ارزیابی سرویس‌های دوره‌ای در طول عمر سوزن‌های انژکتور سیستم common rail دیزلی

مجتبی فروزنده نسب

دپارتمان مکانیک ماشین‌های کشاورزی،آموزشکده فنی و کشاورزی فسا، دانشگاه فنی و حرفه ای استان فارس، ایران
(MOJTABAFOROZANDEH@GMAIL.COM)

چکیده

در این پژوهش میدانی که به مدت ۵ سال بر روی ۸۰ دستگاه از لودرهای مدل l90f,l120f مجهز به سیستم سوخت‌رسانی کامان ریل، ساخت شرکت کارخانه‌های تولید ماشین‌های راه‌سازی ولوو انجام شد، در ابتدا میزان خسارت و هزینه‌های تحمیلی به مالکان دستگاه‌ها بررسی شد و درنهایت با طراحی سه مدل سرویس تحت عنوان‌های سرویس‌های دوره‌ای، اثر سه سرویس دوره‌ای ۱۰۰ ،۲۵۰ و ۵۰۰ ساعته بر روی طول عمر سوزن‌های انژکتور این دستگاه‌ها ارزیابی شد که این طول عمر بر اساس ساعت کارکرد موتور از یک دامنه ۷۰۰ ساعته تا ۵۰۰۰ ساعت را پوشش می‌داد. درنهایت پس از بررسی خرابی‌های سوزن‌های انژکتور بهترین و باصرفه‌ترین راه‌حل‌ها جهت افزایش طول عمر سوزن‌های انژکتور نظیر جداسازی آب از گازوییل با استفاده از فیلترهای دوگانه آبگیر گازوییل، پر کردن مخزن سوخت در پایان روز کاری، تعویض فیلتر هواکش تانک گازوییل، استفاده از گازوییل‌های استاندارد یورو ۵ و۶ پیشنهاد گردید.

واژگان کلیدی: *سوخت‌رسانی، سرویس دوره‌ای، کامان ریل، سوزن انژکتور، طول عمر*

نویسنده مسئول: MOJTABAFOROZANDEH@GMAIL.COM

ارزیابی سرویس‌های دوره‌ای در طول عمر سوزن‌های انژکتور سیستم common rail دیزلی

مقدمه

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 مردم می‌گردد که این امر نه تنها باعث بروز انواع بیماری‌ها می‌شود بلکه منابع عمده نفت و گاز و کارکرد نیروی انسانی را به هدر داده و باعث افزایش روزافزون مصرف سوخت می‌گردد. لذا طبق استاندارد آلایندگی اتحادیه اروپا کارخانه‌های تولید موتور موظف به رعایت این خط‌مشی و استفاده از موتورهای دیزلی شدند که در حیطه این استاندارد قرار گیرند.(جدول شماره ۱)[۱۴].

بنابراین کارخانه‌های تولید موتور جهت تبعیت از این استانداردها و عقب نماندن از قافله پرسود تولید موتورهای دیزلی شروع به ابداع و نصب موتورهایی با سیستم سوخت‌رسانی فشار بالا تحت عنوان سیستم‌های سوخت رسان کامان ریل[1] نمودند. این نوع موتورها به‌طور عمده بر روی دیزل ژنراتورها و ماشین‌آلات راه‌سازی و معدنی و کشاورزی نصب گردیدند تا هم میزان مصرف سوخت و هم میزان آلایندگی را کاهش دهند و این درحالی بود که قدرت این موتورها افزایش داده شد. باتوجه به سیل عظیم ورود ماشین‌آلات راه‌سازی و معدنی و دیزل ژنراتورها به ایران از سال ۲۰۰۸ میلادی، متأسفانه علیرغم جواب دهی این موتورها در کشورهای اروپایی در ایران مشکل‌های عدیده‌ای جهت سرمایه‌گذاران و صاحبان این دستگاه‌ها به وجود آمد که باعث بروز نارضایتی و روی برگردانی این قبیل مشتری‌ها و حتی امتناع از خرید دستگاه‌هایی شد که حامل این نوع سیستم سوخت‌رسانی بودند.

جدول شماره۱- استاندارد آلایندگی اتحادیه اروپا کارخانه‌های تولید موتور

EU Emission Standards for HD Diesel Engines, g/kWh (smoke in m^{-1})

ردیف	تاریخ	Test cycle	CO	HC	NO_x	PM	دود
Euro I	1992, <85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992,> 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	اکتبر ۱۹۹۶		4.0	1.1	7.0	0.25	
	اکتبر ۱۹۹۸		4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	*October 1999 EEVs only*	*ESC & ELR*	*1.0*	*0.25*	*2.0*	*0.02*	*0.15*
	اکتبر ۲۰۰۰	ESC & ELR	2.1	0.66	5.0	0.10 0.13*	0.8
Euro IV	اکتبر ۲۰۰۵		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	اکتبر ۲۰۰۸		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
Euro VI	ژانویه ۲۰۱۳		1.5	0.13	0.4	0.01	

