



## عیب‌یابی، تنظیم و تحلیل لایی‌گذاری افشانه سوخت موتور دیزل از نوع چندراهه مشترک سوخت

اسماعیل پوراسماعیل مغالو<sup>۱\*</sup>، حامد عدالتی<sup>۲</sup>، سید محمد جعفری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جاسب، ایران، [smaeilpoursmaeil@yahoo.com](mailto:smaeilpoursmaeil@yahoo.com)

<sup>۲</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جاسب، ایران، [edalati@iaujasb.ac.ir](mailto:edalati@iaujasb.ac.ir)

<sup>۳</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جاسب، ایران، [sm\\_jafari@ip-co.com](mailto:sm_jafari@ip-co.com)

\* نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۲۱-۴۴۵۲۰۸۸۲

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۵ اسفند ۱۳۹۳

پذیرش: ۷ خرداد ۱۳۹۴

کلیدواژه‌ها:

موتور دیزل

افشانه سوخت

چندراهه مشترک سوخت

لایی

عیب‌یابی

هدف از این مقاله عیب‌یابی، تنظیم و تحلیل لایی‌گذاری افشانه سوخت یک موتور دیزل پرکاربرد از نوع چندراهه مشترک سوخت به صورت تجربی و آزمایشگاهی است. در موتورهای دیزلی جدید، سامانه سوخت‌رسانی چندراهه مشترک سوخت، سهم مهمی در افزایش بازده و بهبود عملکرد موتور دارد. افشانه سوخت به عنوان یکی از مهمترین و پیشرفته‌ترین اجزاء این سامانه، در موتور مورد مطالعه، متعدد خرابی می‌شود. بدین منظور ابتدا در مرحله عیب‌یابی، یک نمونه افشانه سوخت به همراه قسمت‌های مختلف آن معرفی می‌شود. سپس حالت‌های بالقوه خرابی این نوع افشانه سوخت معرفی می‌گردد. براساس نتایج آماری از ۲۰۰ عدد افشانه سوخت برگشتی از جانب مشتری و مرحله شناسایی حالت‌های بالقوه خرابی، مشخص شد سه مجموعه آهنربا، شاپکو و سوزن، جزء نقاط ضعیف و قسمت‌های آسیب‌پذیر افشانه سوخت اند. طبق تجربه محققان در عموم موارد، تغییر ضخامت لایی‌های مختلف موجود در افشانه سوخت، ساده‌ترین و مؤثرترین راه برای تعمیر و تنظیم مجدد افشانه سوخت است. برای دستیابی به حالت بهینه قرارگیری لایی‌ها، در یک میز آزمون لایی‌های مختلف با ضخامت‌های مشخص در افشانه سوخت قرار داده شد. در این آزمون‌ها متغیرهای طول نفوذ، مخروطی بودن پاشش، اندازه قطرات و عملکرد موتور در آزمون خودروبی برای دستیابی به حالت بهینه قرارگیری لایی‌ها، ارزیابی شدند. نتایج نشان می‌دهند در هر یک از سه حالت خرابی فوق، برای رفع عیب آن قسمت یک حالت بهینه در ضخامت لایی وجود دارد که هم در آزمون شار افشانه سوخت و هم در آزمون موتور واقعی تأیید می‌شود.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.



## ۱- مقدمه

موتور دیزل یکی از انواع موتور درونسوز است. در این موتور احتراق سوخت بدون نیاز به جرقه از طریق خودسوزی انجام می‌شود. در زمان مکش، درجه هوا باز شده، فقط هوای محیط وارد استوانه می‌شود. در زمان تراکم هوای محیط توسط سمبه تحت فشار قرار می‌گیرد و آن قدر فشرده می‌شود که درجه حرارت آن به ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در انتهای تراکم که فشار هوا به ۳۰ الی ۶۰ اتمسفر می‌رسد، سوخت تحت فشار به صورت گردی<sup>۱</sup> در فضای سوزان اتاقک احتراق تزریق می‌شود. سوخت تزریق شده پس از زمان کوتاهی (تأخیر در اشتعال) بسرعت با اکسیژن هوا ترکیب شده و خود به خود محترق می‌گردد.

با توجه به نوع سوخت موجود در کشور، افشانه سوخت موتور نپسان دیزل در زمان کوتاهی خراب می‌شوند و غیر قابل تعمیر اند. در این مقاله تنظیمات لایی و تعمیر اصولی و علمی به صورت شفاف و ساده بیان شده تا توسط آن، افشانه سوخت تنظیم و تعمیر شوند.

نابر<sup>۲</sup> و همکاران [۱] تأثیر چگالی گاز و فرایند تبخیر را بر نفوذ و پراکندگی فواره دیزل به صورت تجربی بررسی کردند. در این پژوهش، آزمایش‌ها در یک اتاقک احتراق فشار ثابت با استفاده از روش‌های نوری انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر چگالی گاز بر نفوذ فواره بیشتر از تأثیر آن بر پراکندگی سوخت است. همچنین فرایند تبخیر سوخت، نفوذ و پراکندگی فواره را در حدود ۲۰٪ نسبت به فواره‌های بدون تبخیر کاهش می‌دهد و این تأثیر با افزایش چگالی گاز کاهش می‌یابد.

