CERTIFICATE

The 1st International and 4th National Conference on

Conservation of Natural Resources & Environment

Morteza Lashgari, Dr.Abbas Rohani, Dr. Mehdi Khojastehpour

This is to certify that paper entitled:

.Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) based Risk Assessment of Diesel engine fuel system

with code H-00076-AB **Presented** Published in the Proceedings **in the 1st International and 4th National Conference on Conservation of Natural Resources (27 & 28 August 2019) hold on University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.**

Dr. Abazar Esmaili Ouri
Scientific Secretary of the conference

Dr. Akbar Ghavidel
The Head of Conference

اولین کنفرانس بین‌المللی و چهارمین کنفرانس ملی
صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست

ارزیابی ریسک سیستم سوخت رسانی موتور دیزل با استفاده از رویکرد تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی

مرتضی لشگری
دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیتم دانشگاه فردوسی مشهد
mortezalashgari3@gmail.com
دکتر عباس روحانی
دانشیار گروه مهندسی بیوسیتم دانشگاه فردوسی مشهد
arohani@um.ac.ir
دکتر مهدی خجسته پور
دانشیار گروه مهندسی بیوسیتم دانشگاه فردوسی مشهد
mkhpour@um.ac.ir

چکیده

با توجه به اهمیت موتور های دیزل در صنایع، تاثیر بالای سیستم سوخت رسانی بر عملکرد موتور، ایجاد آلودگی محیط زیست و رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی در راستای بهبود قابلیت اطمینان در تجهیزات، تحلیل ریسک با هدف ارائه راهبردهای مناسب نگهداری و تعمیرات (نت) پیشگیرانه امری اجتناب‌ناپذیر است. از این رو هدف از این مطالعه، ارائه تکنیک حالات و اثرات شکست در سیستم سوخت رسانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تجهیزات با ساختار نسبتا پیچیده در موتور دیزل بود. نتایج نشان داد که از بین زیر سیستم‌های تشکیل دهنده، سوزن انژکتور و پلانجر و فنرهای رگلاتور به ترتیب با مقادیر ۴۱۸، ۳۲۶، ۳۲۳ دارای بالاترین نمره اولویت‌بندی ریسک بودند. در نتیجه، امکان تخصیص استراتژی‌های نت بهینه برای حالات شکست با ریسک بالا در سیستم سوخت رسانی وجود دارد.

کلمات کلیدی: اولویت‌بندی ریسک، حالات خرابی، آلودگی، سوخت رسانی

۱. مقدمه

موتورها به‌عنوان عامل اصلی تولید نیروی محرکه در تمامی سیستم‌های دینامیک، به دلیل طراحی مکانیکی متفاوت نسبت به سایر قسمت‌ها در یک سامانه و استفاده از تجهیزات الکترونیکی و الکتریکی و مکانیکی دارای سیستم‌ها و زیرسیستم‌های پیچیده‌تر و مشکل‌تری به لحاظ نگهداری و تعمیرات و ریسک‌پذیری هستند. از سوی دیگر این سیستم‌ها به یکدیگر وابستگی و ارتباط دارند، افت عملکرد و شکست در هر سیستم منجر به ایجاد شکست در سیستم‌های دیگر خواهد شد که درنهایت باعث افت توان مؤثر موتور، کاهش عمر مفید، ایجاد آلودگی زیست محیطی و گازهای سمی می شود. این عوامل ضررهای مالی و هزینه‌های پروژه را افزایش می‌دهد بنابراین کاهش ریسک قطعات و کاهش احتمال شکست و افزایش زمان بهره‌وری از موتور مطلوب مدیران و عوامل اجرایی می باشد[۱].

در کشورهای در حال توسعه آلودگی هوا از چالش‌ها و مشکلات جدی محسوب می شود. سطوح بالای آلاینده‌های هوا به ویژه آلاینده‌های معیار (شامل CO، PM، NOx، SO۲ و O۳) برخی از کلان شهرهای ایران را از نظر استانداردهای زیست محیطی و مسائل زیبایی شناختی با مشکلات جدی روبرو کرده است. مشکلات مربوط به کیفیت هوا در محیط شهری از دهه‌های میانی قرن ۱۹ آغاز شده است که از دلایل مهم و اصلی پیدایش این اتفاقات، افزایش وسایل نقلیه و افزایش تراکم روز افزون عنوان شده است. بنابراین بطور معمول گاز خروجی از اگزوز دارای مقادیر قابل توجهی هیدروکربن‌های نسوخته و CO و مقادیری با غلظت کمتر از ترکیبات آلدئیدها، کتون ها واسیدهای کربوکسیلیک می‌باشد. این گازها حاصل از احتراق ناقص سوخت و وجود خرابی در سیستم سوخت رسانی است. از نظر اهمیت گازهای خروجی از اگزوز در احتراق ناقص، هیدروکربن‌ها پس از مونوکسیدکربن در جایگاه دوم قرار دارند. خرابی در سیستم سوخت رسانی موتور های دیزل عامل اصلی احتراق ناقص و گاز هایی مانند CO، NOx، SO۲ می‌باشد[۲].

