوع خرابی های وظیفه ای امکان می‌دهد تا در سیستم ردیابی شوند. برای هر نوع بهره‌برداری ممکن است نمودارهای جداگانه ای الزام شود. نمودار بلوکی حداقل شامل موارد زیر است:

الف) تجزیه سیستم به زیر سیستم‌های اصلی شامل روابط وظیفه‌ای؛

ب) تمامی ورودی ها و خروجی هایی که به صورت مناسبی برچسب گذاری شده‌اند و اعداد شناسایی که با آن هر زیر سیستم به صورت مناسبی ارجاع داده می‌شود.

پ)تمامی ردوندانسی‌ها، مسیرهای جایگزین سیگنال و سایر خصیصه‌های مهندسی که حفاظت در مقابل وقوع خرابی های سیستمی را فراهم می‌کنند.

### ۵ ۲ ۲ ۵ آغاز، بهره‌برداری، کنترل و نگهداری سیستم

وضعیت شرایط مختلف بهره‌برداری سیستم و نیز تغییرات در پیکره بندی یا موقعیت سیستم و اجزای آن در حین فازهای مختلف بهره‌برداری بایستی مشخص شود. عمل‌کردهای حداقلی تقاضا شده سیستم بایستی به گونه ای تعریف شود که معیارهای موفقیت و/یا وقوع خرابی را بتوان به صورت روشنی درک کرد. این قبیل الزامات خاص نظیر آمادگی یا ایمنی بایستی بر حسب سطوح کمینه مشخص شده آمادگی که باید حاصل شود و سطوح بیشینه صدمه یا آسیب که باید پذیرفته شود، در نظر گرفته شوند. دارا بودن دانش درستی از موارد زیر ضروری است:

الف)مدت هر وظیفه ای که سیستم ممکن است برای اجرا، فراخوانی کند؛

ب)بازه زمانی بین آزمون های دوره ای؛

پ)زمان آماده برای اقدام اصلاحی قبل از آنکه عواقب جدی برای سیستم رخ دهد؛

ت)کل تاسیسات، محیط و/یا کارکنان، شامل رابط ها و رابطهای بین بهره برداران؛

ث) روش های اجرایی بهره‌برداری در روشن شدن، خاموش شدن سیستم و سایر انتقال های بهره‌برداری؛

ج) کنترل در حین فازهای بهره‌برداری؛

چ) نگهداری پیشگیرانه و/یا اصلاحی؛

ح) روش‌های اجرایی برای آزمون معمولی، در صورتی که به کار برده شود.

یکی از کاربردهای FMEA، کمک به تکوین استراتژی نگهداری است. اما، اگر استراتژی نگهداری از پیش‌تعیین شده باشد، بایستی اطلاعاتی در مورد تسهیلات، تجهیزات و یدکی های نگهداری برای نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی معلوم باشد.

### ۵ ۴ ۴ ۶ محیط سیستم

شرایط محیطی سیستم شامل شرایط محیطی و شرایطی که توسط سیستم های دیگر در مجاورت آن ایجاد می‌شوند، بایستی مشخص شوند. سیستم بایستی با توجه به روابط، وابستگی‌ها یا ارتباطات متقابل آن با کمک یا سایر سیستم ها و رابط های انسانی توصیف شود.

در مرحله طراحی، این حقایق معمولاً معلوم نبوده و بنابر این به تقریب ها و فرضیات مناسب نیاز خواهد بود. با پیشرفت پروژه، داده ها افزایش خواهد یافت و FMEA اصلاح می‌شود تا امکان استفاده از اطلاعات جدید یا فرضیات یا تقریبات تغییریافته فراهم شود. FMEA اغلب در تعریف شرایط الزام شده مفید است.

### ۵ ۴ ۳ تعیین نوع وقوع خرابی

بهره‌برداری موفق یک سیستم معلوم تحت تأثیر عمل‌کرد عناصر سیستم بحرانی خاص قرار می گیرد. کلید ارزیابی عمل‌کرد سیستم، شناسایی آن عناصر بحرانی است. روش های اجرایی شناسایی انواع وقوع خرابی ها، علل و اثرات آن‌ها می‌تواند به صورت اثربخشی با تهیه فهرستی از انواع وقوع خرابی مشارکت یافته با توجه به موارد زیر ارتقای کیفی یابد:

الف)استفاده از سیستم؛
ب)عنصر سیستمی مخصوص دخیل شده؛
پ)نوع بهره‌برداری؛
ت)مشخصات بهره‌برداری مربوط؛
ث)محدودیت های زمانی؛
ج)تنش های محیطی؛
چ)تنش های بهره‌برداری؛

فهرست نمونه ای از انواع وقوع خرابی کلی در جدول ۱ ارائه شده است.

**جدول ۱- مثالی از یک مجموعه از انواع وقوع خرابی کلی**

| | |
|---|---|
| ۱ | وقوع خرابی در حین بهره برداری |
| ۲ | وقوع خرابی برای شروع به بهره‌برداری در زمان از قبل توصیف شده |
| ۳ | وقوع خرابی برای توقف بهره‌برداری در زمان از قبل توصیف شده |
| ۴ | بهره‌برداری زودرس |

**یادآوری** این فهرست فقط یک مثال است. فهرست های متفاوتی برای انواع مختلف سیستم ها نیاز خواهد بود.

هر نوع از وقوع خرابی ها را می توان واقعاً به یک یا چند تا از این رده بندی ها طبقه بندی کرد. اما دامنه این رده بندی های کلی نوع وقوع خرابی برای تحلیل قطعی بسیار گسترده است، در نتیجه فهرست برای ایجاد رده‌بندی های مشخص‌تر نیاز دارد گسترش یابد. تمامی وقوع خرابی های بالقوه را می‌توان در هنگام استفاده

در ارتباط با مشخصات عمل‌کردی حاکم بر ورودی ها و خروجی های نمودار بلوکی قابلیت اطمینان، شناسایی و توصیف کرد. بایستی به خاطر داشت که یک نوع معلوم وقوع خرابی دارای چندین علت است.

این امر اهمیت دارد که ارزیابی تمامی اقلام در مرزهای سیستم در پایین ترین سطح، متناسب با اهداف تحلیل برای شناسایی تمامی انواع بالقوه وقوع خرابی، تعهد شود. آنگاه می‌توان تحقیق و بررسی علل ممکن وقوع خرابی و نیز اثرات وقوع خرابی بر زیر سیستم و وظیفه سیستمی را تعهد نمود.

تامین کنندگان قلم بایستی انواع بالقوه وقوع خرابی قلم درون محصولات خود را شناسایی کنند. برای کمک به این وظیفه می‌توان داده‌های نوع وقوع خرابی نوعی را از زمینه های زیر جستجو کرد:

الف) برای اقلام جدید، ارجاع می‌تواند به اقلام دیگر با وظیفه و ساختار مشابه و به نتایج آزمون های اجرا شده بر آن‌ها تحت سطوح مناسب تنش داده شود.

ب)برای اقلام جدید، قصد طراحی و تحلیل وظیفه ای تفصیلی، انواع بالقوه وقوع خرابی و علل آن‌ها را حاصل می‌کند. این روش بر روش الف) ترجیح داده می‌شود، زیرا تنش ها و خود بهره‌برداری ممکن است برای اقلام مشابه متفاوت باشد. مثالی از این وضعیت، استفاده از پردازنده سیگنالی است که با پردازنده‌ای که در طراحی مشابه استفاده شده، متفاوت است؛

پ)برای اقلام در حال استفاده، ثبت های در خدمت و داده‌های وقوع خرابی ممکن است در نظر گرفته شود.

ت)انواع بالقوه وقوع خرابی می‌تواند از پارامترهای وظیفه ای و فیزیکی نوعی بهره‌برداری یک قلم، استنباط شود.

این امر اهمیت دارد که انواع وقوع خرابی قلم به خاطر فقدان داده ها حذف نشوند و برآورد های اولیه با نتایج آزمون و پیشرفت طراحی بهبود یابند. FMEA بایستی وضعیت این قبیل برآورد ها را ثبت کند.

شناسایی انواع وقوع خرابی و در صورتی که ضروری باشد، تعیین اقدامات طراحی اصلاحی، اقدامات پیشگیرانه تضمین کیفیت یا اقدامات نگهداری پیشگیرانه، اهمیتی اساسی دارد. همچنین شناسایی و در صورت امکان، کاهش اثرات انواع وقوع خرابی با اقدامات طراحی و آنگاه درک احتمال رخداد آن‌ها نیز اهمیت دارد. در صورتی که تخصیص اولویت ها دشوار باشد، تحلیل خطیر بودن ممکن است الزام شود.

### ۵ ۲ ۴ علل وقوع خرابی

محتمل ترین علل هر نوع بالقوه وقوع خرابی بایستی شناسایی و توصیف شود. از آنجا که یک نوع وقوع خرابی می‌تواند بیش از یک علت داشته باشد، ممکن است نیاز باشد تا محتمل ترین علل غیر وابسته برای هر نوع وقوع خرابی شناسایی و توصیف شود.

شناسایی و توصیف علل وقوع خرابی همیشه برای تمامی انواع وقوع خرابی شناسایی شده در تحلیل، ضرورت ندارد. شناسایی و توصیف علل وقوع خرابی و نیز توصیه هایی برای کاهش آن‌ها بایستی بر مبنای اثرات وقوع خرابی و شدت آن‌ها انجام شود. هرچه اثرات انواع وقوع خرابی بیشتر باشد، علل وقوع خرابی بایستی به صورت درست تری شناسایی و توصیف شود. در غیر اینصورت، تحلیلگر ممکن است تلاشی غیرضروری در شناسایی علل وقوع خرابی انواعی از وقوع خرابی صرف کند که تاثیر بسیار کمی بر وظیفه مندی سیستم داشته یا هیچ تاثیری بر آن ندارند.

علل وقوع خرابی ممکن است از تحلیل وقوع خرابی‌های میدانی یا وقوع خرابی‌ها در واحدهای آزمون تعیین شود. در صورتی که طراحی جدید و بی سابقه باشد، علل وقوع خرابی را می‌توان با استنباط نظر متخصصین تعیین کرد.

زمانی که علل هر نوع وقوع خرابی شناسایی شود، اقدام توصیه شده بر مبنای احتمال رخداد برآوردی آن‌ها و شدت اثر آن‌ها، ارزیابی خواهد شد.

### ۵ ۲ ۵ اثرات وقوع خرابی

### ۵ ۲ ۵ ۱ تعریف اثرات وقوع خرابی

یک اثر وقوع خرابی، عواقب یک نوع خرابی بر حسب بهره‌برداری، وظیفه یا وضعیت یک سیستم (به تعریف ۳ ۴ مراجعه کنید) است. یک اثر وقوع خرابی می‌تواند توسط یک یا چند نوع وقوع خرابی از یک یا چند قلم ایجاد شود.

عواقب هر نوع وقوع خرابی بر بهره‌برداری ، وظیفه یا وضعیت عنصری سیستم نیاز است شناسایی، ارزیابی و ثبت شود. فعالیتهای نگهداری و اهداف سیستم نیز بایستی هرگاه مربوط باشد، درنظر گرفته شود. یک اثر وقوع خرابی نیز ممکن است بر سطح بالایی بعدی و در نهایت بر بالاترین سطح مورد تحلیل اثر بگذارد. بنابر این، در هر سطح، اثر وقوع خرابی ها بر سطح بالایی بایستی ارزیابی شود.

### ۵ ۲ ۵ ۲ اثرات وقوع خرابی محلی

عبارت "اثرات محلی[1]" به اثرات نوع وقوع خرابی بر عنصر سیستمی مورد نظر اشاره دارد. عواقب هر وقوع خرابی ممکن بر خروجی قلم، بایستی توصیف شود. مقصود از شناسایی اثرات محلی، فراهم کردن مبنایی برای کارشناسی در هنگام ارزیابی شرایط جایگزین موجود یا طرح ریزی اقدامات اصلاحی توصیه شده است. در موارد خاص، ممکن است هیچ اثر محلی فراتر از خود نوع وقوع خرابی وجود نداشته باشد.

### ۵ ۲ ۵ ۳ اثرات وقوع خرابی در سطح سیستمی

هنگام شناسایی اثرات نهایی، پیامد یک وقوع خرابی ممکن بر بالاترین سطح سیستمی با تحلیل تمامی سطوح میانی، تعریف و ارزیابی می‌شود. اثر نهایی توصیف شده ممکن است نتیجه وقوع خرابی های چندگانه باشد. (برای مثال، وقوع خرابی یک وسیله ایمنی تنها در صورتی منجر به یک اثر نهایی فاجعه بار می‌شود که هم وسیله ایمنی خراب شود و هم وظیفه اساسی که برای آن وسیله ایمنی طراحی شده، از محدوده های مجاز فراتر رود). این اثرات نهایی ناشی از یک وقوع خرابی چندگانه بایستی در برگه‌های کاری نشان داده شود.

### ۵ ۲ ۶ روش‌های آشکارسازی

برای هر نوع وقوع خرابی، تحلیلگر بایستی روشی که با آن وقوع خرابی آشکارسازی می‌شود و وسایلی که با آن کاربر یا نگهدارنده از وقوع خرابی آگاه می‌شوند، را تعیین کند. آشکارسازی وقوع خرابی می‌تواند توسط یک خصیصه خودکار طراحی (آزمون نصب داخل)، ایجاد یک روش اجرایی وارسی خاص قبل از بهره‌برداری

---

[1] -Local effect

سیستم یا با بازرسی در حین فعالیت های نگهداری اجرا شود. این امر می‌تواند در راه‌اندازی سیستم یا به صورت پیوسته در حین بهره‌برداری یا در بازه های تعیین شده اجرا شود. در هر مورد، آشکارسازی وقوع خرابی و اعلام آن بایستی از شرایط بهره‌برداری خطرناک جلوگیری کند.

انواعی از وقوع خرابی غیر از آنچه که در نظر گرفته شده که باعث نمود یکسان می‌شود بایستی تحلیل و فهرست شود. نیاز به آشکارسازی مجزای وقوع خرابی عناصر ردوندانت در حین بهره‌برداری بایستی در نظر گرفته شود.

برای یک طراحی، آشکارسازی FMEA بررسی می کند که چگونه، چه زمانی و در چه جایی یک کم و کاستی (با بازنگری، با تحلیل، با شبیه سازی، با آزمون و غیره) شناسایی خواهد شد. برای یک FMEA فرآیندی، آشکارسازی بررسی می کند که یک کم و کاستی چگونه و در چه جایی و با چه احتمالی، از قبیل با بهره‌بردار، با کنترل فرآیند آماری، با روش اجرایی وارسی کیفیت یا با گام های بعدی در فرآیند، می‌تواند شناسایی شود.

### ۵ ۴ ۷ شرایط جبران کننده وقوع خرابی

شناسایی هر خصیصه طراحی در سیستم معلوم یا سایر شرایطی که قابلیت جلوگیری یا کاهش اثر نوع خرابی را دارد، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. بنابر این FMEA بایستی به روشنی رفتار واقعی این چنین سیستمی را در صورت وجود آن نوع وقوع خرابی نشان دهد. سایر شرایط مخالف وقوع خرابی که نیاز است در FMEA ثبت شود شامل موارد زیر است:

- اقلام ردوندانتی که امکان بهره‌برداری پیوسته را در صورتی که یک یا چند عنصر خراب شوند، میسر می‌کند.
- روش های دیگر بهره‌برداری؛
- وسایل پایش یا هشدار؛
- هر روش دیگر میسر کننده بهره‌برداری اثربخش یا محدود کننده صدمه.

