



راهنمای " تحلیل حالت‌ها و آثار شکست ((FMEA)"

کد: (۹۸) - S-۱۱۳(۰) - HSE-GU

بهداشت، ایمنی و محیط زیست

فهرست

عنوان	صفحه
۱- هدف	۳
۲- دامنه کاربرد	۳
۳- مراجع و استانداردهای مرتبط	۳
۴- واژگان و تعاریف	۴
۵- فهرست اختصارات	۵
۶- معرفی مطالعه FMEA	۵
۷- روش اجرای مطالعه FMEA	۶
۷-۱- مراحل اجرا	۶
۷-۲- محاسبات	۸
۷-۳- اولویت‌بندی	۹
۷-۴- ثبت نتایج و گزارش‌دهی	۱۰
۸- پیوست‌ها	۱۱

۱- هدف:

از تدوین این راهنما، آشنایی با حداقل الزامات و پیشن هدف هادقالبی یکپارچه برای اجرای روش تحلیل حالت‌ها و آثار شکست (FMEA)^۱ در شرکت‌های زیرمجموعه شرکت ملی گاز ایران است.

۲- دامنه کاربرد:

دامنه کاربرد این راهنما شامل تجهیزات کلیدی و ماشین آلات حساس در کلیه تاسیسات شرکت‌های زیرمجموعه شرکت ملی گاز ایران در فازهای مختلف چرخه عمر (ساخت و بهره‌برداری) می‌شود. این راهنما توسط شرکت‌های زیرمجموعه، پیمانکاران و مشاوران مدنظر قرار گرفته و از تاریخ ابلاغ به عنوان یکی از مراجع مطالعه FMEA برای اجرا، گزارش‌دهی، نظارت و تطبیق مدارک شناخته می‌شود.

۳- مراجع و استانداردهای مرتبط:

- (۱) ISO ۳۱۰۱۰, "Risk Management – Risk Management Techniques", ۲۰۰۹.
- (۲) SAE Standard: ARP۵۵۸۰ – Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Practices for Non-Automobile Applications, ۲۰۰۱.
- (۳) ECSS-Q-ST-۳۰-۰۲C Failure Modes, Effects (and Critically) Analysis (FMEA/FMECA), ۲۰۰۹.

^۱ Failure Modes and Effects Analysis

۴- واژگان و تعاریف:

- علت (Cause): در یکی از سه دسته خطاهای انسانی، عملکرد نادرست دستگاه‌ها و تجهیزات و یا وقایع بیرونی مانند مکانیسم‌های تخریبی چون خوردگی یا برخوردهای خارجی گنجانده می‌شود.
- علت بالقوه شکست (Potential Cause of Failure): علتی که منتج به شکست سیستم می‌شود. یافتن علت بالقوه شکست منجر به استفاده مطلوب و صحیح از اقدامات پیشگیرانه و جلوگیری از شکست سیستم می‌شود.
- حالت بالقوه شکست (Potential Failure Mode): حالتی که به شکست سیستم تعبیر می‌شود. با یافتن این حالت می‌توان اقدام پیشگیرانه دقیق‌تر و مناسب‌تری برای سیستم به کار گرفت.
- اثر بالقوه شکست (Potential Effect of Failure): اثر یا آثاری که ناشی از هر شکست به سیستم وارد می‌شود. با یافتن آثار بالقوه شکست می‌توان سریع‌تر و دقیق‌تر اقدامات اصلاحی را در سیستم پیاده نمود.
- نرخ شدت (Severity Rate): شدت یا وخامت هر یک از آثار شناسایی شده که بر حسب مقیاس بین ۱ تا ۳ بیان می‌گردد. کاهش در شدت آثار نیز تنها از طریق اعمال تغییرات در فرآیند و نحوه انجام فعالیت‌ها امکان‌پذیر است.
- نرخ احتمال رخداد (Occurrence Probability Rate): احتمال رخداد، تعداد وقوع پی در پی خطر بالقوه را تعیین می‌کند. احتمال رخداد در طیف ۱ تا ۳ سنجیده می‌شود.
- نرخ احتمال کشف (Detection Rate): احتمال کشف خطر نوعی ارزیابی از میزان توانایی شناسایی علت و یا مکانیسم وقوع خطر است. احتمال کشف در واقع توانایی پی بردن به خطر قبل از به وقوع پیوستن آن است. احتمال کشف خطر در طیف ۵ تا ۱ سنجیده می‌شود.
- نمره اولویت خطرپذیری (Risk Priority Number): این عدد یا همان RPN از حاصلضرب سه نرخ تشریح شده در بالا بدست می‌آید، عدد بدست آمده از این رابطه بین ۱ تا ۴۵ است.
- کنترل‌های پیشگیرانه (Preventive Controls): میزان توانایی رویه‌ها و کنترل‌های پیشگیرانه فعلی در سیستم است. شناسایی و ذکر آن‌ها در فرم کاربرگ (پیوست ۱) میزان تاثیر این رویه‌ها را در شکست سیستم نشان می‌دهد.