امروزه موتورهای دیزل در صنایع مختلفی مانند کشاورزی، راه سازی، حمل و نقل، ساخت و تولید و ژنراتورها به دلیل بازدهی و قدرت بالا کاربردی هستند، به‌کارگیری درست این سامانه در صنایع موجب کاهش الودگی هوا و محیط زیست احتمال ریسک، افزایش قابلیت اطمینان به‌طوری‌که هزینه‌های نگهداری و تعمیرات کاهش یافته و سود پروژه بیشتر می شود. استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل ریسک سامانه باعث افزایش دسترس‌پذیری و انجام به‌موقع پروژه می‌شود. تجزیه تحلیل ریسک یک سامانه نیازمند افزایش دانش سیستم اعم از نحوه عملکرد و شناخت نقاط ریسک‌پذیر و اتخاذ تصمیمات پیشگیرانه به‌جهت جلوگیری از وقوع شکست و افت عملکرد سامانه، می‌باشد. به عبارتی سیستم دارای قابلیت تصمیم‌گیری در هنگام وقوع تغییرات و بهبود شرایط عملیاتی خواهد بود.

مدیریت و تحلیل ریسک موتور دیزل به جهت مؤثر بودن قوای محرکه در کیفیت عملیات صنعتی و قابل دسترس بودن موتور بسیار حائز اهمیت است. به‌طورکلی عناصر مهندسی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان[1] برای تحلیل جریان استراتژی نگهداری و تعمیرات که در تجهیزات تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد، شامل تجزیه و تحلیل کمی و کیفی است که به افزایش استفاده از تجهیزات و کاهش پیچیدگی خرابی‌ها در بخش تولید کمک می‌کند[۳].

عملکرد مؤثر یک سیستم به برنامه‌ریزی قابل قبول فعالیت‌های سرویس و تعمیرات آن سیستم وابسته است. برنامه‌ریزی مدیریتی مؤثر به تخمین دقیق پارامترهای سیستم نگهداری مربوط می‌شود[۴]. به دلیل نیاز به افزایش بهره‌وری و تولید آسان‌تر غذا، ماشین‌آلات نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی ایفا می‌کنند قابلیت اطمینان و شاخص ریسک، از مهم‌ترین

[1] - Reliability-centered maintenance (RCM)

شاخص‌های عملکردی ماشین‌های کشاورزی به شمار می‌رود که بر کیفیت و کارایی تولید محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد [۵].

ارزیابی ریسک با رویکرد تحلیل شکست یک روش منطقی برای تعیین ارزش کمی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه حوادث احتمالی بر روی افراد، مواد، محصولات، تجهیزات پیچیده به جهت تولید باکیفیت و کارکرد بهتر و حفظ اکوسیستم است. همواره یک پروژه صنعتی و کشوررزی شامل ماشین‌آلات، مواد، انسان، و کامپیوتر و بر سلامت و ایمنی و زیست بوم موثر است. برای انجام درست و به‌موقع هر پروژه باید تمامی اجزای آن داری دسترس‌پذیری مناسبی باشند. دراین‌بین ریسک در ماشین‌آلات همواره به‌صورت عامل محدود کننده عمل خواهد نمود که خود بیان‌گر اهمیت ماشین‌آلات در انجام پروژه است. قابلیت اطمینان و میزان ریسک جز عوامل اصلی مؤثر در تولید بهینه و کاهش تلفات هستند [۶].

برای ارزیابی ریسک و مدیریت آن روش‌های زیادی وجود دارد. بهترین روش روشی است که از سیاست تعمیرات و نگه‌داری پیش اقدام تبعیت کند. در این چنین روش‌هایی شناخت درست تمامی حالات شکست از طریق استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن (FMEA)[1] صورت می‌پذیرد. از مزیت‌های روش FMEA می‌توان به مورد بررسی قرار گرفتن کلیه حالات بلقوه شکست اشاره کرد که و با اولویت‌بندی حالات خرابی و تعیین حالت‌های بحرانی، پیشگیری و اقدامات اصلاحی از به وقوع پیوستن شکست جلوگیری می‌کند. روش FMEA یکی از بهترین روش‌ها در تجزیه و تحلیل سیستماتیک سیستم‌های پیچیده و دارای بخش‌های مختلف، است. همچنین این فرآیند باعث بهبود فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و جلوگیری از شکست بحرانی در تمامی سیستم‌ها و فرایندهای تولید، طراحی و ماشین‌آلات می شود [۷]. این رویکرد باعث افزایش امنیت محصول، سلامت محیط زیست، عمر سیستم می شود که رضایت مصرف‌کننده را به دنبال خواهد داشت. پیش‌بینی مشکلات و نقص‌ها در مراحل طراحی و توسعه فرایندها و خدمات در سازمان به کار می‌رود[۸].