در کشور چین تا سال ۲۰۲۰ میلادی نیاز به موتورهای سبک حدود ۲۵×۱۰^{۶} 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 به‌طوری‌که در سال ۲۰۱۶ تعداد موتورها در کشور چین به $۲/۸\times۱۰^{۶}$ رسیده است. مهم‌ترین نیاز کمپانی‌های سازنده موتور و فروشندگان مسلماً قیمت پایین، کاهش آلایندگی و میزان

1 Common rail -

کارآیی بالا هست.[۳] در سال ۲۰۰۹ میلادی وسایل نقلیه با موتورهای سبک به‌طور متوسط ۶۰ درصد میزان NO_X و ۹۰ درصد کل ذرات معلق در هوا را به خود اختصاص داده‌اند [۴].

با توجه به این موضوع در حال حاضر اکثر کارخانه‌های تولید موتورهای دیزل ملزم به رعایت استاندارد آلایندگی یوروو۶[۲] می¬باشند' بنابراین تولیدکنندگان ماشین‌های دیزلی سنگین مانند شرکت ولوو[۳] در سفارش موتورهای خود به شرکت سازند موتور دویتس خواستار تولید موتورهایی با تکنولوژی پیشرفته سوخت[۴] شده است. در این نوع موتور شرکت طراح سیستم‌های سوخت‌رسانی بوش[۵] اقدام به طراحی و نصب کامان ریل بر روی موتورهای محصولات شرکت ولوو نمود، که نمونه این محصولات به تعداد فراوان وارد ایران شده است از نمونه‌های شاخص این محصولات را می‌توان لودرهای مونتاژ شده شرکت کارخانه‌های تولید ماشین‌آلات سنگین هپکو دانست که دو برند لودرهای L90F و L120F به بازار دیزل ایران معرفی نموده است. همگام با شرکت بوش دیگر رقبا نظیر شرکت دنسو[۶] و همچنین دلفی[۷] از این بازار عقب نمانده و خود را در بازار دیزل ایران پرمخاطب نشان داده‌اند.

در این پژوهش با توجه به سهم بازار کمپانی‌های مطرح اروپایی و ژاپنی در بازار ایران سعی شده است که فارغ از نوع محصولات بر اساس گستردگی نوع محصولات فعال در زمینه راه‌سازی و دیزل ژنراتورها شرکت تولید ماشین-آلات راه‌سازی ولوو به‌عنوان نمونه با دو محصول لودرهای L90F وL120F موردبررسی و ارزیابی قرار گیرد و بهترین راه‌حل پیشنهادی جهت افزایش طول عمر سوزن‌های انژکتور این دستگاه‌ها ارائه گردد.

سیستم کامان ریل

در سیستم کامان ریل ماشین‌های دیزلی' سوخت از درون تانک گازوییل توسط پمپ تغذیه مکش می¬شود. این سوخت پس از عبور از سنسور سطح سوخت گازوییل وارد پمپ دستی یا به عبارتی پایه آبگیر سوخت می¬شود. در این قسمت آب گازوییل توسط فیلتر اولیه گازوییل یا همان فیلتر آبگیر گازوییل گرفته شده و سوخت سبک‌تر و بدون آب می‌شود. پس از خروج آب از گازوییل، سوخت توسط پمپ تغذیه به فیلتر ثانویه سوخت تحویل داده می¬شود که در این مکان املاح و رسوب‌ها از سوخت جدا شده و سوخت تحویل شیر تنظیم سوخت[۸] می‌گردد. سوخت در این مکان مقدار بندی شده و تحویل پمپ‌های فشار قوی می‌گردد. پمپ‌های فشار قوی که توسط دایره‌های خارج از مرکز میل سوپاپ دارای حرکت رفت و برگشتی می¬باشند سوخت را فشرده سازی کرده و تحویل ریل سوخت می‌دهند. فشار در ناحیه ریل سوخت بالغ بر ۲۰۰ الی ۱۶۰۰ بار می‌گردد.

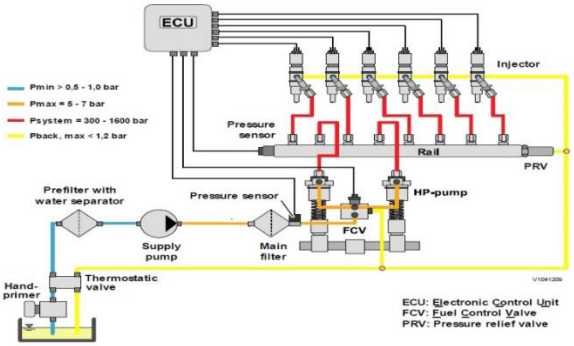
در ابتدا وانتهای ریل سوخت یک عدد سنسور فشار سوخت و یک عدد فشار شکن سوخت تعبیه شده است که سنسور سوخت فشار درون ریل را خوانده وآن را به سیستم کنترل موتور[۹] ارسال می‌نماید تا این اطلاعات توسط سیستم کنترل هوشمند سوخت جهت باز و بسته نمودن شیرتنظیم سوخت و به منظور کنترل فشار ریل سوخت مورد استفاده قرار گیرد. سوپاپ فشارشکن سوخت جهت دشارژ اضافه بر نیاز فشار سوخت به تانک گازوییل در نظر گرفته شده است.