در حین فرآیند طراحی، عناصر وظیفه ای (سخت‌افزار یا نرم‌افزار) یک قلم می‌تواند به صورت مکرری بازآرایی شده یا پیکره بندی مجددی شده یا توانمندی آن می‌تواند تغییر کند. در هر مرحله، ارتباط انواع شناسایی شده وقوع خرابی و FMEA بایستی به هنگام شده یا حتی تکرار شود.

### ۵ ۴ ۸ طبقه بندی شدت

شدت، یک ارزیابی اهمیت از اثر نوع وقوع خرابی بر بهره‌برداری قلم است. طبقه بندی اثرات شدت، وابستگی بالایی به کاربرد FMEA داشته و با در نظر گرفتن چند عامل زیر تکوین داده می‌شود:

- ماهیت سیستم در ارتباط با اثرات ممکن ناشی از وقوع خرابی بر کاربران یا محیط؛
- عمل‌کرد وظیفه ای سیستم یا فرآیند؛
- هر الزام قراردادی اعمال شده توسط مشتری؛
- الزامات دولتی یا ایمنی صنعتی؛
- الزامات اشاره شده توسط وارانتی؛

جدول ۲، مثالی از یک مجموعه از طبقه بندی کیفی شدت برای یک محصول برای یکی از انواع FMEA را نشان می‌دهد.

**جدول ۴ مثالی توضیحی از طبقه بندی شدت برای اثرات نهایی**

| کلاس | سطح شدت | عواقب برای اشخاص یا محیط |
|---|---|---|
| IV | خطرناک | یک نوع وقوع خرابی که می‌تواند به صورت بالقوه منجر به وقوع خرابی وظایف اولیه سیستم شده و بنابر این صدمه ای جدی به سیستم و محیط آن و/یا جراحت شخص شود. |
| III | بحرانی | یک نوع وقوع خرابی که می‌تواند به صورت بالقوه منجر به وقوع خرابی وظایف اولیه سیستم شده و بنابر این صدمه ای قابل توجه به سیستم و محیط آن وارد کند اما خطر جدی برای جان شخص یا جراحتی ایجاد نمی کند. |
| II | حاشیه ای | یک نوع وقوع خرابی که می‌تواند به صورت بالقوه ای وظیفه (های) عمل‌کردی سیستم را بدون صدمه ای محسوس به سیستم یا تهدیدی به جان یا جراحت، تنزل دهد. |
| I | بی اهمیت | یک نوع وقوع خرابی که می‌تواند به صورت بالقوه ای وظایف سیستم را تنزل دهد ولی صدمه‌ای به سیستم وارد نکرده و تهدیدی برای جان یا جراحت ایجاد نمی کند. |

### ۵ ۴ ۹ فراوانی یا احتمال رخداد

فراوانی یا احتمال رخداد هر نوع وقوع خرابی بایستی به منظور ارزیابی با کفایت اثر یا خطیر بودن نوع وقوع خرابی، تعیین شود.

برای تعیین احتمال رخداد نوع وقوع خرابی، علاوه بر اطلاعات منتشره مربوط به نرخ وقوع خرابی، در نظر گرفتن پروفایل بهره‌برداری (محیطی، مکانیکی، و/یا تنش های الکتریکی اعمال شده) از هر جزئی که در احتمال رخداد آن مشارکت دارد، اهمیت بسیاری دارد. این امر به خاطر آن است که نرخ های وقوع خرابی جزء و در نتیجه نرخ وقوع خرابی مورد بررسی، در بیشتر موارد متناسب با افزایش تنش های اعمال شده با رابطه قانون توانی یا به صورت نمایی افزایش می یابد. احتمال رخداد انواع وقوع خرابی برای طراحی را می‌توان از موارد زیر برآورد کرد:

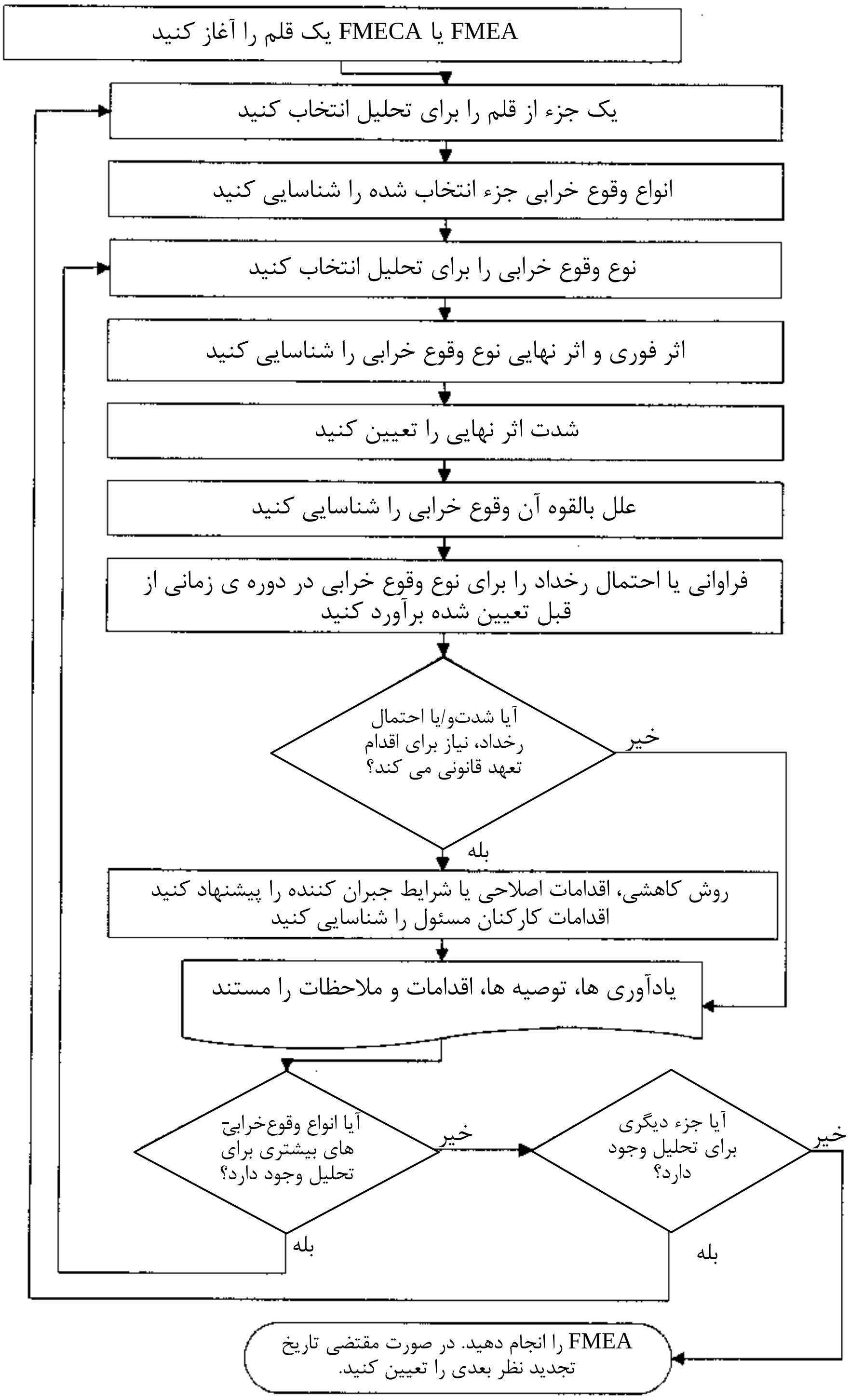
- داده هایی آزمون عمر جزء،
- پایگاه داده‌های آماده نرخ های وقوع خرابی،
- داده‌های میدانی وقوع خرابی،
- داده‌های وقوع خرابی برای اقلام مشابه یا برای رده جزء.

زمانی که احتمال رخداد، برآورد زده می‌شود، FMEA باید به دوره زمانی که برآوردها برای آن انجام می‌شوند، بپردازد که معمولاً دوره وارانتی یا دوره عمر از قبل تعیین شده آن قلم یا محصول است.

در توصیف تحلیل خطیر بودن، کاربرد فراوانی و احتمال رخداد، بیشتر توضیح داده خواهد شد.

### ۵ ۴ ۱۰ روش اجرایی تحلیل

نمودار جریان در شکل ۲، نشان می‌دهد که تحلیل چگونه ادامه می یابد.


FMEA یا FMECA یک قلم را آغاز کنید
یک جزء از قلم را برای تحلیل انتخاب کنید
انواع وقوع خرابی جزء انتخاب شده را شناسایی کنید
نوع وقوع خرابی را برای تحلیل انتخاب کنید
اثر فوری و اثر نهایی نوع وقوع خرابی را شناسایی کنید
شدت اثر نهایی را تعیین کنید
علل بالقوه آن وقوع خرابی را شناسایی کنید
فراوانی یا احتمال رخداد را برای نوع وقوع خرابی در دوره ی زمانی از قبل تعیین شده برآورد کنید
آیا شدت‌و/یا احتمال رخداد، نیاز برای اقدام تعهد قانونی می کند؟
خیر
بله
روش کاهشی، اقدامات اصلاحی یا شرایط جبران کننده را پیشنهاد کنید اقدامات کارکنان مسئول را شناسایی کنید
یادآوری ها، توصیه ها، اقدامات و ملاحظات را مستند
آیا انواع وقوع‌خرابی‌ـ های بیشتری برای تحلیل وجود دارد؟
خیر
بله
آیا جزء دیگری برای تحلیل وجود دارد؟
خیر
بله
FMEA را انجام دهید. در صورت مقتضی تاریخ تجدید نظر بعدی را تعیین کنید.

شکل ۴ نمودار جریان خطیر بودن

## ۵ ۳ تحلیل نوع، اثرات و خطیر بودن وقوع خرابی (FMECA)

### ۵ ۳ ۱ مقصود تحلیل

نماد C اضافه شده به FMEA، خاطر نشان می‌کند که تحلیل نوع وقوع خرابی، تحلیل خطیر بودن را نیز به دست می‌دهد. تعیین خطیر بودن به معنای اضافه کردن یک مقیاس کیفی از بزرگی اثر نوع وقوع خرابی است. خطیر بودن، دارای چندین نوع تعریف و مقیاس است، که بیشتر آن‌ها یک معنای مشابه را فرض می‌کنند: اثر یا اهمیت یک نوع وقوع خرابی که تقاضا می‌کند آن نوع، پرداخته شده و کاهش داده شود. برخی از این مقیاس ها در ۵ ۳ ۲ و ۵ ۳ ۴ توضیح داده شده اند. مقصود از تحلیل خطیر بودن، کمی کردن بزرگی نسبی هر اثر وقوع خرابی به عنوان کمکی برای تصمیم گیری است، به گونه ای که با ترکیبی از خطیر بودن و شدت، اولویت برای اقدام جهت کاهش یا به حداقل رساندن وقوع خرابی های خاص، می‌تواند تنظیم شود.

### ۵ ۳ ۲ ریسک، **R** و عدد اولویت ریسک (RPN)[1]

یکی از روش های تعیین کمی خطیر بودن، عدد اولویت ریسک، RPN است. در این حالت، ریسک با یک مقیاس ذهنی شدت اثر و برآوردی از احتمال مورد انتظار از رخداد آن برای یک دوره زمانی از قبل تعیین شده فرض شده برای تحلیل، ارزیابی می‌شود. در برخی موارد که این مقیاس ها، آماده نیستند، ممکن است ارجاع به شکل ساده تری از یک FMEA غیر عددی ضروری باشد.

---

[1] -Risk priority number

رابطه کلی درباره مقیاسی از یک ریسک بالقوه، R، در یک FMECA در برخی انواع تحلیل ها به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R = S \times P$$

که در آن

S عددی بی بعد برای شدت است که به معنای برآوردی از اینکه چگونه اثرات وقوع خرابی به شدت بر سیستم یا کاربر تاثیر می گذارد.

P نیز یک عدد بی بعد است که احتمال رخداد را خاطر نشان می‌کند. در صورتی که از ۰/۲ کمتر باشد، می‌توان آن را با عدد خطیر بودنی که در برخی از روش های کمی FMEA استفاده می‌شود، C، در ۵ ۳ ۴ جایگزین کرد که برآوردی از احتمال آن است که اثر وقوع خرابی رخ خواهد داد.

برخی کاربردهای FMEA یا FMECA به صورت اضافی، سطحی از آشکارسازی وقوع خرابی را در سطح سیستمی شناسایی می‌کنند. در این کاربردها، یک رده بندی اضافی برای آشکارسازی وقوع خرابی، D، (که همچنین یک عدد بی بعد است) برای ایجاد عدد اولویت ریسک، RPN استفاده می‌شود:

$$RPN = S \times O \times D$$

O احتمال رخداد یک نوع خرابی را برای یک دوره زمانی از قبل تعیین شده یا بیان شده، مشخص می‌کنند. البته این احتمال می‌تواند به جای احتمال واقعی رخداد به صورت یک عدد رتبه گذاری، تعریف شود؛

D به معنای آشکارسازی است یعنی برآوردی از احتمال شناسایی و حذف وقوع خرابی قبل از آن که سیستم یا مشتری تحت تاثیر قرار بگیرند. مقادیر اسمی این عدد، معمولاً به ترتیب معکوس از شدت یا اعداد رخداد، تعیین می‌شود: هر چه عدد آشکارسازی بیشتر باشد، احتمال آشکارسازی کمتر است. در نتیجه، احتمال آشکارسازی کمتر منجر به RPN بالاتر و اولویت بالاتری برای قدرت تشخیص نوع وقوع خرابی می‌شود.

آنگاه عدد اولویت ریسک را می‌توان برای اولویت دهی در پرداختن به کاهش انواع وقوع خرابی استفاده کرد. تصمیم برای کاهش، علاوه بر بزرگی عدد اولویت ریسک، عمدتاً از شدت نوع خرابی نیز تاثیر می گیرد که می تواند به معنای آن باشد در صورت وجود انواع خرابی های با RPN مشابه یا همسان، انواع خرابی هایی که باید به آن‌ها پرداخته شود، ابتدا خرابی هایی با اعداد شدت بالا باشند.

این روابط را می توان به صورت عددی با مقیاس پیوسته یا مجزا (یک عدد متناهی از مقادیر تعریف شده) ارزیابی کرد.

سپس انواع خرابی ها با توجه به RPN آن‌ها مرتب شده و اولویت بالا به RPN بالا تخصیص داده می‌شود. در برخی کاربردها، اثرات یک RPN بیش از یک آستانه معین، قابل قبول نیستند، در حالی که در سایر کاربردها، صرفنظر از مقدار RPN، به اعداد با شدت بالا، اهمیت بالایی داده می‌شود.

انواع مختلف FMECA، مقیاس های مختلفی را به مقادیر S، O و D تخصیص می دهند. برخی، ۱ از ۴ یا ۵ بوده و برخی از قبیل FMECA، مورد استفاده در صنعت خودرو برای تحلیل طراحی و فرآیند تولید، معروف به DFMEA و PFMEA، از مقیاس هایی برای تمامی سه صفت از ۱ تا ۱۰ استفاده می‌کنند.