۱-۲-روش حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن FMEA[2]

پیاده سازی روش FMEA می‌تواند نقش مهمی در تعیین علت ریشه‌ای یا پیامدهای علل خرابی، و نیز فراهم آوردن فعالیت‌های نگهداری بهینه که در نهایت بر بهبود سیستم‌های نگهداری تجهیزات تأثیر می‌گذارد داشته باشد. برای انجام بهتر این روش می‌توان از استاندارد SAEJA1011 استفاده کرد. این استاندارد باهدف، ۱- تعیین وظایف دارایی در حوزه عملیاتی آن ۲- تعیین چگونگی از کارافتادگی دارایی یا تجهیز ۳- تعیین حالت‌های خرابی یا ازکارافتادگی ۴- اثرات خرابی یا ازکارافتادگی ۵- تعیین پیامدهای خرابی تجهیزات ۶- تعیین وظایف و اقدامات برای پیش‌بینی و پیش‌گیری از خرابی‌ها، به جهت مدیریت بهتر تجهیزات در یک مجموعه کاربرد دارد به طوری در حوزه قابلیت اطمینان سیستم ها الگوی اکثر سیاست‌های مدیریتی محسوب می‌شود. علاوه بر این (FMEA) یک ابزار نظام یافته بر پایه کار تیمی است که از نظرات کارشناسان خبره در زمینه نگهداری و تعمیر و عیب‌یابی سیستم بهرمند می‌شود. این نظرات به جهت شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، حذف یا کنترل حالات، علل و اثرات شکست های بالقوه در یک سیستم، فرآیند، طرح یا خدمت به کار گرفته می‌شود.[۹].

برای محاسبه FMEA در یک سیستم باید عدد اولویت‌بندی ریسک[3] (RPN) را به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای

---

[1] - Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)
[2] - Failure Mode & Effect Analysis
[3] - Risk priority number

شـدت وقوع[1] (S)، احتمال وقوع[2] (O) و تشـخیص[3] (D) را به‌عنوان متغیرهای مسـتقل تعیین کرد. که هر یک عبارت‌اند از: شاخص اولویت‌بندی ریسک: سطح مربوط به وقوع یک خرابی را که مناسب و سازگار نیست بیان می‌کند. این شاخص به دلیل پذیرش معیارهای احتمال وقوع، مشخصه شدت و توانایی کشف مشکلات در بسیاری از صنایع مختلف استفاده می‌شود [۱۰].

تعیین شدت وخامت (**S**): میزان اثر خطر بالقوه بر افراد و عملکرد سیستم است. کاهش در وخامت فقط از طریق اعمال تغییرات در فرآیند تولید و نحوه انجام فعالیت‌ها امکان‌پذیر است.

نرخ احتمال کشف خطر(D): احتمال کشف نوعی ارزیابی از میزان توانایی است که به منظور شناسایی یک علت/مکانیزم وقوع خطر وجود دارد. به عبارت دیگر احتمال کشف توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد آن است.

احتمال وقوع (**O**): احتمال وقوع آن مشخص می‌کند که یک علت یا مکانیزم بالقوه خطر با چه بسامدی رخ می دهد. RPN عددی است بین ۱ تا ۱۰۰۰ و شاخصی است که از ضرب پارامترهای شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف بدست می آید. در روش FMEA یک مقیاس عددی از ۱ تا ۱۰ برای نمره دهی به سه معیار یاد شده استفاده می شود. بر اساس مقادیر نسبت داده شده به این معیارها، عدد RPN محاسبه می شود[۱۱].

۲. مواد روش ها

۲-۱. موقعیت مکانی و روش تحقیق

تحقیق پیش رو در شرکت ساختمانی تیراژ زیر نظر سازمان فنی حرفه‌ایی خراسان رضوی و شرکت تیراژه ماشین انجام شـده اسـت. این مجموعه یکی از معتبر ترین مراکز آموزش و تحقیقاتی فنی در زمینه موتور های دیزل، دیزل ژنراتورها، و ماشین‌های راه سازی، گیربکس‌های اتوماتیک و مدار برق ماشین آلات، و فلزکاری در شرق کشور می‌باشد و از مهندسین و اسـاتید دانشـگاهی و کارشـناسـان فنی مجرب بهره‌مند بوده و از مدل‌های به روز برای آموزش در قالب دوره های بلند مدت استفاده می‌کند.

۲-۲- سیستم سوخت رسانی موتور های دیزل

در این مطالعه از روش تحلیل حالات بالقوه خرابی و آثار آن که روشی در حوزه برنامه‌های قابلیت اطمینان است به منظور مشخص کردن ریسک‌ها در سیستم سوخت رسانی موتور دیزل و تمامی حالت‌های خرابی بالقوه آن استفاده شد. ابتدا به شرح مختصری در خصوص سیستم سوخت رسانی موتور دیزل، سپس به تشریح روش پژوهش حاضر می‌پردازیم.