ریکارت<sup>۳</sup> و همکاران [۲] در مرکز تحقیقات موتور دانشگاه ویستکانزین مدیسین برای اولین بار توانستند با استفاده از روش‌های نوری، طول نفوذ فواره سوخت مایع را در اتاقک احتراق یک موتور دیزلی سنگین در بارهای جزئی مختلف و سرعت ۱۶۰۰ بار اندازه‌گیری کنند. آنها همچنین نتایج حاصل در این پژوهش را با نتایج شبیه‌سازی عددی بدست آمده از برنامه KIVAII مقایسه کردند.

تاسکین<sup>۴</sup> [۳] با استفاده از برنامه KIVAII تأثیر مشخصه‌های فواره سوخت را بر احتراق و تشکیل آلاینده‌ها در یک موتور دیزل سنگین سرعت متوسط بررسی کرد. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان داد که نفوذ فواره و اندازه قطرات فواره سوخت، تأثیر شدیدی بر پیش‌بینی آلاینده‌ها و فرایند احتراق دارد، اما زاویه مخروطی فواره دارای اهمیت کمتری نسبت به دو متغیر دیگر است.

ویلییر<sup>۵</sup> و گوسمن<sup>۶</sup> [۴] با استفاده از روش LES پدیده اتمیزاسیون و شکست اولیه فواره مایع را شبیه‌سازی کردند. در این مطالعه برای شبیه‌سازی میدان جریان از روش VOF استفاده شد.

کیم<sup>۷</sup> و همکاران [۵]، در مرکز تحقیقات موتور هیوندا با استفاده از نرم‌افزار FIRE تأثیر قطر و تعداد سوراخ افشانه سوخت را بر مشخصه‌های فواره و عملکرد یک موتور دیزل بررسی کردند. نتایج نشان داد که تأثیر قطر سوراخ افشانه بر عملکرد موتور مشابه با تعداد سوراخ‌های افشانه سوخت است، به طوری که افزایش قطر سوراخ افشانه و تعداد سوراخ‌های افشانه باعث افزایش مصرف سوخت و کاهش آلاینده NOx می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که افزایش مصرف سوخت ناشی از افزایش زمان شکست قطرات مایع سوخت بوده و کاهش آلاینده NOx ناشی از کاهش سرعت خروجی جت سوخت از افشانه است.

حاجی‌رضا<sup>۸</sup> و همکاران [۶]، در مرکز تحقیقات مهندسی AVL با استفاده از نرم‌افزار FIRE تأثیر شکل کاسه سمبه بر متغیرهای مختلف موتور را بررسی کردند. در این مطالعه با تغییر متغیرهای مختلف هندسی کاسه سمبه، مقدار آلاینده‌های SOOT و NOx خروجی شبیه‌سازی‌ها با هم مقایسه شد و در نهایت بهترین شکل کاسه سمبه برای کاهش آلاینده‌ها معرفی شد.

لینو<sup>۹</sup> و همکاران [۷] یک شبیه‌سازی برای چرخش و تغییر شکل قطرات فواره سوخت در موتور دیزل ارائه کرده و با اضافه کردن این شبیه‌سازی به برنامه KIVA، تأثیرات این شبیه‌سازی را بر متغیرهای مهم موتور دیزلی بررسی کردند. نتایج نشان داد که این شبیه‌سازی قادر به پیش‌بینی مقدار نفوذ فواره بعد از برخورد با دیواره است. همچنین با به کار بردن این شبیه‌سازی می‌توان پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به فشار داخل استوانه و نرخ آزادسازی انرژی داشت.

بارکر<sup>۱۰</sup> و همکاران [۸-۹] تأثیر احتمالی سوخت دیزل پاک در افشانه سوخت دیزل با باتریق دیزل بررسی کردند و اندازه‌گیری رسوب در سیت سوزن با روش L10 انجام دادند.

در سامانه‌های چندراهه سوخت تلمبه فشار بالا، سوخت را در چندراهه ذخیره می‌کند. گوئییر<sup>۱۱</sup> در طی چندین تحقیق خود [۱۰-۱۳] برای پایش تزریق با هدف مدیریت دقیق احتراق، مدت و فشار پاشش افشانه سوخت و سامانه سوخت رسانی را در شرایط عملیاتی مختلف موتور، شبیه‌سازی‌سازی نمود و معادلات ریاضی خود را صحت‌گذاری کرد.