### ۵ ۳ ۳ رابطه بین FMECA و تحلیل ریسک

خطیر بودنی که با شدت ترکیب شده، مقیاسی از ریسک است که از مقیاس پذیرفته شده معمول ریسک تنها در سختگیری کمتر تفاوت داشته و بنابر این اغلب رویکردی کم هزینه برای ارزیابی آن است. این تفاوت، نه فقط خود را در شیوه پیش بینی شدت اثر وقوع خرابی نشان می‌دهد بلکه تعامل با پیچیدگی به مراتب کمتر بین عوامل شرکت کننده را می‌توان با روش اجرایی نوعی از پایین به بالا اعمال شده در یک FMECA مدلسازی کرد. همچنین FMECA معمولاً منجر به رتبه گذاری نسبی شرکت کننده های ریسک کلی می‌شود در حالی هدف از تحلیل ریسک برای سیستم های با ریسک بالا، قابلیت پذیرش ریسک است. به هر حال برای سیستم های با ریسک پایین و پیچیدگی کم، FMECA می‌تواند روش بسیار به صرفه و مناسبی باشد. در صورتی در حین FMECA، احتمال اثرات با ریسک بالا تشخیص داده شود، توصیه می‌شود که یک تحلیل ریسک احتمالاتی (PRA)[1] بایستی با اولویت نسبت به FMECA انجام شود.

بنابر این FMECA نبایستی به عنوان مبنایی منفرد برای کارشناسی اینکه آیا اثر به خصوص از سیستم با ریسک بالا یا با پیچیدگی بالا، به اندازه قابل قبولی کوچک است، استفاده شود، حتی در صورتی فراوانی و شدت بر مبنای داده‌های قابل اعتمادی باشد. این امر تکلیف تحلیل ریسک احتمالاتی است که در آن پارامترهای تاثیرگذارتر (و تعامل‌های آن‌ها) از قبیل زمان مواجهه، احتمال اجتناب، تناوب وقوع خرابی‌ها و مکانیسم های آشکارسازی خرابی را می‌توان به حساب آورد.

با استفاده از اثرات وقوع خرابی شناسایی شده توسط FMEA، هر اثر به یک رده مناسب شدت تخصیص داده می‌شود. فراوانی رخداد، از داده‌های وقوع خرابی یا تخمین هایی برای قسمت مرتبط محاسبه می‌شود. فراوانی ضرب شده در زمان ماموریت مرتبط، عدد خطیر بودن حاصل می‌کند که می‌تواند مطابق با مقدار آن به یک مقیاس اعمال شود یا در صورتی که مقیاس معرف احتمال رخداد رویداد باشد، این احتمال در هر مقیاس اندازه گیری شود. رده شدت و رده خطیر بودن (یا احتمال رخداد) برای هر اثر با همدیگر، بزرگی اثر را تشکیل می دهند. دو رویکرد اصلی ارزیابی خطیر بودن را می‌توان تشخیص داد: رویکرد ماتریس خطیر بودن و مفهوم اعداد اولویت ریسک (RPN).

### ۵ ۳ ۴ تعیین نرخ وقوع خرابی، احتمال و خطیر بودن نوع وقوع خرابی

اگر نرخ های وقوع خرابی برای انواع وقوع خرابی اقلام مشابه، آماده باشند و تحت شرایط محیطی و بهره‌برداری مشابه با آن‌هایی که برای سیستم مورد تحلیل فرض شده باشند، تعیین شده باشند، فراوانی های رویداد برای اثرات را می‌توان مستقیماً به FMECA اضافه کرد. اگر، به صورتی که اغلب رخ می‌دهد، نرخ های وقوع خرابی به جای انواع وقوع خرابی برای اقلام و برای شرایط محیطی یا بهره‌برداری مختلف، آماده باشند، نیاز است نرخ های وقوع خرابی انواع وقوع خرابی ها محاسبه شوند. در حالت کلی رابطه زیر برقرار است:

$$\lambda_i = \lambda_j \times a_i \times \beta_i$$

که در آن

$\lambda_i$ نشان دهنده برآورد نرخ وقوع خرابی برای ثابت فرض شده نوع وقوع خرابی i است.

---

[1] -Probabilistic risk analysis

$\lambda_j$ نشان دهنده نرخ وقوع خرابی جزء j است.

$a_i$ نسبت نوع وقوع خرابی از نوع وقوع خرابی i است یعنی احتمالی که قلم دارای نوع وقوع خرابی i خواهد بود.

احتمال شرطی اثر وقوع خرابی با شرط نوع وقوع خرابی i است.

کم و کاستی های اصلی این رویکرد، فرض ضمنی نرخ ثابت وقوع خرابی است و بسیاری از عوامل، فقط پیش‌بینی ها یا بهترین حدسیات می باشند. این امر به خصوص زمانی صادق است که اجزای سیستم دارای نرخ وقوع خرابی مرتبط نبوده و فقط دارای احتمال محاسبه شده وقوع خرابی برای کاربرد خاص، دوره آن و تنش های مرتبط از قبیل اجزا و سیستم‌های مکانیکی باشد.

شرایط محیطی، بارگیری و نگهداری از شرایط مرتبط با داده‌های نرخ وقوع خرابی با یک عامل تعدیل به حساب آورده می‌شوند. راهنمایی در مورد مقادیر مناسب این تعدیل را می‌توان در نشریات مربوط به داده‌های قابلیت اطمینان یافت. برای اطمینان از اینکه تعدیل کننده های انتخاب شده، درست بوده و برای سیستم خاص و شرایط بهره‌برداری آن قابل کاربرد هستند، نیاز است دقت خاصی به عمل آید.

در برخی کاربردها، از قبیل رویکرد کمی برای تحلیل خطیر بودن، یک عدد خطیر بودن نوع وقوع خرابی Ci (نامرتبط با واژه کلی خطیر بودن که می‌تواند معانی مختلفی داشته باشد) به جای نرخ وقوع خرابی نوع وقوع خرابی $\lambda_i$استفاده می‌شود. عدد خطیر بودن ارتباطی بین فراوانی شرطی وقوع خرابی و زمان بهره‌برداری ایجاد می‌کند که می‌تواند در به دست آوردن ارزیابی واقعگرایانه‌تر از ریسک نوع وقوع خرابی را در دوره از قبل تعیین شده ای از کاربرد محصول کمک کند.

$$C_i = \lambda_i \times t_j$$

$$C_i = \lambda_j \times a_i \times \beta_i \times t_j$$

که در آن، نشان دهنده زمان بهره‌برداری جزء در تمامی زمان از قبل تعیین شده ای است که برای FMECA استفاده شده و برای آن احتمال ارزیابی می‌شود- زمان بهره‌برداری جزء فعال.

بنابر این عدد خطیر بودن برای جزئی که دارای m نوع وقوع خرابی است برابر است با:

$$C_j = \sum_{i=۱}^{m} \lambda_j \times a_i \times \beta_i \times t_j$$

باید خاطر نشان کرد که عدد خطیر بودن به خود واژه خطیر بودن ربطی ندارد و فقط مقداری است که برای برخی از انواع FMECA و با این زمینه حساب می‌شود که مقیاسی نسبی از توالی یک نوع وقوع خرابی و احتمال رخداد آن باشد. در این حالت، عدد خطیر بودن مقیاسی از ریسک بوده و مقیاسی از احتمال رخداد نیست.

برای تعیین Pi، احتمال رخداد نوع وقوع خرابی در زمان tj، از خطیر بودن محاسبه شده داریم:

$$P_i = ۱ - e^{-C_i}$$

با تقریب اولیه، زمانی که نرخ های وقوع خرابی انواع وقوع خرابی و اعداد خطیر بودن حاصله کوچک باشند، می‌توان گفت که برای احتمالات رخداد کمتر از ۰/۲، (در صورتی که خطیر بودن برابر ۰/۲۲۳ باشد)، مقادیر عدد خطیر بودن و احتمال وقوع خرابی بسیار مشابه خواهد بود.

در مورد نرخ های وقوع خرابی یا فراوانی های وقوع خرابی متغییر، احتمال رخداد باید به جای خطیر بودن محاسبه شود که بر مبنای فرض نرخ (فراوانی) ثابت وقوع خرابی قرار دارد.

### ۵ ۳ ۴ ۱ ماتریس خطیر بودن

خطیر بودن را می‌توان در ماتریس خطیر بودن به صورتی که در شکل ۳ دیده می‌شود، نشان داد. بایستی خاطرنشان کرد که هیچ تعریف عمومی از خطیر بودن وجود ندارد ولی نیاز است خطیر بودن توسط تحلیلگر تعریف شده و توسط مدیر پروژه یا برنامه پذیرفته شود. تعاریف در میان بخش‌های کاربردی مختلف، تفاوت گسترده‌ای با هم دارند.

درستنمایی_ احتمال رخداد

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ۵ (A) | | | | ریسک بالا |
| ۴ (B) | | وقوع خرابی نوع ۱ | | |
| ۳ (C) | | | | |
| ۲ (D) | | | وقوع خرابی نوع ۲ | |
| ۱ (E) | | | | |
| | I | II | III | IV |

شدت

**شکل ۳ ماتریس خطیر بودن**

در شکل ۳، استنباط می‌شود که شدت با مرتبه صعودی اعداد افزایش می یابد که در آن، عدد IV، بیشترین شدت را دارد (تلفات انسانی و/یا ماموریت/بهره‌برداری، جراحت). همچنین استنباط می‌شود که احتمال رخداد در محور Y نیز در مرتبه صعودی نشان داده می‌شود. اگر بالاترین احتمال رده بندی رخداد از مقدار

۰/۲ فراتر نرود، احتمال رخداد و مقادیر خطیر بودن تقریباً برابر با هم خواهند بود. یکی از ماتریس هایی که اغلب مشاهده می‌شود دارای مقیاس زیر است:

- عدد خطیر بودن ۱ یا E، غیرمحتمل، احتمال رخداد: $۰ \le P_i < ۰/۰۰۰۱$
- عدد خطیر بودن ۲ یا D، بعید، احتمال رخداد: $۰/۰۰۱ \le P_i < ۰/۰۱$
- عدد خطیر بودن ۳ یا C، اتفاقی، احتمال رخداد: $۰/۰۱ \le P_i < ۰/۱$
- عدد خطیر بودن ۴ یا B، احتمالی، احتمال رخداد: $۰/۱ \le P_i < ۰/۲$
- عدد خطیر بودن ۵ یا A، فراوان، احتمال رخداد: $P_i \ge ۰/۲$

شکل ۳ فقط به عنوان مثال نشان داده شده است. سایر روش ها ممکن است با برچسب ها و تعاریف مختلف، خطیر بودن یا شدت را نشان دهند.

در مثال نشان داده شده در شکل ۳، وقوع خرابی نوع ۱ دارای احتمال رخداد بزرگتری از وقوع خرابی نوع ۲ هستند که به نوبه خود شدت بیشتری دارد. این تصمیم که کدام نوع وقوع خرابی باید با اولویت بیشتری پرداخته شود به مقیاس بندی شدت و رده های فراوانی و اصول ماتریسی بستگی دارد. با آنکه مقیاس بندی خطی وقوع خرابی نوع ۱ (که معمولاً توسط ماتریس بیان می‌شود) خطیر بودن (یا احتمال رخداد) بالاتری از وقوع خرابی نوع۲ دارد، اما ممکن است کاربردهایی وجود داشته باشد که در آن شدت اولویت مطلقی بر فراوانی داشته و بنابر این وقوع خرابی نوع ۲ را به نوع بحرانی تری از وقوع خرابی تبدیل می‌کند. مشاهده بدیهی دیگر آن است که فقط انواع وقوع خرابی های با یک سطح قراردادی سیستمی ممکن است به صورت معناداری با ماتریس خطیر بودن مقایسه شوند زیرا معمولاً انواع وقوع خرابی های سیستم های با پیچیدگی کمتر در سطح پایین تر تمایل دارند، فراوانی کمتری داشته باشند.

ماتریس خطیر بودن (به صورتی که در شکل ۳ نشان داده شده است) را می‌توان به صورت کیفی و کمی به صورتی که در فوق توضیح داده شد، اعمال کرد.

### ۵ ۳ ۵ ارزیابی قابلیت پذیرش ریسک

زمانی که محصول نهایی الزام شده تحلیل ماتریس خطیر بودن باشد، می‌توان آن را از شدت های تخصیص داده شده و فراوانی‌های رویداد تصویر کرد. قابلیت پذیرش ریسک به صورت ذهنی تعریف شده یا با تصمیمات حرفه ای و مالی به دست می‌آید و در صنایع مختلف، متفاوت است. جدول ۳ مثال هایی از رده‌های قابلیت پذیرش ریسک و ماتریس خطیر بودن تعدیل شده را ارائه می‌کند.

**جدول ۳ ماتریس ریسک/خطیر بودن**

| فراوانی رخداد اثر وقوع خرابی | سطوح شدت | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ۱<br>بی اهمیت | ۲<br>حاشیه ای | ۳<br>بحرانی | ۴<br>فاجعه بار |
| ۵:فراوان | نامطلوب | غیرقابل تحمل | غیرقابل تحمل | غیرقابل تحمل |
| ۴:محتمل | قابل تحمل | نامطلوب | غیرقابل تحمل | غیرقابل تحمل |
| ۳:گهگاهی | قابل تحمل | نامطلوب | نامطلوب | غیرقابل تحمل |
| ۲:بعید | قابل چشم پوشی | قابل تحمل | نامطلوب | نامطلوب |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ۱:نامحتمل | قابل چشم پوشی | قابل چشم پوشی | قابل تحمل | قابل تحمل |

### ۵ ۳ ۶ انواع FMECA با مقیاس های رتبه گذاری

انواع FMECA توصیف شده در ۵ ۳ ۲، در صنعت خودرو برای تحلیل طراحی محصول و نیز برای طراحی فرآیندهای تولید برای آن محصول بسیار کاربرد دارند.

روش شناسی تحلیل برابر همان روشی است که در شکل کلی FMECA/FMEA توصیف شد، با این استثنا که تعاریف در سه جدول برای شدت، S، رخداد، O، و برای آشکارسازی D از قبل تعیین شده اند.

### ۵ ۳ ۶ ۱ تعیین شدت جایگزین

جدول ۴، مثالی از تعیین مقادیر اسمی های شدت را ارائه می کند که عمدتاً در صنعت خودرو استفاده می‌شود.