سیستم سوخت رسانی در موتور دیزل به دو بخش فشار ضعیف و فشار قوی تقسیم بندی می‌شود. در قسمت فشار ضعیف فشار سوخت حداکثر ۵ اتمسفر بوده و شامل پمپ اولیه و فیلتر و منبع سوخت می‌باشد. پمپ سه گوش رایج دراکثر موتورها پمپ FP[4] لذا در این پژوهش نیز این پمپ به عنوان پمپ اولیه سیستم انتخاب شده است. در بخش فشار قوی سوخت وارد پمپ انژکتور شده و فشاری بالغ بر ۱۸۸ اتمسفر وابسته به نوع و مدل پمپ خواهد داشت. قسمت پرفشار سیستم سوخت رسانی دیزل شامل پمپ انژکتور، لوله‌های اتصال قوی و انژکتور است. پمپ انژکتور استفاده شده در این تحقیق پمپ انژکتور نوع ردیفی مدل PE[5] به عنوان رایج ترین نوع پمپ انژکتور مجهز به رگلاتور RQ[6] می‌باشد.

---

1 - Severity
2 - Occurrence
3 - Detection
4 - FP/KE 22 AD148
5 - PES 4 A 50 B 410 RS 144
6 - RQ 250/1525 A 146 D

۲-۳- ارزیابی ریسک و تحلیل حساسیت[1]

ارزیابی هر یک از حالات شکست و اثرات آن از سه پارامتر احتمال وقوع خرابی (O)[2] که میزان احتمال وقوع هر یک از حالات خرابی را نشان می‌دهد، شدت اثر خرابی (S)[3] که شدت پیامد خرابی را بیان می‌کند و احتمال شناسایی (D)[4] که احتمال تشخیص هر یک از حالات خرابی قبل از شروع اقدامات اصلاحی و یا پیشگیرانه را نشان می‌دهد، امکان‌پذیر است[۱۲]. مقیاس رتبه‌بندی هر یک از پارامترها، عددی بین ۱ تا ۱۰ می‌باشد[۱۳]همچنین به منظور تحلیل حساسیت و یا تعیین نمره اولویت‌بندی ریسک[5] می‌توان از سه پارامتر شدت خرابی (S)، درجه تشخیص (D) و احتمال وقوع خرابی (O) استفاده کرد که نحوه محاسبه آن براساس رابطه ۱ است که حد آستانه قابل قبول برای هر یک از حالات خرابی را فراهم می‌کند [۱۴].

$$RPN = S * O * D \quad (۱)$$

برای انجام تجزیه و تحلیل حالات شکست باید چندین اقدام صورت گیرد:

۱. شناسایی حالات شکست یا خرابی برای هر زیر سیستم.
۲. شناسایی اثرات بالقوه هر حالت خرابی.
۳. رتبه بندی شدت، احتمال وقوع و عدم تشخیص برای هر حالت خرابی سیستم.
۴. محاسبه عدد ریسک RPN .
۵. تعیین بحرانی‌ترین ریسک و ترتیب اولویت آن‌ها با استفاده از RPN.

رتبه بندی فاکتورهای خرابی و شاخص اولویت بندی ریسک به ترتیب در جداول ۲-۱ و ۲-۲ آورده شده است.

جدول۲-۱ رتبه‌بندی پارامترهای احتمال وقوع، کشف و شدت خرابی در روش FMEA

امتیاز	کشف خرابی(D)	شدت خرابی (S)	احتمال وقوع خرابی (O)
۱۰	قطعی	پرخطر	خرابی‌های مداوم
۹	خیلی زیاد	خطر جدی	خرابی‌های مداوم
۸	زیاد	خطر خیلی زیاد	خرابی‌های تکراری
۷	نسبتاً زیاد	خطر زیاد	خرابی‌های تکراری
۶	متوسط	خطر مهم	خرابی‌های گاه و بیگاه
۵	نسبتاً متوسط	متوسط	خرابی‌های گاه و بیگاه
۴	کم	کم	خرابی‌های گاه و بیگاه
۳	خیلی کم	نسبتاً کم	خرابی‌های نسبتاً کم
۲	به ندرت	خیلی کم	خرابی‌های نسبتاً کم
۱	تقریباً غیر ممکن	هیچ	خرابی بعید است

[1]-Critically analysis (CA)
[2]-Occurrence (O)
[3]-Severity (S)
[4]- Detection (D)
[5]- Risk priority number (RPN)

جدول ۲-۱.تحلیل حساسیت به منظور اولویت‌بندی ریسک

درجه بحرانی		محدوده ریسک	رتبه حساسیت
کم	۰ تا۳۰	قابل قبول	۶
متوسط	۳۱ تا۶۰	قابل قبول	۵
بالا	۶۱ تا ۱۸۰	قابل تحمل	۴
بسیار بالا	۱۸۱ تا ۲۵۲	غیرقابل قبول	۳
بحرانی	۲۵۳ تا ۳۵۰	غیرقابل قبول	۲
بسیار بحرانی	بیشتر از ۳۵۰	غیرقابل قبول	۱