<sup>5</sup> Villiers

<sup>6</sup> Gosman

<sup>7</sup> Kim

<sup>8</sup> Hajireza

<sup>9</sup> Lino

<sup>10</sup> Barker

<sup>11</sup> Gauthier

<sup>1</sup> Atomized

<sup>2</sup> Naber

<sup>3</sup> Ricart

<sup>4</sup> Taskinen

می‌یابد و برخی از متغیرهای دیگر مانند تأخیر در اشتعال، قلّه فشار داخل استوانه و وضعیت ارتعاش موتور تا حدی بهتر می‌شوند. بر اساس تحقیق نویسندگان، تا کنون بحث عیب‌یابی و تحلیل نقاط ضعف افشانه سوخت تا کنون انجام نشده است و لذا در مقاله حاضر در گام اول به عنوان یک نوآوری، شناسایی حالت‌های بالقوه خرابی افشانه سوخت و معرفی سامانه چندراهه سوخت ارائه می‌شود. سپس بر مبنای این شناسایی در یک فرایند نوآورانه تجربی، بهترین ضخامت لایه برای تنظیم مجدد افشانه سوخت برای دستیابی به بهترین عملکرد آن، در هر یک از حالت‌های خرابی در دو آزمون شار افشانه سوخت و آزمون عملکرد افشانه سوخت در موتور خودرو به دست می‌آید. در آزمون شار افشانه سوخت ابتدا افشانه سوخت با لایه مورد نظر تنظیم می‌شود و متغیرهای طول نفوذ، زاویه پاشش و قطر قطرات بررسی می‌گردد. پس از این مرحله افشانه سوخت تنظیم شده در موتور خودرو قرار داده می‌شود و متغیرهایی مانند مقدار دوده، توان موتور، ضریب موتور، مصرف سوخت و دور آرام موتور بررسی می‌گردد. بر اساس نتایج این دو آزمون بهترین ضخامت لایه در هر حالت بدست می‌آید.

## ۲- صورت مسأله و شناسایی افشانه سوخت در سامانه چندراهه مشترک سوخت

در این سامانه در مسیر سوخت‌رسانی که سوخت را مستقیماً بین همه افشانه سوخت تقسیم می‌کند، از یک تلمبه فشار قوی استفاده شده که سوخت را با فشار بالا به چندراهه سوخت (انباره چندراهه) می‌رساند. این چندراهه، سوخت را با فشار ثابت در خود ذخیره کرده، افشانه سوخت را بطور مجزا توسط علامت‌های ارسالی از ECU پایش و تغذیه می‌کند. اجزاء تشکیل دهنده سامانه چندراهه مشترک سوخت شامل سامانه سوخت‌رسانی کم فشار، سامانه سوخت‌رسانی فشار قوی و افشانه سوخت است.

### ۲-۱- افشانه سوخت (سوخت پاش)

افشانه سوخت دارای مجاری بسیار کوچکی است که به وسیله این مجاری، سوخت به صورت کاملاً گردی در فضای هوای متراکم تزریق می‌شود. در موتور تحت بررسی CA4D28CRZ و CA4D28CRZL از افشانه سوخت BOSCH CR12.0 استفاده می‌شود. اجزاء تشکیل دهنده این افشانه سوخت در شکل ۱ نشان داده شده است.

در ادامه برخی محققان بر اساس شبیه‌سازی گوتیر، پایشگرهای مختلف حالت لغزشی [۱۴]، شبیه‌سازی مینا [۱۵] و پایشگر بهینه [۱۶] را برای بهبود عملکرد سامانه پاشش به کار بردند و نتایج خود را با نتایج گوتیر مقایسه نمودند.

خباز و خوشبختی [۱۷] سرای نیز در تحقیق خود تأثیر فشار، زمان و طول پاشش سوخت دیزل بر عملکرد و آلاینده‌های خروجی از موتور دیزلی پاشش مستقیم را بررسی کردند. آنها ابتدا موتور مورد بررسی را در نرم‌افزار Fire شبیه‌سازی و با نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی اعتباردهی کردند. نتایج آنها نشان داد با افزایش فشار پاشش سوخت، مقدار آلاینده NOx تا حد زیادی افزایش و آلاینده PM در حدود ۵۰٪ کاهش می‌یابد. همچنین، در ازای این تغییرات، بازده موتور در حدود ۱۲٪ افزایش می‌یابد.

در تحقیقات جدید بیشتر محققان به دنبال بررسی اثرات احتراقی و آلودگی در سامانه چندراهه مشترک سوخت هستند. برای نمونه هوانگ<sup>۱</sup> و همکاران [۱۸] در تحقیقی روی یک موتور دیزل با چندراهه مشترک سوخت پژوهشی انجام دادند تا اثرات احتراق و آلودگی خروجی موتور را با سوخت دیزل پاک حاصل از روغن سوخته بررسی کنند. آنها در تحقیق خود فشار داخل استوانه و آلاینده‌ها و عملکرد موتور را اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد سوخت دیزل پاک از نظر آلودگی دوده و اکسیدهای کربن و هیدروکربن نسوخته کمتری تولید می‌کند.

هن<sup>۲</sup> و همکاران [۱۹] خصوصیات پاشش مخلوط دو سوخت بنزین و دیزل در یک افشانه سوخت را مقایسه نمودند. آنها در یک تحقیق تجربی شار پاشش، زاویه مخروط پاشش، عمق نفوذ و سطح پاشش را بررسی نمودند. نتایج نشان دادند افزایش سهم بنزین در گازوئیل عمق نفوذ را کم می‌کند ولی به ریزتر شدن قطر قطرات کمک می‌کند لذا در عمق عملکرد احتراق بهتر می‌شود.

لیو<sup>۳</sup> و همکاران [۲۰] در تحقیق خود روی یک موتور شش استوانه پرخوران دیزلی با سامانه چندراهه مشترک سوخت مخلوط متانول و دیزل را استفاده کردند. آنها با ترکیبات مختلف آزمون‌های خود را تکرار کردند. نتایج نشان دادند افزایش فشار سوخت موجب کاهش مصرف سوخت ویژه و دوده خروجی موتور می‌شود اما مقدار NOx و آلاینده‌های دیگر به صورت نسبی افزایش می‌یابند.