**جدول ۴ شدت نوع وقوع خرابی**

| شدت | معیارها | رتبه گذاری |
|---|---|---|
| ندارد | بدون هیچ اثر قابل تشخیص | ۱ |
| بسیار کوچک | قلم مناسب و تکمیل شده/جغ جغ و تلق تلق کننده[1] مطابقت نمی‌کند. عیبی که توسط مشتریان آگاه، دیده می‌شود (کمتر از ۲۵٪) | ۲ |
| کوچک | قلم مناسب و تکمیل شده/جغ جغ و تلق تلق کننده مطابقت نمی‌کند. نقصی که توسط ۵۰٪ مشتریان ، دیده می‌شود | ۳ |
| بسیار اندک | قلم مناسب و تکمیل شده/جغ جغ و تلق تلق کننده مطابقت نمی‌کند. نقصی که توسط بیشتر مشتریان، دیده می‌شود (بیش از ۷۵٪) | ۴ |
| اندک | خودرو/قلم قابل بهره‌برداری است ولی قلم (های) راحتی/آسودگی در سطح کاهش یافته ای از عمل‌کرد، قابل بهره‌برداری هستند. مشتری تا حدی راضی نشده است. | ۵ |
| متوسط | خودرو/قلم قابل بهره‌برداری است ولی قلم (های) راحتی/آسودگی غیر قابل بهره‌برداری هستند. مشتری ناراضی شده است. | ۶ |
| بالا | خودرو/قلم قابل بهره‌برداری، البته در سطح کاهش یافته ای از عمل‌کرد است. مشتری بسیار ناراضی است. | ۷ |
| بسیار بالا | خودرو/قلم غیر قابل بهره‌برداری است (از دست دادن وظیفه اولیه) | ۸ |
| خطرناک با هشدار | رتبه گذاری شدت بسیار بالا در زمانی که یک نوع بالقوه وقوع خرابی بر بهره‌برداری | ۹ |

---

[1] -Squeak and rattle

| | | |
|---|---|---|
| | خودرو ایمن اثر می گذارد و/یا عدم انطباق با مقررات دولتی را با هشدار دخیل می‌کند. | |
| خطرناک بدون هشدار | رتبه گذاری شدت بسیار بالا در زمانی که یک نوع بالقوه وقوع خرابی بر بهره‌برداری خودرو ایمن اثر می گذارد و/یا عدم انطباق با مقررات دولتی را بدون هشدار دخیل می‌کند. | ۱۰ |

**یادآوری** از SAE J1739

رتبه شدت از هر نوع وقوع خرابی بر مبنای شدت اثر بر عمل‌کرد و ایمنی سیستم کلی از لحاظ الزامات، اهداف و قید و بندهای سیستم، با در نظر گرفتن خودرو به عنوان یک سیستم، به اثر وقوع خرابی، تخصیص داده می‌شود. این کار به ساده ترین وجه بر روی برگه FMECA انجام می‌شود. تعیین شدت بر طبق جدول ۴ برای اعداد شدت ۶ و بالاتر بسیار سرراست است. تعیین شدت از ۳ تا ۵ ممکن است ذهنی باشد.

### ۵ ۳ ۶ ۲ تعیین جایگزین رخداد

جدول ۵ (که از صنعت خودرو وام گرفته شده است) مثال هایی از مقیاس های کیفی رخداد به دست می‌دهد که می‌تواند در مفهوم RPN استفاده شود.

**جدول ۵ رخداد نوع وقوع خرابی مرتبط با فراوانی و احتمال رخداد**

| رخداد نوع وقوع خرابی | تعیین مقادیر اسمی، O | فراوانی | احتمال |
|---|---|---|---|
| بعید:<br>وقوع خرابی نامحتمل است | ۱ | ≤۰/۰۱۰ در هزار قلم/خودرو | $\leq ۱\times۱۰^{-۵}$ |
| اندک:<br>وقوع خرابی های نسبتاً کم | ۲ | ۰/۱ در هر هزار قلم/خودرو | $۱\times۱۰^{-۴}$ |
| | ۳ | ۰/۵ در هر هزار قلم/خودرو | $۵\times۱۰^{-۴}$ |
| متوسط:<br>وقوع خرابی های اتفاقی | ۴ | ۱ در هر هزار قلم/خودرو | $۱\times۱۰^{-۳}$ |
| | ۵ | ۲ در هر هزار قلم/خودرو | $۲\times۱۰^{-۳}$ |
| | ۶ | ۵ در هر هزار قلم/خودرو | $۵\times۱۰^{-۳}$ |
| بالا:<br>وقوع خرابی های تکرار شده | ۷ | ۱۰ در هر هزار قلم/خودرو | $۱\times۱۰^{-۲}$ |
| | ۸ | ۲۰ در هر هزار قلم/خودرو | $۲\times۱۰^{-۲}$ |
| بسیار بالا:<br>وقوع خرابی همیشه اجتناب ناپذیر است. | ۹ | ۵۰ در هر هزار قلم/خودرو | $۵\times۱۰^{-۲}$ |
| | ۱۰ | ≥۱۰۰ در هر هزار قلم/خودرو | $\geq ۱\times۱۰^{-۱}$ |

**یادآوری** منبع:

Potential Failure Mode and Effects Analysis, FMEA, Third Edition

بایستی خاطر نشان کرد که در جدول ۵، واژه فراوانی به عنوان یک نسبت از رخداد در تعدادی از فرصت‌ها در حین یک ماموریت یا طول عمر طراحی شده، استفاده می‌شود که می‌تواند با یک "کسر خراب شده" یا احتمال رخداد و احتمالات متناظری که صرفاً این کسر را بازتاب می دهند، مقایسه شود. برای مثال، یک نوع وقوع خرابی که با مقدار O برابر با ۹ تعیین مقادیر اسمی می‌شود سبب خرابی یکی از سه سیستم در حین دوره ماموریت از قبل تعیین شده می‌شود. در این حالت،تعیین این احتمال رخداد باید مرتبط با دوره زمانی مورد نظر باشد. توصیه می‌شود که این دوره زمانی در عنوان تحلیل بیان شود.

بهترین رویه زمانی اعمال می‌شود که احتمال رخداد برای اجزا و انواع وقوع خرابی آن‌ها بر مبنای نرخ های وقوع خرابی خاص آن‌ها تحت تنش های مورد انتظار اعمال شده (محیطی و بهره‌برداری) محاسبه می‌شود. زمانی که این اطلاعات آماده نباشد، می‌توان برآوردی را تخصیص داد و هنگامی که این کار انجام می‌شود، تیم تحلیل بایستی معنای اعداد رخداد را در ذهن داشته باشد. عدد رخداد در هر یک هزار خودرو در زمان از قبل تعیین شده مورد استفاده برای تحلیل (وارانتی، عمر خودرو یا غیره)، که احتمال محاسبه شده یا برآورد شده رخداد آن نوع وقوع خرابی در دوره زمانی مورد نظر است. بنابر این، بایستی در ذهن داشت که عدد RPN حاصله در زمانی که محاسبه یا ارزیابی می‌شود، خطی نبوده و باید با دقت خاصی به آن پرداخته شود.

### ۵ ۳ ۶ ۳ تعیین مقادیر اسمی احتمال آشکارسازی وقوع خرابی

در مفهوم RPN، احتمال این که یک وقوع خرابی آشکار خواهد شد باید برآورد شود که احتمال آن است که خصیصه ها/کمکی های طراحی یا روش‌های اجرایی تصدیق، انواع بالقوه وقوع خرابی را به موقع برای پیشگیری از یک وقوع خرابی در سطح سیستمی، آشکار خواهند کرد. برای یک کاربرد فرآیندی (FMEA یا FMECA فرآیندی)، این امر به احتمال این که یک مجموعه از کنترل های فرآیندی که اکنون کار گذاشته شده اند، در موقعیت آشکار سازی و مجزا کردن یک وقوع خرابی هستند، اشاره دارد، قبل از آن که این وقوع خرابی به فرآیندهای بعدی منتقل شده یا به خروجی محصول نهایی منتقل شود.

برآورد احتمال آشکارسازی به خصوص برای محصولات عام که ممکن است در چندین سیستم و کاربرد مختلف استفاده شوند، ممکن است دشوار باشد.

جدول ۶ یکی از روش های آشکارسازی، به صورتی که در صنعت خودرو به کار می‌رود را ارائه می‌کند.

**جدول ۶ معیارهای ارزیابی آشکارسازی نوع وقوع خرابی**

| آشکارسازی | معیار: احتمال آشکارسازی توسط کنترل طراحی | رتبه گذاری |
|---|---|---|
| همیشه قطعی | کنترل طراحی همیشه به صورت قطعی یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۱ |
| بسیار بالا | کنترل طراحی با احتمال بسیار بالا یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۲ |
| بالا | کنترل طراحی با احتمال بالا به صورت قطعی یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۳ |

| | | |
|---|---|---|
| نسبتاً بالا | کنترل طراحی با احتمال نسبتاً بالا به صورت قطعی یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۴ |
| متوسط | کنترل طراحی با احتمال متوسط به صورت قطعی یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۵ |
| اندک | کنترل طراحی با احتمال اندک به صورت قطعی یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۶ |
| بسیار اندک | کنترل طراحی با احتمال بسیار اندک به صورت قطعی یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۷ |
| بعید | کنترل طراحی با احتمال بعید به صورت قطعی یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۸ |
| بسیار بعید | کنترل طراحی با احتمال بسیار بعید به صورت قطعی یک علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار می‌کند. | ۹ |
| کاملاً غیرقطعی | کنترل طراحی علت/مکانیسم بالقوه و نوع وقوع خرابی حاصله را آشکار نخواهد کرد یا نمی تواند آشکار کند یا کنترل طراحی وجود ندارد. | ۱۰ |

**یادآوری** منبع:

Potential Failure Mode and Effects Analysis, FMEA, Third Edition

### ۵ ۳ ۶ ۴ ارزیابی ریسک

این رویکرد بسیار شهودی که در بالا توصیف شد باید با رتبه گذاری اولویت اقداماتی که باید برای تضمین بهترین سطح ایمنی برای مشتری، دنبال شود. برای مثال، یک نوع وقوع خرابی با شدت بالا، نرخ اندک رخداد و آشکارسازی بسیار بالا (مثلاً به ترتیب ۱۰، ۳ و ۲) ممکن است دارای RPN بسیار پایین تر (در این حالت ۶۰) از یک نوع وقوع خرابی باشد که دارای تمامی پارامترهای متوسط (مثلاً ۵ در هر مورد که RPN به میزان ۱۲۵ را نتیجه می‌دهد) است. بنابر این، روش های اجرایی اضافی اغلب برای اطمینان از اینکه انواع وقوع خرابی با رتبه گذاری شدت بالا (مثلاً ۹ یا ۱۰) در ابتدا اولویت داده شده و کاهش داده شده اند، تعریف می‌شوند. در این مورد، تصمیم به جای RPN تنها، بایستی توسط بزرگی شدت، هدایت شود. رویه خوب، در تمامی موارد، مرور رتبه شدت یک نوع وقوع خرابی همراه با RPN برای فرآیند بهتر تصمیم گیری است.

اعداد اولویت ریسک در سایر روش های FMEA، به ویژه آن‌هایی که عمدتاً کمی هستند، نیز تعیین می‌شوند.

RPN ها با جداول فوق، محاسبه شده و اغلب به عنوان یک راهنما برای کاهش نوع وقوع خرابی استفاده می‌شوند. احتیاطهای بیان شده در ۵ ۳ ۲ باید به خاطر سپرده شده و کم و کاستی های RPN باید در ذهن نگهداشته شود.

برخی از کم و کاستی های RPN ها عبارتند از:

- فواصل زیاد در دامنه ها: ۸۸٪ دامنه خالی بوده و از ۱۰۰۰ عدد تنها ۱۲۰ تا، تولید می‌شود،
- RPN ها را تکرار می‌کند: برای برخی ترکیباتی که در آن‌ها عوامل مختلفی منجر به یک RPN می‌شوند،

- حساسیت به تغییرات کوچک: یک تغییر کوچک در یک عامل در زمانی که عوامل دیگر بزرگتر هستند، اثر بسیار بزرگتری از زمانی دارد که آن‌ها کوچک هستند (برای مثال ۲۴۳=۳×۹×۹ و ۳۲۴=۴×۹×۹ در مقابل۳۶=۳×۴×۳ و ۴۸=۴×۴×۳)،
- مقیاس بندی ناکافی: نسبت ها در جدول رخداد، تناسبی یا خطی نیستند؛ مثلاً نسبت می‌تواند بین دو رتبه‌بندی متوالی، ۲/۵ یا ۲ باشد،
- مقیاس ناکافی RPN. تفاوت ها در عدد RPN ممکن است ناچسز به نظر برسد اما در حقیقت قابل ملاحظه است. به عنوان مثال: S=۶، O=۴، D=۲، یک RPN=۴۸ تولید می‌کند در حالی که S=۶، O=۵، D=۲، RPN=۶۰ را تولید می‌کند. RPN دوم، دو برابر عدد اول نیست اما در حقیقت، O=۵ دوبرابر احتمال رخداد با O=۴ است. بنابر این اعداد RPN نبایستی به صورت خطی با هم مقایسه شوند.
- نتایج گمراه کننده ناشی از مقایسه RPN، زیرا مقیاس ها، ترتیبی بوده و منطقی نستند.

بازنگری یک RPN نیازمند احتیاط و کارشناسی خوب است. یک رویه خوب، به بازنگری کامل مقادیر برای شدت، رخداد و آشکارسازی، قبل از ابزار نظر و تعهد اقدامات اصلاحی نیاز دارد.

## ۵ ۴ گزارش تحلیل

### ۵ ۴ ۱ دامنه کاربرد و محتوای یک گزارش

گزارش FMEA می‌تواند در یک مطالعه گسترده تر گنجانده شده یا ممکن است قائم به ذات باشد. در هر مورد، گزارش بایستی شامل یک خلاصه و ثبت مشروحی از تحلیل و نمودارهای بلوکی یا وظیفه ای باشد که ساختار سیستم را تعریف می‌کنند. همچنین گزارش، بایستی شامل فهرستی از ترسیماتی (شامل وضعیت موضوع) باشد که FMEA بر پایه آن قرار دارد.

### ۵ ۴ ۲ خلاصه اثرات

فهرستی از اثرات وقوع خرابی در مورد یک سیستم خاص که توسط FMEA بارزسازی شده است بایستی آماده‌سازی شود. جدول ۷ یک مجموعه نوعی از اثرات وقوع خرابی برای یک موتور راه‌اندازی و مدار خودروی موتوری را، ارائه می‌کند.

**جدول ۷ مثالی از یک مجموعه از اثرات وقوع خرابی (برای یک موتور راه انداز خودرو)**

| | |
|---|---|
| ۱ | موتور راه انداز نمی تواند بهره‌برداری شود. |
| ۲ | سرعت موتور راه انداز کمتر از میزان مشخص شده است. |
| ۳ | موتور راه انداز نمی تواند با دنده حلقه درگیر شود. |
| ۴ | موتور راه انداز نابهنگام کار می‌کند. |

**یادآوری ۱-** این فهرست فقط برای مثال است. هر سیستم یا زیر سیستمی که تحلیل می شود، دارای یک مجموعه از اثرات وقوع خرابی خود می‌باشد.

خلاصه اثرات وقوع خرابی ممکن است برای تعیین احتمال وقوع خرابی سیستم ناشی از اثرات وقوع خرابی فهرست شده و برای ایجاد اولویت هایی برای اقدامات اصلاحی یا پیشگیرانه، الزام شود. خلاصه اثرات وقوع

خرابی بایستی بر مبنای فهرستی از اثرات وقوع خرابی نهایی بوده و بایستی شامل مشروحی از انواع وقوع خرابی قلم مشارکت کننده در هر اثر وقوع خرابی باشد. احتمال رخداد برای هر نوع وقوع خرابی برای دوره زمانی از قبل تعیین شده ایجاد شده کاربرد قلم و نیز برای پروفایل و تنش های کاربرد مورد انتظار، محاسبه می‌شود. جدول ۸ مثالی از خلاصه اثرات وقوع خرابی را ارائه می‌دهد.