---

2 Euro vı
3 volvo
4 V-act
5 boush
6 denso
7 delphe
8 Fuel control valve(fcv)
9 Engine control unit(ECU)

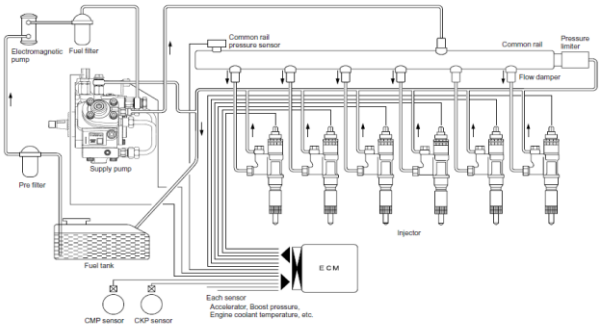
پس‌ازاینکه فشار سوخت به حد متعارفی خود رسید لوله‌های سوخت رسان به انژکتورها که حاوی سوپاپ‌های یک‌طرفه می¬باشند باز شده و سوخت در اختیار انژکتورها قرار می‌گیرد. باز و بسته شدن انژکتورها و میزان تزریق آن‌ها توسط پالس-های موج‌کوتاه که از طرف سیستم پردازش موتور ارسال می‌شوند انجام می‌گیرد.

در صورت ارسال پالس‌های موج‌کوتاه [۱۰]سوزن‌های انژکتور به ترتیب احتراق[۱۱] بازشده و سوخت به داخل محفظه احتراق پاشیده می¬شود و در صورت عدم ارسال پالس‌های موج‌کوتاه شیر سلونوییدی مستقر بر روی انژکتور بسته شده و مانع از عدم تزریق سوخت به داخل محفظه احتراق می‌گردد. اضافی سوختی که درون انژکتورها هست جهت خنک کاری میل سوخت و نازل مصرف شده و سپس به درون تانک سوخت بازمی‌گردد. مقدار این سوخت برگشتی نمایانگر سلامت ویا خرابی سوزن‌های انژکتور هست. در مورد سیستم سوخت‌رسانی طرح بوش[۱۲] بر اساس شکل شماره ۱ مکانیزم عملکرد توضیح داده شد [۱۵].



شکل شماره ۱

در دیگر کمپانی‌های تولید موتور مکانیزم سیستم کامان ریل به همین ترتیب است با این تفاوت که پمپ تولید فشار سوخت به صورت دوار با المان‌های بادامکی طراحی شده است. (مطابق با شرکت دنسو[۱۳] بر اساس شکل شماره ۲) [۱۴].



شکل شماره ۲

10- pwm
11 Firing order
12 boush
13 DENSO

همان‌طور که قبلاً ذکر شد فشار درون ریل سوخت در سیستم‌های کامان ریل بالغ بر۲۰۰۰ بار هست و این یعنی نیاز به قطعات مقاوم در برابر فشار و گرما. جهت نیل به کاهش آلایندگی این امر حاصل نمی¬شود مگر تأمین احتراق مناسب جهت پودر کردن حداکثری ذرات گازوییل. بنابراین دو نکته در رابطه با این نمونه سیستم مدنظر است:

الف- استحکام و مقاومت قطعات در برابر فشاروگرما. در صورت بروز نشتی در سیستم کامان ریل شاهد مشکلات بزرگ همچون عدم روشن شدن دستگاه و بالاخص عدم زیر بار رفتن دستگاه می‌باشیم. با توجه به اینکه سیستم‌های کنترلی ناظر بر روی سیستم کامان ریل الکترونیک می¬باشند مسلم است که بروز هرگونه ایرادی در این سیستم یعنی عدم تزریق مناسب سوخت توسط انژکتورها.

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

با توجه به کثرت ورود ماشین‌آلات مجهز به موتورهای کامان ریل توسط شرکت تولید ماشین‌آلات سنگین راه‌سازی هپکو جامعه آماری محصولات خروجی این کارخانه انتخاب شدند که از سال ۲۰۰۷ میلادی با مشکل‌های متعدد در زمینه عملکردی این نمونه از موتورها مواجه شدند. نمونه آماری در جنوب ایران ۸۰ دستگاه لودر فعال در زمینه راه‌سازی و عمرانی و معدنی در نظر گرفته شد که پراکندگی این دستگاه‌ها از شمال استان فارس آغاز و نهایتاً به استان‌های هرمزگان و بوشهر ختم می‌شدند. جدول شماره ۲ بیشترین آمار خسارت و خرابی موتورهای کامان ریل در استان‌های هرمزگان و بوشهر را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۲.خسارات وارده به قطعات سیستم سوخت‌رسانی کامان ریل

