



بررسی، شناسایی و تحلیل خرابی بالقوه با روش تلفیقی FMEA-FTA (پمپ‌های آب سانتریفیوژ مسکونی)

محسن فرامرزی

کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال تهران، ایران

سعید رضائی

عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

حمزه سلطانعلی

عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

چکیده

ریسک و احتمال خرابی به جزئی جدایی‌ناپذیر هر تجهیز و مخصوصاً پمپ‌ها تبدیل شده است. باتوجه‌به افزایش استفاده از تکنیک‌های تحلیل خرابی در صنایع و نیاز روزافزون به نگهداری و تعمیرات در جهت افزایش عمر ماشین‌آلات، شناسایی عوامل خرابی مهم و اساسی در این راستا می‌تواند نقش تأثیرگذاری در بهبود عملکرد نگهداری و تعمیرات در هر سازمانی را ایفا کند. به همین منظور در مقاله حاضر از دو روش پایه و قبل دسترس تحت عنوان آنالیز درخت خطا (FTA) و تکنیک تحلیل حالات و اثرات خرابی (FMEA) استفاده شده است تا بتوان عوامل مؤثر در ایجاد خرابی در پمپ را شناسایی و در جهت رفع آن‌ها اقدام نمود. باتوجه‌به گستردگی انواع پمپ‌های مورد استفاده تحلیل و بررسی همراه با نتایج به‌دست‌آمده بر روی پمپ سانتریفیوژ ارائه شده است که این روش قابل استفاده برای تمامی ماشین‌آلات می‌باشد.

واژگان کلیدی: نمره اولویت‌بندی ریسک (RPN)، درخت تحلیل خطا (FTA)، تحلیل حالات و اثرات خرابی (FMEA)، ترکیب FTA و FMEA



مقدمه

افزایش روزافزون استفاده از پمپ‌ها در بالابردن بردن سرعت انجام و سهولت کارها امری مهم در صنایع گوناگون، مخصوصاً صنایع آب و فاضلاب، پالایشگاه، فولاد و غیره می‌باشد؛ بنابراین لازم است تا حد ممکن قابلیت اطمینان ماشین‌آلات را افزایش داد. اولین هدف در ارزیابی ریسک کاهش احتمال وقوع یک حادثه، حفظ جان نیروی انسانی و کاهش خسارات اقتصادی و ضایعات محیطی است.

خسارات جانی عموماً شامل مرگ، جراحات، بیماری و نقص عضو و خسارات اقتصادی شامل توقف در ارائه خدمات یا تولید، کاهش کیفیت محصولات، از بین رفتن تجهیزات تولید و صدمات زیست‌محیطی شامل انواع آلودگی در محیط زیست است. در نتیجه در کنار استفاده از ابزارآلات و تکنولوژی باید به خسارات جانی و مالی که در پی دارد توجه نموده و آن‌ها را بررسی و پایش کرد.

روش ارزیابی درخت خطا (Fault Tree Analysis) ابزاری قدرتمند برای تحلیل و بررسی قابلیت اطمینان سامانه‌های پیچیده می‌باشد. در این روش فرض بر این است که یک سامانه و اجزای آن به‌خوبی عمل می‌کنند یا دچار خرابی می‌شوند. در روش ارزیابی درخت خطا، حالات خرابی یک سامانه و اجزای آن به‌خوبی عمل می‌کنند یا دچار خرابی می‌شوند. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

در روش ارزیابی درخت خطا، حالات خرابی یک سامانه مورد بررسی قرار گرفته و ساختار شکست خرابی آن از کل به جزء ترسیم می‌گردد. به عبارت دیگر، تکنیک FTA را می‌توان به‌عنوان یک روش تحلیلی در نظر گرفت که در آن وضعیت نامطلوبی از سیستم مشخص شده و سیستم در زمینه محیطی و عملیاتی خود تحلیل می‌شود تا تمامی راه‌های واقعی که منجر به بروز این رویداد نامطلوب می‌شود، کشف گردد. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