**جدول ۸  مثالی از احتمال اثرات یک وقوع خرابی**

| عدد | اثر | مرجع نوع وقوع خرابی مشارکت کننده | احتمال رخداد اثر وقوع خرابی |
|---|---|---|---|
| ۱ | موتور راه انداز نمی تواند بهره‌برداری شود. | ۲۱،۲۲، ۱۶، ۹، ۸، ۷، ۳، ۱ | $۸\times۱۰^{۳}$ |
| ۲ | سرعت موتور راه انداز کمتر از میزان مشخص شده است. | ۲۰، ۱۹، ۱۲، ۱۱ | $۶\times۱۰^{۴}$ |
| ۳ | موتور راه انداز نمی تواند با دنده حلقه درگیر شود. | ۱۳، ۱۰، ۵، ۴، ۲ | $۱/۱\times۱۰^{۵}$ |
| ۴ | موتور راه انداز نابهنگام کار می‌کند. | ۱۸، ۱۷، ۱۵، ۱۴ | $۳/۶\times۱۰^{۷}$ |

**یادآوری ۲-** این جدول می تواند برای سایر رتبه گذاری های کمی و کیفی یک قلم یا یک سیستم ایجاد شود.

همچنین خلاصه بایستی شامل توصیف کوتاهی از روش تحلیل و سطحی که برای آن هدایت شده است، فرضیات و دستورالعمل ها باشد. علاوه بر این، بایستی شامل موارد زیر باشد:

الف) انواع وقوع خرابی که منجر به اثرات جدی می‌شود؛

ب)توصیه هایی برای توجه طراحان، کارکنان نگهداری، برنامه ریزان و کاربران باشد؛

پ) تغییرات طراحی که تاکنون به عنوان نتیجه ای از FMEA مشارکت داده شده اند؛

ت) اثراتی که توسط تغییرات طراحی مشارکت داده شده، کاهش یافته اند.

## ۶ سایر ملاحظات

### ۶ ۱ وقوع خرابی های با علت مشترک

در تحلیل قابلیت اطمینان، در نظر گرفتن وقوع خرابی های تصادفی و مستقل، به تنهایی کافی نیست. برخی از وقوع خرابی های علت مشترک (CCF)[1] می توانند رخ دهند که سبب تنزل عمل‌کردی یا وقوع خرابی از طریق کم و کاستی همزمان در چندین جزء سیستمی ناشی از یک منبع منفرد از قبیل خطای طراحی (کاهش ارزش اسمی نادرست اجزا)، تنش های محیطی (سبک کردن) یا خطای انسانی می‌شوند.

وقوع خرابی های علت مشترک (CCF)، وقوع خرابی هایی هستند که فرض مبنایی مبنی بر اینکه انواع وقوع خرابی مورد نظر در FMEA، مستقل هستند را نقض می‌کنند. CCF سبب خرابی همزمان بیش از یک قلم یا خرابی آن‌ها در دوره‌ای به اندازه کافی کوتاه از زمان می شود به گونه ای دارای اثر وقوع خرابی های همزمان باشد.

منابع CCF نوعاً شامل موارد زیر می باشند:

---

[1] -Common –cause failure

- طراحی: نرم‌افزار، تعیین مقادیر اسمی؛
- ساخت: کاستی های جزء مرتبط با دسته؛
- محیط: تداخل الکتریکی، چرخه زنی دما، ارتعاش؛
- عوامل انسانی: اقدامات نادرست بهره‌برداری یا نگهداری.

بنابر این FMEA باید منابع احتمالی CCF را در هنگام تحلیل سیستمی که از ردوندانسی برای نگهداری وظیفه یا از اقلام چندگانه برای کاهش عواقب در رویداد وقوع خرابی استفاده می‌کند، در نظر بگیرد.

یک CCF نتیجه رویدادی است که به خاطر وابستگی های منطقی، سبب یک هم‌رویدادی حالت‌های وقوع خرابی در دو یا چند جزء (به استثنای وقوع خرابی های ثانویه حاصله از اثرات یک وقوع خرابی اولیه) می‌شود. وقوع خرابی های علت مشترک می‌تواند در قطعات یکسان با یک نوع وقوع خرابی و ضعف باشد که مجموعه های مختلف یک سیستم احتمالاً ردوندانت، در جایی که ردوندانسی بی اثر می‌شود، استفاده می‌شوند.

CCF ها را می‌توان با استفاده از FMEA به صورت کیفی تحلیل کرد اما قابلیت FMEA برای تحلیل کامل CCF، کاملاً محدود است. البته، FMEA یک روش اجرایی برای امتحان متوالی هر نوع وقوع خرابی و علت‌های مرتبط و نیز برای شناسایی تمامی آزمون‌های دوره‌ای، اقدامات نگهداری و غیره است که مطالعه تمامی علت‌هایی که می‌تواند CCF بالقوه ای را القا کند را امکانپذیر می‌کند.

ترکیبی از چند روش برای پیشگیری یا کاهش CCF (مدلسازی سیستم، تحلیل فیزیکی اجزا) مفید است: پراکندگی وظیفه ای (که در آن شاخه ها یا قسمت های ردوندانت سیستم اجرا کننده یک وظیفه، یکسان نبوده و دارای انواع مختلفی از وقوع خرابی ها هستند)، جدایش فیزیکی برای حذف تاثیر تنش های محیطی یا EMI (تداخل الکترومغناطیسی) عامل CCF، آزمون ها و غیره. FMEA معمولاً امتحان اقدامات پیشگیرانه در مقابل CCF را در نظر نمی گیرد. البته، این اقدامات باید در ستون ملاحظات برای کمک به درک کل FMEA گنجانده شود.

### ۶ ۲ عوامل انسانی

برخی سیستم ها باید برای پیشگیری یا کاهش برخی خطاهای انسانی طراحی شوند. مثالی از این اقدامات، فراهم کردن قفل های مکانیکی بر سیگنال های ریلی و کلمه های عبور برای کاربری کامپیوتری یا بازیابی داده هاست. در صورتی که چنین تدارکاتی در یک سیستم وجود داشته باشد، اثر وقوع خرابی تدارکات به نوع خطا، بستگی خواهد داشت. برخی انواع خطای انسانی نیز بایستی برای یک سیستمی که از جنبه دیگر عاری از خرابی است در نظر گرفت تا اثربخشی تدارکات وارسی شود. حتی یک فهرست کردن بخشی این انواع گرچه ناکامل است، اما برای شناسایی کم و کاستی های طراحی و روش اجرایی مفید است؛ شناسایی تمامی اشکال ممکن خطای انسانی احتمالاً ناممکن خواهد بود.

بسیاری از CCF ها شامل خطاهای انسانی هستند. برای مثال، نگهداری نادرست اقلام مشابه می‌تواند ردوندانسی را خنثی کند. غالباً برای اجتناب از این امر، پراکندگی مواد در عناصر ردوندانت وارد می‌شود.

### ۶ ۳ خطاهای نرم افزاری

یک FMEA اجرا شده بر روی نرم‌افزار یک سیستم پیچیده ممکن است عکس العمل هایی بر نرم‌افزار سیستم داشته باشد. بنابر این تصمیمات در مورد اثرات، خطیر بودن و احتمالات شرطی ناشی از FMEA ممکن است به عناصر نرم افزاری و ماهیت، توالی و زمان بندی آن‌ها بستگی دارد. در صورتی که این امر برقرار باشد، نیاز است روابط متقابل بین سخت‌افزار و نرم‌افزار به روشنی شناسایی شود زیرا هر تغییر یا بهبود بعدی نرم‌افزار ممکن است FMEA را و ارزیابی های حاصل از آن را تعدیل کند. تصویب تکوین و تغییر نرم‌افزار می‌تواند مشروط به تجدیدنظر FMEA بوده و ارزیابی های مرتبط از قبیل منطق نرم‌افزار ممکن است برای بهبود ایمنی با هزینه قابلیت اطمینان بهره‌برداری تغییر یابد.

بد انجام دادن وظیفه ناشی از خطاها یا بی کفایتی نرم افزاری اثرات مهمی دربرخواهد داشت که با طراحی نرم افزاری و سخت افزاری تعیین خواهد شد. فرض این قبیل خطاها یا بی کفایتی ها و تحلیل اثرات آن‌ها تنها برای گستره محدودی امکانپذیر است. اثرات سخت‌افزار با خطاهای ممکن مرتبط در نرم‌افزار می‌تواند برآورد شود و تهیه ترتیبات fallback در سخت‌افزار یا نرم‌افزار، اغلب توسط چنین تحلیلی توصیه می‌شود.

### ۶ ۴ FMEA مربوط به عواقب وقوع خرابی سیستم

FMEA سیستم می‌تواند بدون ارجاع به هیچ کاربرد به خصوصی انجام شده و آن‌گاه می‌تواند برای کاربرد پروژه ای، وفق داده شود. این امر به مجموعه های نسبتاً کوچکی اعمال می‌شود که ممکن خودشان به عنوان اجزای عام (برای مثال، تقویت کننده الکترونیکی، موتور الکتریکی، شیر مکانیکی) درنظر گرفته شوند.

البته، معمولتر آن است که FMEA مخصوص پروژه تکوین داده شده و به عواقب به خصوصی از وقوع خرابی سیستم توجه شود. ممکن است رده بندی اثرات وقوع خرابی ها بر سیستم مطابق با عواقب این وقوع خرابی‌ها، برای مثال، خرابی ایمن، وقوع خرابی قابل تعمیر، وقوع خرابی غیرقابل تعمیر، ماموریت تنزل یافته، ماموریت خراب شده، اثرات بر اشخاص، گروه‌ها یا در حالت کلی جامعه، ضروری باشد.

نیاز به مرتبط کردن وقوع خرابی به عواقب نهایی وقوع خرابی سیستم به پروژه و رابطه بین FMEA و سایر اشکال تحلیل از قبیل درخت های خرابی، نمودارهای مارکوف، شبکه های پتری و غیره بستگی خواهد داشت.

## ۷ کاربردها

### ۷ ۱ استفاده از FMECA/FMEA

FMEA روشی است که عمدتاً برای مطالعه وقوع خرابی مواد و تجهیزات وفق داده شده و می‌تواند بر مبنای فن‌آوری های مختلف (الکتریکی، مکانیکی، هیدرولیکی و غیره) و ترکیب‌های این فن‌آوری ها به رده های سیستم ها، اعمال شود یا می‌تواند برای قطعات به خصوصی از تجهیزات، برای سیستم ها یا برای پروژه به عنوان یک کل، حالت خاصی داشته باشد.

FMEA بایستی شامل ملاحظه نرم‌افزار و عمل‌کرد انسانی نیز باشد که در آن، این امور مرتبط به قابلیت اعتماد سیستم هستند. FMEA می‌تواند از مطالعه کاربرد کلی تا مطالعه فرآیندهای مختلف (پزشکی،

آزمایشگاهی، ساخت، تکوین، آموزشی و غیره) که معمولاً نام FMEA فرآیندی یا PFMEA را به خود می‌گیرد، تغییر کند. هنگام اجرای FMEA فرآیندی، FMEA همیشه با توجه به هدف نهایی فرآیندی یا غایت فرآیند، انجام شده و آن‌گاه هر مرحله در آن فرآیند را به عنوان پتانسیل تولید یک خروجی نامطلوب از گام های دیگر فرآیند یا از هدف نهایی فرآیند در نظر می گیرد.

### ۷-۱ ۱ کاربرد در یک پروژه

کاربر بایستی تعیین کند که FMEA چگونه و به چه مقصودی در رشته فنی او استفاده می‌شود. FMEA می‌تواند به تنهایی یا برای تکمیل و پشتیبانی سایر روش های تحلیل قابلیت اطمینان استفاده شود. الزامات FMEA از نیاز به درک رفتار سخت افزاری و استنباط های آن برای بهره‌برداری سیستم یا تجهیزات، ناشی می‌شود. نیاز به FMEA می‌تواند به صورت گسترده ای از پروژه ای به پروژه دیگر تغییر کند.

FMEA از مفهوم بازنگری طراحی پشتیبانی می‌کند و بایستی تا حد امکان در اوایل دوره طراحی سیستم و زیرسیستم استفاده شود. FMEA برای تمامی سطوح طراحی سیستم قابل کاربرد است ولی برای سطوح پایین تری که در آن تعداد زیادی از اقلام دخیل شده و/یا پیچیدگی وظیفه ای وجود دارد، بیشترین مناسبت را دارد. آموزش خاص کارکنان اجرا کننده FMEA ضروری بوده و آن‌ها به همکاری نزدیک مهندسان و طراحان سیستم ها نیاز دارند. FMEA بایستی همچنان که پروژه پیشرفت می‌کند و طراحی ها تعدیل می‌شوند، به هنگام شود. در پایان پروژه، FMEA برای وارسی طراحی استفاده می‌شود و ممکن است برای تعیین انطباق یک سیستم طراحی شده با استاندارد های الزام شده، مقررات و الزامات کاربر ضروری باشد.

اطلاعات حاصل از FMEA، اولویت هایی را برای کنترل آماری فرآیند، نمونه برداری و آزمون های بازرسی در حین ساخت و نصب و برای آزمون های احراز شرایط، تصویب، پذیرش و راه اندازی شناسایی می‌کند و اطلاعات ضروری برای روش های اجرایی تشخیصی و نگهداری جهت قرار دادن در کتاب های راهنما را فراهم می‌کند.

در تصمیم گیری راجع به گسترده و روشی که با آن FMEA بایستی به یک قلم یا طراحی اعمال شود، در نظر گرفتن روش های اجرایی خاص که برای آن به نتایج FMEA نیاز است، مرحله بندی زمانی با سایر فعالیت ها و اهمیت ایجاد درجه از قبل تعیین شده ای از آگاهی و کنترل انواع و اثرات وقوع خرابی های ناخواسته، اهمیت دارد. این امر به طرح ریزی FMEA با واژه های کیفی در سطوح خاص (سیستم، زیرسیستم، جزء، قلم) جهت ارتباط با طراحی تکراری و فرآیند تکوین منجر می‌شود.

برای اطمینان از اثربخش بودن FMEA، محل آن بایستی به روشنی همراه با زمان، نیروی انسانی و سایر منابع مورد نیاز برای اثربخش کردن آن، در برنامه قابلیت اعتماد تعیین شود. این امر حیاتی است که FMEA برای صرفه جویی در زمان و هزینه، مختصر نشود. اگر زمان و هزینه مختصر شود، FMEA بایستی بر آن قسمت هایی متمرکز شود که جدید بوده یا با روش های جدیدی استفاده می‌شوند. FMEA می‌تواند از لحاظ اقتصادی متوجه حوضه هایی باشد که با سایر روش های تحلیل، به عنوان تعیین کننده، شناسایی شده‌اند.