هو<sup>۴</sup> و همکاران [۲۱] در یک موتور دیزلی با چندراهه مشترک سوخت استفاده از سوخت دیزل پاک را بررسی کردند. آنها در چهار بارگذاری مختلف مقدار عملکرد، آلاینده‌گی و ارتعاشات موتور را اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان دادند که مقدار دوده موتور تا حد زیادی کاهش

<sup>1</sup> Hwang

<sup>2</sup> Han

<sup>3</sup> Liu

<sup>4</sup> How



که  $\mu_1 A_1$  ضریب تخلیه از سطح،  $d_1$  قطر متوسط سطح تکیه‌گاه مخروط سوزن بر حسب متر،  $\varphi$  نصف زاویه نوک سوزن قطع جریان بر حسب درجه و  $X$  مقدار بلند شدن شاپکو بر حسب متر است. در نهایت معادله (۳) می‌تواند بدین شکل بیان شود [۱۷]:

$$p_1 - p_z = \frac{Q^2 \times \rho_f}{2} \sum_{i=1}^{i=k} \left| \frac{1}{(\mu_1 \times A_1)^2} \right| \quad (5)$$

در معادله (۵)، زمانی که دریچه شروع به حرکت می‌کند ( $Q = 0$  و  $x = 0$ )، سمت راست رابطه نامحدود می‌شود. در این حالت فشار در بدنه افشانه سوخت برابر با فشاری است که سوزن افشانه سوخت را بلند می‌کند.

زمانی که سوزن شروع به بالا آمدن می‌کند، مقدار جریان افزایش می‌یابد و نسبت  $1/(\mu_1 \times A_1)$  کم می‌شود. اگر این نسبت سریعتر از افزایش مقدار جریان تغییر یابد، فشار افشانه سوخت کاهش پیدا می‌کند. این امر در موقع بلند شدن سوزن صورت می‌گیرد.

اگر داشته بالایی  $\mu_{or} A_{or} = A_1 \mu_1$ ، نسبت  $1/(\mu_1 \times A_1)^2$  در معادله (۳) کم می‌شود و قابل نظر کردن است. چنانکه مقدار جریان سوخت زیاد باشد باز شدگی دریچه شدید است و فشار  $P_1$  افزایش می‌یابد که آنرا حد بحرانی می‌گویند. اختلاف فشار  $p_1 - p_z$  که در دور کم دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای است، صرف غلبه بر مقاومت بین مخروط سوزن و تکیه‌گاه می‌گردد.

از میان عیوب افشانه سوخت، مجموعه‌های شاپکو، افشانه و بدنه بیشتر تعویضی اند ولی لایه و فنرها قابل تنظیم اند. لذا برای لایه‌گذاری درست نیاز به دستگاه و آزمایش‌های خاص است که در طی مقاله حاضر توضیح داده می‌شود.

### ۳- میز آزمون

#### ۳-۱- دستگاه آزمون اندازه لایه‌ها و کاربرد آن

دستگاه ارسال موج پله‌ای (آزمون بوبین) برای تولید ولتاژ مخصوص برای شیر برقی و همچنین سنجش شدت میدان آهنربایی موج پله‌ای لایه‌گذاری است که تصویر آن در شکل ۶ نشان داده شده است. کاربرد این دستگاه برای موارد ذیل است:

- آزمایش کلیه افشانه‌های سوخت چندراهه مشترک مانند: بوش، زیمنس، دلفی و دنزو
- تولید موج پله‌ای، موج پله‌ای راه اندازی و آزمون سامانه چندراهه مشترک سوخت
- تنظیم پهنای موج پله‌ای و بسامد ولتاژ خروجی دستگاه برای آزمون سوزن در شرایط متفاوت



شکل ۵: مجموعه افشانه و جزئیات آن در افشانه سوخت

متأسفانه در خدمات پس از فروش برای افشانه سوخت خراب هیچ‌گونه کار تحقیقاتی و یا تعمیراتی انجام نمی‌شود و تنها به تعویض افشانه سوخت معیوب اکتفا می‌شود که این کار هزینه گزافی برای مشتری در بر خواهد داشت.

در این تحقیق پس از تشخیص موارد نقطه ضعف و با توجه به پیچیده بودن قطعه و عدم دسترسی به قطعات برای رفع عیب بر اساس تجربه تعمیراتی مشخص شد می‌توان افشانه سوخت معیوب را با تغییر ضخامت لایه در قسمت‌های مختلف اصلاح نمود. لذا لازم است تا ابتدا مسأله شار خروجی از افشانه سوخت بررسی شود و در آزمون‌های مختلف بهترین اندازه لایه در هر قسمت به دست آید.

#### ۲-۳- شار عبوری نظری از افشانه سوخت

طرز کار افشانه سوخت و استفاده از آن در موتورهای مختلف بستگی به شرایط کاری موتور دارد که به صورت نسبتی بین اختلاف فشار جریان از افشانه سوخت و فشار داخل استوانه (معادله ۱) نشان داده می‌شود [۲۲].

$$p_1 - p_z = f(Q_{inj}) \quad (1)$$

که در این معادله  $p_1$  فشار در بدنه افشانه سوخت و  $p_z$  فشار داخل استوانه در حداکثر فشار احتراق و  $Q_{inj}$  شار حجمی جریان یافته از افشانه سوخت در هر دقیقه است.

