فصلنامهٔ علمی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineresearch.ir

DOI:10.22034/ER.2022.697912

بررسی یک مدل نت پیشگیرانه سرویس و نگهداری جهت موتورهای دیزلی با سیستم سوخت‌رسانی ریل‌مشترک

مجتبی فروزنده نسب*

گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران، mforoozande@tvu.ac.ir

** نویسندهٔ مسئول*

چکیده

در این پژوهش کاربردی با استفاده از روش تعمیر بعد از وقوع خرابی بر روی موتور ماشین‌آلات، یک برنامه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه زمان‌بندی‌شده بر روی سیستم سوخت‌رسانی‌که علت اصلی‌از کارافتادگی موتور این ماشین‌آلات بود مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه موردی بر روی موتور ۸۰ دستگاه از غلطک‌های بوماگ مدل BW211D ساخت کارخانه بوماگ، مجهز به سیستم سوخت‌رسانی ریل‌مشترک که در پروژه‌های راه‌سازی در استان‌های فارس، بوشهر، هرمزگان و کهگیلویه و بویراحمد مشغول به کار بودند صورت پذیرفت. نخست، داده‌های میزان خسارت و هزینه‌های تحمیلی جمع‌آوری شد و با طراحی هشت مدل سرویس بر روی سیستم سوخت‌رسانی که به صورت آرایشی از انجام و عدم انجام سه سرویس دوره‌ای ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساعته بر روی موتور و سیستم سوخت‌رسانی بود، طول عمر سوزن‌های انژکتور این دستگاه‌ها از طریق آزمون F با سطح خطای ۱ درصد به صورت کاملاً تصادفی مورد تحلیل قرار گرفت و اثر کاملاً معنی‌دار بودن سرویس‌ها بر روی طول عمر سوزن‌های انژکتور مشاهده شد. با استفاده از آزمون مقایسه میانگین LSD اثر مدل‌های سرویس بر روی یکدیگر و همچنین طول عمر سوزن‌های انژکتور معنی‌دار بود. معنی‌داربودن اثرسرویس‌های سه‌گانه در کاهش هزینه‌های سیستم سوخت‌رسانی و افزایش طول عمر سوزن‌های انژکتور بر اساس ساعت کارکرد موتور، یک دامنه پایین ۷۰۰ ساعته در صورت عدم انجام سرویس تا دامنه بالای ۱۰۰۰۰ ساعته در صورت انجام سرویس کامل را پوشش می‌داد. با بررسی ساعت کاری در مقایسه با افزایش نسبت هزینه به درآمد دستگاه در صورت عدم انجام سرویس، رابطه معکوس هزینه با درآمد با $R^2=1$ نتیجه‌گیری و نمودار آن رسم شد. در پایان راه‌حل‌های پیشنهادی جهت افزایش طول عمر سوزن‌های انژکتور نظیر استفاده از فیلترهای آبگیر گازوییل و تخلیه تانک گازوییل از آب و رسوبات پیشنهاد شد.

اطلاعات مقاله

تاریخچهٔ مقاله:

دریافت: ۱۲ آبان ۱۴۰۰

پذیرش: ۰۵ مرداد ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:

تعمیرات پیشگیرانه

تعمیر بعد از وقوع خرابی

سرویس دوره‌ای

سوزن انژکتور

ریل‌مشترک

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

ابداع تکنولوژی‌های جدید در ماشین‌آلات جهت مکان‌های دارای تکنولوژی پیشرفته پیشنهاد شده است. استفاده از این ماشین‌آلات و عملکرد آنها یک موضوع مورد توجه در کشورهای توسعه یافته است.

ارزش بالای تولیدات به عنوان فناوری در حال ظهور ماشین‌آلات یک تکنولوژی متمرکز و پایایی بحرانی می‌باشد که نیازمند نگهداری پیوسته در خلال عمر این ماشین‌آلات است. تطبیق این تکنولوژی‌های جدید جهت پشتیبانی تعمیر و نگهداری یک مسیر آسان نیست و دلالت بر تغییر فرهنگ تعمیر و نگهداری هم به طور معمول و هم ویژه دارد. به منظورِ داشتن دانش و درک نفوذ کیفیت و مهارت انسانی و محیط عملیاتی بر روی نگهداری و عملکرد ماشین‌آلات پژوهشی به منظور طراحی یک راه‌حل که اجازه ایمنی حرکت و عملکرد پایایی ماشین‌آلات را شامل باشد مورد نیاز است. فقدان یک تعمیر و نگهداری مناسب در ماشین‌آلات باعث یک حادثه بزرگ می شود که نشان می‌دهد تعمیر و نگهداری مناسب روی ماشین‌آلات یک موضوع بسیار مهم است [۱].

پژوهش‌های پیشین توسط نویسندگان با نظر ویژه به مطالعه مشکلات مرتبط در مورد عملکرد ماشین‌آلات مدرن به‌ویژه دستیاری نگهداری ماشین‌آلات، بررسی‌های تحت‌نظر، کیفیت و هنر انسانی و محیط عملیاتی انجام شده است. پنج کشور توسعه‌یافته (کیپ‌ورد، کوبا، کلمبیا، کاستاریکا و زیمبابوه) کشورهایی با فرهنگ، مردم، پیشینه و موقعیت جغرافیایی متفاوت موردمطالعه قرار گرفتند. نتایج این پژوهش شناسایی مشکلات مشابه مرتبط با عملکرد ماشین‌آلات و نگهداری در کشورهای مختلف را امکان‌پذیر می‌کرد. منبع اصلی مشکلات موجود، با وجود زیرساخت‌های موجود، فقدان تکنیک‌های حمایتی و منظر انسانی مرتبط بود [۲].

هدف فعالیت تعمیر و نگهداری به‌دست‌آوردن یک درجه قطعی پیوسته در فرایند پیشگیرانه است. این هدف در گذشته از میان فراوانی عملکرد و کاربرد ضمانت آزمون‌های محاسبه‌شده ظرفیت محصولات یا با اعمال برنامه‌های پرتکاپو از بازبینی و جایگزینی سیستم‌های حیاتی ادامه‌دار بوده است [۳].

هدف نهایی از نگهداری، برآورده‌نمودن شرایط بهینه پایایی از نیاز مشاغل به کمپانی‌هاست، در جایی که پایایی به عنوان احتمال دوره عدم وجود عیب در کارایی محصولات در یک شرایط پیوسته تعریف می‌شود [۴].

از یک دیدگاه اساسی دو رویکرد تعمیر و نگهداری وجود دارد؛ یک دیدگاه واکنشی و دیگری کنش‌گرایانه یا مؤثر. در عمل ترکیبات زیادی از این دو دیدگاه وجود دارد. سیستم‌های واکنشی به درخواست کار یا یک نیاز شناخته‌شده پاسخ می‌دهند و به اقدام واکنش سریع در صورت مؤثربودن وابسته است. هدف از این دیدگاه کاهش زمان پاسخ‌گویی در حداقل زمان و کاهش زمان توقف تجهیزات تا سطح قابل قبول است. این دیدگاه اغلب توسط اپراتورها به‌کار برده می‌شود. دیدگاه پیشگیرانه نخست به ارزیابی تجهیزات و عملیات پیشگیرانه پاسخ می‌دهد. هدف از این رویکرد کارایی پیوسته تجهیزات جهت تعیین‌خصوصیات، ظرفیت نگهداری پیشگیرانه و پیشرفت مداوم است [۵].

به دلیل احتیاج به بهبود صرفه اقتصادی سوخت ماشین‌آلات با هدف جلوگیری از گرم‌شدن کره زمین و کاهش آلایندگی گازهای خروجی اگزوز که بر سلامتی انسان مؤثر است، ماشین‌آلات دارای موتورهای دیزلی به طور وسیع در اروپا به دلیل صرفه خوب اقتصادی سوخت نسبت به سوخت بنزینی تحسین شده‌اند. موتورهای دیزلی ماشین‌آلات مطابق با تقاضاهایی نظیر کاهش گازهای خروجی اگزوز (NO_X، CO، HC و PM)، بهبود عملکرد اقتصادی سوخت، کاهش سروصدا، بهبود قدرت خروجی و عملکرد رانندگی تولید شدند. سیستم تزریق سوخت که شامل پمپ انژکتور و سوزن‌های انژکتور است به دلیل این‌که به طور مستقیم بر عملکرد موتور ماشین‌آلات مؤثر است، نقش مهمی را ایفا می‌کند [۶].