عیب / منطقه	تعداد انژکتور	ریگلاتور سوخت	ریل سوخت	پمپ تغذیه	پمپ فشار قوی	تعداد دستگاه	دفعات خسارت
کهکیلویه و بویر احمد	۶۰	۱۰	۰	۵	۰	۱۰	۶
بوشهر	۱۲۰	۲۰	۱۰	۲۵	۲	۳۰	۴
هرمزگان	۱۸۰	۲۵	۱۵	۳۰	۱۰	۳۰	۶
فارس	۴۰	۶	۰	۶	۰	۱۰	۴
مجموع	۴۰۰	۶۱	۲۵	۶۶	۱۲	۸۰	۱۲

با توجه به کثرت خرابی سوزن‌های انژکتورتمامی سوزن‌های انژکتور مورد آزمایش قرار گرفتند و جدول شماره ۳ به‌عنوان خروجی این آزمایش از خسارت‌های وارده به سوزن‌های انژکتور ترسیم گردید.

جدول شماره ۳. خسارت وارده به قطعات داخلی انژکتور

عیب / منطقه	بوش سوزن	میل سوزن	نازل سوزن	ساچمه	تعداد دستگاه	دفعات خسارت
کهکیلویه و بویر احمد	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

جدول شماره ۴-هزینه تعمیر یا تعویض یک عدد سوزن انژکتور

شرح تعمیرات	مبلغ(ریال)
هزینه تعمیرو سرویس یک عدد سوزن انژکتور	۱۰۰۰۰۰۰
هزینه تعویض یک عدد سوزن انژکتور	۳۶۰۰۰۰
هزینه ایاب و ذهاب مکانیک و دستمزد به ازای یک عدد سوزن انژکتوربه‌طور متوسط	۳۰۰۰۰۰۰
قیمت یک عدد سوزن انژکتور	۲۰۰۰۰۰۰۰
قیمت متوسط قطعات داخلی انژکتور	۵۰۰۰۰۰۰
مجموع هزینه جهت تعویض هر عدد سوزن انژکتور	۲۳۳۶۰۰۰۰
مجموع هزینه جهت تعمیر هر عدد سوزن انژکتور	۹۳۶۰۰۰۰

طبق اطلاعات کلی جمع آوری شده هزینه تعمیرات مربوط به یک دستگاه موتور کامان ریل با احتساب قطعات و دستمزد تعمیرات و ایاب و ذهاب مکانیک‌ها و بر اساس تعمیر و سرویس سوزن‌های انژکتور بدون توجه به تعویض قطعات جانبی دیگر که در شرح جدول شماره ۳ به آن اشاره گردید' به‌طور متوسط و بر اساس نرخ بهمن‌ماه ۱۳۹۷ به شرح جدول شماره ۴ هست.

با فرض اینکه تعداد ۴۰۰ سوزن فهرست شده در جدول شماره ۴ در پایین‌ترین سطح همه تعمیری باشند هزینه‌ای بالغ بر ۳۷۴۴۰۰۰۰۰۰ ریال متوجه مالکان این دستگاه‌ها شده است که با فرض نمونه آماری ۸۰ دستگاه سهم هر مالک از این هزینه تعمیری بالغ بر ۴۶۸۰۰۰۰۰ریال هست .

اگر در بحرانی‌ترین حالت فرض کنیم که تمامی ۴۰۰ سوزن تعویض شده است هزینه‌ای بالغ بر ۹۳۴۴۰۰۰۰۰۰ ریال از طریق مالکان این دستگاه‌ها پرداخت گردیده است که هر دستگاه مبلغی برابر با ۱۱۶۸۰۰۰۰۰ریال را به خود اختصاص داده است و این هزینه‌ها فقط در هنگام یک مرحله تعمیر خودنمایی کرده‌اند و در صورت تکرار خسارت این هزینه‌ها مجدداً آشکار می‌شوند.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی انجام سرویس‌های دوره‌ای بر روی افزایش طول عمر سوزن‌های انژکتور فرض گردید که یا انجام سرویس‌های دوره‌ای می‌تواند در طول عمر سوزن‌ها مؤثر واقع گردد یا اینکه نیاز به سرویس دوره‌ای در یک مدت‌زمان خاص نیست و تعویض یک فیلتر گازوییل کافی است. بنابراین یک مدل سرویس دوره‌ای بهنام‌های سرویس دوره‌ای ۱۰۰'۲۵۰ و ۵۰۰ ساعته به صورت تصادفی با تکرار ۱۰ مرتبه جهت هر سرویس و در ۸ مدل آزمایش بر روی این دستگاه‌ها در مناطق مختلف جغرافیایی انجام شد تا اثر این سرویس‌ها بر روی طول عمر سوزن‌های انژکتور بررسی گردد. جدول شماره۵ جهت سرویس ۱۰۰ ' جدول شماره ۶ جهت سرویس ۲۵۰ و جدول شماره ۷ جهت سرویس ۵۰۰ در نظر گرفته شد. در تمامی این مدل‌های آزمایشی اثر دو فاکتور گازوییل و روغن موتور یکسان در نظر گرفته شد. از رانندگان و سرویس‌کارانی استفاده گردید که آموزش اپراتوری کامل دیده بودند و در زمان سرویس دستگاه را متوقف و نسبت به انجام مدل‌های آزمایشی اقدام می‌نمودند.کیفیت انجام این سرویس‌ها با استفاده از گازوییلی در نظر گرفته شد که از یک

