

تجزیه و تحلیل تجربی پارامترهای موثر بر نرخ و توزیع پاشش انژکتورها

چکیده: پاشش سوخت در موتورهای احتراق داخلی یکی از عوامل کلیدی در بهبود کارایی احتراق و کاهش آلاینده ها می باشد. عملکرد صحیح انژکتورهای سوخت نه تنها به نرخ پاشش بلکه به توزیع یکنواخت سوخت در فضای احتراق نیز کمک می کند. این عامل به شدت بر کارایی سوزاندن سوخت تأثیر می گذارد و می تواند به افزایش تولید توان و کاهش مصرف سوخت منجر شود. در این تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل تجربی پارامترهای مؤثر بر نرخ و توزیع پاشش انژکتورها، مدل آزمایشگاهی از یک دستگاه تست انژکتور طراحی و ساخته شد. هدف از این مطالعه، درک بهتر روابط بین پارامترهای مؤثر و نحوه تأثیر آن ها بر عملکرد کلی سیستم های سوخت رسانی می باشد. این دستگاه قابلیت انجام تست های نشتی، بررسی شکل و مقدار پاشش انژکتورها را دارد. نتایج نشان داد افزایش زمان پاشش، افزایش فشار ریل سوخت و افزایش ولتاژ اعمال شده به انژکتورها باعث افزایش مقدار پاشش می شود و سرعت قطع و وصل برق انژکتورها و وجود یا عدم وجود فیلتر تأثیر چندانی بر میزان پاشش ندارد.

واژه های راهنما: سیستم سوخت رسانی، انژکتور، دستگاه شستشوی انژکتور، مدل آزمایشگاهی، خودرو

بهمن رحمتی نژاد*

مربی

حسین رحیمی آسیابارکی

مربی

فرزین عظیم پور شیشوان

استادیار،

گروه مهندسی مکانیک،

دانشگاه ملی مهارت،

تهران

مقاله علمی ترویجی

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۹

بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

**Bahman
Rahmatinejad***
Instructor

**Hossein Rahimi
Asiabaraki**
Instructor

**Farzin Azimpour
Shishevan**
Assistant Professor,
Department of
Mechanical Engineering,
Technical and
Vocational University
(TVU), Tehran

Experimental analysis of parameters affecting injector spray rate and distribution

Abstract: Fuel injection in internal combustion engines is a key factor in improving combustion efficiency and reducing emissions. The proper functioning of fuel injectors contributes not only to the injection rate but also to the uniform distribution of fuel within the combustion chamber. This factor significantly impacts fuel burning efficiency and can lead to increased power output and reduced fuel consumption. In this research, to experimentally analyze the parameters affecting the injection rate and distribution of injectors, a laboratory model of an injector test rig was designed and built. The aim of this study is to better understand the relationships between these parameters and how they affect the overall performance of fuel systems. This device is capable of performing leak tests and examining the shape and quantity of injector spray. The results showed that increasing the injection time, increasing the fuel rail pressure, and increasing the voltage applied to the injectors all increase the amount of fuel injected. The speed of switching the injector power on and off and the presence or absence of a filter had little effect on the amount of fuel injected.

Keywords: Fuel system, Injector, Injector cleaning machine, Laboratory model, Automotive

۱- مقدمه

پیچشی تک پایه ساده بوده و از آب به عنوان سیال عامل استفاده شده است. شرایط انجام تمامی آزمایش‌ها شرایط استاندارد اتمسفریک بوده است. تصویربرداری از میدان پاشش با استفاده از روش سایه‌نگاری انجام شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در رینولدز ۳۰۰۰۰ رژیم پاشش انژکتور از رژیم قطره‌چکانی به رژیم اتمیزاسیون تغییر یافته و با افزایش بیشتر رینولدز تا حد ۳۷۰۰۰ رژیم کاملاً توسعه یافته پاشش (که مخروط پاشش کامل می‌شود) حاکم می‌شود. از طرفی، با افزایش رینولدز، زاویه پاشش انژکتور ابتدا افزایش یافته و با افزایش بیشتر رینولدز، تقریباً ثابت می‌شود.

حسینعلی پور و همکاران [۴] به تحلیل تجربی مشخصات اسپری خروجی از یک انژکتور جریان چرخشی پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از یک نوع انژکتور جریان چرخشی با چهار ورودی مماسی که به روش بایول طراحی و با روش تراشکاری ساخته شده است استفاده نمودند. این انژکتور به صورت جریان چرخشی می‌باشد و به سبب افت فشار در محور میانی انژکتور، هوای بیرون به داخل انژکتور مکیده شده و یک حفره هوا در مرکز انژکتور شکل می‌گیرد؛ بنابراین افشانه‌ی تک پایه اما با عملکرد دوفازی می‌باشد و از این رو چتر پاششی به صورت یک مخروط توخالی با لایه نازک ایجاد می‌نماید.