در کشورهای توسعه‌یافته، طراحی سیستم‌های تزریق سوخت مطابق با دانش اکتسابی، اطلاعات تحلیل و وضعیت کاری توسعه یافته است. در این کشورهای با کمترین میزان رشد و ظرفیت تکنولوژی مطالعه پایایی عملکرد و نگهداری ماشین‌آلات مورد نیاز است [۷].

سیستم سوخت‌رسانی ریل‌مشترک مدت‌ها توسط شرکت‌های دیترویت و کاترپیلار مورد استفاده قرار گرفته است. نوع مشابه دیگر این سیستم سوخت‌رسانی در موتورهای کامنز تحت عنوان (PT) به طور انبوه استفاده شده است [۸].

در این نوع موتورها، سرعت موتور تعیین‌کننده میزان مدت و زمان تزریق سوخت می‌باشد. در سیستم سوخت‌رسانی ریل‌مشترک در مقایسه با دیگر سیستم‌های سوخت‌رسانی دیزل معروف که پاشش‌های متعدد را در سیکل‌های انجام کار مهیا می‌کنند، تفاوت‌هایی وجود دارد. این سیستم نامش را از ذخیره‌کننده (آکومولاتور) که فشار مشترک ریل سوخت را جهت همه سیلندرها تأمین می‌کند، گرفته است [۸].

سیستم سوخت‌رسانی ریل‌مشترک برای اولین‌بار در سال ۱۹۹۷ در خودروهای سواری به بازار عرضه شد و در سال ۱۹۹۹ به صورت تجاری خود را در عرصه بازار خودرو مطرح نمود [۹].

اولین فناوری شرکت بوش برای تولید در بازار تجاری اروپا به سال ۱۹۹۹ بازمی‌گردد که فشار پاشش ۱۴۰۰ بار را دارا بود. با پیشرفت تکنولوژی، این شرکت سازنده دومین محصول خود را با فشار ۱۶۰۰ بار در سال ۲۰۰۱ به بازار عرضه نمود. فشار پاشش بالاتر این سیستم سوخت‌رسان دیزل و بخارشدن بهتر سوخت توسط سیستم پاشش، امکان بازده احتراق بیشتر را فراهم آورد [۱۰].

در سال ۲۰۰۵ بوش سومین ریل‌مشترک تولیدی خود را با فشار ۱۸۰۰ بار برای وسایل نقلیه تجاری سبک معرفی نمود. این نسخه از

سیستم ریل‌مشترک برای خودروهای نیمه‌سنگین در سال ۲۰۰۷ به بازار عرضه شد و در سال ۲۰۰۸ به طور کامل بر روی موتورهای دیزلی طرف قرارداد با شرکت بوش نصب و روانه بازار شد. در برابر قوانین سخت‌گیرانه آلایندگی گازهای خروجی، فشار سوخت در این سیستم‌های پاشش به ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ گسترش یافت [۱۰].

در کشور چین تا سال ۲۰۲۰ میلادی نیاز به موتورهای سبک حدود ۲۵ میلیون تخمین زده می‌شود که از مجموع موتورها در آمریکای شمالی و اروپا بیشتر است. به همین دلیل در این کشور تمایل به ساخت موتورهای دیزلی سبک جهت خودروهای سواری و ماشین‌های دیزلی تجاری رو به افزایش است، به طوری که در سال ۲۰۱۶ تعداد موتورها در کشور چین به ۲/۸ میلیون رسیده است. مهم‌ترین نیاز کمپانی‌های سازنده موتور و فروشندگان مسلماً قیمت پایین، کاهش آلایندگی و میزان کارایی بالا می‌باشد. در سال ۲۰۰۹ میلادی وسایل نقلیه با موتورهای سبک به طور متوسط ۶۰ درصد میزان NO_x و ۹۰ درصد کل ذرات معلق در هوا را به خود اختصاص داده‌اند [۱۱].

با توجه به ورود ماشین‌آلات عمرانی و دیزل ژنراتورها به محوطه کارگاهی داخل شهرهای بزرگ و نیاز روزافزون به بهره‌برداری پروژه‌های ساختمانی و راه‌سازی، حجم عظیمی از آلودگی‌های زیست‌محیطی و صوتی روانه زندگی انسان‌ها می‌شود که این امر نه تنها باعث بروز انواع بیماری‌ها می‌شود بلکه منابع عمده نفت و کارکرد نیروی انسانی را به هدر داده و باعث افزایش روزافزون مصرف سوخت می‌شود. لذا طبق استاندارد آلایندگی اتحادیه اروپا کارخانه‌های تولید موتور موظف به رعایت این خط مشی و استفاده از موتورهای دیزلی شدند که در حیطه این استاندارد قرار گیرند [۱۲].

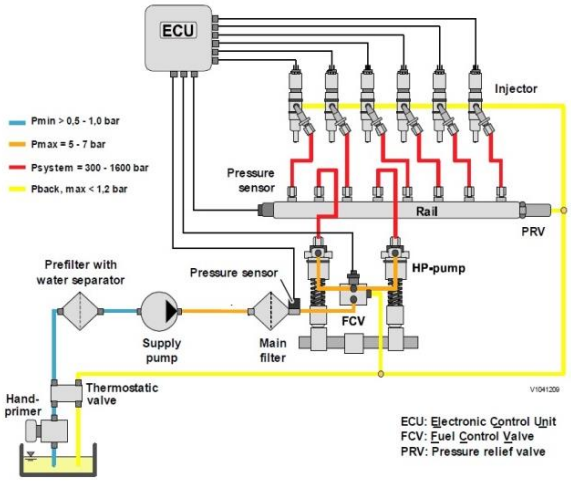
بنابراین کارخانه‌های تولید موتور جهت تبعیت از این استانداردها و عقب‌نماندن از رقابت پرسود تولید موتورهای دیزلی شروع به ابداع و نصب موتورهایی با سیستم سوخت‌رسانی فشار بالا تحت عنوان سیستم‌های سوخت‌رسان ریل‌مشترک نمودند.

با توجه به این موضوع که در حال حاضر اکثر کارخانه‌های تولید موتورهای دیزل ملزم به رعایت استاندارد آلایندگی یوروو۶ می‌باشند، بنابراین تولیدکنندگان ماشین‌های دیزلی سنگین مانند شرکت ولوو در سفارش موتورهای خود به شرکت سازند موتور دویتس خواستار تولید موتورهایی با تکنولوژی پیشرفته سوخت شده است.

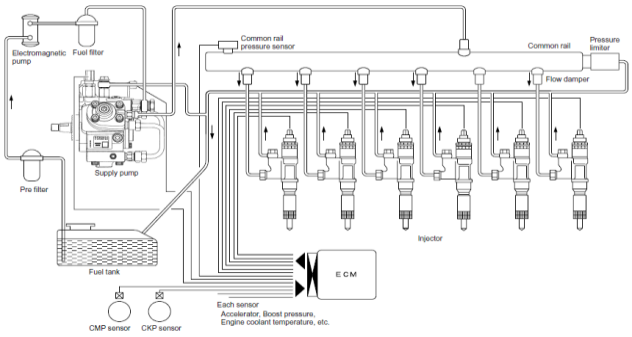
همگام با شرکت بوش دیگر رقبا نظیر شرکت دنسو و همچنین دلفی از این بازار عقب نمانده و خود را در بازار دیزل ایران پرمخاطب نشان داده‌اند.