یکی دیگر از ابزارهایی که در بهبود عملکرد پمپ‌ها در صنایع گوناگون، مخصوصاً صنایع آب و فاضلاب، پالایشگاه، فولاد و غیره می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، روش تحلیل و بررسی بالقوه خرابی و اثرات (Failure Modes and Effects Analysis) است. این رویکرد یکی از روش‌های معرفی شده در بسیاری از استانداردهای مدیریت کیفیت بوده که پیاده‌سازی و اجرای مؤثر این ابزار مناسب‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راه به سمت هدف نهایی تمامی استانداردهای مدیریت کیفیت است و این مهم با درک ارتباط FMEA با سایر ابزارهای پشتیبانی میسر می‌گردد. (طیسی، عظیمی و عربی ۱۳۹۸)

این رویکرد ارزشمند به مطالعه خرابی‌ها و پیامدهای آن‌ها اشاره دارد. خرابی‌ها با توجه به عواقب جدی آن‌ها، چگونگی وقوع آن‌ها و نحوه شناسایی آنان از اهمیت و اولویت متفاوتی برخوردار هستند. هدف FMEA این است که اقدامات لازم برای از بین بردن یا کاهش خرابی‌ها با شروع از اولویت‌های بالاتر مبذول گردد. دستیابی به علل ریشه‌ای یک مشکل و جلوگیری از تکرار مجدد آن یا سایر مسائل مشابه، تنها در قالب یک فرآیند سیستماتیک میسر است که قابل آموزش و کنترل نیز باشد. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

روش تحقیق

شناسایی حالت‌های خرابی



روش‌های تشخیص و ریشه‌یابی عیب را می‌توان به دودسته کلی مبتنی بر مدل و مبتنی بر داده دسته‌بندی نمود که هرکدام به دو زیرشاخه روش‌های کمی و کیفی تقسیم می‌شوند. درخت خطا به‌عنوان یکی از مدل‌های علت و معلولی است چه جزئی از روش‌های مبتنی بر مدل کیفی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد علت کیفی بودن این روش آن است که می‌بایست توسط یک کارشناس و خبره برای هر سیستم مدل‌سازی انجام شود و می‌توان گفت این روش مبتنی بر ساختار یک سیستم می‌باشد.

درخت خطا

درخت خطا مدل نمایشی از ترکیبات سری و موازی از خطا یا خرابی است که باعث وقوع رویداد ناخواسته در یک سامانه می‌گردد. خطاها ممکن است رویدادهایی باشند که مرتبط با خرابی سخت‌افزاری قطعات، خطاهای انسانی، و یا هر رویداد دیگری باشند. بنابراین درخت ارتباط منطقی رویدادهای پایه که منجر به روی دادرسی می‌شوند را ترسیم می‌کند تکنیک FTA یا آنالیز درخت خطا را می‌توان خیلی ساده به‌عنوان یک روش تحلیلی در نظر گرفت که در آن وضعیت نامطلوبی از سیستم مشخص است شده و سیستم درزمینهٔ عملیاتی خود تحلیل می‌شود تا تمامی راه‌های واقعی که منجر به بروز این رویداد (رویداد رأس) نامطلوب می‌شود کشف گردد. به زبان ساده خرابی‌های یک سیستم به‌صورت کل به‌جز درخت خطا نمایش داده می‌شوند. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

مزایای استفاده از درخت خطا

خطای یک نمایش دیداری از منطق وقوع حوادث یا خرابی در یک سیستم ارائه می‌دهد. این اطلاعات می‌تواند به‌صورت مؤثرتری توسط تیم نگهداری و تعمیرات سازمان به‌عنوان یک راه برای مقابله با ریسک استفاده شود. این رویکرد را می‌توان به‌عنوان یک ابزار کار را برای کمک به استراتژی‌های پیشگیرانه مورد استفاده قرار داد. با درک منطقه پشت هر رویداد می‌توان استراتژی‌های پاسخ پیشگیرانه برای کنترل علل ریشه‌ای خرابی در یک سامانه یا تجهیز را طراحی کرد. علاوه بر این تجزیه و تحلیل درخت خطا می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای آنالیز ریسک و اولویت‌بندی آن‌ها در خرابی محصولات فراهم سازد. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