- کنترل‌های کشف‌کننده (Detective Controls): میزان توانایی رویه‌های کشف موجود در سیستم فعلی است. شناسایی و ذکر آن‌ها در فرم کاربرگ (پیوست ۱) میزان تاثیر آن را در شکست سیستم نشان می‌دهد.
- باید (Shall): در این راهنما کلمه "باید" به معنای الزام‌آور بودن آن عبارت است.
- توصیه می‌شود (Should): در این راهنما عبارت "توصیه می‌شود" بدین معناست که انجام ندادن آن امر تنها در صورت داشتن دلیلی موجه مجاز بوده و در غیر اینصورت انجام آن ضروری است.

۵- فهرست اختصارات

معادل فارسی	معادل لاتین	اختصار
تحلیل حالت‌ها و آثار شکست	Failure Modes and Effects Analysis	FMEA
نمره اولویت خطرپذیری	Risk Priority Number	RPN

۶- معرفی مطالعه FMEA

روش FMEA تکنیکی است برای شناسایی حالت‌های بالقوه شکست یا خرابی در بهره‌برداری از یک دستگاه که به روش ساختارمند آثار آنها را کمی کرده و با هدف پیشگیری از آنها به دنبال راهکارهای بهبود است. به عبارت دیگر، در تکنیک FMEA با در نظر گرفتن قاعده "پیشگیری قبل از وقوع"، عواملی که ممکن است اشتباه انجام شوند و یا در عملکردشان دچار خطا شوند شناسایی شده و اقداماتی پیش‌بینی می‌شود که احتمال وقوع خرابی را کاهش داده و از آثار آن بکاهد.

روش FMEA انواع مختلفی دارد که پرکاربردترین آنها عبارتند از:

- ۱- Process FMEA: با تمرکز بر فرآیند ساخت و اجرا
- ۲- Design FMEA: با تمرکز بر طراحی قطعات
- ۳- System FMEA: با تمرکز بر عملکرد عناصر سیستم
- ۴- Machine FMEA: با تمرکز بر عملکرد ماشین‌آلات و تجهیزات

برای کسب بهترین نتیجه از FMEA، باید این مطالعه قبل از اینکه حالت شکست در تجهیز رخ بدهد انجام شود، تا رفع عیوب یا اقدامات اصلاحی به طور پیشگیرانه در کاهش هزینه‌ها و آثار نامطلوب موثر واقع شود.

در این راهنما بر کاربرد روش FMEA در بندهای ۳ و ۴ بالا تکیه شده است.

از جمله مزایای روش FMEA جهت ارزیابی ریسک تجهیزات حساس می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- ساختار ساده، انعطاف‌پذیر و جزءنگر؛
- ۲- توانایی اولویت‌بندی خطرات بر اساس پارامترهای نیمه کمی؛
- ۳- رواج فرهنگ کار گروهی و بالا بردن مشارکت گروه‌های مختلف؛
- ۴- ثبت نتایج به نحوی که قابل ردیابی بوده و تأثیر اقدامات اصلاحی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