مراد و رضانی [۵] به مطالعه تجربی ضخامت فیلم مایع حاصل از برخورد اسپری با یک سطح جامد پرداخته و نشان دادند در دبی‌های حجمی بالای افشانه یک لایه مایع بر روی سطح جامد تشکیل می‌شود. در صورتی که ضخامت لایه مایع زیاد باشد، در کاربردهای احتراقی، می‌تواند منجر به احتراق ناقص سوخت در محفظه احتراق شود. ضخامت لایه مایع به پارامترهای زیادی، نظیر دبی حجمی سیال، فاصله نازل تا سطح و مود شکست افشانه، بستگی دارد. اندازه ضخامت متوسط لایه مایع با تغییر پارامترهایی نظیر دبی حجمی سیال مایع و گاز و فاصله نازل تا سطح تغییر می‌کند و این ضخامت در بازه بین ۴۰ تا ۲۲۰ میکرومتر در شرایط مختلف متغیر است.

رستمی و مهدوی مقدم [۶] به بررسی تجربی و عددی مشخصات قطره‌سازی سوخت‌های دیزل و مازوت تزریق شده از یک انژکتور فشاری-پیچشی پرداخته و نشان دادند طول شکست و قطر قطرات با افزایش دما و فشار سوخت روندی نزولی را طی کرده و با توسعه کامل جریان، تقریباً به سمت مقدار صفر میل می‌کنند. توزیع قطر اندازه قطرات با افزایش گرانروی سیال و توزیع سرعت قطرات با کاهش گرانروی سیال صافتر و یکنواخت‌تر می‌شود. خداوردیان و همکاران [۷] به بررسی تبخیر اکسیدکننده پاشش شده از انژکتور فشاری-

موتورهای احتراق داخلی امروزه کاربردهای فراوانی دارند. در این موتورها، تولید توان با بازده بالا بستگی به عملکرد صحیح در تمامی قسمت‌های آن دارد [۱]. یکی از این قسمت‌ها سیستم سوخت‌رسانی انژکتوری می‌باشد. در این سیستم سوخت توسط یک پمپ مکانیکی یا برقی با فشار به داخل لوله‌های سوخت‌رسانی و ریل سوخت وارد می‌گردد و از طریق انژکتورها به پشت سوپاپ هوا یا درون سیلندر به صورت پودر شده پاشیده می‌شود. در سیستم سوخت‌رسانی چند نقطه‌ای (MPFI)، انژکتورها مابین ریل سوخت و منیفولد هوای ورودی قرار گرفته و توسط اورینگ‌هایی که در دو انتهای آن‌ها قرار دارند آب‌بندی شده و با استفاده از بست در جای خود بر روی ریل سوخت نصب می‌شوند. واحد کنترل الکترونیکی (ECU) بر اساس سیگنال‌های ارسالی از سنسور دور موتور و همچنین در صورت وجود از سنسور میل سوپاپ زمان عمل انژکتورها را مشخص نموده و باعث فعال شدن انژکتورها و پاشش سوخت می‌گردد تا سوخت به صورت ذرات پودر از انژکتور خارج گردد. ECU با کنترل مدت زمان باز بودن انژکتورها در یک سیکل، حجم سوخت تزریقی را کنترل می‌کند.

انژکتورها از نظر شکل به دو دسته مخروطی و استوانه‌ای تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال در خودروهای پژو پارس، ۴۰۵، سمند، پراید و زانتیا از انژکتورهای نوع مخروطی و در خودروهای پیکان، پژو RD و پژو ۲۰۶، از انژکتورهای نوع استوانه‌ای استفاده شده است. در مدل‌های جدید اکثراً از نوع استوانه‌ای استفاده می‌شود.

انژکتورها دارای یک سوکت ۲ پایه هستند که پایه ۱ آن‌ها ولتاژ ۱۲ ولت را مستقیم و به صورت دائم از رله دابل می‌گیرد و پایه ۲، ولتاژ منفی را از ECU به صورت منقطع (در زمان پاشش) دریافت می‌کند.