با استفاده از چنین رویکردی، تیم نگهداری و تعمیرات می‌تواند بر ایجاد استراتژی نت پیشگیرانه به‌منظور کاهش علل ریشه‌ای خرابی و حوادث تمرکز کند. همچنین درخت جهت مدل‌کردن هر سیستمی انعطاف‌پذیر است و به کمک آن تصمیم‌گیرندگان می‌توانند درک کنند که چرا یک واقعه است که رخ می‌دهد. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

جداول، شکل‌ها و نمودارها

پس از شناسایی علل ریشه‌ای خرابی در یک سامانه و به‌منظور ایجاد درختان نیاز است نمادهای پرکاربرد در ترسیم درخت معرفی گردد در جدول ذیل ارائه شدند.

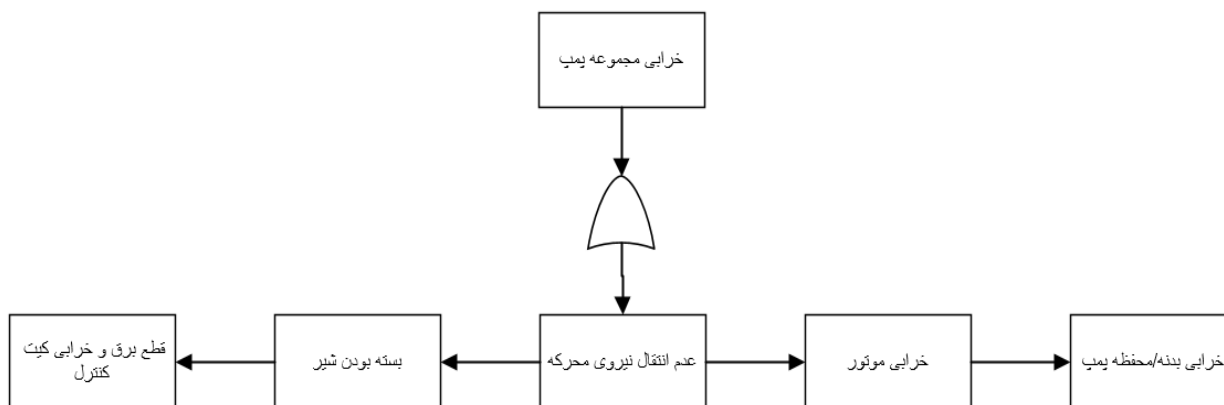
جدول ۱ نمادهای FTA

نماد	نام	کاربرد
------	-----	--------



رویدادی که برای نشان دادن خرابی در یک سامانه است.	رویداد اصلی	
رویدادی است که زیرمجموعه‌ای ندارد و پایین سطح شناسایی را نشان می‌دهد.	رویداد نهایی	
تمام رخدادها باعث ایجاد نتیجه خواهد شد.	دروازه "و"	
هرکدام از رخدادها می‌تواند نتیجه را ایجاد کند.	دروازه "یا"	

پس از بررسی‌های انجام‌شده، درخت و علل خرابی مربوط به پمپ در ذیل آورده شده است.



شکل ۱ پنج حالت اصلی خرابی

بررسی حالت‌های خرابی و تجزیه و تحلیل اثر (FMEA)

بررسی حالت‌های خرابی و تجزیه و تحلیل اثر برای اولین بار به منظور استفاده در صنعت هوا جهت الزامات ایمنی اجرا شد. این روش به این منظور انجام می‌شود که حالت‌هایی از محصول، خدمت یا فرآیند که نمی‌تواند انجام شود را شناسایی می‌کند و علل آن‌ها را بررسی می‌کند. این اقدامات باعث می‌شود که بتوان برای جلوگیری از خرابی سیستم آن‌ها را شناسایی کرده و برای آن‌ها برنامه‌ریزی کرد. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

مزایای FMEA عبارتند از:



بهبود کیفیت، قابلیت اطمینان و ایمنی محصول

افزایش رضایت مشتری

کاهش هزینه سیستم و هزینه‌های تعمیر و نگهداری

جمع‌آوری اطلاعات برای کاهش شکست‌های آینده

کاهش خرابی‌های احتمالی

روش FMEA روشی ارزشمند است که کمک می‌کند متغیرهای فرآیندی ورودی کلیدی را برای بهبود سیستم شناسایی کرده و آن‌ها را تجزیه و تحلیل کرد. با شناخت بیشتر سیستم و بهبود محصولات و فرآیندها در چرخه توسعه، هزینه‌ها به طور چشمگیری کاهش می‌یابند. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