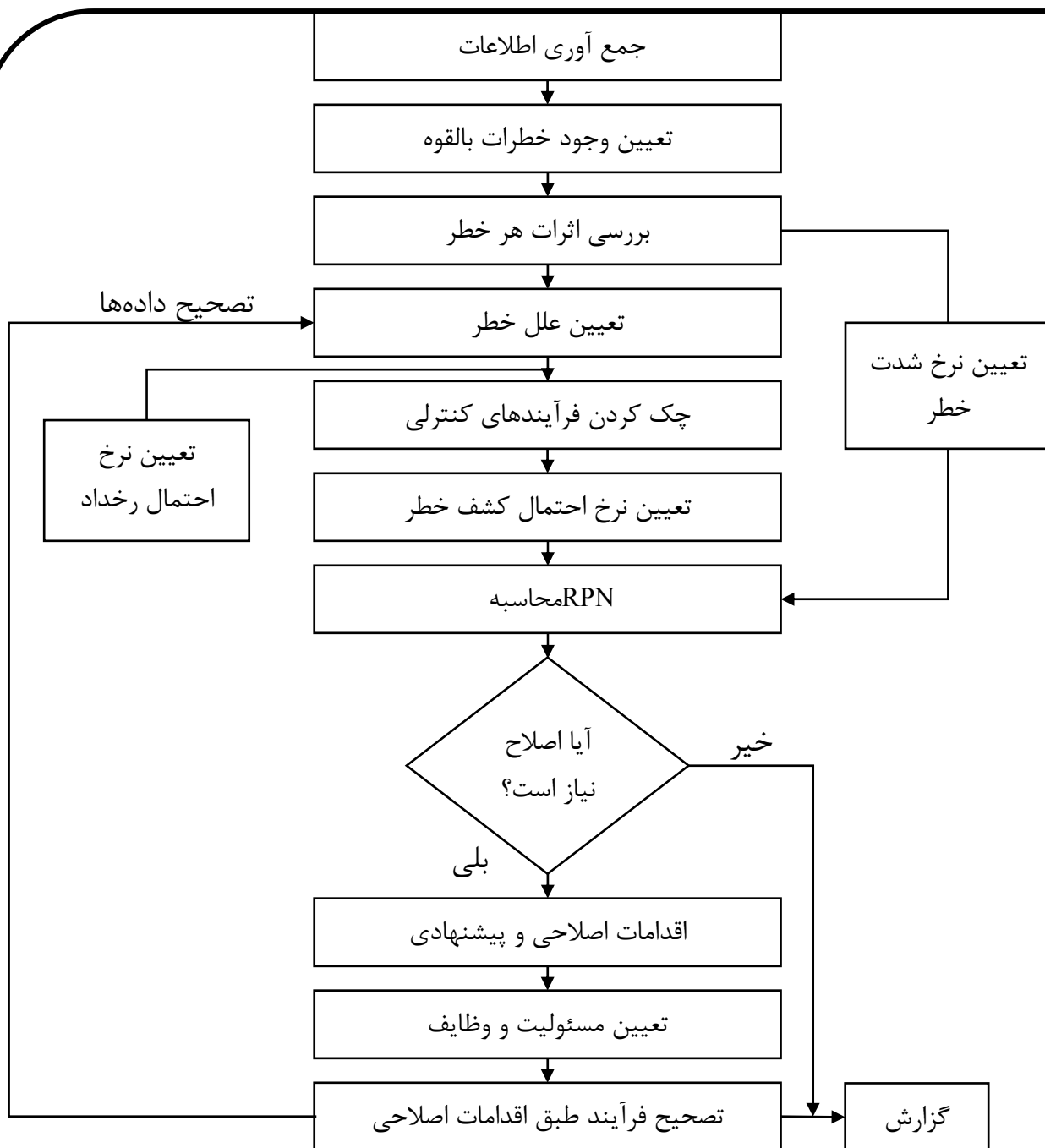
۷- روش اجرای مطالعه FMEA

۷-۱- مراحل اجرا

روش FMEA باید به ترتیب مراحل زیر انجام شود:

۱. تشکیل تیم ارزیابی
۲. جمع‌آوری اطلاعات اولیه
۳. مشخص نمودن سیستم (تجهیز) مورد مطالعه
۴. مشخص کردن عوامل تشکیل‌دهنده سیستم
۵. فهرست کردن حالات بالقوه شکست برای هر یک از آنها (با استفاده از سوابق، تجربیات و منابع علمی)
۶. مشخص کردن آثار بالقوه برای هر یک از این حالات شکست
۷. تعیین سطح شدت هر یک از آثار (مطابق جدول ۱)
۸. مشخص کردن علت‌های بروز هر یک از این شکست‌ها
۹. تعیین سطح احتمال بروز هر یک از علت‌ها (مطابق جدول ۲)
۱۰. مشخص کردن کنترل‌های جاری پیشگیرانه و اعلام‌کننده
۱۱. تعیین سطح احتمال کشف (مطابق جدول ۳)
۱۲. محاسبه عدد اولویت ریسک (Risk Priority Number - RPN) (مطابق رابطه ۱)
۱۳. اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس عدد RPN
۱۴. ارائه اقدامات پیشنهادی برای ریسک‌های با اولویت بالا و تعیین مسئول و زمان اجرای آنها
۱۵. محاسبه مجدد عدد RPN پس از اجرای پیشنهادها