معادله (۱) می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$p_1 - p_z = \frac{Q^2 \times \rho_f}{2(\mu_{or} \times A_{or})^2} \quad (2)$$

که در آن،  $\rho_f$  چگالی سوخت بر حسب  $kg/m^3$ ،  $A_{or}$  مساحت سطح مقطع مجرا بر حسب  $m^2$  و  $\mu_{or}$  ضریب تخلیه است. به دلیل اینکه  $\mu_{or}$  مقدار ثابتی است، معادله (۲) سه‌موی و درجه دو است. بنابراین مشخصات افشانه سوخت از معادله (۳) بدست می‌آید.

$$p_1 - p_z = \frac{Q^2 \rho_f}{2} \left[ \frac{1}{(\mu_{or} A_{or})^2} + \frac{1}{(\mu_1 A_1)^2} \right] \quad (3)$$

در معادله (۳)،  $A_1$  مساحت سطح عبور بین مخروط سوزن و تکیه‌گاه بر حسب  $m^2$  است که از معادله (۴) محاسبه می‌شود: [۸].

$$A_1 = \mu_1 d_1 x \sin x \quad (4)$$

است. در شکل ۷ روش آزمون با این دستگاه فشار نشان داده شده است.

### ۳-۳- اندازه‌گیری ارتفاع با تغییر ضخامت لایه‌ها

برای اندازه‌گیری ضخامت و ارتفاع لایه‌های افشانه سوخت به صورت پیوسته<sup>۱</sup> و رقمی<sup>۲</sup> ساخت کشور تایوان با دقت ( ۰,۰۱ و ۰,۰۰۱ میلی متر) است.



شکل ۸: دستگاه آزمون فشار افشانه سوخت

### ۴- روش آزمون

در این قسمت روش اجرا شده در دو آزمون شرح می‌شود:

#### ۴-۱- آزمایش نخست: روش لایه‌گذاری افشانه سوخت (لایه بالای شاپکو، خارج آهنربا، برگشت سوزن)

گام اول: بعد از تعویض شاپکو، بدنه افشانه سوخت داخل گیره محکم می‌شود. لایه‌گذاری بالای شاپکو از مقدار ۱,۱۸ تا ۱,۲۶ میلی‌متر انجام می‌شود و بعد از قرار دادن مهره مکانیکی، داخل بدنه افشانه سوخت با گشتاور ۴۰ نیوتن-متر سفت می‌شود. سپس ساعت اندازه‌گیری به بدنه افشانه سوخت بسته و عدد نشان داده شده ثبت می‌شود (شکل ۸).

گام دوم: ساعت اندازه‌گیری بالای لایه شاپکو باز می‌شود. لایه خارج آهنربا از اندازه ۰,۹۸ تا ۱,۰۹ میلی‌متر به طور جداگانه قرار داده می‌شود



شکل ۶: دستگاه آزمون لایه



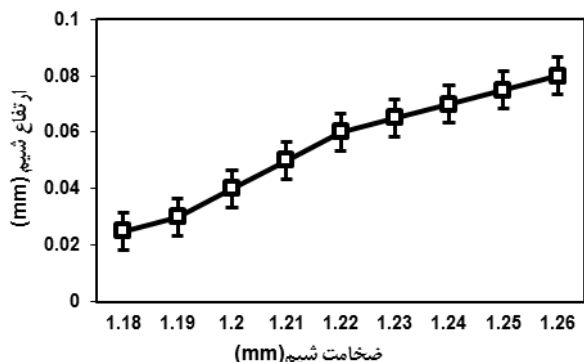
شکل ۷: دستگاه آزمون نحوه پاشش افشانه سوخت

### ۳-۲- دستگاه آزمون فشار

با این دستگاه می‌توان فشار ۰ الی ۳۰۰۰ بار را ایجاد کرد و نیز فشار باز شدن، الگوی پاشش و نشتی افشانه سوخت را مشاهده نمود. این دستگاه دارای محدوده فشار بین ۰ الی ۵۰۰۰ بار و ساخت کشور ایران

<sup>1</sup> Analogue

<sup>2</sup> Digital



شکل ۹: نمودار ارتفاع مجموعه لایه بالای شاپکو نسبت به ضخامت لایه

همچنین برای اینکه از کارکرد افشانه سوخت تنظیم شده در موتور مطمئن شویم، پس از هر تنظیم، افشانه سوخت در موتور قرار داده شد و متغیرهای زیر به صورت چشمی و یا با دستگاه عیب‌یاب<sup>۱</sup> بررسی دوباره انجام شد.

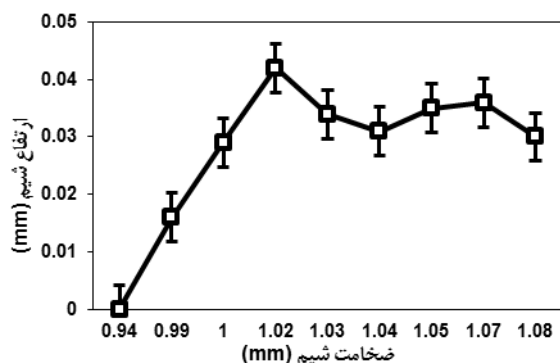
- ایجاد دود سیاه بسیار شدید
- افزایش مصرف سوخت
- گرم شدن زیاد موتور
- افت قدرت موتور
- شدت آلودگی

شایان ذکر است که ایرادات فوق ناشی از عوامل افزایش ناخواسته سوخت، ناقص سوزی سوخت و یا تنظیم نبودن موتور برای این مقدار اضافه سوخت است.