به طور کلی می‌توان FMEA را در سه قدم شناسایی، بررسی و اقدام در جهت تجزیه و تحلیل انجام داد. قبل از برنامه‌ریزی، طراحی فرایند، محصول یا خدمت انجام می‌شود تا بتوان درک کرد که چگونه خرابی و شکستگی ایجاد می‌شود. برای بهبود فرایندهای عملیاتی باید فهمید که چگونه افراد، مواد، تجهیزات، روش‌ها و محیط باعث ایجاد مشکلات می‌شوند. سپس باید سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها را در مراحل اولیه مفاهیم و طراحی تجزیه و تحلیل کرد. هدف از فرآیند FMEA این است که فرایندهای فعلی را بهبود داده و تعیین کرد که چگونه بر محیط اطراف، سیستم و افراد تأثیرگذار است. (مقدادیان، اعتمادی خواه و مهدوی فر ۱۴۰۱)

ارزیابی ریسک و تحلیل حساسیت

ارزیابی هر یک از حالات شکست و اثرات آن از سه پارامتر احتمال وقوع خرابی (O) میزان احتمال وقوع هر یک از حالات خرابی را نشان می‌دهد، شدت اثر خرابی (S) که شدت پیامد خرابی را بیان می‌کند و احتمال شناسایی (D) که احتمال تشخیص هر یک از حالات خرابی قبل از شروع اقدامات اصلاحی و یا پیشگیرانه را نشان می‌دهد، امکان‌پذیر است که رتبه‌بندی هر یک از این فاکتورها بر اساس نوع خرابی‌ها و اثرات آن‌ها به ترتیب در جداول ذیل آورده شده است. مقیاس رتبه‌بندی هر یک از پارامترها، عددی بین ۱ تا ۱۰ می‌باشد.

همچنین به منظور تحلیل حساسیت و یا تعیین نمره اولویت‌بندی ریسک می‌توان از سه پارامتر شدت خرابی (S)، درجه تشخیص (D) و احتمال وقوع خرابی (O) استفاده کرد که نحوه محاسبه آن بر اساس رابطه ذیل است که اولویت هر حالت خرابی را مشخص می‌کند. (سلطانعلی، تساج مقدم 1395 et al.)

$$RPN = S * O * D \text{ (تساج مقدم, سلطانعلی, et al. 1395)}$$



جدول ۲- رتبه بندی پارامترهای احتمال وقوع و شدت خرابی در روش FMEA

درجه تشخیص خرابی (D)	رتبه بندی	شدت اثر شکست (S)
هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خرابی تجهیز بالقوه نیست	(۱۰)	تخریب تجهیز منجر به خرابی ماشین
احتمال خیلی ناچیزی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز ردیابی و آشکار شود	(۹)	تخریب تجهیز منجر به خرابی تجهیز
احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز ردیابی و آشکار شود	(۸)	تخریب تجهیز منجر به خرابی قطعه و تعویض فوری
احتمالی خیلی کمی دارد که با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز ردیابی و آشکار شود	(۷)	تخریب تجهیز منجر به توقف با تعویض یا تاخیر ایراد قطعه بر طرف می‌شود
احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز ردیابی و آشکار شود	(۶)	تخریب تجهیز به نحوی که الزاما در پایان شیفت رفع ایراد گردد.
در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خرابی تجهیز بالقوه ردیابی و آشکار شود	(۵)	تخریب تجهیز منجر به کاهش تولید تا انتهای هفته
احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خرابی تجهیز بالقوه ردیابی و آشکار شود	(۴)	خرابی تجهیز منجر به قابلیت تولید تا انتهای هفته بصورت دستی
احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خرابی تجهیز بالقوه ردیابی و آشکار شود	(۳)	خرابی تجهیز منجر به قابلیت تولید تا انتهای هفته بصورت خودکار
احتمال خیلی زیاد وجود دارد	(۲)	خرابی تجهیز منجر به قابلیت تولید تا تعطیلات دوره‌ای
تقریباً بطور حتم با کنترل‌های موجود خرابی تجهیز بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود.	(۱)	بدون اثر