۳-نتایج و بحث

به منظور ارزیابی حالات و اثرات شکست، تمامی شکست‌های بالقوه و بالفعل ممکن در سیستم سوخت رسانی و زیرسیستم‌هایی که بیشترین احتمال خرابی را داشتند، به طور مجزا با استفاده از تجربیات متخصصان و خبران در این زمینه و نقشه‌ها و مدل‌های سوخت رسانی استخراج شدند. در مرحله بعدی اقداماتی جهت جلوگیری و کنترل این خرابی‌ها ارائه شد. که نتایج آن‌ها در جدول۳-۱آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می شود، بیشترین حالات شکست مربوط تنظیم نبودن زاویه هلیس پلاجر و از بین رفتن آب بندی بین بارل و پلانچر و سوختگی در سوزن انژکتور، عامل اصلی وقوع این خرابی ها طبق نظر کارشناسان و خبرگان نت پایین بودن سطح کیفی سوخت، وجود گوگرد در ترکیبات سوختی و در بیشتر موارد عدم تعویض فیلتر سوخت باعث بوجود امدن این خراب می‌شود.

سفید شدن سوزن انژکتور خرابی سوپاپ یک طرفه و از بین رفتن آبندی بین بارل و پلانجر[1] باعث کاهش فشار و حجم سوخت ارسالی به موتور و چکه کردن انژکتور وایجاد مشکلاتی چون احتراق ناقص، ذوب شدن پیستون در موتور، سوختن روغن و در نهایت افزایش آلودگی و افت عمل کرد موتور خواهد شد. در سیستم سوخت رسانی موتور دیزل، اثرات بالقوه شکست در بعضی از حالات شکست بر روی تجهیز و در مواردی تاثیر آن بر روی از افتادگی کل سامانه است.

در جدول ۳-۲ پارامترهای شدت و احتمال کشف و وقوع به هر خرابی اختصاص داده شده است و اولویت بندی ریسک محاسبه انجام شده است. طبق نتایج مقادیر شدت اثرات خرابی به ترتیب در فنر وزنه‌های رگولاتور[2]، زاویه هلیس پلانجر و فنر پلانجر دارای بالاترین مقدار بودند. از طرفی بیشترین مقادیر پارامتر احتمال وقوع و تشخیص شکست مربوط به نشیمنگاه بارل و آب‌بند نبودن و شکسته شدن فنرهای پمپ بوده است.

هلیس موجود در پلانجر حجم سوخت ارسال شده به موتور را کنترل می‌کند. در صورت تغییر زاویه و چرخش این هلیس حجم سوخت ارسالی افزایش می‌یابد. تغییر در زاویه هلیس وابسته به گشتاور اعمال شده بر پیچ تنظیم کمربند دندانه‌دار

[1] - plunger & barrel
[2] - regulator

حلقوی شکل است. همین امر موجب ایجاد احتراق ناقص سوخت و نسبت بیشتر سوخت به هوا و ایجاد دوده و آلودگی هایی از این دست خواهد شد.

در صورت همچنین در جدول ۳-۲ و شکل ۳-۱ ارزیابی ریسک هر یک از حالات شکست براساس مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر آورده شده ا ست. نتایج ن شان داد که به طور متو سط تجهیزات شامل سوزن انژکتور و پلانجر و فنرهای رگلاتور به ترتیب با مقادیر ۴۱۸، ۳۲۶، ۳۲۳ دارای بالاترین نمره اولویت‌بندی ریسک بودند. همچنین خرابی در پمپ اولیه دارای کمترین شاخص اولویت بندی بودند که نشانگر فشار وتنش کمتر در این نقاط است.

استفاده از روش‌های نگه‌داری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان با هدف پیشگیری از وقوع خرابی‌ها و باعث با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی ریسک و تحلیل حساسیتِ حالات شکست در سیستم سوخت رسانی موتورهای دیزل، بکارگیری استراتژی‌های پیش اقدام نگهداری و تعمیرات می‌تواند از وقوع شکست در تجهیزات بحرانی جلوگیری کرده و منجر به بهبود قابلیت اطمینان تجهیزات با هدف افزایش قابلیت دسترس‌پذیری شود.

جدول ۳-۱. سیستم سوخت‌رسانی (شامل پمپ انژکتور ردیفی PE)