با توجه به نتایج بدست آمده قبلی، بهترین حالت در تنظیم افشانه سوخت (سوزن) ۰,۰۴ میلی متر است.

#### ۴-۲-۲- بررسی اثر تغییر ضخامت لایه خارج آهنربا

در (شکل ۱۰) هر چقدر مقدار ضخامت لایه بیشتر می‌شود مقدار ارتفاع ساعت اندازه‌گیری نشان داده شده تا ۱,۰۲ میلی متر بیشتر شده ولی از ۱,۰۳ به بعد مقدار پاشش کاهش یافته، لذا دلیل این امر به علت ویژگی غیرخطی فنر سخت شونده در این قسمت است.



شکل ۱۰: نمودار ارتفاع مجموعه لایه خارج آهنربا نسبت به ضخامت لایه

و با دستگاه آزمون اندازه لایه، عدد بدست آمده، ثبت می‌شود (شکل ۶). سپس مجموعه آهنربا با گشتاور ۲۰ نیوتن بر متر سفت می‌شود.

گام سوم: افشانه سوخت باز می‌شود و به صورت معکوس نسبت به حالت قبلی در گیره بسته می‌شود. ضخامت لایه از اندازه ۱,۲۹ تا ۱,۷۶ میلیمتر به طور جداگانه در داخل افشانه سوخت قرار داده شده و توسط ساعت اندازه‌گیری، عدد مشاهده شده ثبت می‌شود.

گام چهارم: مجموعه افشانه بسته و افشانه سوخت باز می‌شود. در این مرحله مجموعه برای آزمون آماده است.

به منظور تنظیم، از لایه‌های با اطلاعات ذکر شده در جدول ۱ استفاده می‌شود.

جدول ۱: اطلاعات لایه‌های آزمایشی

نام لایه	بالای شاپکو	خارج از آهنربا	برگشت سوزن
ضخامت	۱,۲۶-۱,۱۸	۱,۰۹-۰,۹۸	۱,۲۹-۱,۷۶
رواداشت	±۰,۰۰۴ میلیمتر		

#### ۴-۲-۴- آزمایش دوم

در این آزمایش می‌توان فشار باز شدن، الگوی پاشش، نشتی و عدم نشتی را مشاهده نمود. بعد از هم‌بندی افشانه سوخت می‌توان آزمایش فشار را بر روی آن انجام داد. برای انجام آزمایش فشار، مخزن دستگاه را با گازوئیل پر می‌شود. سپس با دقت به فشار نشان داده شده و زمان باز شدن افشانه سوخت، آزمایش را چندین بار تکرار کرده تا از صحت آن اطمینان حاصل شود. در هر بار بستن و تنظیم افشانه سوخت با یک لایه مشخص، وضعیت و کیفیت پاشش سوخت خروجی در دستگاه آزمون فشار (شکل ۷)، بررسی می‌شود. بهترین حالت زمانی است که سوخت پاشش شده از افشانه سوخت به حالت مخروطی باشد و با بازدید چشمی، کاملاً گرد شده باشد.

#### ۴-۲-۱- بررسی اثر تغییر ضخامت لایه بالای شاپکو

در (شکل ۹) مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت لایه، مقدار ارتفاع اندازه‌گیری شده در ساعت اندازه‌گیری نیز بیشتر می‌شود. بر اساس نتایج چشمی دستگاه آزمون فشار (شکل ۶) که نحوه پاشش افشانه سوخت را نشان می‌دهد، در بازه ۰,۰۳ الی ۰,۰۵ میلیمتر پاشش انجام می‌گیرد و بهترین پاشش با شکل مخروطی در حالتی است که لایه ۱,۲ میلیمتر قرار داده شود و ساعت اندازه‌گیر ۰,۰۴ میلیمتر را نشان دهد.

<sup>1</sup> Diagnostic device

پس از هر مرحله لایه گذاری در این آزمون نیز هر بار افشانه سوخت تنظیم شده و سپس در موتور قرار داده می شود تا عملکرد واقعی آن بررسی گردد با توجه به آزمایش های متعددی که انجام شده، می توان ذکر کرد که تنظیم نبودن لایه برگشت سوزن در این حالت، موجب ایرادات زیر در عملکرد موتور می شود:

- ایجاد دود سیاه کم.
  - خاموش شدن ماشین در حالت درجا.
  - ضربه زدن و ترک خوردن بوش افشانه سوخت.
- که مهمترین عامل در به وجود آمدن ایرادات فوق ناشی از این است که درون نشیمنگاه سوزن به علت فشار احتراق بیش از حد و یا در اثر کافی نبودن فشار تزریق سبب رسوب ناشی از پسماند احتراق می شود که در مسیر برگشت سوخت اضافی، افت شدید فشار ایجاد می شود و یا کلاً مسیر قطع می گردد.

#### ۵- نتیجه گیری

بررسی بیش از ۲۰۰ عدد از افشانه سوخت معیوب برگشتی موتور CA4D28CRZL از طرف مشتریان نشان داد، سه ایراد عمده در افشانه سوخت (سوزن) بکار رفته در موتور نیسان دیزلی وجود دارد:

- ۱- مجموعه آهنربا.
- ۲- مجموعه شاپکو.
- ۳- مجموعه افشانه<sup>۱</sup>.