جدول 2 رتبه بندی احتمال وقوع شکست در روش FMEA (O)

رتبه بندی	احتمال شکست	احتمال نرخ شکست
۱۰	بسیار بالا: شکست‌های	۱ در ۲ یا بیش از آن
۹	دائمی	۱ در ۳
۸		۱ در ۸
۷	بالا: شکست‌های متناوب	۱ در ۲۰
۶		۱ در ۸۰
۵	متوسط: شکست اتفاقی	۱ در ۴۰۰
۴		۱ در ۲۰۰۰
۳	پایین: شکست نسبتاً کم	۱ در ۱۵۰۰۰
۲		۱ در ۱۵۰۰۰۰
۱	کم: شکست غیرمحتمل	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰

تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA) و حالت‌های خرابی و تجزیه و تحلیل اثر (FMEA) دو روش تحلیلی هستند که به صورت گسترده برای شناسایی و کاهش ریسک خطا در سیستم‌های پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای تلفیق این دو تکنیک بر روی پمپ سانتریفیوژ، به شرح زیر عمل می‌کنیم:

مرحله اول تجزیه و تحلیل، شناسایی حالت‌های خرابی است. ما استدلال می‌کنیم که در روش پیشنهادی ما، FTA به دلیل (۱) ساختار، (۲) کاهش وابستگی به تجربه کاربر و (۳) سخت‌گیری، نسبت به FMEA در این مرحله ترجیح داده می‌شود.



گام ۱: انجام تجزیه و تحلیل خطا (FTA)

۱. تعریف خطاهای ممکن پمپ سانتریفیوژ: در این مرحله، خطاهای احتمالی که می‌تواند در پمپ سانتریفیوژ رخ دهد را شناسایی می‌کنیم.

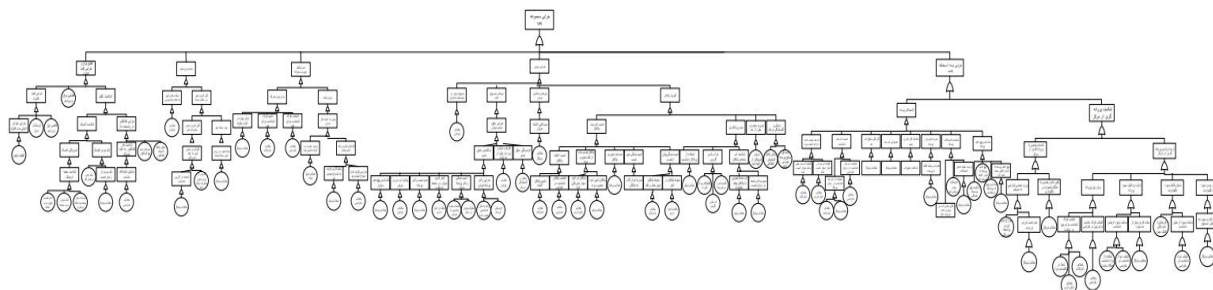
۲. ایجاد درخت تجزیه و تحلیل خطا (Fault Tree): با استفاده از خطاهای شناسایی شده، یک درخت خطا ایجاد می‌کنیم. در این درخت، خطاهای اصلی را به عنوان ریشه و خطاهای ثانویه را به عنوان برگ قرار می‌دهیم.

۳. تعیین رویدادهای پایه: رویدادهای پایه، عواملی هستند که باعث بروز خطا می‌شوند. این عوامل را برای هر خطا تعیین کنید.

گام ۲: انجام تجزیه و تحلیل اثر و نقص (FMEA)

۱. شناسایی عوامل خطر: با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل خطا (FTA)، عوامل خطر را شناسایی کنید.