در رابطه با سیستم سوخت‌رسانی طرح بوش شکل ۱ به تصویر درآمده است [۱۳].

در دیگر کمپانی‌های تولید موتور مکانیزم سیستم ریل‌مشترک به همین ترتیب آرایش یافته است، با این تفاوت که پمپ تولید فشار سوخت به صورت دوار با المان‌های بادامکی طراحی شده است (مطابق با شرکت دنسو بر اساس شکل ۲) [۱۴].



شکل ۱: سیستم ریل‌مشترک بوش [۱۳]



شکل ۲: سیستم ریل‌مشترک دنسو [۱۴]

با توجه به مطالب فوق فشار درون ریل سوخت در سیستم‌های سوخت‌رسانی‌ریل‌مشترک بالغ بر ۲۰۰۰ بار می‌باشد. بنابراین در این سیستم بایست از قطعات مقاوم در برابر فشار و گرما استفاده کرد تا علاوه بر فراهم‌نمودن احتراق مناسب جهت پودرکردن بیشتر ذرات گازوییل، میزان آلایندگی به کمترین مقدار خود کاهش یابد بنابراین دو نکته در رابطه با این سیستم مدنظر است:

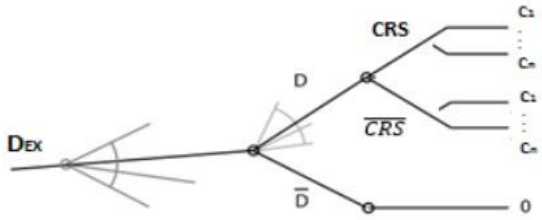
الف- در صورت بروز نشتی در سیستم‌ریل‌مشترک شاهد مشکلات بزرگ همچون عدم روشن‌شدن دستگاه و به‌ویژه عدم زیر باررفتن دستگاه می‌باشیم. با توجه به اینکه سیستم‌های کنترلی ناظر بر روی سیستم ریل‌مشترک تابع شرایط محیطی نصب خود می‌باشند مسلم است که بروز هر گونه ایرادی در این سیستم عدم تزریق مناسب سوخت توسط انژکتورها را به دنبال دارد.

ب- استفاده از گازوییل مناسب و مدیریت سرویس فوق العاده در این سیستم‌ها [۱۵].

هدف از انجام این پژوهش معرفی یک برنامه پیشگیرانه نگهداری مربوط به‌سیستم سوخت‌رسانی ریل‌مشترک با توجه به خرابی‌ها و تطبیق این راهبرد با فرهنگ بومی، محیط عملیاتی و تدوین یک سیاست قابل‌قبول با تأثیر بالا جهت سرویس‌کاران و رانندگان است تا میزان خسارت تا حدممکن کاهش و از اعمال هزینه‌های ناخواسته تعمیراتی به مالکان این دستگاه‌ها اعم از نهادهای دولتی و یا شرکت‌های خصوصی جلوگیری شود.

۲- مواد و روش‌ها

جهت تحلیل و شناسایی قطعات بحرانی در سیستم ریل‌مشترک از یک چارچوب مطابق شکل ۳ استفاده می‌شود. پس از یک عیب‌یابی کلی در اشکال عملکرد، خسارت‌هایی که در نحوه عملکرد قطعات مؤثر هستند شناسایی‌شده و به عنوان یک احتمال در نظر گرفته می‌شود. ابتدا یک مواجهه که پتانسیل خسارت اجزا در سیستم است (DEX) شناسایی می‌شود. چنانچه عیبی در اجزا سیستم مشاهده نشود ($\overline{D}$) تحلیل پایان می‌یابد. چنانچه خسارت روی دهد (D) این خسارت یا مربوط به سیستم ریل‌مشترک (CRS) یا مربوط به سیستم دیگری غیر از سیستم ریل‌مشترک است. این عیوب ممکن است مربوط به سیستم ورودی هوا، سیستم سوخت و یا دیگر اجزای موتور باشد. این عیوب خود ممکن است به دیگر اجزای ویژه‌تر سیستم مرتبط باشند ($C_1, C_2, ..., C_n$).



شکل ۳: نمودار درختی پیشنهادی جهت تحلیل خسارت قطعات بحرانی [۷]

مطالعه موردی بر روی نگهداشت اصلاحی ماشین‌آلات با نقص کارایی موتور متمرکز شد. تعمیرات مطابق با پدیدارشدن علایم سوء عملکرد انجام شد. مواردی وجود دارد که نقص مشاهده‌شده توسط سیستم ریل‌مشترک تولید شده باشد، که در واقع دلیل آن اجزای مختلف یا سیستم‌های دیگری غیر از سیستم ریل‌مشترک است.

در این پژوهش میدانی جامعه آماری با توجه به انبوه ورود ماشین‌آلات مجهز به موتورهای ریل‌مشترک طرح بوش توسط شرکت تولید ماشین‌آلات سنگین راه‌سازی بوماگ، مطابق شکل ۴ غلطک‌های مدل BW211D این کارخانه انتخاب شدند که از سال ۲۰۱۰ میلادی با سیطره بر بازار ماشین‌آلات راه‌سازی ایران در مراحل زیرساخت جاده‌ها با مشکل‌های عدیده‌ای در زمینه عدم بازدهی مناسب موتورهای نصب‌شده بر روی محصول‌های خود و سطح بالای تعمیرات زودهنگام سیستم سوخت این موتورها مواجه شده‌اند.

شکل ۴: تصویر غلتک بوماگ و مکان قرارگیری موتور [۲۰]

جهت حصول بهترین نتیجه موجود، کیفیت گازوییل مصرفی این غلطک‌ها با توجه به استانداردهای موجود شرکت پالایش فرآورده‌های نفتی ایران به میزان ۰/۰۵ درصد آب، ۰/۵ درصد سولفور و عدد ستان ۵۰ تهیه و در اختیار ۸۰ دستگاه غلطک فعال در زمینه راه‌سازی، عمرانی و معدنی با موتور چهار سیلندر مطابق شکل ۵ و به شرح جدول ۱ در جنوب ایران قرار داده شد. این گازوییل محصول شرکت پالایشگاه نفت اصفهان می‌باشد که در رده مرغوب‌ترین نوع گازوییل داخلی جهت انجام صادرات در نظر گرفته شده است [۱۶].

شکل ۵: موتور ریل‌مشترک نصب‌شده بر روی غلتک [۲۰]

جدول ۱: مشخصات موتور ولوو موردمطالعه

نوع موتور	چهار زمانه دیزلی
سیستم احتراق	مستقیم
تعداد سیلندر	۴
دهانه سیلندر	۰/۰۲ + ۱۰۸ میلی‌متر
کورس پیستون	۱۳۰ میلی‌متر
حجم جابه‌جایی موتور	۷/۱۵ لیتر
تعداد سوپاپ	۱۲
جهت چرخش میل‌لنگ	روبه‌روی فلایویل- خلاف عقربه‌های ساعت
نسبت تراکم	۱۸:۱
ترتیب احتراق	۲-۴-۳-۱

پراکندگی این دستگاه‌ها از شمال استان فارس آغاز و در نهایت به استان‌های هرمزگان و بوشهر ختم می‌شد. جدول ۲ بیشترین آمار خسارت و خرابی موتورهای ریل‌مشترک در استان‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این جدول دفعات خسارت در واقع تعداد مرتبه‌هایی است که تعمیر کار جهت رفع عیب سیستم سوخت‌رسانی به‌ازای هر دستگاه به فیلدهای استقرار دستگاه اعزام شده است. به طور مثال، در استان بوشهر تعداد دستگاه‌های شناسایی‌شده معیوب ۳۰ دستگاه تعیین شده است که به طور متوسط هر دستگاه چهار مرتبه توسط تکنسین فنی تعمیر شده است و قطعات معیوب در هر بار از عیب‌یابی، تعمیر یا تعویض شده است، بنابراین مجموع خرابی‌های بوش سوزن ۱۲۰ مورد به ثبت رسید. با توجه به این‌که هر موتور مورد مطالعه در این مدل نمونه‌برداری چهار سیلندر بوده است و دارای چهار سوزن انژکتور فعال می‌باشد، فقط تعداد سوزن‌هایی که در این جامعه آماری تعمیر شده‌اند در نظر گرفته شده است و مابقی که سالم بوده‌اند در جدول ۲ در نظر گرفته نشده است. به طور مثال، در استان بوشهر به طور متوسط از هر دستگاه چهار سوزن انژکتور معیوب عیب‌یابی شده است که از روی هر ۳۰ دستگاه موجود در منطقه باز و تعمیر شده‌اند.