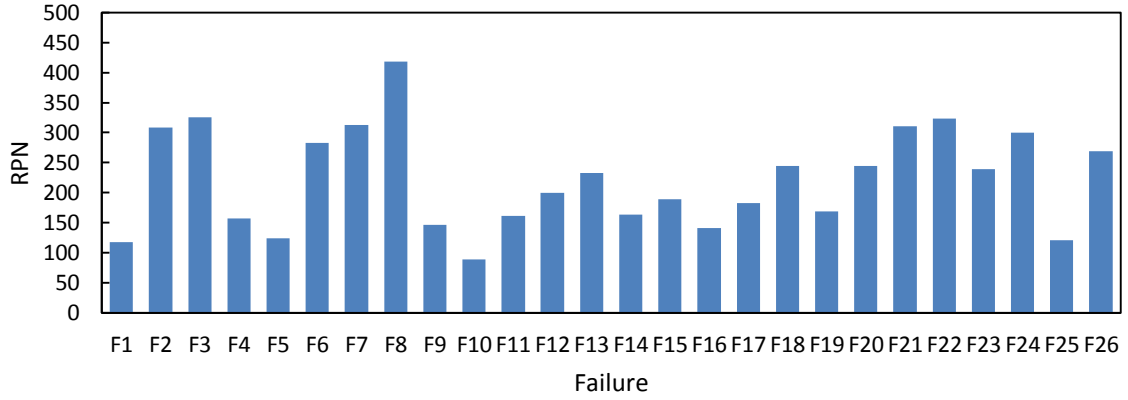
نام قطعه	عملکرد	حالات بالقوه خرابی	اثر بالقوه خرابی	علل بالقوه خرابی	اقدامات کنترلی
پمپ اولیه (پمپ سه‌گوش)	فراهم کردن سوخت موردنیاز برای پمپ انژکتور	۱-خردگی دایره بادامک	کم شدن فشار سوخت پشت پمپ	روغن‌کاری ضعیف و دمای بالا	بررسی و سرویس به‌موقع سیستم روغن‌کاری
	جلوگیری از ورود حباب هوا به سیستم پرفشار	۲-شکسته شدن فنر خسته شدن فنر	روشن نشدن موتور	سرد شدن ناگهانی آلیاژ نامناسب	استفاده از جنس باکیفیت سرویس به‌موقع
		۳-آب‌بند نبودن پمپ	مخلوط شدن روغن و گازوئیل	استهلاک واشرهای آب‌بندی	تعویض واشرها پس از هر بار باز روبست
میل بادامک	تزریق به‌موقع سوخت منطبق با ترتیب احتراق	۱-خوردگی در میل بادامک	عدم احتراق و لرزش موتور	پایین بودن کیفیت روغن و نقص در سیستم روغن‌کاریدور بالا	بررسی دورهایی سیستم روغن‌کاری
تاپیت	خوردگی در غلتک سوخت	۱-خوردگی غلتک	کاهش فشار تزریق	پایین بودن کیفیت روغن و نقص در سیستم روغن‌کاری	بررسی دورهایی سیستم روغن‌کاری
بارل و پلانچر	تزریق سوخت	۱-سفید شدن پلان چر	کاهش فشار تزریق	افزایش بیش‌ازحد دما کثیف بودن سوخت	استفاده از سوخت استاندارد و تعویض به‌موقع فیلتر
		۲- گشادشدن نشیمنگاه بارل وعدم آب‌بندی گازوئیل	مخلوط شدن روغن و گازوئیل	دمای بالای موتور	سرویس سیستم خنک کاری توجه دیاگرام سوپاپ‌ها
		۳-تنظیم نبودن زاویه هلیس	بیشتر شدن ارسال سوخت (دود سیاه)	پایین بودن گشتاور پیچ‌های انژکتور	نصب درست
			کمتر شدن ارسال سوخت	عدم گشتاور انژکتور	نصب درست
او رینگ بالا او رینگ پایین در واحد پمپ انژکتور	آب‌بندی واحدهای پمپ انژکتور	۱-تغییر شکل وحالت	او رینگ بالا نشت سوخت او رینگ پایین اختلاط سوخت و روغن	دمای بالا استهلاک	تعویض او رینگ‌ها بعد از هر تعمیر
		۱- از دست دادن خاصیت کشسانی			

پولکی	ایجاد فاصله بین پایه بارل و فنر	۱-خوردگی پولکی	قفل کرد نشانه	دور برداشتن موتور عمل نکردن گاورنر کات آف موتور	جلوگیری از ورود سوخت آلوده
شانه	کنترل میزان سوخت	۱-خردگی شانه (صاف شدن دندانه‌ها)	عدم ارسال به‌موقع سوخت	ورود روغن آلوده بی روغنی وجود آشغال	جلوگیری از ورود سوخت آلوده
واحد کنترل فشار	به سوخت اما ده با فشار معین اجازه ارسال می‌دهد	۱-خوردگی سوپاپ یک طرفه	چکه کردن انژکتور دود سیاه احتراق ناقص عدم آب بندی کاهش فشار ارسال	وجود آلودگی و ذرات در سوخت	سرویس به‌موقع سیستم سوخت‌رسانی
سوراخ‌های محفظه سک انژکتور	ایجاد زاویه پاشش مناسب پودر کردن سوخت	۱-گرفتگی مجاری انژکتور(تجمع کربن) ۲-ضربه مکانیکی به محفظه سک و تعبیر در زاویه پاشش ۳-فرسایش سوخت پاش	- احتراق ناقص و خوردگی تغییر در الگوی پاشش چکه کردن سوخت	فیلتر نشدن سوخت حرکت گردبادی شدید در اتاق احتراق و فیلتر نشدن کافی هوا وجود گوگرد بالا در سوخت و ایجاد سولفور گوگرد در هنگام سرد کار کردن موتور	فیلترینگ مناسب و تعویض به‌موقع فیلتر انژکتور
سیت سوزن انژکتور	محل آب‌بندی و نشستن سوزن انژکتور	۱-پیش روی بیشتر سوزن انژکتور	عدم آب‌بندی سوخت چکه کردن سوخت	افزایش بیش‌ازحد دما بیشترشان نسبت تراکم	جلوگیری از کم شدن فشار تزریق استفاده از سوخت استاندارد