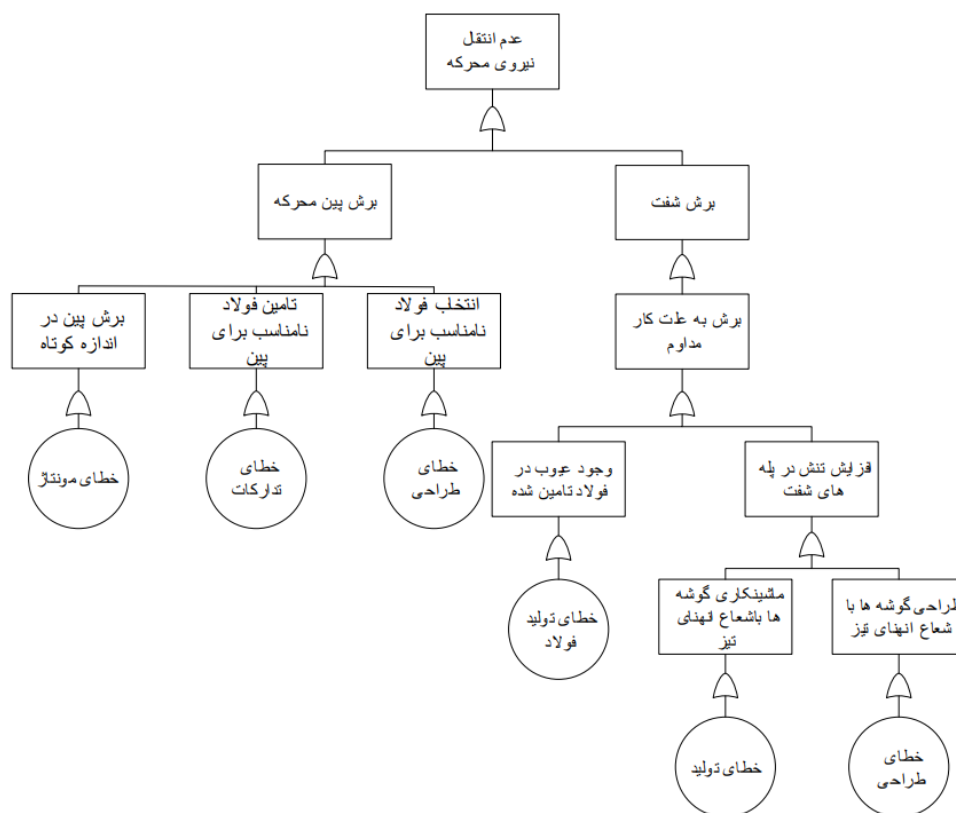
نمایه کلی FTA :



شکل ۲ - نمای کامل تمامی حالت‌های خرابی

در این نمایه FTA سعی شده تمامی حالت‌های خرابی آورده شود تا به مخاطب درک و دیدی کامل، متمایز بدهد که بدین صورت می‌توان تمام ۵ قسمت اصلی پمپ مشاهده کرد و در گام بعدی ۱۳ حالت اصلی خرابی را ارائه داد؛ در ادامه برای نمونه و درک بهتر قسمت انتقال نیروی محرکه آورده شده است.

عدم انتقال نیروی محرکه:



شکل 3-نمای خالت خرابی عدم انتقال نیروی محرکه

باتوجه به نمایه بالا که به صورت کامل تمام اقسام و حالت‌های خرابی را آورده بودیم در این قسمت برای نمونه یکی از قسمت‌ها که بخش انتقال نیروی محرکه است را به نمایش گذاشتیم تا درک بهتر و دقیق‌تری را از این قسمت پژوهش داشته باشیم.

۲. ارزیابی اهمیت خطر: برای هر عامل خطر، سه معیار زیر را ارزیابی می‌کنیم:

- احتمال وقوع (O): احتمالی که عامل خطر رخ دهد

- شدت (S): بر اساس اثرات ناشی از خطر

- قابلیت تشخیص (D): احتمال تشخیص خطر قبل از وقوع

۳. محاسبه (RPN (Risk Priority Number): برای هر عامل خطر، RPN را با ضرب کردن احتمال وقوع، شدت و قابلیت تشخیص به دست می‌آوریم:

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

۴. رتبه‌بندی خطر: خطر را بر اساس RPN به ترتیب اهمیت رتبه‌بندی می‌کنیم.