گردش کار در مراحل مختلف اجرای FMEA در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مراحل انجام شناسایی و ارزیابی ریسک به روش FMEA

۲-۲- محاسبات

تعیین نرخ شدت:

برای تعیین نرخ شدت شاخص‌های کمی بر حسب مقیاس ۱ تا ۳ وجود دارند؛ بنابراین باید با استفاده از جدول ۱ نرخ شدت تعیین شود.

جدول ۱- شاخص‌های کمی تعیین نرخ شدت

رتبه	شدت اثر	معیار نرخ شدت
۳	آسیب شدید	خطر باعث آسیب‌های جدی و تهدیدکننده برای تجهیز، فرآیند یا پرسنل می‌شود.
۲	آسیب قابل توجه	خطر باعث آسیب جدی به تجهیز یا توقف عملکرد به طور موقت می‌شود.
۱	آسیب جزئی	خطر می‌تواند باعث خرابی تجهیزات شود اما نتایج جدی از آن انتظار نمی‌رود.

تعیین نرخ احتمال:

با بررسی فرآیندهای کنترلی، استانداردها، الزامات، قوانین کار، نحوه اعمال آنها و با به کارگیری جدول زیر می‌توان نرخ وقوع را تعیین نمود. برای یافتن عدد دقیق‌تر نرخ احتمال رخداد توصیه می‌شود از سوابق و مدارک گذشته استفاده شود.

جدول ۲- شاخص‌های کمی تعیین نرخ احتمال رخداد

رتبه	نرخ احتمالی	معیار نرخ احتمال
۳	بسیار محتمل	احتمال رخداد خطر بسیار بالاست. قبلاً در شرکت اتفاق افتاده است.
۲	محتمل	ممکن است گاهی خطر رخ دهد. در شرکت‌های مشابه اتفاق افتاده است.
۱	غیر محتمل	رخداد خطر بسیار نادر است. در شرکت ملی گاز ایران اتفاق نیافتاده است.

تعیین نرخ احتمال کشف:

احتمال کشف نوعی ارزیابی از میزان توانایی است که به منظور شناسایی یک علت / مکانیزم وقوع خطر وجود دارد. احتمال کشف توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد آن است. بررسی فرآیندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آنها برای دست یافتن به این عدد بسیار مفید است.

جدول ۳- شاخص‌های کمی تعیین نرخ احتمال کشف

رتبه	قابلیت کشف	معیار نرخ احتمال کشف
۵	خیلی کم	هیچ سیستم کنترلی برای تشخیص حالت شکست وجود ندارد یا در صورت وجود قادر به تشخیص حالت شکست نیست.
۴	کم	احتمال خیلی ناچیزی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۳	متوسط	کنترل موجود ممکن است وجود یک حالت شکست را تشخیص دهد.
۲	بالا	سیستم کنترل شانس خوبی برای تشخیص حالت شکست دارد و فرآیند به صورت خودکار حالت شکست را تشخیص می‌دهد.
۱	بسیار بالا	سیستم کنترل فعلی اطمینان بالایی بوجود آورده است که حالت شکست را تشخیص می‌دهد. سیستم کنترل قابل اعتماد است و با فرایندهای مشابه آشنا است. فرآیند به صورت خودکار مانع سایر فرایندها (فرآیندهای مختل کننده) می‌شود.

محاسبه RPN:

عدد اولویت ریسک از حاصلضرب سه عدد شدت، رخداد و احتمال کشف بدست می‌آید.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$$

رابطه (۱)

مقدار عدد اولویت ریسک از ۱ تا ۴۵ است. برای اعداد اولویت ریسک بالا لازم است کارگروهی برای کاهش دادن این عدد از طریق اقدام اصلاحی تشکیل شود. تصمیم‌گیری در خصوص تعیین حد قابل قبول عدد ریسک و اجرای اقدام اصلاحی بر عهده کارگروه ارزیابی ریسک است.