جدول ۲: خسارت وارده به قطعات داخلی انژکتور

عیب	بوش	میل	نازل	ساچمه	تعداد	دفعات
کهگیلویه	۶۰	۶۰	۶۰	۳۰	۱۰	۶
بوشهر	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۰۰	۳۰	۴
هرمزگان	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۱۰	۳۰	۶
فارس	۴۰	۴۰	۴۰	۲۰	۱۰	۴
مجموع	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۲۶۰	۸۰	۲۰

با توجه به انبوه خرابی سوزن‌های انژکتور تمامی سوزن‌های انژکتور مورد آزمایش قرار گرفتند و جدول ۲ به عنوان خروجی این آزمایش از خسارت‌های وارده به سوزن‌های انژکتور ترسیم شد. طبق اطلاعات کلی جمع‌آوری‌شده از مراکز تأمین قطعات و نمایندگی‌های انحصاری این موتورها، هزینه تعمیرات مربوط به یک دستگاه موتور ریل‌مشترک با احتساب قطعات، دستمزد تعمیرات، ایاب و ذهاب مکانیک‌ها و بر اساس تعمیر و سرویس سوزن‌های انژکتور بدون توجه به تعویض قطعات جانبی دیگر که در شرح جدول ۲ به آن اشاره شد، به طور متوسط و بر اساس نرخ بهمن‌ماه ۱۳۹۹ به شرح جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳: هزینه تعمیر یا تعویض یک عدد سوزن انژکتور

شرح تعمیرات	مبلغ (ریال)
هزینه تعمیر و سرویس یک عدد سوزن انژکتور	۱۰۰۰۰۰۰
هزینه باز و بست یک عدد سوزن انژکتور	۵۰۰۰۰۰
هزینه ایاب و ذهاب مکانیک متوسط ۸ ساعت روزانه به‌ازای یک نفر مکانیک اعزامی	۱۰۰۰۰۰۰
قیمت یک عدد سوزن انژکتور	۵۰۰۰۰۰۰۰
قیمت متوسط قطعات داخلی انژکتور	۳۰۰۰۰۰۰
مجموع هزینه جهت تعویض هر عدد سوزن انژکتور	۲۳۳۶۰۰۰۰
مجموع هزینه جهت تعمیر هر عدد سوزن انژکتور	۹۳۶۰۰۰۰

با فرض این‌که تعداد ۴۰۰ سوزن مطابق شکل‌های ۶ و ۷ فهرست شده در جدول ۲ در پایین‌ترین سطح تعمیری می‌باشند، هزینه‌ای بالغ بر ۱۳۰۰۰۰۰۰۰ ریال متوجه مالکان این دستگاه‌ها شده است که با فرض نمونه آماری ۸۰ دستگاه سهم هر مالک از این هزینه تعمیری بالغ بر ۱۶۲۵۰۰۰۰ریال می‌باشد.

شکل ۶: سوزن انژکتور سیستم ریل‌مشترک و نمای داخلی قطعات [۱۳]

شکل ۷: قطعات تعویضی درون انژکتور [۱۳]

اگر در بحرانی‌ترین حالت فرض کنیم که تمامی ۴۰۰ سوزن تعویض شده است هزینه‌ای بالغ بر ۲۰۶۰۰۰۰۰۰۰ ریال از طریق مالکان این دستگاه‌ها پرداخت شده است که هر دستگاه مبلغی برابر با ۲۵۷۵۰۰۰۰ ریال را به خود اختصاص داده است و این هزینه‌ها فقط در هنگام یک مرحله تعمیر خودنمایی کرده‌اند و در صورت تکرار خسارت این هزینه‌ها دومرتبه آشکار می‌شوند.

جهت بررسی انجام سرویس‌های دوره‌ای بر روی افزایش طول عمر سوزن‌های انژکتور فرض شد که آیا انجام سرویس‌های دوره‌ای می‌تواند

در طول عمر سوزن‌ها مؤثر واقع شود یا این‌که نیاز به سرویس دوره‌ای در یک مدت زمان خاص نیست و تعویض یک فیلتر گازوییل کافی‌است. بنابراین، یک مدل سرویس دوره‌ای به‌نام‌های سرویس دوره‌ای ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساعته به صورت تصادفی با تکرار ۱۰ مرتبه جهت هر سرویس و در هشت مدل آزمایش بر روی این دستگاه‌ها در مناطق مختلف جغرافیایی و به مدت دو سال انجام شد تا اثر این سرویس‌ها بر روی طول عمر سوزن‌های انژکتور بررسی شود. جدول ۳ جهت سرویس ۲۵۰ ساعته، جدول ۴ جهت سرویس ۵۰۰ و جدول ۵ جهت سرویس ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد.

هزینه‌های این سرویس‌ها به شرح جدول ۶ و براساس قیمت‌های سال ۱۳۹۹ که شامل قیمت خرید قطعات تعویضی نظیر فیلتر گازوییل، فیلتر آبگیر گازوییل، فیلتر روغن، فیلتر هواکش موتور و تانک گازوییل فهرست‌شده در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ بود، ثبت شد. هزینه ایاب و ذهاب مکانیک به دلیل انجام سرویس توسط رانندگان و سرویس‌کاران مستقر در محل کار دستگاه‌ها در استان‌های مختلف در نظر گرفته نشد.

جدول ۳: سرویس ۲۵۰ ساعته

ردیف	عملیات
۱	تعویض روغن موتور
۲	تعویض فیلتر روغن موتور
۳	تمیز کردن فیلتر هواکش موتور
۴	تخلیه رسوبات فیلتر آبگیر گازوییل
۵	تمیز کردن فیلتر هواکش تانک گازوییل
۶	تمیز کردن فیلتر هواکش روغنی موتور

جدول ۴: سرویس ۵۰۰ ساعته

ردیف	عملیات
۱	تعویض روغن موتور
۲	تعویض فیلتر روغن موتور
۳	تمیز کردن فیلتر هواکش موتور
۴	تخلیه رسوبات فیلتر آبگیر گازوییل
۵	تمیز کردن فیلتر هواکش تانک گازوییل
۶	تمیز کردن فیلتر هواکش روغنی موتور
۷	تعویض فیلتر آبگیر گازوییل
۸	تعویض فیلتر گازوییل
۹	تعویض فیلتر هواکش باک گازوییل

جدول ۵: سرویس ۱۰۰۰ ساعته

ردیف	عملیات
۱	تعویض روغن موتور
۲	تعویض فیلتر روغن موتور
۳	تمیز کردن فیلتر هواکش موتور
۴	تخلیه رسوبات فیلتر آبگیر گازوییل
۵	تمیز کردن فیلتر هواکش تانک گازوییل
۶	تمیز کردن فیلتر هواکش روغنی موتور
۷	تعویض فیلتر آبگیر گازوییل
۸	تعویض فیلتر گازوییل

در تمامی این مدل‌های آزمایشی اثر دو فاکتور گازوییل و روغن موتور یکسان درنظر گرفته شد. از رانندگان و سرویس‌کارانی استفاده شد که بر اساس سیستم نت بهره‌ورفراگیر آموزش اپراتوری کامل دیده بودند و با رسیدن ساعت کار دستگاه به زمان‌های سرویس ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساعت، دستگاه را متوقف کرده و نسبت به انجام مدل‌های آزمایشی اقدام می‌نمودند. قطعاتی که در انجام سرویس مورداستفاده قرار گرفتند نظیر فیلترها، مطابق با استانداردهای پیشنهادی شرکت بوماگ و از نوع قطعات اصلی انتخاب شدند تا از بروز خطای حاصل از وجود اجناس نامرغوب جلوگیری به‌عمل آید.