بخش ۱ RPN :



جدول ۴- اولویت‌بندی حالت‌های خرابی

خرابی مجموعه پمپ، خرابی موتور ناشی از "سوختن سیم‌پیچ ثابت"						
ردیف	حالت/ریشه خرابی	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ۴	کارشناس ۵
1	سوختن سیم‌پیچ ثابت "به علت خرابی عایق‌بندی موتور"	147	160	192	189	192
خرابی مجموعه پمپ ناشی از گسیختگی پوسته "به علت شکست اتصالات پوسته"						
1	شکست اتصالات پوسته "به علت درست چفت نشدن اتصالات"	72	32	84	64	96
2	شکست اتصالات پوسته "به علت فرسایش اتصالات"	64	56	30	63	105
3	شکست اتصالات پوسته "به علت باقی ماندن آب در موتور بابت ورود هوا"	128	140	160	245	162
خرابی مجموعه پمپ ناشی از "گریپاژ یا ناقان / سایش و گسیختگی"						
1	شکست اتصالات پوسته "به علت درست چفت نشدن اتصالات"	54	180	50	64	168
2	سایش و گسیختگی "به علت سایش کامل المان‌های غلطکی"	27	224	90	48	72
خرابی مجموعه پمپ ناشی از "عدم انتقال نیروی محرکه / برش شفت"						
1	برش شفت "به علت کار مداوم / بیش‌ازحد"	196	144	72	96	96
خرابی مجموعه پمپ ناشی از "عدم انتقال نیروی محرکه / برش پین محرکه"						
1	برش پین محرکه "به علت انتخاب آلیاژ نامناسب برای پین"	126	54	96	24	105
2	برش پین محرکه "به علت برش پین در اندازه کوتاه"	168	24	63	36	60

در این بخش از پژوهش برای نمونه یکی از پرسش‌نامه‌ها که با استفاده از FMEA (RPN) طراحی کرده‌ایم را به نمایش گذاشته‌ایم که با ارائه به خبرگان به دست آوردیم که RPN هر پرسشنامه را به دست آوردیم و تمامی پرسشنامه‌ها را جمع می‌کنیم و در ادامه میانگین می‌گیریم تا با این کار بتوانیم علل خرابی را رتبه‌بندی و اولویت‌ها را مشخص کنیم.



۵. نمایش خطرات در FTA: خطرها را بر اساس RPN که به دست آوردیم و به ترتیب اهمیت رتبه‌بندی کردیم را به صورت درخت خطا نمایش میدیم.

نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی و تحلیل حالات خرابی پمپ سانتریفیوژ مورد استفاده در امور مسکونی و ساختمان‌ها پرداخته شده است. هدف اصلی از بررسی این طیف از پمپ‌ها عدم وجود چارچوب یکپارچه برای انجام برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت راهبردی نگهداری و تعمیرات در تأسیسات ساختمان‌ها بوده است. بدین منظور از روش‌های شناخته‌شده‌ای شامل FMEA و FTA و نیز ترکیب این روش‌ها استفاده شد؛ ابتدا از روش FTA باهدف تمامی حالات و ریشه‌های خرابی و نیز ارتباط منطقی بین آن‌ها بکار گرفته شد. در ادامه از روش FMEA باهدف محاسبه نمره اولویت‌بندی ریسک (RPN) به کمک سه پارامتر S، O، و D و نیز بر اساس نظر کارشناسان خبره استفاده شد. به‌منظور استخراج حالات خرابی مرتبط با پمپ مورد مطالعه از روش کتابخانه‌ای شامل اسناد، مدارک، کتابچه‌های راهنما و همچنین نظرات خبرگان بهره گرفته شد. به‌منظور گردآوری نظر خبرگان در مورد حالات خرابی‌های پمپ از روش پرسشنامه‌ای در سه مرحله استفاده شد. همچنین روایی و پایایی هر یک از پرسشنامه‌ها باهدف اعتباربخشی به نتایج تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مرتبط با حالات خرابی پمپ در سه سطح ارائه شد. اساسی‌ترین حالات خرابی پمپ شامل پنج حالت اصلی خرابی مجموعه پمپ (خرابی بدنه/محفظه پمپ، خرابی موتور، عدم انتقال نیروی محرکه، بسته‌بودن شیر، قطع برق و خرابی کیت کنترل) می‌باشد.