پمپ سوخت تهیه و در اختیار سرویس‌کاران قرار گرفت تا به دلیل پراکندگی این دستگاه‌ها تمامی آن‌ها از یک گازوییل یکسان استفاده نمایند. در ضمن فیلترهای گازوییل و روغن نیز به‌طور مشابه از شرکت مان[14] تهیه و بر روی موتور این لودرها نصب شد.

جدول شماره ۵- سرویس ۱۰۰ 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 شماره ۶- 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
۷	تعویض فیلتر آبگیر گازوییل
۸	تعویض فیلتر گازوییل
۹	تعویض فیلتر هواکش باک گازوییل

جدول شماره ۷- 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

14 -man

این سرویس‌های دوره‌ای به صورت مدل‌های آزمایشی ۸گانه به ترتیب بر روی لودرهای ولوو سری F و به مدت ۵ سال انجام شد و زمان توقف آزمایش‌ها بروز اولین عیب و خسارت از ناحیه سوزن‌های انژکتور در نظر گرفته شد و پس‌ازاین مرحله آزمایش متوقف گردید.

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

سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته	سرویس ۱۰۰ساعته
✓	✓	✓[15]

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

سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته	سرویس ۱۰۰ساعته
×[16]	✓	✓

آزمایش مدل C- انتخاب ۱۰ دستگاه لودر و کیفیت سرویس ۳ گانه

سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته	سرویس ۱۰۰ساعته
✓	×	✓

آزمایش مدل D- انتخاب ۱۰ دستگاه لودر و کیفیت سرویس ۳ گانه

سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته	سرویس ۱۰۰ساعته
✓	✓	×

آزمایش مدل E- انتخاب ۱۰ دستگاه لودر و کیفیت سرویس ۳ گانه

سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته	سرویس ۱۰۰ساعته
✓	×	×

آزمایش مدل F- انتخاب ۱۰ دستگاه لودر و کیفیت سرویس ۳ گانه

سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته	سرویس ۱۰۰ساعته
×	✓	×

آزمایش مدل G- انتخاب ۱۰ دستگاه لودر و کیفیت سرویس ۳ گانه

سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته	سرویس ۱۰۰ساعته
×	×	✓

آزمایش مدل H- انتخاب ۱۰ دستگاه لودر و کیفیت سرویس ۳ گانه

سرویس ۵۰۰ ساعته	سرویس ۲۵۰ ساعته	سرویس ۱۰۰ساعته

۱۵ علامت ✓به معنی انجام آزمایش

۱۶ علامت× به معنی عدم انجام آزماش

×	×	×

یافته‌ها

نتایج این مدل‌های آزمایشی بر اساس طول عمر سوزن‌های انژکتور برحسب هزارم ساعت به صورت جدول شماره ۸ استخراج گردید و مجموع مربعات کل[17] ،مجموع مربعات آزمایش[18] و مجموع مربعات خطا [19]محاسبه و در جدول شماره ۹ ثبت گردید.

نتایج از طریق آزمون F بر اساس جدول تجزیه واریانس در مدل‌های کاملاً تصادفی مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفت تا معنی‌دار بودن یا بی‌معنا بودن این آزمایش‌ها بررسی گردد.

جدول شماره ۸- مدل آزمایشی سرویس‌های دوره‌ای(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 شماره۹-تجزیه واریانس داده‌ها

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

Fجدول $F_{(7,75)}$ در سطح ۵ درصد برابر با ۳,۳ هست و در سطح ۱درصد برابر با ۵,۸ است و این امر نشان‌دهنده آن است که آزمون بسیار معنی‌دار است.

17 SST
18 SSt
19 SSe

حال این سؤال پیش میاید که آیا مدل‌های آزمایشی سرویس با یکدیگر تفاوت داشته‌اند. جهت حصول و بررسی این امر از روش آزمون مقایسه LSD استفاده می کنیم.

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

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

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

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

با توجه به آزمون مقایسه میانگین LSD می‌توان دریافت که آزمون‌های B و D بدون معنا می¬باشند ولی آزمون‌های C ’F ’E ’G وH معنادار می¬باشند. با انجام آزمایش‌های فوق مشخص گردید که سرویس‌های ۳ گانه در صورت انجام به‌موقع؛ افزایش طول عمر سوزن‌های انژکتور را به دنبال دارند.