جدول ۶: هزینه سرویس‌های سه گانه

نام سرویس	هزینه سرویس (ریال)
سرویس ۲۵۰ ساعته	۲۵۰۰۰۰۰
سرویس ۵۰۰ ساعته	۴۹۰۰۰۰۰
سرویس ۱۰۰۰ ساعته	۴۵۰۰۰۰۰
جمع کل	۱۱۹۰۰۰۰۰

آزمایش مدل A- انتخاب ۱۰ دستگاه و کیفیت سرویس ۳ گانه

سرویس ۱۰۰۰ ساعته	سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته
✓[1]	✓	✓

آزمایش مدل B- انتخاب ۱۰ دستگاه و کیفیت سرویس ۳ گانه

سرویس ۱۰۰۰ ساعته	سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته
×[2]	✓	✓

آزمایش مدل C- انتخاب ۱۰ دستگاه و کیفیت سرویس سه‌گانه

سرویس ۱۰۰۰ ساعته	سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته
✓	×	✓

آزمایش مدل D- انتخاب ۱۰ دستگاه و کیفیت سرویس سه‌گانه

سرویس ۱۰۰۰ ساعته	سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته
✓	✓	×

آزمایش مدل E- انتخاب ۱۰ دستگاه و کیفیت سرویس سه‌گانه

سرویس ۱۰۰۰ ساعته	سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته
✓	×	×

آزمایش مدل F- انتخاب ۱۰ دستگاه و کیفیت سرویس سه‌گانه

سرویس ۱۰۰۰ ساعته	سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته
×	✓	×

آزمایش مدل G- انتخاب ۱۰ دستگاه وکیفیت سرویس سه‌گانه

سرویس ۱۰۰۰ ساعته	سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته
×	×	✓

آزمایش مدل H- انتخاب ۱۰ دستگاه کیفیت سرویس سه‌گانه

سرویس ۱۰۰۰ ساعته	سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته
×	×	×

[1] علامت ✓ به معنی انجام آزمایش

[2] علامت × به معنی عدم انجام آزمایش

۳- یافته‌ها و نتایج

نتایج این مدل‌های آزمایشی بر اساس طول عمر سوزن‌های انژکتور برحسب هزارم ساعت به صورت جدول ۷ استخراج شدند و مجموع مربعات کل، مجموع مربعات آزمایش و مجموع مربعات خطا محاسبه و در جدول ۸ ثبت شدند.

$F_{(7, 75)}$ در سطح ۵ درصد برابر با ۳/۳ می‌باشد و در سطح ۱ درصد برابر با ۵/۸ است و این امر نشان‌دهنده آن است که آزمون بسیار معنی‌دار است. در این جدول s.o.v منبع تغییرات، df درجه آزادی، ss مجموع مربعات خطای آزمایش، MS میانگین مربعات خطای آزمایش و F ضریب فاکتور آزمون F می‌باشد.

تکرارها در این مدل‌های آزمایشی تعداد دستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. به طور مثال، منظور از تکرار دهم در واقع دهمین دستگاه از نمونه مورد مطالعه می‌باشد که در هر مدل آزمایشی انتخاب شده‌اند. نتایج از طریق آزمون F بر اساس جدول تجزیه واریانس در مدل‌های کاملاً تصادفی مورد تحلیل و تفسیر قرارگرفت تا معنی‌داربودن یا بی‌معنی‌بودن این آزمایش‌ها بررسی شود.

جدول ۷: طول عمر سوزن‌های انژکتور برحسب هزارم ساعت

آزمایش تکرار	A	B	C	D	E	F	G	H
۱	۵	۴،۵	۴	۴،۷۵	۳،۸	۴،۲	۱	۰،۷
۲	۴،۸	۴،۵۱	۴	۴،۷	۳،۷۵	۴،۳	۱،۱	۰،۷
۳	۴،۸	۴،۴	۳،۹	۴،۸	۳،۸	۴،۲	۰،۹	۰،۸
۴	۵	۴،۴	۳،۸	۴،۸۱	۳،۷	۴،۳	۱	۰،۸
۵	۴،۹	۴،۴۵	۴	۴،۷۵	۳،۸	۴،۳۵	۱،۲	۰،۷
۶	۴،۹	۴،۴۳	۳،۹	۴،۸	۳،۷۵	۴،۳	۱،۳	۰،۷
۷	۴،۹	۴،۵	۳،۸	۴،۷	۳،۷	۴،۳	۱،۱	۰،۹
۸	۴،۸	۴،۴۵	۴	۴،۷۳	۳،۷	۴،۳۵	۱	۰،۸
۹	۵	۴،۵	۴	۴،۸	۳،۸	۴،۳	۱،۲	۰،۷
۱۰	۴،۸۵	۴،۵۱	۳،۹	۴،۷۵	۳،۸	۴،۳	۱،۳	۰،۹
جمع	۴۸،۹۵	۴۴،۶۵	۳۹،۳	۴۷،۵۹	۳۷،۶	۴۲،۹	۱۰،۸	۷،۷
میانگین	۴،۸۹۵	۴،۴۶۵	۳،۹۳	۴،۷۵۹	۳،۷۶	۴،۲۹	۱،۰۸	۰،۷۷

جدول ۸: تجزیه واریانس داده‌ها

S.O.V	df	SS	MS	F
آزمایش	۷	۱۸۷/۰۵۶۱	۲۶/۷۲۳	۹۲^{xx}
خطا	۷۵	۲۲	۰/۲۹	
کل	۷۹	۲۰۹/۱۵	۲/۶۵	

حال این سوال مطرح است که آیا مدل‌های آزمایشی سرویس با یکدیگر تفاوت داشته‌اند. جهت حصول و بررسی این پرسش از روش آزمون مقایسه LSD استفاده می‌کنیم [۱۷].

$$S_{\overline{d}} = \sqrt{\frac{MS_e}{r}} = \sqrt{\frac{2\times 0.32}{10}} = 0.25 \quad (۱)$$

$$t_{1\%}, df = 75 \rightarrow 2.382 \quad (۲)$$

$$LSD = S_{\overline{d}} \times t = 2.382 \times 0.25 = 0.59 \quad (۳)$$

$$|\overline{X}_A - \overline{X}_B| = 4.895 - 4.465 = 0.43$$
$$|\overline{X}_A - \overline{X}_C| = 4.895 - 3.93 = 0.965^{**}$$
$$|\overline{X}_A - \overline{X}_D| = 4.895 - 4.759 = 0.136$$
$$|\overline{X}_A - \overline{X}_E| = 4.895 - 3.76 = 1.135^{**}$$
$$|\overline{X}_A - \overline{X}_F| = 4.895 - 4.29 = 0.605^{**}$$
$$|\overline{X}_A - \overline{X}_G| = 4.895 - 1.08 = 3.815^{**}$$
$$|\overline{X}_A - \overline{X}_H| = 4.895 - 0.77 = 4.125^{**}$$

با توجه به آزمون مقایسه میانگین LSD می‌توان دریافت که آزمون‌های B و D بدون معنی می‌باشند، اما آزمون‌های C،F،E و G،H معنی‌دار می‌باشند.

با انجام آزمایش‌های فوق مشخص شد که سرویس‌های سه‌گانه در صورت انجام به‌موقع، افزایش طول عمر سوزن‌های انژکتور را به‌دنبال دارند.

آزمایش مدل B به صورت معنی‌دار تغییر نکرده است و این امر از دوام و پایداری سرویس ۵۰۰ ساعته حکایت دارد که می‌تواند در صورت عدم انجام سرویس ۱۰۰۰ ساعته ماندگاری، اثر و اهمیت خود را نشان دهد.