همان‌طور که در فصل چهارم نشان داده شد در سطح نخست از مدل FTA و نیز بر اساس نتایج تکنیک FMEA، در مجموعه پمپ، حالت خرابی "گسیختگی پوسته به علت شکسته اتصالات پوسته" دارای بیشترین نمره ریسک (RPN) بوده و در بالاترین اولویت قرار دارد. پس از آن، حالات خرابی دیگر شامل "گیرپاژ یاتاقان به علت سایش و گسیختگی نرمال، عدم انتقال نیروی محرکه به علت برش شفت، عدم انتقال نیروی محرکه به علت برش پین محرکه، خرابی موتور به علت سوختن سیم‌پیچ ثابت" به ترتیب در اولویت‌های بعدی از نظر نمره ریسک قرار دارند. در ادامه نتایج، در سطح دوم از مدل FTA و نیز بر اساس یافته‌های تکنیک FMEA، حالت خرابی "سوختن سیم‌پیچ ثابت به علت خرابی عایق‌بندی موتور" بر اساس میانگین نظر خبرگان بالاترین RPN را به خود اختصاص داد که معیار محاسبات ریسک در سطح دوم از حالات خرابی مجموعه پمپ قرار گرفت. همچنین در این سطح، حالات خرابی شامل؛ "شکست اتصالات پوسته به علت باقی‌ماندن آب در موتور بابت برودت هوا"، "شکست اتصالات پوسته به علت درست چفت نشدن اتصالات" و "برش شفت به علت کار مداوم / بیش از حد" به ترتیب در اولویت بعدی از نظر درجه ریسک قرار گرفتند. نهایتاً در سطح سوم از مدل گرافیکی FTA، حالت خرابی با عنوان "خرابی عایق‌بندی موتور به علت کارکرد موتور زیر بار بیش از حد توان" بر اساس میانگین نظر خبرگان بالاترین را به خود اختصاص داد که معیار محاسبات ریسک در سطح سوم از حالات خرابی مجموعه پمپ قرار گرفته. مضافاً در این سطح، حالات خرابی دیگر شامل "خرابی عایق‌بندی موتور به علت نم‌کشیدن عایق‌بندی" در اولویت بعدی از نظر نمره ریسک قرار گرفتند.



منابع

- سلطانعلی، ح. (1395). et al. ,ارزیابی ریسک مبتنی بر تکنیک حالات و اثرات شکست در سیستم های تزریق سیال. سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.
- طیسی، م. (1398). et al. ,راهکارهای پیاده سازی آنالیز حالات بالقوه خرابی (FMEA) با هدف کاهش هزینه توسعه و افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات. دومین کنفرانس بین المللی مدیریت و مهندسی صنایع در عصر نوین.
- مقدادیان، م. (1401). et al. ,بررسی قابلیت اطمینان تجهیزات به منظور افزایش بهره وری سیستم نگهداری و تعمیرات به کمک روشهای FTA و FMEA. اولین کنفرانس بین المللی مدیریت و مهندسی کیفیت و قابلیت اتکا.



Investigating, identifying and analyzing potential failures with FMEA-FTA integrated method (residential centrifugal water pumps)

Mohsen Faramarzi

Saeed Ramezani

Hamzeh Soltanali

Abstract - ۱-۱

The risk and probability of failure has become an integral part of any equipment, especially pumps. Considering the increase in the use of failure analysis techniques in industries and the growing need for maintenance and repairs to increase the life of machinery, identifying important and essential failure factors in this regard can play an influential role in improving the performance of maintenance and repairs in any organization. For this purpose, in this article, two basic and previously available methods called fault tree analysis (FTA) and failure modes and effects analysis technique (FMEA) have been used in order to be able to identify the effective factors in causing pump failures and take action to solve them. According to the wide range of used pumps, an analysis and review along with the results obtained on the centrifugal pump are presented, and this method can be used for all machines.

1-2- Keywords: Risk Prioritization Score (RPN), Fault Analysis Tree (FTA), Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Combination of FTA and FMEA