فنر انژکتور	بسته نگه‌داشتن انژکتور جلوگیری از ایجاد جریان معکوس	۱-خستگی فنر ۲- شکستن فنر	چکه کردن سوخت احتراق ناقص لرزش موتور فشار پایین سوخت	استهلاک قطعه پایان عمر مفید	سرویس و تعویض به‌موقع
بدنه انژکتور (پایه سوزن انژکتور)	پایه نگه‌دارنده‌ی سوزن انژکتور	۱-خردگی در قسمت بالایی بدنه	اتصال بخش فشارقوی و فشار ضعیف شدت بالای برگشت سوخت	فیلتر نشدن سوخت	جلوگیری از بالا رفتن دما
فنر	ثابت نگه‌داشتن استکانی و پلانچر	۱-شکسته شدن فنر	گیرکردن شانه	سرد شدن ناگهانی با آب و آلیاژ به‌کاررفته	عدم شستشو وسیله در دمای بالا استفاده از آلیاژ مناسبو نصب صحیح
سوزن انژکتور	قطع و وصل جریان سوخت	۱-سفید شدن سوزن انژکتور(لقی سوزن) ۲-تغییر شکل در بدنه سوزن انژکتور ۳-سوختن سوزن انژکتور	نشت سوخت به برگشتی کم‌فشار چکه کردن سوخت احتراق ناقص و تولید اسیدسولفوریک و خوردگی نازل	فشار بالای احتراق فشار بالای تزریق دمای بالا	بررسی مداوم سیستم خنک کاری جلوگیری از ورود آلودگی به اتاق احتراق

جدول ۳-۲. برآورد ریسک هر یک از حالات شکست مربوط به تجهیزات سیستم سوخت رسانی

سیستم	زیر سیستم ها	شکست های سیستم	شکست ها	S	O	D	RPN
Fuel System Injectors	Fuel supply pump	تنظیم نبودن زاویه هلیس	F1	8	8	6	118
		آب‌بند نبودن پمپ خسته شدن فنر	F2	7	7	8	308
		سوختن سوزن انژکتور	F3	7	7	6	326
	Camshaft	گشادشدن نشیمنگاه بارل	F4	7	8	5	157
	Roller tappet	تغییر شکل در بدنه سوزن انژکتور	F5	7	6	7	124
	pump plunger & barrel	شکسته شدن فنر	F6	7	6	8	283
		شکستن فنر	F7	8	6	6	313
		سفید شدن پلان چر	F8	7	7	5	418
	High and Low Injector Pump Units O rings	خستگی فنرهای وزنه‌ها	F9	8	4	8	146
		پیش روی بیشتر سوزن انژکتور	F10	7	7	5	89
	Plunger return spring	سفید شدن سوزن انژکتور(لقی سوزن)	F11	7	6	6	161
	Adjusting screw	خستگی فنر	F12	8	6	5	200
	Control rack	خردگی شانه(صاف شدن دندانه‌ها)	F13	7	6	6	233
	Delivery valva	خوردگی پولکی	F14	6	5	7	163
	Injector spray holes	گرفتگی مجاری انژکتور(تجمع کربن)	F15	6	5	6	189
		فرسایش سوخت پاش	F16	6	5	7	141
		رسوب گرفتگی در سیت انژکتور	F17	6	5	5	183
	Injector needle seat	خوردگی سوپاپ یک طرفه	F18	7	5	5	245
		شکسته شدن فنر	F19	6	5	5	169
	Injector needle	خوردگی در میل بادامک	F20	6	6	5	245
		تغییر شکل وحالت	F21	7	5	4	311
		ضربه مکانیکی به محفظه سک و تغی ۷بر در زاویه پاشش	F22	5	4	7	323
	Injector spring	خوردگی غلتک	F23	5	5	5	239
		خردگی در قسمت بالایی بدنه	F24	7	4	4	300
	Injector body	خردگی دایره بادامک	F25	5	6	4	121
	Governor	از دست دادن خاصیت کشسانی	F26	7	5	3	269



شکل ۳-۱. مقادیر شاخص اولویت بندی شکست

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مطالعه با توجه به اهمیت سیستم‌های سوخت رسانی موتورهای دیزل و تاثیر آن برآلودگی زیست محیطی و نقش کاربردی آن‌ها در صنایع مختلف، روش سیستماتیک حالات و اثرات شکست با هدف ارزیابی ریسک خرابی‌های بالقوه برای مهم‌ترین زیر سیستم‌های بحرانی در تجهیزات این سیستم مورد مطالعه قرار گرفت که در آنها مهم‌ترین زیر سیستم‌ها از نظر رتبه‌بندی ریسک مشخص شدند. از این رو با توجه به نتایج به دست آمده، امکان برنامه‌ریزی به‌منظور انتخاب فعالیت‌های پیش‌اقدام نگهداری و تعمیرات با هدف پیشگیری از وقوع هر یک از حالات خرابی با رتبه ریسک بالا وجود دارد. در انتها، به منظور دست‌یابی به نتایج بهتر در زمینه بکارگیری اثرات حالات و خرابی به منظور ارزیابی ریسک، استفاده از سامانه‌های هوشمند فازی پیشنهاد می‌گردد. از سوی دیگر بکارگیری روش تحلیل حالات و اثرات خرابی می‌تواند، به منظور انجام مطالعات آتی در زمینه نت مبتنی بر قابلیت اطمینان مورد استفاده واقع شود.