در آزمایش های متعددی که برای تنظیم لایه های هر قسمت انجام گرفت بر اساس آزمون نحوه پاشش (شکل ۶) و آزمون عملکرد واقعی موتور مناسبترین ارتفاع برای هر لایه به دست آمده در پاشش در بازه ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ بار است، لذا با توجه به اندازه های بدست آمده از آزمایشات ارتفاع لایه های سوزن افشانه سوخت برای لایه بالای شاپکو، لایه خارج آهنربا و لایه برگشت سوزن به ترتیب ۰،۰۴، ۰،۳۵ و ۲،۳۵ میلی متر اند. نتایج آزمون های موتوری در این حالتها نشان دادند ایرادهای عملکردی مانند دود سیاه بسیار شدید، دود سفید، مصرف سوخت زیاد، گرم شدن زیاد موتور، کاهش قدرت موتور، ضربه زدن و نوسان شدید موتور به خوبی رفع شدند.

#### مراجع

- [1] J. Naber, D.L. Siebers, Effects of gas density and vaporization on penetration and dispersion of diesel sprays, SAE technical paper, 1996
- [2] L. Ricart, J. Xin, G.R. Bower, R.D. Reitz, In-cylinder measurement and modeling of liquid fuel spray penetration in a heavy-duty diesel engine, SAE Technical Paper, 1997
- [3] P. Taskinen, Effect of fuel spray characteristics on combustion and emission formation in a large

در بررسی نحوه پاشش افشانه سوخت در آزمون فشار (شکل ۶) مشاهده شده، زمانی که ساعت اندازه گیر مقدار ۰،۰۳۵ میلی متر را نشان دهد یک جریان مخروطی مناسب و گردی به دست می آید.

پس از هر مرحله بررسی تنظیم لایه، افشانه سوخت روی موتور بسته می شود تا کارکرد واقعی افشانه سوخت تغییر یافته، روی موتور واقعی بر روی خودرو مشاهده شود. نتایج آزمایش های انجام شده نشان می دهد که تنظیم نبودن لایه آهنربا و اندازه نامناسب لایه ها ایرادات زیر را بوجود می آورد:

- عدم روشن شدن ماشین.
- ضربه زدن و ترک خوردن بوش افشانه سوخت.
- ترک سمه بعلت پاشش زیاد.
- آلودگی شدید دود سیاه.
- افت توان موتور.

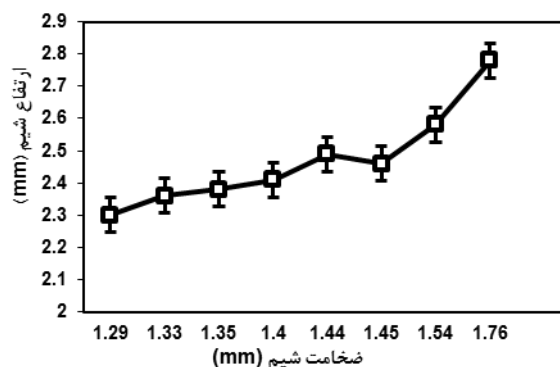
که ایرادات فوق ناشی از عوامل زیر است:

- افزایش ناخواسته سوخت.
- ناقص سوزی سوخت.
- تنظیم نبودن موتور برای این مقدار اضافه سوخت.
- سوخت به صورت کامل گرد نشده.
- ترکیب نشدن کامل با هوای فشرده.
- نفوذ نکردن سوخت به شکل ذره ای در هوای فشرده.
- عدم تزریق افشانه سوخت در فشار تعیین شده.

بر اساس آزمون های موتور نیز نتیجه قبل تکرار شده، یعنی اینکه بهترین حالت کارکرد افشانه سوخت با تغییر ضخامت لایه آهنربا، ساعت اندازه گیر در آزمایش دوم، عدد ۰،۰۳۵ میلی متر را نشان می دهد.

#### ۴-۲-۳- بررسی اثر تغییر ضخامت لایه برگشت سوزن

نمودار تنظیم لایه برگشت سوزن در (شکل ۱۱) نشان می دهد طبق انتظار هرچه مقدار ضخامت لایه بیشتر می شود مقدار ساعت اندازه گیری نشان داده شده نیز بیشتر می شود. همچنین مقدار برگشت سوزن در داخل نشیمنگاه کم می شود، که این امر موجب کم شدن تزریق سوخت در داخل اتاقک احتراق می گردد.