### ۷ ۱ ۲ کاربرد با یک فرآیند

عمل‌کرد FMEA در زمانی که برای یک فرآیند آماده سازی می‌شود، موارد زیر را الزام می‌کند:

الف) تعریف روشنی از هدف فرآیند. زمانی که فرآیند پیچیده باشد، هدف فرآیند را می‌توان به هدف کلی یا محصول فرآیند، هدف یا محصولی از یک مجموعه از توالی ها یا گام ها و محصول گام فرآیندی مجزا، تجزیه کرد؛

ب) درک گام های مجزا در فرآیند؛

پ)درک ضعف های بالقوه در هر گام فرآیند؛

ت)درک اثراتی که هر ضعف منفرد (وقوع خرابی بالقوه) می‌تواند بر محصول فرآیند داشته باشد؛

ث) درکی از علل بالقوه ضعف ها یا خرابی ها/وقوع خرابی های فرآیندی بالقوه

اگر یک فرآیند دارای بیش از یک محصول باشد، آن‌گاه می‌تواند با یک محصول خاص مورد نظر تحلیل شود؛ که در این حالت یک PFMEA برای محصولات مجزا انجام می‌شود. هم‌چنین فرآیند می‌تواند بر حسب گام‌ها و خروجی های نامطلوب بالقوه آن، تحلیل شود که صرفنظر از انواع محصولات مجزا، منجر به PFMEA تعمیم یافته ای برای فرآیند، خواهد شد.

### ۷ ۲ مزایای FMEA

برخی از کاربردها و مزایای مشروح FMEA به صورت زیر فهرست می‌شوند:

الف) اجتناب از تعدیل های پرهزینه با شناسایی زودهنگام کم و کاستی های طراحی؛

ب)شناسایی وقوع خرابی هایی که زمانی که به تنهایی یا به صورت ترکیبی رخ می دهند، دارای اثرات نامطلوب یا مهمی هستند و تعیین انواع وقوع خرابی هایی که ممکن است به صورت جدی بر بهره‌برداری مورد انتظار یا الزام شده اثر بگذارند؛

**یادآوری ۱-** این قبیل اثرات ممکن است شامل وقوع خرابی‌های ثانویه باشند.

پ) تعیین نیاز به روش های طراحی برای بهبود قابلیت اطمینان (ردوندانسی، تنش‌های بهره‌برداری، خرابی ایمن، انتخاب جزء و کاهش ارزش اسمی و غیره)؛

ت) فراهم‌کردن مدل منطقی برای ارزیابی احتمال یا نرخ رخداد شرایط بهره‌برداری غیرعادی سیستم آماده‌شده برای تحلیل خطیر بودن؛

ث) آشکارکردن زمینه‌های مسئله مسئولیت محصول و ایمنی یا عدم انطباق با الزامات قانونی؛

**یادآوری ۲-** مطالعات جداگانه، اغلب برای ایمنی الزام خواهد شد ولی همپوشانی اجتناب ناپذیر بوده و بنابر این همکاری، به شدت توصیه می شود.

ج)اطمینان از این‌که برنامه آزمون تکوین می‌تواند انواع بالقوه وقوع خرابی را آشکار کند؛

چ) تمرکز بر زمینه‌های کلیدی که کنترل کیفیت، بازرسی و کنترل های فرآیند ساخت بر آن متمرکز شود؛

ح) کمک به تعریف جنبه‌های مختلف استراتژی و برنامه زمان‌بندی نگهداری پیشگیرانه کلی؛

خ)تسهیل یا پشتیبانی تعیین معیار آزمون، طرح های آزمون و روش‌های اجرایی تشخیصی، برای مثال: آزمون عمل‌کرد، آزمون قابلیت اطمینان؛

د)پشتیبانی توالی‌های مجزاسازی خرابی و پشتیبانی طرح ریزی برای انواع جایگزین بهره‌برداری و پیکره‌بندی مجدد

ذ) ارائه درکی از عوامل تاثیرگذار بر قابلیت اطمینان سیستم برای طراحان؛

ر) ارائه مدرکی نهایی مبنی بر اثبات این حقیقت (و گستره ای که تا آن) احتیاط برای اطمینان از این‌که طراحی، مشخصات آن را در خدمت برآورده خواهد کرد، اتخاذ شده است. (این امر به ویژه در مورد مسئولیت محصول اهمیت دارد).

### ۷ ۳ محدودیت ها و کم و کاستی های FMEA

FMEA بیشترین کارایی را زمانی دارد که به تحلیل عناصری که وقوع خرابی کل سیستم یا وظیفه مهمی از سیستم را سبب می‌شوند، اعمال شود. به هر حال، FMEA ممکن است برای مورد سیستم‌های پیچیده که دارای وظایف چندگانه شامل مجموعه های مختلف اجزای سیستم هستند، دشوار و خسته کننده باشد. این امر به خاطر کمیت اطلاعات مشروح سیستم است که نیاز دارد در نظر گرفته شود. این مشکل با وجود تعدادی از انواع بهره‌برداری ممکن و نیز با در نظر گرفتن خط مشی‌های تعمیر و نگهداری، افزایش می یابد.

FMEA می‌تواند فرآیندی دشوار و ناکارا باشد، مگر آن که به صورت کارشناسی شده اعمال شود. کاربردهایی که باید بعداً از نتایج به عمل آید بایستی تعریف شود و FMEA نبایستی به صورت غیرمشخص در مشخصات الزامات گنجانده شود.

در صورتی که ردوندانسی در طراحی سیستم اعمال شود، پیچیدگی ها، سوءتفاهمات و خطاها ممکن است زمانی رخ دهد که FMEA تلاش کند چندین سطح را در یک ساختار سلسله مراتبی گسترش دهد.

هر گونه رابطه بین اشخاص یا گروه‌های انواع وقوع خرابی یا علل انواع وقوع خرابی را نمی توان به صورت اثربخشی در FMEA نشان داد زیرا فرض عمده این چنین تحلیلی، استقلال انواع وقوع خرابی هاست. این کم و کاستی با نگاه به تعاملات نرم افزاری/سخت افزاری که در آن فرض استقلال، مصداق ندارد بیشتر نمایان می‌شود. همین نوع مشکل در زمان افزودن تعاملات انسانی با سخت‌افزار و مدلسازی استقلال آن‌ها می‌تواند مواجهه شود. فرض استقلال ممکن است یک نوع وقوع خرابی را نادیده بگیرد که در زمانی که نتیجه ای از نوع دیگری از وقوع خرابی باشد دارای عواقب شدیدی است اما هر کدام از آن‌ها به صورت جداگانه ممکن است احتمال رخداد اندکی داشته باشند. سناریوهای رابطه متقابل با استفاده از رویکرد تحلیل نوع وقوع خرابی با ابزار FTA[1] (۱ ۳ IEC۶۰۳۰۰، ویرایش دوم) به صورت بسیار بهتری مدلسازی می‌شوند.

بنابر این ترجیح داده می‌شود که یک FMEA با ارتباط با فقط با دو سطح در ساختار سلسله مراتبی محدود باشد. برای مثال، شناسایی انواع وقوع خرابی اقلام و تعیین اثرات آن‌ها بر مجموعه، تکلیف نسبتاً سرراستی است. آن گاه این اثرات در سطح بعدی بالاتر، از قبیل ماژول به انواع خرابی تبدیل می‌شوند و الی آخر. به هر حال، اغلب FMEA های چند سطحی موفقی، انجام می‌شوند.

---

[1] -Fault tree analysis

کم و کاستی های دیگر FMEA در ناتوانی آن برای برآورده کردن مقیاسی از قابلیت اطمینان کلی سیستم معین می‌شود و به همین علت توانمند نیست هیچ مقیاسی از بهبودها یا سبک و سنگین کردن های طراحی را فراهم کند.

### ۴ ۷ روابط با سایر روش ها

FMEA (یا FMECA) را می‌توان به تنهایی به کار برد. FMEA به عنوان یک روش استقرایی سیستماتیک تحلیل اغلب برای تکمیل سایر رویکردها، به ویژه انواع قیاسی از قبیل FTA استفاده می‌شود. در مرحله طراحی، تصمیم گیری در مورد این که آیا رویکرد استقرایی یا قیاسی غالب است، اغلب دشوار است زیرا هر دو در اندیشه و تحلیل ترکیب می‌شوند. در جاهایی که سطوح ریسک در سیستم ها و تسهیلات صنعتی شناسایی می‌شوند، رویکرد قیاسی ترجیح داده می‌شود اما FMEA همچنان یک ابزار مفید طراحی است ولی بایستی با روش های دیگر تکمیل شود. این امر به ویژه زمانی مصداق دارد که در مواقعی که نیاز باشد وقوع خرابی های چندگانه و اثرات متوالی آن‌ها مطالعه شود، نیاز به شناسایی مسائل شناسایی و یافتن راه حل ها احساس شود. اولین روشی که استفاده می‌شود به برنامه پروژه بستگی خواهد داشت.

در مراحل اولیه طراحی، که فقط وظایف، ساختار سیستم کلی و زیر سیستم ها تعریف شده اند، عمل‌کرد موفق سیستم را می‌توان با یک نمودار بلوکی قابلیت اطمینان یا با یک مسیر وقوع خرابی توسط یک درخت خرابی نشان داد. اما برای کمک در ترسیم این نمودارهای سیستم، بایستی فرآیند استقرایی FMEA را قبل از آن که زیر سیستم ها طراحی شوند به آن‌ها اعمال کرد. تحت این اوضاع و احوال، رویکرد FMEA نمی‌تواند روش اجرایی جامعی باشد بلکه در عوض یک فرآیند فکری است که به آسانی به شکل فهرستی ثابت بیان نمی شود. در حالت کلی، زمانی که تحلیل یک سیستم پیچیده شامل چندین وظیفه، اقلام متعدد و روابط بین این اقلام باشد، FMEA ضروری بوده ولی کافی نیست.

تحلیل درخت خرابی (FTA)، یک روش قیاسی تکمیلی برای تحلیل انواع وقوع خرابی و علل متناظر آن‌هاست. این روش علت های سطح پایین یک وقوع خرابی سطح بالای فرض شده را ردیابی می‌کند. اگرچه تحلیل منطقی می‌تواند و گاهی اوقات برای تحلیل کاملاً کیفی توالی های خرابی استفاده شود اما معمولاً مقدمه ای برای برآورد فراوانی وقوع خرابی سطح بالای فرض شده است. FTA توانمند مدلسازی وابستگی متقابل انواع مختلف وقوع خرابی هاست که در آن تعامل می‌تواند منجر به رویدادی با نسبت های اساسی و شاید با شدت بالا شود. این امر به ویژه در جایی اهمیت دارد که رخداد یک نوع وقوع خرابی در ابتدا رخداد نوع دیگری را با احتمال بالا و شدت بالا، القا کند. این سناریو را نمی توان به صورت موفقی با یک FMEA که در آن هر نوع وقوع خرابی به صورت مستقل و مجزا در نظر گرفته می‌شود، مدلسازی کرد. یکی از کم و کاستی های FMEA، ناتوانی آن در ملاحظه تعامل و پویایی رخدادهای نوع وقوع خرابی در یک سیستم است.

FTA بر منطق رویدادهای منطبق (یا متوالی) و جایگزین متمرکز می‌شود که عواقب نامطلوبی را سبب می‌شوند و می‌تواند یک مدل صحیحی از سیستم مورد تحلیل و نیز برآوردی از قابلیت اطمینان (یا احتمال وقوع خرابی) آن را تولید کند و می‌تواند تاثیر بهبودهای طراحی و کاهش نوع وقوع خرابی بر قابلیت اطمینان

کلی سیستم را نیز ارزیابی کند که می‌تواند مفید باشد. قالب FMEA می‌تواند بیشتر توصیفی باشد. هر دو روش در یک تحلیل کامل برای ایمنی و قابلیت اعتماد در یک سیستم پیچیده کاربردهای خود را دارا هستند. به هر حال، اگر سیستم عمدتاً بر مبنای منطق سری ها با ردوندانسی ها و وظایف اندک باشد، آن‌گاه FTA روشی با پیچیدگی غیرضروری برای ارائه منطق و شناسایی انواع وقوع خرابی است. در این قبیل موارد، FMEA و نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان، کافی هستند. در سایر مواردی که FTA ترجیح داده می‌شود، این روش همچنان نیازمند ارتقای کیفی با استفاده از توصیفات انواع و اثرات وقوع خرابی است.

ملاحظه اصلی در انتخاب روش تحلیل بایستی به الزامات به خصوص پروژه بستگی داشته و نه فقط به الزامات فنی، بلکه به مقیاس زمانی، هزینه، کارآمدی و کاربرد نتایج نیز توجه داشته باشد. دستورالعمل کلی شامل موارد زیر می باشند:

الف) FMEA زمانی مناسب است که دانش جامعی از ویژگی های وقوع خرابی یک قلم، الزام شود.

ب) FMEA برای سیستم ها، ماژول ها یا مجموعه های کوچکتر، مناسب تر است.

پ) FMEA ابزاری اساسی در مرحله تحقیق و تکوین یا طراحی است که در آن نیاز است اثرات نامطلوب وقوع خرابی ها شناسایی شده و راه حل هایی یافت شود.

ت)FMEA می‌تواند برای اقلامی با طراحی ابداعی که وقوع خرابی آن‌ها را نمی توان از تجربه بهره‌برداری قبلی معلوم کرد، ضروری باشد.

ث) FMEA بیشتر برای سیستم هایی قابل کاربرد است که دارای تعداد زیادی اجزا که باید در نظر گرفته شده و عمدتاً با منطق وقوع خرابی سری مرتبط می‌شوند، باشد.

ج) FMEA برای تحلیل انواع چندگانه وقوع خرابی و منطق و ردوندانسی وقوع خرابی پیچیده شامل وابستگی مناسب تر است. FTA می‌تواند در سطوح بالاتر ساختار سیستم در اوایل مرحله طراحی استفاده شده و در شناسایی نیاز به FMEA مشروح در سطوح پایین تر در حین طراحی تفصیلی کمک کند.

# پیوست الف
## (اطلاعاتی)
# خلاصه روش های اجرایی FMEA و FMECA

### الف ۱ گام های اجرای تحلیل

گام های روش اجرایی مورد نیاز برای اجرای تحلیل عبارتند از:

الف) در مورد کدامیک از FMEA یا FMECA الزام می‌شود، تصمیم بگیرید.

ب) مرزهای سیستم را برای تحلیل تعریف کنید.

پ)الزامات و وظیفه سیستم را درک کنید.

ت) معیار وقوع خرابی/موفقیت را تعریف کنید.

ث)هر یک از انواع وقوع خرابی قلم و اثرات وقوع خرابی آن‌ها را تعیین کرده و آن‌ها را ثبت کنید.

ج) هر اثر وقوع خرابی را خلاصه کنید.

چ) نتایج را گزارش کنید.

گام های دیگری که باید برای FMECA اتخاذ شوند عبارتند از:

ح) رده های شدت وقوع خرابی سیستم را تعیین کنید.

خ) شدت نوع وقوع خرابی قلم را تعیین کنید.

د) فراوانی های نوع و اثر وقوع خرابی قلم را تعیین کنید.

ذ)فراوانی های نوع وقوع خرابی را تعیین کنید.

ر) ماتریس خطیر بودن را برای انواع وقوع خرابی قلم، تشکیل دهید.

ز) خطیر بودن اثرات وقوع خرابی را از ماتریس خطیر بودن خلاصه کنید.