۷-۳- اولویت‌بندی

بررسی نیاز به اصلاح:

در این مرحله خطرات، براساس عدد اولویت ریسک رتبه‌بندی می‌شوند و براساس سیستم FMEA یک حد RPN قابل قبول در نظر گرفته می‌شود. سپس خطراتی که دارای RPN بالای حد قابل قبول هستند و نیاز به اصلاح دارند مشخص می‌شوند.

نکته: برای خطراتی که حداقل یکی از پارامترهای آن دارای یک عدد ماکزیمم باشد باید اقدام اصلاحی در نظر گرفته شود.

اقدامات اصلاحی و پیشنهادی:

این اقدامات باید در جهت اهداف زیر وضع و انجام گردند:

الف - حذف علل خطر

ب - کاهش شدت اثر خطا

ج - افزایش احتمال کشف خطر در فرآیند

د - افزایش رضایت کاری کارکنان از وضعیت ایمنی

تعیین مسئولیت و وظایف:

در صورت مشاهده خطا و اختلال در سیستم اقدامات اصلاحی متناسب با آن خطا صورت می‌گیرد. سازمان باید برای هر اقدام اصلاحی یک مسئول تعیین کند. تمام فرآیندهای کنترلی و دستورالعمل‌ها با ایشان مرور می‌شود به نحوی که شرح وظیفه افراد به روشنی مشخص گردد. نتایج اقدامات انجام شده باید توسط شخص مسئول به گروه FMEA گزارش شده و صحت‌گذاری شوند.

تصحیح فرآیند طبق اقدامات اصلاحی:

اقدامات باید بطور موثر پیاده شده و پس از اجرا ارزیابی شوند. به عنوان مثال حذف یک ماده آتش‌زا از حلال‌ها و جایگزینی یک ماده سمی مخاطرات جدیدی را به دنبال دارد که باید آنها نیز به همین ترتیب ذکر شده تجزیه و تحلیل شوند.

محاسبه مجدد عدد RPN بعد از اقدامات اصلاحی

در محاسبه عدد PRN باید توجه داشت که تعیین اعداد نرخ رخداد، شدت و کشف می‌بایست براساس نوع فعالیت سازمان تعیین و تثبیت شود. عمده‌تاً برای خطراتی که نرخ شدت و رخداد بالایی دارند می‌بایست اقدام اصلاحی در نظر گرفته شود.

۷-۴- ثبت نتایج و گزارش‌دهی

مطالعه FMEA باید توسط تیمی متشکل از کارشناسانی که به تجهیز (یا فرآیند) مورد نظر اشراف دارند و تحت نظر مشاور خبره در اجرای FMEA (به عنوان رهبر جلسات) انجام شود. از جمله وظایف رهبر جلسات می‌توان به مواردی همچون هماهنگی جلسات گروهی، نظارت بر تهیه منابع مورد نیاز گروه و حصول اطمینان از پیشروی درست و کامل FMEA اشاره کرد.

گزارش FMEA باید توسط اعضای تیم تهیه و توسط مدیر تیم بررسی، نهایی و ارائه شود. نرم‌افزارهایی همچون FMEA Software و PHA-Pro از ابزارهایی هستند که از آنها برای تسهیل گزارش‌دهی روش FMEA استفاده می‌شود. نمونه‌ای از کاربرگ FMEA در پیوست ۱ ارائه شده است.

گزارش نهایی FMEA می‌بایست شامل موارد زیر باشد:

- اسامی تیم انجام‌دهنده FMEA
- لیست موارد بررسی شده
- کاربرگ‌های تکمیل شده FMEA
- نتیجه محاسبه عدد اولویت ریسک RPN
- اقدامات اصلاحی پیشنهادی
- نتایج اقدامات اصلاحی
- نتیجه محاسبه مجدد عدد اولویت ریسک RPN



۸- پیوست

پیوست ۱- نمونه خام کاربرگ FMEA

سیستم مورد بررسی:										تاریخ:			
زیر سیستم:										شماره:			
اجزاء:										تکمیل کننده:			
اعضای تیم/مدعوین:										صفحه از:			
جزء مورد بررسی	حالت شکست	اثرات شکست	علت شکست	شرایط کنونی				مسئول انجام مهلت انجام اقدام اصلاحی	نتایج اقدامات				
				شدت	کنترل‌های پیشگیرانه	احتمال رخداد	کنترل‌های اعلام کننده		RPN	کشف	شدت		
شرح اقدام اصلاحی مورد نیاز:													
شرح اقدام انجام شده/ مشکلات و موانع اجرا :													