آزمایش مدل B به صورت معنادار تغییر نکرده است و این امر از دوام و پایداری سرویس ۲۵۰ ساعته حکایت دارد که می‌تواند در صورت عدم انجام سرویس ۵۰۰ ساعته ماندگاری ’اثر و اهمیت خود را نشان دهد.

آزمایش مدل D نیز به صورت معنادار تغییر نکرده است و این امر نشان‌دهنده این موضوع است که عدم تعویض فیلتر روغن و روغن موتور اثر معناداری بر روی سوزن‌های انژکتور ندارد به این شرط که سرویس ۲۵۰ ساعته حتماً انجام‌شده باشد.

آزمایش مدل F به صورت معنادار ولی با شدت کمی تغییر کرده است و این امر اثر عدم انجام هم‌زمان سرویس‌های ۱۰۰ و ۵۰۰ ساعته را نشان می‌دهد که در صورت عدم انجام آن‌ها خرابی سوزن‌های انژکتور حتمی است ولی اثر مدت‌دار آن به دلیل انجام سرویس ۲۵۰ ساعته نسبت به مدل‌های معنادار دیگر طولانی‌تر است.

نقاط آزمایشی H,G,E,C دچار کاهش عمر سیستم سوخت‌رسانی موتور هستند. نقاط C و E از بین این چهار نقطه دارای کاهش جدی عمر می¬باشند که در این نقاط عدم انجام سرویس ۲۵۰ ساعته را داریم که مبین این موضوع است که در صورت عدم تعویض فیلترهای آبگیر گازوییل و فیلتر اصلی گازوییل طول عمر سیستم سوخت‌رسانی کامان ریل به‌سرعت دچار کاهش می¬شود. نقاط H وG دارای کاهش شدیدتر و جدی‌تری ازنظر طول عمر قطعات نسبت به دونقطه قبل می¬باشند که عدم انجام سرویس‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ ساعته علت اصلی این کاهش هست.

نکته‌ای که در اینجا قابل‌ذکر است شاهد این موضوع است که هرچند سرویس‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ ساعته مشابه یکدیگرند ولی عدم انجام سرویس ۲۵۰ ساعته به‌مراتب زیان‌بارتر از سرویس ۵۰۰ 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 سلیسی در زمان کارکرد موتور و به دلیل پایین رفتن سطح سوخت به‌طرف مخزن کشیده می‌شوند و درصورتی‌که فیلترهای نفس‌کش تمیز نباشند و یا اینکه تعویض نشده باشند این

ذرات وارد مخزن شده و پس از عبور از فیلترهای نامرغوب و دفرمه شده وارد سیستم سوخت‌رسانی شده و خسارت‌های جبران‌ناپذیری به انژکتورها وارد می‌کنند.

عدم انجام به‌موقع سرویس ۵۰۰ ساعته در طول عمر کاری موتوربیانگر این موضوع است که سرویس ۵۰۰ ساعته دارای اهمیت ساختاری سرویس ۲۵۰ ساعته است ولی اثرهای عدم انجام آن به‌مراتب کمتر از سرویس ۲۵۰ ساعته است که با توجه به مشابهت‌های دستوری انجام این دو سرویس می‌توان عدم تمیز شدن و تخلیه آب داخل مخزن گازوییل را دلیل اصلی این عیوب دانست.

سرویس ۱۰۰ ساعته هرچند در عمر کاری موتور مفید است ولی اثرات کاهشی آن زمانی نمودار می¬شود که سرویس‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ یا هر دو انجام نشوند یا اینکه یکی از آن‌ها انجام نگردد.

اثر سرویس ۱۰۰ ساعته را می‌توان درحجم کربن‌گیری اتاقک احتراق جستجو کرد. وجود کربن در اتاقک احتراق باعث گرفتگی نوک سوزن‌های انژکتور شده که این کربن‌ها در زمان تراکم پیستون و در صورت دفرمه شده فنرهای سوزن‌های انژکتور از مجرای سوزن‌ها عبور کرده و پس از سایش میل سوزن‌ها و گاید سوزن‌ها و از آب‌بندی خارج نمودن این نقاط وارد مخزن سوخت شده و امکان خوردگی بیشتر قطعات را برآورده می‌کنند.