ژ) ماتریس خطیر بودن را برای اثرات وقوع خرابی سیستم تشکیل دهید.

س)نتایج را در تمامی سطوح تحلیل گزارش دهید.

**یادآوری-** کمی کردن فراوانی های نوع و اثر وقوع خرابی ممکن است در FMEA با انجام گام های ح)، خ) و د) در پایان FMEA تعهد شود.

### الف ۲ کاربرگ FMEA

#### الف ۲ ۱ دامنه کاربرد یک کاربرگ

کاربرگ FMEA، جزئیات تحلیل را به صورت جدول بندی شده ای ثبت می‌کند. اگرچه روش اجرایی کلی FMEA، یک استاندارد است اما طراحی یک کاربرگ به خصوص می‌تواند برای تناسب با الزامات کاربردی و پروژه ای، سازگارسازی شود.

شکل الف ۱ مثالی از یک قالب برای یک کاربرگ FMEA است.

### الف ۴ ۲ سرصفحه کاربرگ

قسمت سرصفحه فرم، اطلاعات زیر را ثبت می‌کند.

- سیستم به صورت یک قلم نهایی، قلمی را شناسایی می‌کند که برای آن اثرات نهایی شناسایی می‌شوند. این شناسه بایستی با واژه شناسی مورد استفاده در نمودارهای بلوکی، طرح های کلی و سایر ترسیمات سازگار باشد؛
- نوع بهره‌برداری فرض شده برای تحلیل؛
- ارجاع های قلمی به قلمی (ماژول، جزء یا قسمتی) که در این کاربرگ تحلیل می‌شود؛
- سطح تجدیدنظر، تاریخ و نام تحلیل‌گر هماهنگ کننده تلاش FMEA علاوه بر نام اعضای تیم هسته که اطلاعات بیشتری را در مورد مقاصد کنترل مدرک، فراهم می‌کنند.

### الف ۴ ۳ ورودی های کاربرگ

ورودی های "مرجع قلم" و "توصیف و وظیفه قلم" برای شناسایی موضوع تحلیل می باشند. مرجع بایستی در نمودار بلوکی یا سایر مدارک پشتیبان، راهنمایی شود. توصیف کوتاهی از قلم و وظیفه آن وارد می‌شود.

حالتی که در آن قلم ممکن است خراب شود تحت "نوع وقوع خرابی" وارد می‌شود. زیربند ۵ ۴ ۳، راهنمایی را در مورد شناسایی انواع بالقوه وقوع خرابی، ارائه می‌کند. وارد کردن یک شناسه منحصر به فرد ("کد نوع وقوع خرابی") برای هر قلم منحصر به فرد، خلاصه سازی نتایج تحلیل را تسهیل خواهد کرد.

محتمل ترین علل نوع وقوع خرابی تحت عنوان "علل ممکن وقوع خرابی" فهرست می‌شوند.

توصیف دقیقی از اثرات نوع وقوع خرابی بر قلم مورد تحلیل، تحت عنوان "اثر محلی" وارد می‌شود. اطلاعات مشابهی در ستون "اثر نهایی" برای مشخص کردن اثرات نوع وقوع خرابی بر قلم نهایی وارد می‌شود. برای برخی تحلیل های FMEA، ارزیابی اثر وقوع خرابی در سطح میانی مطلوب است. در این مورد تاثیر بر "مجموعه سطح بالاتر" در ستون دیگری وارد می‌شود. شناسایی اثرات نوع وقوع خرابی در ۵ ۴ ۵ بیشتر بحث شده است.

توصیف کوتاهی از چگونگی آشکارسازی نوع وقوع خرابی تحت عنوان "روش آشکارسازی" نشان داده می‌شود. روش آشکارسازی ممکن است به صورت خودکار با آزمون نصب داخل (BIT)[1] خصیصه طراحی انجام شود یا ممکن است به روش های اجرایی تشخیصی توسط کارکنان بهره‌برداری یا نگهداری نیاز داشته باشد. شناسایی روش آشکارسازی اهمیت دارد برای این که تحلیل‌گر می‌تواند مطمئن شود که اقدام اصلاحی انجام خواهد شد.

خصیصه های طراحی از قبیل ردوندانسی که نوع به خصوصی از وقوع خرابی را کاهش می دهند، باید تحت عنوان "تدارک جبران کننده در مقابل وقوع خرابی" ثبت شوند. جبران سازی فراهم شده توسط نگهداری خاص یا اقدامات کارور نیز بایستی در این جا ثبت شود.

"رده شدت"، سطح شدت را به صورتی که توسط تحلیل گران FMEA تعیین می‌شود، شناسایی می‌کند.

---

1 -Built-in test

فراوانی یا احتمال رخداد، نرخ رخداد نوع به خصوصی از وقوع خرابی را شناسایی می‌کند. مقیاس فراوانی برای تناسب با کاربرد (از قبیل وقوع خرابی ها در هر میلیون ساعت، وقوع خرابی در هر فاصله طی شده مثلاً ۱۰۰۰km و غیره) سازگارسازی می‌شود.

در ورودی "ملاحظات"، مشاهدات و توصیه های تحلیل گران به صورتی که در ۵ ۳ ۴ توصیف شده ثبت می‌شود.

### الف ۴ ۴ ملاحظات کاربرگ

آخرین ورودی کاربرگ، بایستی هر گونه ملاحظه مرتبط را برای روشن کردن سایر ورودی ها، ارائه کند. اقدامات ممکن آینده از قبیل توصیه هایی برای بهبودهای طراحی می تواند ثبت شده و سپس در گزارش به صورت مفصل بیان شود. این ستون می‌تواند شامل موارد زیر نیز باشد:

الف) هر گونه شرایط غیرعادی؛
ب)اثرات وقوع خرابی های عنصری ردوندانت؛
پ)تشخیص خصیصه های خاص طراحی بحرانی؛
ت) هر گونه ملاحظاتی برای تقویت ورودی؛
ث)الزامات مهم نگهداری؛
ج)علل عمده وقوع خرابی ؛
چ) اثرات عمده وقوع خرابی ؛
ح) تصمیمات اتخاذ شده از قبیل در بازنگری طراحی.

FMEA

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| قلم نهایی:<br>دوره بهره‌برداری: | | | قلم:<br>تجدیدنظر: در: | | | | | آماده سازی شده توسط:<br>تاریخ: | | | |
| **مرجع قلم** | **توصیف و وظیفه قلم** | **نوع وقوع خرابی** | **کد نوع وقوع خرابی** | **علل ممکن وقوع خرابی** | **اثر تحلیل** | **اثر نهایی** | **روش آشکارسازی** | **تدارک جبران کننده در مقابل وقوع خرابی** | **رده شدت** | **فراوانی یا احتمال رخداد** | **ملاحظات** |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

شکل الف-۱ مثالی از قالب یک کاربرگ **FMEA**

# پیوست ب
## (اطلاعاتی)
## مثال هایی از تحلیل ها

### ب ۱ مثال ۱- FMEA برای بخشی از الکترونیک های خودرویی با محاسبه RPN

در شکل ب ۱، قسمت کوچکی از یک FMEA گسترده انجام شده برای یک محصول خودرویی ارائه شده است. مجموعه تحلیل شده، منبع تغذیه و فقط اتصالات آن به خط باتری می باشد.

خط باتری دارای یک دیود D۱ و یک خازن C۹ است که سمت مثبت باتری را به زمین وصل می‌کند. دیود از نظر قطبیت معکوس می‌شود به گونه ای که اگر سمت منفی باتری به قلم وصل شود، ولتاژ منفی به زمین به زمین اتصال کوتاه شدن و قلم را از صدمه حفاظت می‌کند. خازن برای فیلتر کردن EMI است. اگر هر یک از قسمت ها بایستی به زمین اتصال کوتاه شوند، باتری نیز به زمین اتصال کوتاه شده که می‌تواند منجر به تخلیه باتری خودرو شود. این قبیل وقوع خرابی قطعاً بدون هشدار است و وقوع خرابی واک هوم[1] در صنعت خودرو، خطرناک در نظر گرفته می‌شود. بنابر این، برای انواع وقوع خرابی هر دو قسمت "اتصال کوتاه"، رتبه S، ۱۰ است. رخدادها از نرخ های وقوع خرابی قسمت های تحت تنش های متناظر آن‌ها برای عمر خودرو حساب شده و آنگاه با مقیاس O از FMEA خودرو تطبیق داده می‌شود. آشکارسازی بسیار پایین است به گونه ای که اتصال کوتاه هر قسمت، فوراً در آزمون قلم غیر بهره‌برداری شناخته می شود.

باز کردن هر یک از قسمت های فوق سبب وارد شدن هیچ صدمه ای به قلم نخواهد شد مگر در صورتی که دیود باز شود، در این صورت، حفاظت باتری معکوسی وجود نخواهد داشت اما با باز شدن خازن، هیچ فیلترشدگی EMI –نوفه ممکن برای سایر تجهیزات در خودرو وجود نخواهد داشت.

سیملوله[2] L۱ بین باتری و مدار قلم، عمدتاً برای فیلتر کردن، وجود دارد. اگر سیملوله باز شود، قلم قابل بهره‌برداری نخواهد بود به صورتی که باتری قطع شده و نمایش هشدار نشان داده نخواهد شد. سیملوله ها نرخ وقوع خرابی بسیار پایینی دارند بنابر این، رخداد۲ است.

مقاومت R۹۱ ولتاژ باتری را به ترانزیستورهای سویچینگ حمل می‌کند؛ اگر نتواند باز شود، قلم را غیرقابل بهره‌برداری خواهد کرد که شدت آن نیز ۹ خواهد بود. از آن جا که مقاومت ها نرخ وقوع خرابی پایینی دارند، رخداد، ۲ است. آشکارسازی ۱ است زیرا قلم قابل بهره‌برداری نخواهد بود.

---

[1] -Walk home

[2] -Coil

| قلم/وظیفه | | | نوع بالقوه وقوع خرابی | اثر(های) بالقوه وقوع خرابی | | SEV | رده | مکانیسم(های) اثر(های)بالقوه وقوع خرابی | علت(ها)/ مکانیزم (های) مشروح وقوع خرابی | رخ دادن | پیشگیری کنترل های طراحی جاری | حفاظت کنترل های طراحی جاری | آشکارکردن | RPN | توصیه (ها) | مسئولیت و هدف تاریخ تکمیل | نتایج اقدام | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| زیرسیستم | مجموعه | جز | | اثر محلی | اثر نهایی | | | | | | | | | | | | اقدامات اتخاذ شده | sev | رخ دادن | آشکارکردن | RPN |
| منبع تغذیه | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | V۱ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | D۱ | اتصال کوتاه | ولتاژباتری+اتصال کوتاه به زمین | تخلیه باتری، walk home | ۱۰ | | عیب ذاتی جز | خرابی مواد | ۳ | انتخاب کیفیت بالاتر و تعیین ارزش اسمی | ارزیابی و آزمون صحه‌گذاری قابلیت اطمینان | ۱ | ۳۰ | | | | | | | |
| | | D۱ | باز | عدم حفاظت ولتاژ معکوس | غیر قابل توجه | ۲ | | عیب ذاتی جز | اتصال یا نیمه هادی یا ترک | ۳ | انتخاب کیفیت بالاتر و تعیین ارزش اسمی | ارزیابی و آزمون صحه‌گذاری قابلیت اطمینان | ۲ | ۱۲ | | | | | | | |
| | | C۹ | کوتاه | ولتاژباتری+اتصال کوتاه به زمین | تخلیه باتری، walk home | ۱۰ | | عیب ذاتی جز | تجزیه دی الکتریکی یا ترک | ۳ | انتخاب کیفیت بالاتر و تعیین ارزش اسمی | ارزیابی و آزمون صحه‌گذاری قابلیت اطمینان | ۱ | ۳۰ | | | | | | | |
| | | C۹ | باز | بدون فیلتر شدگی EMI | بهره‌برداری خارج از مشخصات قلم | ۲ | | عیب ذاتی جز | باز شدگی دی الکتریکی، نشت، حفره یا ترک | ۲ | انتخاب کیفیت بالاتر و تعیین ارزش اسمی | ارزیابی و آزمون صحه‌گذاری قابلیت اطمینان | ۱ | ۴ | | | | | | | |
| | | L۱ | باز | بدون- V۱ | قلم غیر قابل بهره‌برداری، هشداری نشان داده نمی شود. | ۹ | | عیب ذاتی جز | خرابی مواد | ۲ | انتخاب کیفیت بالاتر و تعیین ارزش اسمی | ارزیابی و آزمون صحه‌گذاری قابلیت اطمینان | ۱ | ۱۸ | | | | | | | |
| | | R۹۱ | باز | نبود ولتاژ برای مدار سویچ کننده قلم | قلم غیر قابل بهره‌برداری، هشداری نشان داده نمی شود. | ۹ | | عیب ذاتی جز | اتصال یا ترک مواد | ۲ | انتخاب کیفیت بالاتر و تعیین ارزش اسمی | ارزیابی و آزمون صحه‌گذاری قابلیت اطمینان | ۱ | ۱۸ | | | | | | | |

**شکل ب -۱ FMEA برای یک قسمت از الکترونیک های خودروی با محاسبات RPN**

### ب ۲ مثال۲ FMEA برای زیر سیستم مجموعه موتور- ژنراتور

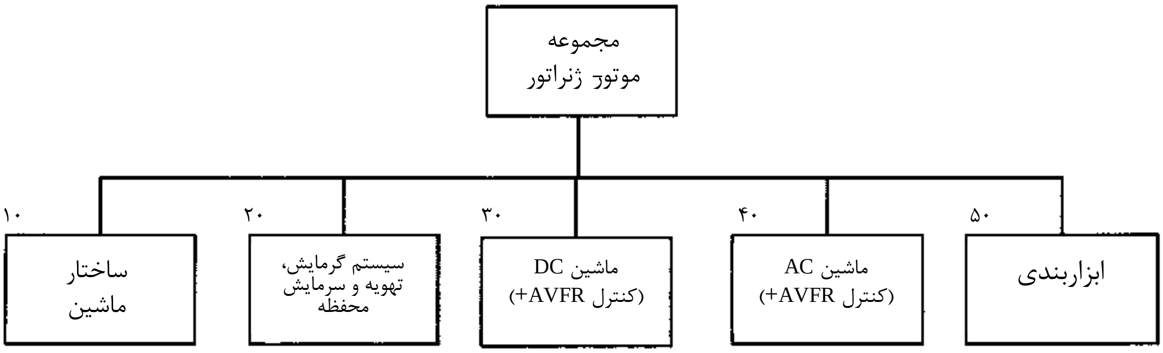
این سیستم، کاربرد فن FMEA را برای سیستم موتور- ژنراتور (M-G)[1] نشان می‌دهد. هدف از مطالعه فقط محدود به آن سیستم است و به اثرات وقوع خرابی بر هیچ کدام از بارهای تامین شده با انرژی الکتریکی از مجموعه M-G یا هیچ اثر خارج دیگری از وقوع خرابی ها نمی پردازد. این مطالعه، مرزهای تحلیل را تعریف می‌کند. مثال، که فقط تا حدی نشان داده شده، نشان می‌دهد که سیستم چگونه به صورت نمودار بلوکی سلسله مراتبی معرفی شده است. زیر تقسیم بندی اولیه، پنج زیرسیستم (به شکل ب ۲ مراجعه کنید) شناسایی کرده و یکی از این ها، سیستم گرمایش، تهویه و سرمایش محفظه است که از سطوح پایین تر ساختار سلسله مراتبی تا سطح جزء که در آن تصمیم به شروع FMEA گرفته شده (رجوع به شکل ب ۳)، تکوین شده است. همچنین نمودارهای بلوکی، سیستم شماره دهی پذیرفته شده را نشان می دهند که به عنوان ارجاع متقابل با برگه های کاری FMEA استفاده شده است.