شکل ۱۱: نمودار ارتفاع مجموعه لایه برگشت سوزن نسبت به ضخامت لایه

<sup>1</sup> Nozzle

- [14] W. Chatlatanagulchai, K. Yaovaja, S. Rhienprayoon, K. Wannatong, Gain-scheduling integrator-augmented sliding-mode control of common-rail pressure in diesel-dual-fuel engine, SAE Technical Paper, 2010
- [15] A. di Gaeta, U. Montanaro, G. Fiengo, A. Palladino, V. Giglio, A model-based gain scheduling approach for controlling the common-rail system for GDI engines, *International Journal of Control*, Vol. 85, pp. 419-436, 2012
- [16] M. Rivas, O. Sename, E. Witrant, C. Caillol, P. Higelin, Common rail injection system controller design using input-to-state linearization and optimal control strategy with integral action, *Control Conference (ECC), 2013 European, IEEE, 2013*, pp. 1994-1999
- [17] Khabbaz S, Khoshbakhti Saray R. Theoretical Investigation of the Effect of Injection Pressure, Duration and Time Injection on Combustion, Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine. *Journal of Engine Research*, Vol. 19 No. 19, pp. 49-63, 2010
- [18] J. Hwang, D. Qi, Y. Jung, C. Bae, Effect of injection parameters on the combustion and emission characteristics in a common-rail direct injection diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel, *Renewable Energy*, Vol. 63, pp. 9-17, 2014
- [19] D. Han, C. Wang, Y. Duan, Z. Tian, Z. Huang, An experimental study of injection and spray characteristics of diesel and gasoline blends on a common rail injection system, *Energy*, Vol. 75, pp. 513-519, 2014
- [20] J. Liu, A. Yao, C. Yao, Effects of diesel injection pressure on the performance and emissions of a HD common-rail diesel engine fueled with diesel/methanol dual fuel, *Fuel*, Vol. 140, pp. 192-200, 2015
- [21] H. G. How, H.H. Masjuki, M. A. Kalam, Y. H. Teoha, An investigation of the engine performance, emissions and combustion characteristics of coconut biodiesel in a high-pressure common-rail diesel engine, *Energy*, Vol. 69, pp. 749-759, 2014
- [22] H. Naderi, *Design of internal combustion engines*, MirGoutenberg, 1983
- medium speed diesel engine, SAE Technical Paper, 1998
- [4] E. De Villiers, A. Gosman, H. Weller, Large eddy simulation of primary diesel spray atomization, SAE Technical Paper, 2004
- [5] B. S. Kim, W. H. Yoon, S. H. Ryu, J. S. Ha, Effect of the injector nozzle hole diameter and number on the spray characteristics and the combustion performance in medium-speed diesel marine engines, SAE Technical Paper, 2005
- [6] S. Hajireza, G. Regner, A. Christie, M. Egert, H. Mittermaier, Application of CFD modeling in combustion bowl assessment of diesel engines using DoE methodology, SAE Technical Paper, 2006
- [7] P. Lino, B. Maione, A. Rizzo, Nonlinear modelling and control of a common rail injection system for diesel engines, *Applied mathematical modelling*, Vol. 31, pp. 1770-1784, 2007
- [8] J. Barker, P. Richards, M. Goodwin, J. Wooler, Influence of High Injection Pressure on Diesel Fuel Stability: A Study of Resultant Deposits, SAE Technical Paper, 2009
- [9] S. Cook, P. Richards, Possible Influence of High Injection Pressure on Diesel Fuel Stability: A Review and Preliminary Study, SAE Technical Paper, 2009
- [10] C. Gauthier, Commande multivariable de la pression d'injection dans un moteur diesel common rail, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2007
- [11] C. Gauthier, O. Sename, L. Dugard, G. Meissonnier, An Hinf Linear Parameter-Varying (LPV) Controller for a Diesel Engine Common Rail Injection System, *European Control Conference, ECC'07, 2007*, pp. TuD02. 06
- [12] C. Gauthier, O. Sename, L. Dugard, G. Meissonnier, Modelling of a diesel engine common rail injection system, 16th IFAC World Congress, Prague, Czech Republic, 2005
- [13] C. Gauthier, O. Sename, L. Dugard, G. Meissonnier, An LFT Approach to Hinf Control Design for Diesel Engine Common Rail Injection System, *Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'IFP*, Vol. 62, pp. 513-522, 2007



## Troubleshooting, adjusting and Shim analysis of a diesel engine fuel injector from common rail type

S. Pursmaeil<sup>1\*</sup>, H. Edalati<sup>2</sup>, S. M. Jafari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Islamic Azad University, Jashb, Iran, [smaeilpoursmaeil@yahoo.com](mailto:smaeilpoursmaeil@yahoo.com)

<sup>2</sup>Islamic Azad University, Jashb, Iran, [edalati@iaujasb.ac.ir](mailto:edalati@iaujasb.ac.ir)

<sup>3</sup>Islamic Azad University, Jashb, Iran, [sm\\_jafari@ip-co.com](mailto:sm_jafari@ip-co.com)

\*Corresponding Author, Telephone Number: +98-21-44520882

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 24 February 2015

Accepted: 28 May 2015

#### Keywords:

Diesel engine

Injector

Fuel common rail

Shim

Troubleshooting

### ABSTRACT

The purpose of this paper is troubleshooting, adjusting and analysis of a useful diesel engine fuel injector from common rail system with experimental and laboratory investigations. In the new diesel engines, the fuel common rail system has an important contribution to increase efficiency and improve engine performance. The injector as one of the most important and advanced components in the common rail system has numerous failures in test engine. For this purpose, different parts of a sample injector are introduced. Based on the results of 200 injectors and step back from the client to identify potential failure modes it is cleared that three sets of magnets, valve and needle are the weaknesses and vulnerable parts of an injector. To the experience of researchers in the most time, adjusting the Shim thickness of the injector is the easiest and most effective way to repair and reset of it. To achieve the optimal placement of shims in a test rig, various thicknesses of shims was placed in the injector. Penetration of the spray, spray cone, droplet size and performance of the motor in vehicle test were evaluated to achieve the optimal placement of the shims. The results show that in each case the parts to fix it, there is an optimum thickness Shim that it is certified in the both injector flow test and the actual engine test.

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