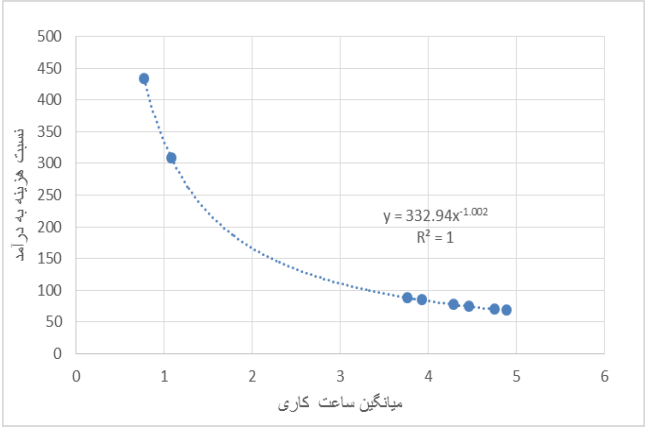
جدول شماره۱۰- نسبت هزینه به درآمد در مقایسه با میانگین ساعت کاری

درآمد دستگاه تا بروز اولین خرابی سوزن‌های انژکتوربرحسب ریال	نسبت هزینه به درآمد دستگاه	میانگین ساعت کاری تا بروز اولین خرابی سوزن‌های انژکتور برحسب هزارم ساعت
۱۷۱۳۲۵۰	۶۸	۴,۸۹۵
۱۵۶۲۷۵۰	۷۴	۴,۴۶۵
۱۳۷۵۵۰۰	۸۵	۳,۹۳
۱۶۶۵۶۵۰	۷۰	۴,۷۵۹
۱۳۱۶۰۰۰	۸۸	۳,۷۶
۱۵۰۱۵۰۰	۷۷	۴,۲۹
۳۷۸۰۰۰	۳۰۸	۱,۰۸
۲۶۹۵۰۰	۴۳۳	۰,۷۷

با توجه به داده‌های تعمیراتی جدول شماره ۵ چنانچه میزان درآمد به ازای هر ۰,۰۰۱ ساعت معادل با ۳۵۰۰۰۰ ریال (نرخ کاری بهمن ۹۷)در نظر بگیریم نسبت هزینه به درآمد یک دستگاه تا زمان اولین تعمیرات مربوط به سوزن‌های انژکتور در برابر میانگین ساعت کاری مطابق با جدول شماره ۱۰ ترسیم می¬شود.

با رسم دیاگرام میانگین ساعت کاری در مقابل نسبت هزینه به در آمد به رابطه زیر دست می‌یابیم.

$$y = 332.94x^{-1.002} \quad (۴)$$



نمودار شماره۱–رسم نمودار میانگین ساعت کاری در مقایسه با نسبت هزینه به درآمد

این رابطه با توجه به نمودار شماره۱ بیانگر این موضوع است که در صورت عدم انجام سرویس‌های دوره‌ای بخصوص عدم انجام سرویس دوره‌ای ۲۵۰ ساعته خرابی سوزن‌های انژکتور در مدت‌زمان بسیار پایین و به اصطلاح در زمانی که دستگاه در حال برون رفت از حال آب‌بندی موتور هست اتفاق می‌افتد.

در این صورت نه تنها 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 شاهد به از دست رفتن منابع مالی مالکان این دستگاه‌ها هست.

نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده وجود یک سرویس زمان‌بندی‌شده در سیستم سوخ رسانی موتورهای کامان ریل امری ضروری و لازم است. تعویض فیلترهای گازوییل و آبگیر گازوییل در درجه اول اهمیت قرار دارد.

سرویس ۲۵۰ ساعته دستگاه امری ضروری و لازم است و سهل‌انگاری در انجام این سرویس به ضمانت اینکه سرویس ۵۰۰ ساعته در راه است نمی‌تواند امری منطقی و معقولانه باشد.

تخلیه آب جمع شده در فیلتر آبگیر گازوییل امری لازم است که انجام این عمل در هر ۵۰ ساعت کاری موتور توصیه می‌گردد.

باز کردن تانک گازوییل در هر ۵۰۰۰ ساعت کاری و تخلیه رسوب‌ها و زنگ‌زدگی‌ها و کنترل خوردگی‌های قطعات درگیر در سیستم سوخت‌رسانی دارای درجه اول اهمیت است.

حتی‌المقدور بایست جهت ورود هوای تمیز به داخل تانک گازوییل تمهیدهای خاص و لازم اندیشیده شود. استفاده از فیلترهای نفس‌کش مرغوب با محفظه‌های ریز میکرونی جهت ممانعت از ورود ذرات ریز سلیسی و گردوغبار معلق در هوا و تعویض به‌موقع آن‌ها امری کاملاً مفید و ضروری است.

پیشنهادها

در پایان روز کاری دستگاه بایستی نسبت به پر کردن مخزن گازوییل اقدام شود. درصورتی‌که مصرف سوخت و پایین رفتن سطح سوخت درون تانک گازوییل مکش ایجادشده که این فضای خالی توسط هوا پر می¬شود. وجود هوا زمانی بغرنج است که بخارآب به‌خصوص در مناطق شرجی بر روی ذرات هوا سوار شده و وارد تانک گازوییل می¬شود. درشب هنگام و زمانی که ماشین‌آلات متوقف هستند به دلیل کاهش دمای هوا بخارهای آب طی فرآیند میعان تبدیل به مایع شده و به دلیل سنگین بودن از کف مخزن کشیده شده و وارد مدار سیستم سوخت‌رسانی می‌شوند که این خود عوامل خوردگی سیستم مدار سوخت‌رسان را موجب می‌گردد.