آزمایش مدل D نیز به صورت معنی‌دار تغییر نکرده است و این امر نشان‌دهنده این موضوع است که عدم تعویض فیلتر روغن و روغن موتور اثر معنی‌داری بر روی سوزن‌های انژکتور ندارد به این شرط که سرویس ۵۰۰ ساعته حتما انجام شده باشد.

آزمایش مدل F به صورت معنی‌دار ولی با شدت کمی تغییر کرده است و این امر اثر عدم انجام همزمان سرویس‌های ۲۵۰ و ۱۰۰۰ ساعته را نشان می‌دهد که در صورت عدم انجام آنها خرابی سوزن‌های انژکتور حتمی است، اما اثر مدت‌دار آن به دلیل انجام سرویس ۵۰۰ ساعته نسبت به مدل‌های معنی‌دار دیگر طولانی‌تر است.

مدل‌هایآزمایشی C، E، G و H بیان‌گر کاهش عمر سیستم سوخت‌رسانی موتور هستند. نقاط C و E از بین این چهار مدل آزمایشی دارای کاهش جدی عمر می‌باشند که در این مدل‌ها عدم انجام سرویس ۵۰۰ ساعته را شاهد هستیم که مبین این موضوع است که در صورت عدم تعویض فیلترهای آبگیر گازوییل و فیلتر اصلی گازوییل طول عمر سیستم سوخت‌رسانی ریل‌مشترک به سرعت کاهش می‌یابد.

مدل‌های G و H دارای کاهش شدیدتر و جدی‌تری از نظر طول عمر قطعات نسبت به دو مدل قبل می‌باشند که عدم انجام سرویس‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساعته علت اصلی این کاهش می‌باشد.

نکته دیگری که در اینجا قابل ذکر است، مبین این موضوع است که هرچند سرویس‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساعته مشابه یکدیگرند، اما عدم انجام سرویس ۵۰۰ ساعته به مراتب زیان‌بارتر از سرویس ۱۰۰۰

ساعته است که این مورد را به‌وضوح در آزمون مقایسه میانگین‌ها درمی‌یابیم. علت این امر را می‌توان در وجود عدم تعویض فیلتر هواکش تانک گازوییل جستجو کرد.

در صورت عدم تعویض فیلتر هواکش تانک گازوییل ذرات سیلیسی در زمان کارکرد موتور و به دلیل پایین‌رفتن سطح سوخت به طرف مخزن کشیده می‌شوند و در صورتی‌که فیلترهای نفس‌کش تمیز نباشند و یا این‌که تعویض نشده باشند این ذرات وارد مخزن شده و پس از عبور از فیلترهای نامرغوب و بی‌کیفیت وارد سیستم سوخت‌رسانی شده و خسارت‌های جبران ناپذیری به انژکتورها وارد می‌کنند.

عدم انجام به‌موقع سرویس ۱۰۰۰ ساعته در طول عمر کاری موتور بیانگر این موضوع است که سرویس ۱۰۰۰ ساعته دارای اهمیت ساختاری سرویس ۵۰۰ ساعته است ولی اثرهای عدم انجام آن به مراتب کمتر از سرویس ۵۰۰ ساعته است که با توجه به مشابهت‌های دستوری انجام این دو سرویس می‌توان عدم تمیزشدن و تخلیه آب داخل مخزن گازوییل را دلیل اصلی این تفاوت دانست.

سرویس ۲۵۰ ساعته هرچند در عمر کاری موتور مفید است، اما اثرات کاهشی آن زمانی پدیدار می‌شود که سرویس‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ یا هر دو انجام نشوند یا این‌که یکی از آنها انجام نشود.

اثر سرویس ۲۵۰ ساعته را می‌توان در حجم کربن‌گیری اتاقک احتراق جستجو کرد. وجود کربن در اتاقک احتراق باعث گرفتگی نوک نازل‌های سوزن‌های انژکتور شده که این کربن‌ها در زمان تراکم پیستون و در صورت خوردگی و معیوب‌شدن فنرهای سوزن‌های انژکتور از مجرای سوزن‌ها عبور کرده و پس از سایش میل سوزن‌ها و گاید سوزن‌ها موجبات از آب‌بندی خارج‌نمودن این قطعات را فراهم نموده و پس از ورود به مخزن سوخت و ته‌نشین‌شدن در کف مخزن به مرور زمان همراه با مصرف سوخت و مکش توسط پمپ اولیه انتقال سوخت، امکان خوردگی دیگر قطعات با افزایش لقی و خلاصی را امکان‌پذیر می‌نماید.

جدول ۹: نسبت هزینه به درآمد در مقایسه با میانگین ساعت کاری

درآمد دستگاه تا بروز اولین خرابی سوزن‌های انژکتور برحسب ریال	نسبت هزینه به درآمد دستگاه	میانگین ساعت کاری تا بروز اولین خرابی سوزن‌های انژکتور برحسب هزارم ساعت
۴۸۹۵۰۰۰	۳،۳	۴،۸۹۵
۴۴۶۵۰۰۰	۳،۶	۴،۴۶۵
۳۹۳۰۰۰۰	۴،۱	۳،۹۳
۴۷۵۹۰۰۰	۳،۴	۴،۷۵۹
۳۷۶۰۰۰۰	۴،۳	۳،۷۶
۴۲۹۰۰۰۰	۳،۸	۴،۲۹
۱۰۸۰۰۰۰	۱۵،۰۴	۱،۰۸
۷۷۰۰۰۰	۲۱،۱	۰،۷۷

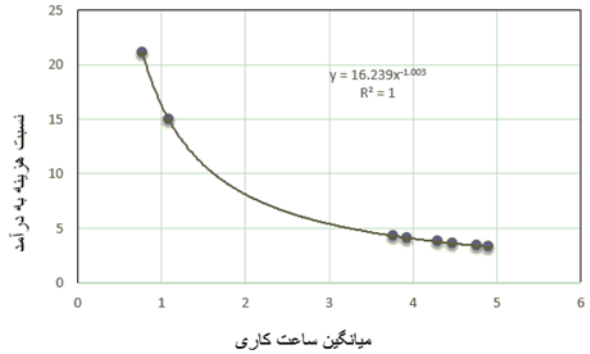
با توجه به داده‌های تعمیراتی جدول ۲ چنانچه میزان درآمد به‌ازای هر ۰/۰۰۱ ساعت معادل با ۱۰۰۰۰۰۰ ریال (نرخ کاری بهمن‌ماه ۹۹) در نظر بگیریم، نسبت هزینه به درآمد یک دستگاه تا زمان اولین تعمیرات مربوط به یک سوزن انژکتور در برابر میانگین ساعت کاری، مطابق با جدول ۹ ترسیم می‌شود.

با رسم دیاگرام میانگین ساعت کاری در مقابل نسبت هزینه به در آمد به رابطه زیر با $R^2=1$ دست می‌یابیم.

$$y = 16.239x^{-1.003} \quad (۴)$$

این رابطه با توجه به شکل ۸ بیانگر این موضوع است که در صورت عدم انجام سرویس‌های دوره‌ای، به‌ویژه عدم انجام سرویس دوره‌ای ۵۰۰ ساعته خرابی سوزن‌های انژکتور در مدت زمان بسیار پایین و به اصطلاح در زمانی که دستگاه در حال برون‌رفت از حالت آب‌بندی موتور می‌باشد اتفاق می‌افتد.

در این صورت نه‌تنها درآمد حاصل از کارکرد دستگاه پاسخگوی هزینه‌های ثابت نظیر هزینه سوخت، هزینه روغن موتور، هزینه حمل دستگاه، حقوق ماهیانه راننده و سرویس‌کاران نیست، بلکه نسبت هزینه تعویض سوزن‌های انژکتور به درآمد به صورت توان معکوس با میانگین ساعت کاری دستگاه افزایش می‌یابد و این امر به مفهوم کلی به معنی ازدست‌رفتن منابع مالی مالکان این دستگاه‌ها می‌باشد.