تشکر و سپاسگزاری

در پایان از همکاری صمیمانه مدیران و کارکنان محترم شرکت تیراژه ماشین مشهد به ویژه مهندس رسول عربانی دانا مربی شرکت ساختمانی تیراژ سپاسگزاری می‌گردد.

مراجع

[1] Syan, C. S., & Ramsoobag, G. (2019). Maintenance applications of multi-criteria optimization: A review. Reliability Engineering & System Safety, 190, 106520. Retrieved from
[2] Sliding vane pump for diesel exhaust fumes. (2012). World Pumps, 2012(6), 8.
[3] نجفی، پ.، آسودار، م. الف.، مرزبان ا. و هرمزی م. ع.۱۳۹۴ . تحلیل و ارزیابی قابلیت اطمینان دروگرهای نیشکر استافت سری ۷۰۰۰ در برداشت نیشکر. نشریه ماشین‌های کشاورزی، ۵ (۲): ۴۴۶ تا ۴۵۵.
[4]افشارنیا، ف. آسودار، م. عبدشاهی, ع. (۱۳۹۲). تحلیل رگرسیونی و ارائه مدل نرخ خرابی و عوامل مؤثر بر آن در تراکتورهای برخی شهرهای استان خوزستان (مجله علمی کشاورزی مهندسی زراعی).
[5] Hamann, D., Walz, N.-P., Fischer, A., Hanss, M., & Eberhard, P. (2018). Fuzzy arithmetical stability analysis of uncertain machining systems. Mechanical Systems and Signal Processing, 98, 534-547. Retrieved from
[6] Kannan, B. 2011. Reliability/Availability of Manufacturing Cells and Transfer Lines.Msc Thesis, Auburn University
[7] Ghaleh, S., Omidvari, M., Nassiri, P., Momeni, M., & Mohammadreza Miri Lavasani, S. (2019). Pattern of safety risk assessment in road fleet transportation of hazardous materials (oil materials). Safety Science, 116, 1-12.
[8] Mandal, S., & Maiti, J. (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. Expert Systems with Applications, 41(7), 3527-3537. Retrieved from

[9] Zheng, H., & Deng, Y. (2018). Evaluation method based on fuzzy relations between Dempster–Shafer belief structure. International Journal of Intelligent Systems, 33(7), 1343-1363.
[10] Lo, H.-W., Liou, J. J. H., Huang, C.-N., & Chuang, Y.-C. (2019). A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. Reliability Engineering & System Safety, 183, 173-183.
[11] Yazdi, M., Hafezi, P., & Abbassi, R. (2019). A methodology for enhancing the reliability of expert system applications in probabilistic risk assessment. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 58, 51-59.

[12] Yssaad, B., M. Khiat, and A. Chaker. "Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 55 (2014): 108-115.
[13] Hoseinie, Seyed Hadi, Uday Kumar, and Behzad Ghodrati. "Reliability Centered Maintenance (RCM) for Automated Mining Machinery." (2016).
[14] Gupta, G., R. P. Mishra, and P. Singhvi. "An Application of Reliability Centered Maintenance Using RPN Mean and Range on Conventional Lathe Machine." International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering 23, no. 06 (2016): 1640010

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) based Risk Assessment of Diesel engine fuel system.

Morteza Lashgari

MSc student at Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Mortezalashgari3@gmail.com: (11 pt)

Dr.Abbas Rohani

Associate Professor atDepartment of Biosystems Engineering Ferdowsi University Of Mashhad (FUM)
arohani@um.ac.ir

Dr. Mehdi Khojastehpour
Associate Professor atDepartment of Biosystems Engineering Ferdowsi University Of Mashhad (FUM
mkhpour@um.ac.ir

Abstract

Given the importance of diesel engines in the industry. And the high impact of the refueling system on engine performance. Environmental pollution management approach to improve physical reliability of equipment. Risk analysis was performed to provide appropriate preventive maintenance strategies. The purpose of this study was to present the techniques and effects of failure in the refueling system as one of the most important equipment with relatively complex structure in diesel engine. Among the constituent subsystems, the injector needle and plunger and the regulator springs had the highest risk prioritization with values of 418, 326 and 323, respectively. As a result, it is possible to allocate optimal net strategies for high-risk failure scenarios in the refueling system

Keywords: risk prioritization, failure states, pollution, refueling