جهت نگهداری سوخت در مناطق دور از پمپ‌های گازوییل پیشنهاد می¬شود 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.

وجود دوعدد فیلتر گازوییل اصلی امکان ورود رسوب‌ها و مواد خورنده به سوزن‌های انژکتور را کاهش می‌دهد.

منابع

1. Catania A, Ferrari A, Manno M, et al. Experimental analysis of transient flow phenomena in multi-jet common- rail systems. SAE technical paper 2005-24-048, 2005.
2. Chatlatanagulchai W, Aroonsrisopon T and Wannatong K. Robust common-rail pressure control for a diesel dual-fuel engine using a QFT-based controller. SAE technical paper 2009-01-1799, 2009.
3. Chen H, Gong X, Liu QF, et al. Triple-step method to design a nonlinear controller for rail pressure of gasoline direct injection engines. IET Control Theory Appl 2014; 8: 948–959.
4. Chen L, Yang F and Yang X. Model-based controller framework for a common rail diesel engine. J Tsinghua Univ 2010; 50: 1077–1081.
5. Chmela F.G. and Orthaber G.C., Rate of heat release prediction for a direct injection diesel engine based on purely mixing controlled combustion. SAE 99010186, 1999.
6. Ferrari A and Paolicelli F. An indirect method for the realtime evaluation of the fuel mass injected in small injections in common rail diesel engines. Fuel 2017; 191: 322–329.
7. Gupta VK, Zhang Z, and Sun Z. Modeling and control of a novel pressure regulation mechanism for common rail fuel injection systems. Appl Math Model 2011; 35: 3473–3483.
8. 14- Heywood J.B., A textbook on Internal Combustion engine fundamentals. McGraw-Hill International Edition, 1988.
9. Hiroshi A, Hiroyuki Y, Akira K, et al. Precise fuel control of diesel common-rail system by using OFEM. SAE technical paper 2010-01-0876, 2010
10. Lino P, Maione B and Rizzo A. Nonlinear modeling and control of a common rail injection system for diesel engines. Appl Math Model 2007; 31: 1770–1784.
11. Montanaro U, di Gaeta A, and Giglio V. An MRAC approach for tracking and ripple attenuation of the common rail pressure for GDI engines. In: Proceedings of the18th IFAC world congress, Milano, 28 August–2 September 2011, pp.4173–4180. Oxford: Elsevier Ltd
12. Merker G.P. et al., Simulating combustion, Springer, 2006.

13. Punov P., Evtimov T., A modern approach for modeling the combustion process indirect injection diesel engines, International journal for science, technics and innovations for the industry, MTM, Issue 3, 2015, p. 30-34.
14. Ramos J.I., Internal combustion engine modeling, Hemisphere publishing corporation, 1989.
15. service manual Denso .2000
16. service manual Volvo.2000
17. Su H, Hao G, and Li P. Feed forward fuzzy PID controller for common-rail pressure control of diesel engine. In: Proceedings of the 2010 IEEE international conference on measuring technology and mechatronics automation, Changsha, China, 13–14 March 2010, vol. 2, pp.264–2 New York: IEEE.
18. Tan XG, Sang HL, Qiu T, et al. The impact of common rail system's control parameters on the performance of high-power diesel. Energy Proc 2012; 16: 2067–2072.
19. Wang HR, Zhang H, and Deng PY. The study of the rail pressure control strategies for the common rail diesel engine. In: Proceedings of the vehicle power and propulsion conference, Hangzhou, China, 17–20 October 2016. New York: IEEE.
20. Wu D, Sun B, Xu D, et al. Study on pressure fluctuation of a constant pressure fuel system. SAE technical paper 2017-01-0828, 2017.

Evaluation of periodic service on the life span of common rail diesel injector needles

Mojtabaforozandehnasab

Department of agricultural machinery Engineering, faculty of Fasa, Fars branch, technical and vocational university(TVU), Fars, Iran

Abstract

In this research, which was conducted for five years on 80 machines of the l90f, l120f loader equipped with a Comprehensive Fuel Refueling System on the Volvo construction equipment, initially, the number of damages and costs imposed on the owners of the devices was examined. Finally, with the design of three service models under the title of periodic services, the effect of three service cycles of 100, 250 and 500 hours on the life span of the needles of the injector of these devices was evaluated, which is based on the engine operating hours of a 700-hour range Covered up to 5000 hours. Finally, after the failure of the injector needles, the best and most cost-effective solutions to increase the life span of the injector needles, such as the separation of water from gasoline by using dual filter, filling the fuel tank at the end of the working day, replacing the gasoline vent filter, The use of standard Euro 5 and 6 diesel oils was proposed.

Keywords: fueling, periodic service, common rail, injector needles, life pan

*Corresponding author
E-mail: MOJTABAFOROZANDEH@GMAIL.COM