شکل ۸: رسم نمودار میانگین ساعت کاری در مقایسه با نسبت هزینه به درآمد

نمونه این پژوهش با تمرکز بر مطالعات گذشته توسط نویسندگانی نظیر Monteiro در مکان‌های مختلف که با مشکلات مرتبط با تکنولوژی نوظهور در کشورهای در حال توسعه مواجه شده‌اند، بررسی و نسبت به انجام یک برنامه سرویس پیشگیرانه اقدام شده است [۲].

دیگر مطالعاتی که در کشور کیپ‌ورد توسط Monteiro در شهر پرایا انجام شده است، نتایج مشابهی در ارتباط با آسیب سیستم سوخت‌رسانی به دلیل عدم استفاده از سوخت نامناسب و سرویس و نگهداری نامناسب در برداشته است که حاوی عدم وجود دانش در این مقوله است [۱، ۲ و ۴].

با پژوهش‌های انجام‌شده توسط Szpytko در سال ۲۰۱۷ در کشور لهستان با جمع‌آوری داده‌ها بر روی ۲۰ دستگاه ماشین‌آلات مجهز به سیستم ریل‌مشترک با ضریب سختی کار از هفت تا ۱۰ بیشترین آسیب متوجه پمپ انژکتورو سوزن‌های انژکتور با درصد ضریب ریسک (PRN) بالا در این دو قطعه، بالا ارزیابی شد [۱۸].

راهبرد نگهداری پیشگیرانه که توسط Chiuan lin در سال ۲۰۱۵ در کشور تایوان انجام شده است، نشان می‌دهد که با یک راهبرد منظم سرویس دوره‌ای میزان هزینه‌ها ۱۵ درصد در ماه کاهش و میزان بهره‌وری ۸۰ درصد افزایش می‌یابد [۱۹].

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده وجود یک سرویس زمان‌بندی‌شده مناسب در سیستم سوخت‌رسانی موتورهای دیزلی ریل‌مشترک امری ضروری و لازم است و نیاز به مراقبت سیستم سوخت‌رسانی در این موتورها نسبت به موتورهای کلاسیک دیزلی که دارای پمپ انژکتورهای ردیفی، آسیابی یا یونیت پمپ‌های برقی هستند، بیشتر است. انجام سرویس ۲۵۰ ساعته متضمن تمیزشدن محفظه اتاقک احتراق از حجم انباشته‌شده کربن در موتورهای دیزلی است که در صورت عدم انجام به‌موقع این سرویس حجم لایه‌های رسوبی کربن حتی با انجام سرویس‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساعته به دلیل افزایش چسبندگی سطحی به مرور زمان به طور کامل از این محفظه زدوده نمی‌شود. شرایط بحرانی‌تر زمانی اتفاق می‌افتد که حجم سیلیس واردشده از طریق مانیفلد ورودی هوا و با گذر از فیلترهای هوای مستعمل افزایش یافته و این ذرات سیلیسی به دلیل خواص سمباده‌ای خود شرایط آیینه‌ای‌شدن دیواره سیلندر موتور را فراهم آورده و موجب افزایش لقی جانبی رینگ پیستون و در ادامه نشتی داخلی محفظه احتراق و کاهش کمپرس موتور می شود. با کاهش کمپرس سیلندر یکی از شرایط روشن‌شدن موتور که رسیدن به دور ۲۵۰ دور بر دقیقه است به کمترین میزان خود می‌رسد و اپراتور با گرفتن طولانی‌مدت کلید استارت، برق ارسالی به مگنت برقی انژکتور را مدت زمان طولانی‌تری جهت روشن‌شدن موتور به سوزن‌های انژکتور وارد می‌کند. به‌عبارت دیگر، چون در سیستم‌های ریل‌مشترک در لحظه استارت بیشترین مقدار سوخت از طریق انژکتورها پاشش می‌شود در صورت وجود کمپرس موتور مدت زمان بیشتری صرف خوانش دور موتور توسط پردازنده موتور از طریق سنسور دور میل‌لنگ شده، به بیان دیگر زمان طولانی‌تری طول می‌کشد تا سوزن‌های انژکتور بیشترین مقدار سوخت را ارسال کنند. صرف‌نظر از استهلاک داخلی جداره سیلندر، افزایش مدت زمان اعمال برق ارسالی به مگنت برقی سوزن‌های انژکتور، گرمایش داخلی مگنت‌های انژکتور را به دنبال دارد که در نتیجه چسبیدگی میل سوزن به دلیل وجود این گرما غیر قابل اجتناب است. در فرایند سرویس ۵۰۰ ساعته موتور، تعویض فیلترهای گازوییل و آبگیر گازوییل در درجه اول اهمیت قرار دارد. سرویس ۵۰۰ ساعته دستگاه باید در زمان مقرر انجام پذیرد. در صورت عدم انجام این سرویس و یا سهل‌انگاری در انجام به‌موقع این سرویس ذرات خورنده موجود در فیلترهای گازوییل پس از عبور از این فیلترها وارد اجزای سیستم سوخت‌رسان شده و لقی مجاز بین نازل انژکتور و بارل انژکتور افزایش یافته و نشتی و چکه‌کردن سوخت از سر نازل با نمایش دود سیاه اگزوز در دور پایین موتور غیر قابل اجتناب است. در صورت عدم تعویض فیلتر آبگیر گازوییل آب موجود در این فیلتر با گوگرد موجود در گازوییل ترکیب و خود عاملی جهت تشکیل اسید سولفوریک رقیق و خورنده در سیستم سوخت‌رسانی می‌شود که با کارکرد طولانی‌مدت موتور و افزایش گرما در سیستم سوخت‌رسانی سیستم‌های ریل‌مشترک به دلیل فشار بالا در این سیستم‌ها که بالغ بر ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ بار است شرایط کاتالیزوری این گرما در تشکیل اسید خورنده تسریع بخشیده می‌شود. در فرایند سرویس ۱۰۰۰ ساعته هرچند که عملیات سرویس مشابه سرویس ۵۰۰ ساعته است. لیکن تمایز بزرگ این نوع سرویس در فیلترهای نفس‌کش تانک گازوییل است که در صورت عدم انجام این سرویس ذرات سیلیسی موجود در هوا وارد تانک گازوییل شده و با عبور از فیلترهای گازوییل شرایط سمباده‌ای‌شدن سوخت فراهم می‌شود و خوردگی نازل انژکتور افزایش می‌یابد. با توجه به جدول‌های ۳ و ۶ مجموع هزینه سرویس‌های سه‌گانه ۵۰ درصد هزینه تعویض یک عدد سوزن انژکتور است و با انجام این سرویس‌ها هزینه تعمیرات مرتبط با سوزن‌های انژکتور کاهش می‌یابد. در صورت عدم انجام سرویس‌های سه‌گانه طول عمر سوزن‌های انژکتور به حدود ۷۰۰ ساعت کاهش یافت و در مقابل با انجام یک سرویس کامل سه‌گانه طول عمر سوزن‌های انژکتور به دامنه بالای ۱۰۰۰۰ ساعت رسید. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که اثرهای مدل سرویس قبل بر روی سرویس‌های بعد مشهود است به این معنی که در صورت عدم انجام سرویس ۲۵۰ ساعته، سرویس ۵۰۰ ساعته قادر به ممانعت از هزینه‌های تحمیلی از عدم انجام این سرویس نیست و یا عدم انجام سرویس ۵۰۰ ساعته متضمن عدم بروز ایراد در سوزن‌های انژکتور به دلیل انجام سرویس ۱۰۰۰ ساعته نمی‌باشد. مهمترین عاملی که سوزن‌های انژکتور سیستم‌های ریل‌مشترک را در معرض خطر قرار می‌دهد وجود مقدار زیاد آب در گازوییل تولیدی شرکت‌های پالایشی کشور می‌باشد که می‌باید تمهیدی جهت آن اندیشیده شود و این عامل زمانی بغرنج‌تر می‌شود که جایگاه‌های نگهداری سوخت، مخازن خود را به‌خوبی در برابر آب‌های زیرزمینی و یا حتی باران‌های فصلی و موسمی محافظت ننموده‌اند. بنابراین نسبت به تخلیه آب جمع‌شده در فیلتر آبگیر گازوییل نباید بی‌اعتنا بود و انجام این عمل در هر ۵۰ ساعت کاری موتور و تخلیه رسوبات در سرویس‌های سه‌گانه توصیه می‌شود. بازکردن تانک گازوییل در هر ۵۰۰۰ ساعت کاری و تخلیه رسوب‌ها، زنگ‌زدگی‌ها و کنترل خوردگی‌های قطعات دوار و رفت و برگشتی در سیستم سوخت‌رسانی در درجه اول اهمیت قرار دارند. جهت ورود هوای تمیز به داخل تانک گازوییل، باید تمهیدهای خاص و لازم اندیشیده شود. استفاده از فیلترهای نفس‌کش مرغوب با محفظه‌های ریز میکرونی جهت ممانعت از ورود ذرات ریز سیلیسی و

گرد و غبار معلق در هوا و تعویض به‌موقع در زمان انجام سرویس نباید از نظر دور نگاه داشته شود.