نمونه‌ای از کاربرگ برای یکی از زیر- زیرسیستم های مجموعه M-G (به شکل ب ۴ مراجعه کنید) نشان داده شده که در حالت کلی به قالب توصیه شده در این استاندارد مطابقت دارد.

پیش نیاز اساسی برای این قبیل FMEA، تعریف و طبقه بندی شدت اثرات بر سیستم M-G کامل است. برای کاربرد به خصوص سیستم مثال، این اثرات در جدول ب ۱ تعریف شده اند.

**جدول ب ۱- تعریف و طبقه بندی شدت اثرات وقوع خرابی بر سیستم M-G کامل**

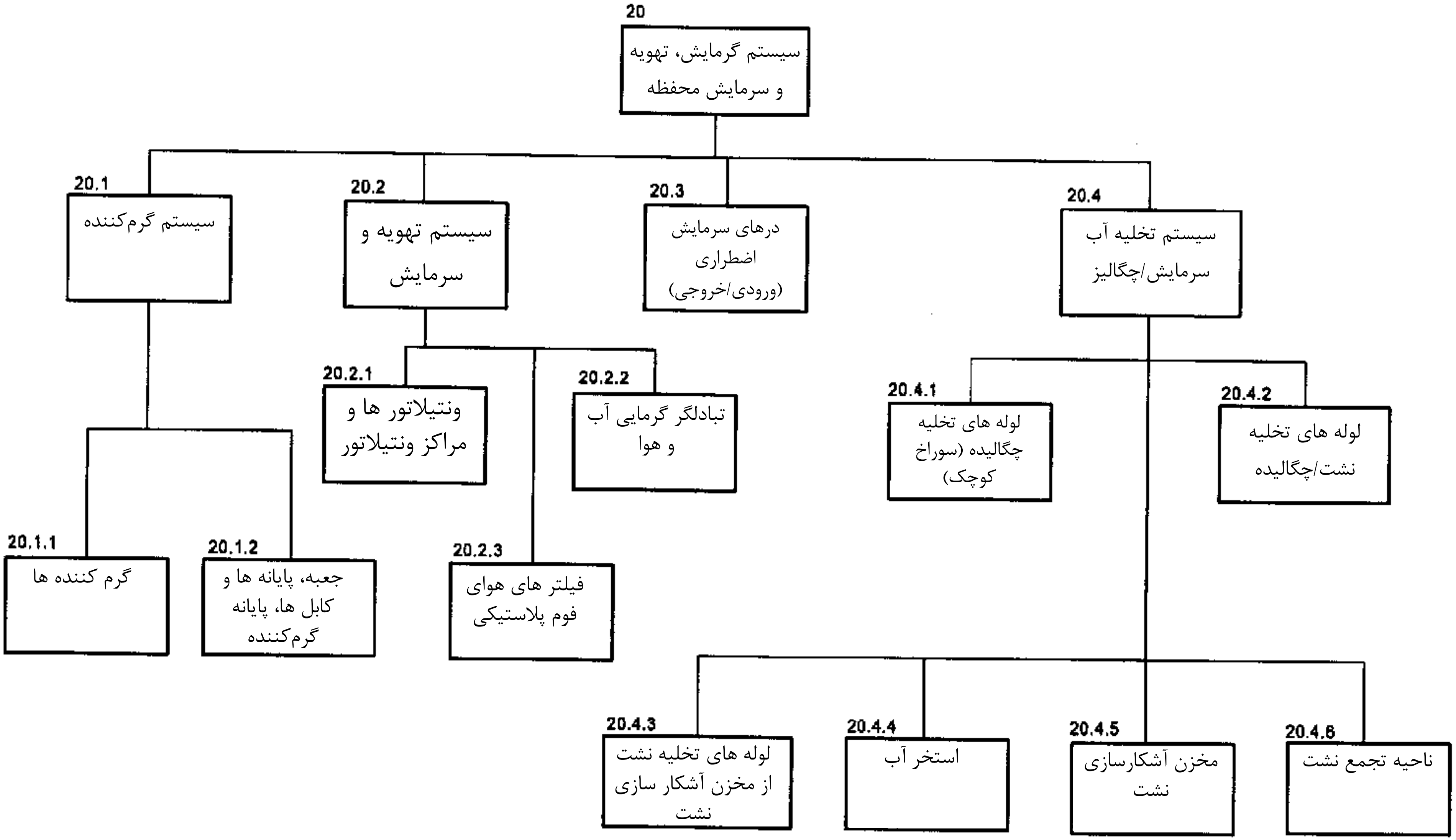
| سطح | شدت | توصیف |
|---|---|---|
| ۵ | خطرناک | وقوع خرابی برای تولید انرژی برای باقی مانده ماموریت |
| ۴ | بحرانی | تنزل سیستم برای باقی مانده ماموریت |
| ۳ | اصلی | فقدان تولید انرژی به خاطر قطعی اجباری تا زمانی که تعمیر شود |
| ۲ | فرعی | تنزل موقتی سیستم تا زمان مناسب برای تعمیر |
| ۱ | قابل صرف‌نظر | نبود فقدان یا تنزل قابل توجه تولید توانمندی |



**شکل ب ۲- نمودار زیرسیستم های مجموعه موتور ژنراتور**

---

[1] generator


20
سیستم گرمایش، تهویه و سرمایش محفظه
20.1
سیستم گرم‌کننده
20.2
سیستم تهویه و سرمایش
20.3
درهای سرمایش اضطراری (ورودی/خروجی)
20.4
سیستم تخلیه آب سرمایش/چگالیز
20.1.1
گرم کننده ها
20.1.2
جعبه، پایانه ها و کابل ها، پایانه گرم‌کننده
20.2.1
ونتیلاتور ها و مراکز ونتیلاتور
20.2.2
تبادلگر گرمایی آب و هوا
20.2.3
فیلتر های هوای فوم پلاستیکی
20.4.1
لوله های تخلیه چگالیده (سوراخ کوچک)
20.4.2
لوله های تخلیه نشت/چگالیده
20.4.3
لوله های تخلیه نشت از مخزن آشکار سازی نشت
20.4.4
استخر آب
20.4.5
مخزن آشکارسازی نشت
20.4.6
ناحیه تجمع نشت

زیرسیستم ۲۰ سیستم گرمایش، تهویه و سرمایش محفظه

| مرجع | جز | وظیفه | نوع وقوع خرابی | اثر وقوع خرابی | روش و نشانه آشکارسازی | ردوندانسی فراهم شده | سطح شدت نرخ وقوع خرابی نوع F/Mhr | | | | | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | |
| ۲۰۱ | سیستم گرم کننده (۱۲ از ۶ از در هر انتها) (تنها در صورتی که ماشین غیرقابل بهره‌برداری باشد، به کار می‌رود) | همه | | | | | | | | | | **یادآوری** در صورتی که گرم کننده ها در هنگام کار به صورت خودکار خاموش نشوند، ممکن است ماشین بیش از اندازه گرم شود. |
| ۲۰۱۱ | گرم کننده ها | برای گرم کردن محفظه | الف)o/c، گرم کننده سوخته<br>ب)s/c یا خرابی سیم به خاطر خرابی عایق | کاهش گرم کنندگی از دست رفتن تمامی گرم کنندگی میعان احتمالی | الف) نشانه دمای ۵°> بالاتر از محیط<br>ب) منبع، ذوب شدن یا شکاننده مدار پایش می‌شود. | همه موازی هستند، نبود ردوندانسی منبع | | | | ۱/۲<br>۰/۳ | | خرابی سیم زمین نبایستی سیستم را خراب کند. |
| ۲۰۱۲ | جعبه پایانه گرم کننده، پایانه ها، کابل | اتصال منبع به گرم کننده ها | الف) پایانه o/c یا کابل می‌تواند یک، سه، شش یا تمامی گرم کننده ها را خراب کند.<br>ب)پایانه های s/c (ردیابی) | از دست رفتن یا کاهش گرم کنندگی میعان از دست رفتن تمامی گرم کنندگی میعان | دمای ۵°> بالاتر از محیط<br>منبع پایش می‌شود. | | | | | ۰/۵<br>ناچیز | | |
| | | | | | | مجموع | | | | ۲/۰ | | |

شکل ب ۴ FMEA برای زیر سیستم ۲۰

### ب ۳ مثال۴ FMECA برای فرآیند ساخت

FMECA ساخت یا فرآیندی هر یک از فرآیندهای ساخت دخیل در ساخت قلم مرتبط را در نظر می گیرد و بررسی می‌کند که چه چیزی می‌تواند خراب شود، چه حفاظ های ایمنی ای در مقابل وقوع خرابی وجود دارد، وقوع خرابی اغلب چگونه رخ می‌دهد، وچگونه می‌تواند با طراحی مجدد قلم یا فرآیند حذف شود. هدف تمرکز توجه بر مسائل ممکن (یا معلوم) در حفظ یا کسب کیفیت خروجی الزام شده است. مونتاژ کننده های کالاهای پیچیده ای از قبیل خودروهای موتوری به خوبی توصیه می‌شوند که اصرار داشته باشند تامین کنندگان اجزای آن‌ها این قبیل تحلیل هایی را انجام دهند ولی تولید کنندگان جزء، معمولاً ذینفع های اصلی هستند. تمرین، امتحان مجددی از روش شناسی ایجاد شده در ساخت را اجباری می‌کند و به ندرت منجر به افزایش هزینه می‌شود.

قالب از نظر مبنایی مشابه به قالب FMECA محصول است ولی برخی تغییرات توسط الزامات اندکی متفاوت (به شکل ب ۵ مراجعه کنید) اجبار می‌شوند. استاندارد خطیر بودن، عدد خطیر بودن اقدام (APN)[1] است که در فوق مورد بحث قرار گرفت. فرآیند FMECA امتحان می‌کند که چگونه عیوب و نقائص می‌تواند افزایش یافته و به مشتریان برسد یا توسط روش های اجرایی کنترل کیفیت، یافت شود. این فرآیند این امر که چگونه محصول ممکن است در اثر فرسودگی یا بهره‌برداری نادرست خراب شود را امتحان نمی‌کند. مقداری همپوشانی به صورت اجتناب ناپذیری وجود دارد، زیرا برخی عیوب بر قابلیت دوام اجزای در خدمت تاثیر می گذارند در حالی که برخی دیگر سبب خرابی های فوری یا زودهنگام می‌شوند.

---

[1] -Action Priority Number

| | | | | | | | | شرایط موجود | | | | | | شرایط تجدیدنظر شده | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مرجع | فرآیند | نوع وقوع خرابی | اثر بر | اثر بالقوه | V | علت بالقوه | کنترل های موجود | Occ | Sev | Det | RPN | اقدام توصیه شده | اقدام اتخاذ شده | Occ | Sev | Det | APN |
| ۱- ۱- ۰۱<br>۰۲<br>۰۳<br>۰۴<br>۰۵ | جاسازی کردن | اندازه یا زوایای زانویی نادرست شانه | ۱) الف<br>۱)ب<br>۱)الف<br>۴)ب<br>۴)پ | جاسازی بدون بار بر روی برش<br>بهره وری کاهش یافته<br>جاسازی ناهمراستا. ضخامت نادرست حاشیه حول جاسازی<br>عمل‌کرد کاهش یافته.<br>عمر کاهش یافته | | کنترل کیفیت یا ساخت ضعیف | تولید کننده و طرح های نمونه برداری پذیرشی | ۱ | ۹ | ۹ | ۸۱ | بازنگری طرح های نمونه برداری جدایش ذخیره معیوب از ذخیره خوب آموزش مونتاژکنندگان | | | | | |
| ۱- ۲- ۰۱ | جاسازی کردن | پوشش گذاری ضعیف نیکل درخشنده | ۲)الف | خوردگی<br>رد شدگی در مرحله تکمیل | | | بازرسی دیداری در طرح نمونه‌برداری پذیرشی | ۵ | ۶ | ۱ | ۳۰ | گنجاندن دستورالعمل هایی در بازرسی نمونه برداری برای انجام وارسی دیداری برای پوشش گذاری صحیح | | | | | |
| ۱- ۳- ۰۱<br>۰۲<br>۰۳ | جاسازی کردن | نمره گذاری ناکافی ظاهر | ۱)الف<br>۲)الف<br>۴)الف | جریان ضعیف فلزی<br>ضخامت نادرست دیواره<br>دور انداختن<br>دیوارهای نازکی در حین ماشین کاری یافت می‌شود.<br>دور انداختن<br>عمر کاهش یافته | | کنترل کیفیت یا ساخت ضعیف | بازرسی چشمی در طرح نمونه‌برداری پذیرشی | ۲ | ۸ | ۶ | ۹۶ | گنجاندن دستورالعمل هایی در بازرسی نمونه برداری برای انجام وارسی دیداری برای پوشش‌گذاری صحیح | | | | | |

کد اثر:
اثر بر فرآیند قالب‌بندی
اثر بر فرآیند تکمیل
اثر بر مونتاژ کننده
اثر بر کاربر نهایی

کد خطیر بودن:
Occ = ۱۰×احتمال رخداد
Sev = شدت اثر بر مقیاس ۱۰-۱
Det = ۱۰×احتمال این که قبل از رسیدن به مشتری آشکار نشود
APN = عدد اولویت اقدام=Occ×Sev×Det

**شکل ب- ۵ قسمتی از یک FMECA فرآیندی برای ریخته‌گری آلومینومی ماشین کاری شده**

# کتاب‌نامه

[1] BS 5760-5:1991, *Reliability of systems, equipment and components – Part 5: Guide to failure modes, effects and criticality analysis (FMEA and FMECA)*

[2] SAE J1739:2000, *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery*

[3] SAE ARP5580:2001, *Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis Procedures*

[4] AIAG, *Potential Failure Mode and Effects Analysis*, Third Edition, 2001

[5] M. Krasich, *Fault Tree Analysis for Failure Modes Identification and Product Reliability Improvement*, tutorial presented at the Reliability and Maintainability Symposium; Tutorial Proceedings of 2002, 2003, and 2005.

[6] J. Bowles, *An Assessment of RPN Prioritization in a Failure Modes Effects and Criticality Analysis*, technical paper presented at the Reliability and Maintainability Symposium, 2003.

[7] IEC 60050(191):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

[8] IEC 60300-1, *Dependability management – Part 1: Dependability management systems*

[9] IEC 60300-2, *Dependability management – Part 2: Guidelines for dependability management*

[10] IEC 60300-3-9, *Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems*

[11] IEC 61160, *Formal design review*

[12] IEC 61165, *Application of Markov techniques*

[13] IEC 60300-3-11, *Dependability management – Part 3-11: Application guide – Reliability centred maintenance*

[14] ISO 9000:2000, *Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*