به‌عنوان پیشنهادها، در پایان روز کاری دستگاه می‌باید نسبت به پرکردن مخزن گازوییل اقدام شود. در صورت مصرف سوخت و پایین‌رفتن سطح سوخت درون تانک گازوییل به دلیل مکش پمپ انژکتور یک فضای خالی ایجاد می‌شود که این فضای خالی توسط هوا پر می‌شود. وجود هوا زمانی بغرنج است که بخار آب به‌ویژه در مناطق شرجی به ذرات هوا چسبیده و در زمان توقف ماشین‌آلات از طریق نفس‌کش تانک گازوییل وارد مخزن سوخت می‌شوند و در شب‌هنگام به دلیل کاهش دمای هوا، بخارهای آب طی فرایند میعان تبدیل به مایع شده و به دلیل سنگین‌بودن آب نسبت به گازوییل در کف مخزن سوخت ته‌نشین می‌شود. در زمان روشن‌شدن موتور، آب ته‌نشین‌شده از کف مخزن توسط پمپ گازوییل مکیده شده و وارد مدار سیستم سوخت‌رسانی می‌شود که این خود موجبات خوردگی سیستم مدار سوخت‌رسان را فراهم می‌آورد. جهت نگهداری سوخت در مناطق دور از جایگاه‌های عرضه سوخت پیشنهاد می‌شود که سوخت در مخازنی نگهداری شود که دارای شیر تخلیه از کف بوده و هر صبحگاه این شیر تخلیه باز شده و آب و رسوب‌های گازوییل تخلیه شود. با توجه به تولید گازوییل با استاندارد یورو ۵ و ۶ سعی شود از این نمونه گازوییل جهت موتورهای مجهز به سیستم ریل‌مشترک استفاده شود. وجود دو عدد فیلتر گازوییل اصلی امکان ورود رسوب‌ها و مواد خورنده به سوزن‌های انژکتور را کاهش می‌دهد.

فهرست علایم

میانگین ساعت کاری، hr	x
نسبت هزینه به درآمد	y

مراجع و منابع

[1] T.C. Monteiro and J. Szypytko, Selected problems of control the urban transport system, Cape Verde Case Study. Logistyka, Vol. 4, pp. 4977-4983, 2015.

[2] T.C. Monteiro and Szypytko, Vehicle emerging technologies from maintenance perspective. 3rd IFAC AMEST Workshop on Maintenance Technologies for Performance Enhancement, Biarritz, France19-21 October 2016.

[3] Denso Corporation, Service Manual: Common Rail System (CRS).Diesel Injection Pump, 2007

[4] L. Fedel, Methodologies and technics for advanced maintenance. Springer, London, 2011.

[5] R. Smith and R.K. Keith, Rules of thumb for maintenance and reliability engineers. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2008.

[6] W. Chen Du X, Sequential Optimization and Reliability Assessment for Probabilistic design .ASME Journal of Mechanical Design,Vol.126,No. 2,pp. 225-233, 2004.

[7] T.C. Monteiro and J. Szypytko, Electric fuel injection engine reliability problems is developing countries, Cape Veda case study. Journal of KNOES, Power Train and Transport, Vol.23, No. 4, pp. 351-358, 2016.

[8] XG. Tan, HL. Sang and T. Qiu, The impact of common rail system's control parameters on the performance of high-power diesel. Energy Procedia, Vol. 16, pp. 2067–2072, 2012.

[9] AE. Catania, A .Ferrari and M .Manno, experimental analysis of transient flow phenomena in multi-jet common- rail systems. SAE Technical Paper 2005-24-048.

[10] W. Chatlatanagulchai, T. Aroonsrisopon and K .Wannatong, robust common-rail pressure control for a diesel dual- fuel engine using QFT-based controller. SAE Technical Paper 2009-01-1799.

[11] H. Chen, X .Gong, QF. Liu, et al. Triple-step method to design nonlinear controller for rail pressure of gasoline direct injection engines. IET Control Theory and Application, Vol. 8, pp. 948–959, 2014.

[12] F.G. Chmela. And G.C .Orthaber, Rate of heat release prediction for a direct injection diesel engine based on purely mixing controlled combustion. SAE 99010186, 1999.

[13] Service Manual Volvo. Printed by Volvo Corporation, 2000.

[14] Service Manual Denso, printed by Denso Corporation, 2000.

[15] J.B. Heywood., A text book on Internal Combustion engine fundamentals. McGraw-Hill International Edition, 1988.

[16] http://www.opap.ir/single.php?pid=250

[17] R.Peck, C.Olsen and J.Devore. Introduction to statistics and data analysis. Third edition. Thomson Higher Education.2008.

[18] T.C. Monteiro and J. Szypytko, Maintenance strategy for vehicle with electronic fuel Injection System. Journal of KONBIN, Vol. 42, pp.379-388, 2017.

[19] L. Chin Chiuan, L.Chang and S. Rui, Case Study on preventive maintenance strategy off-highway truck. Scholar Journal of Engineering and Technology, Vol. 3, No. 2A, pp.112-116, 2015.

[20] Service manual Bumag. Printed by Bumag Corporation, 2010.

The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineresearch.ir
DOI:10.22034/ER.2022.697912

Investigation of a preventive service model of service and maintenance for common rail diesel engines

M. Forozandehnasab*

Department of Agricultural Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran, mforoozande@tvu.ac.ir

**Corresponding Author*

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 03 November 2021
Accepted: 27 July 2022

Keywords:
Breakdown Maintenance
Common rail
Injector needles
Periodic service
Preventive Maintenance

ABSTRACT

In this applied research, using the breakdown maintenance of the machine engine, a procedure maintenance and preventive maintenance on the fuel system, which was the main cause of the engine breakdown of these machines, was investigated. A case study was conducted on the engine of 80 Bumag BW211D rollers produced by Bumag factory, equipped with Common Rail fueling system, which were working in road construction projects in Fars, Bushehr, Hormozgan, Kohkiluyeh and Boyr Ahmad provinces. First, the data on the amount of damage and imposed costs were collected, and by designing eight service models on the fueling system, which consisted of performing and not performing three periodic services of 250, 500, and 1000 hours on the engine and the fueling system, the life of the injectors of these devices were analyzed completely randomly through the F test with an error level of 1% and the significant effect of the services on the lifetime of the injector needles was observed. Each other and on the life of the injector needles was significant. The significance of the effect of triple services in reducing fuel system costs and increasing the life of injector needles based on engine operating hours covered a low range of 700 hours in case of no service to a high range of 10,000 hours in case of full service. By examining the working hours compared to the increase in the cost-to-income ratio of the machine in case of no service, the inverse relationship between cost and income was drawn with R^2=1. At the end, the suggested solutions to increase the life of the injector needles such as using water separator filters and tank drainage from water and sediments were suggested.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.