یکی از مهم‌ترین راه‌های کاهش مصرف انرژی در صنایع مختلف افزایش راندمان حرارتی است [۲]. در موتورهای احتراق داخلی در صورتی که انژکتور به درستی کار کند می‌توان به راندمان حرارتی بالا دست یافت. محققین متعددی در مورد انژکتور، تحقیق نموده‌اند؛ که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

پورمحمود و همکاران [۳] پارامترهای عملکردی یک انژکتور پیچشی، به عنوان تابعی از اعداد رینولدز و وبر را مطالعه نمودند. انژکتور مورد استفاده در این پژوهش، یک انژکتور

که دارای کیفیت مناسب باشند نیز دشوار باشد. راه حل مناسب موجود جهت حل مشکل استفاده از دستگاه انژکتور شوی است. با استفاده از این دستگاه می توان عملکرد انژکتورها را مورد بررسی قرار داد و رسوبات و ناخالصی های موجود را برطرف کرد و انژکتورهای معیوب را شناسایی نمود. به طور کلی برای جلوگیری از خرابی انژکتورها و صحت عملکرد آن باید بین کیلومترهای ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ کیلومتر انژکتور خودرو را شستشو نمود البته در شرایط کاری متفاوت و خودروهای مختلف این مقدار قابل تغییر می باشد. با توجه به بررسی منابع مختلف مشخص شد یکی از عواملی که باعث افزایش آلاینده ها و مصرف سوخت و کاهش قدرت موتور می شود، رسوب آلودگی ها در انژکتور خودرو است. این عامل باعث افزایش اندازه ذرات سوخت تزریقی در محفظه سیلندر و در نتیجه عدم احتراق کامل می شود. همچنین عیوب انژکتور بر عملکرد و عمر سایر تجهیزات کنترل کننده آلاینده ها مانند سنسور اکسیژن و کاتالیست تأثیر منفی می گذارد؛ بنابراین استفاده از دستگاه شستشوی انژکتور جهت بررسی عملکرد صحیح انژکتورها در بازه های زمانی مشخص توصیه می شود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- ساخت دستگاه

به منظور بررسی پارامترهای مؤثر بر میزان پاشش در انژکتورها نیاز به طراحی و ساخت دستگاه شستشوی انژکتور می باشد. برای ساخت دستگاه مورد نظر ابتدا وسایل مورد نیاز تهیه شد و سپس قطعات مانند شکل (۱) بر روی میزی با ابعاد ۹۰*۵۰*۳۰ سانتی متر سوار گردید و در نهایت سیم کشی دستگاه انجام شد.

اجزای دستگاه طراحی و ساخته شده مطابق شکل (۱) به ترتیب نشان دهنده ۱- ریل سوخت، ۲- انژکتورها، ۳- استوانه های شیشه ای اندازه گیری سوخت، ۴- تایمر دیجیتالی، ۵- رله پنج پایه، ۶- گیج فشار، ۷- شیلنگ سوخت ورودی به ریل سوخت، ۸- شیرهای تخلیه سوخت استوانه های شیشه ای، ۹- برد آردوینو، ۱۰- آداپتور جریان AC به DC با ولتاژ قابل تنظیم می باشد.

مشخصات فنی دستگاه:

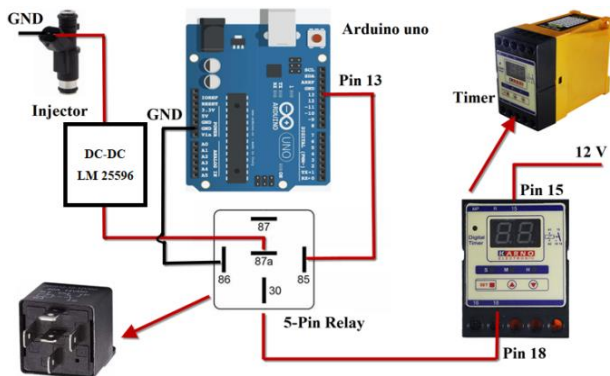
- فشار کاری صفر تا ۶ بار
- دمای کاری ۱۰- تا ۵۰ درجه سانتی گراد
- تغذیه برق تایمر ۲۲۰ ولت
- تغذیه برق پمپ بنزین و انژکتورها ۱۲ ولت

پیچشی در محفظه احتراق در شرایط فشار پایین پرداخته و نشان دادند هر چند نقش تبخیر آبی در تغییر دما و فشار قطرات به عنوان فاز گسسته و نیز گاز محیطی به عنوان فاز پیوسته مشهود است، ولی همزمان با آن می توان میل این دو فاز به شرایط پایدار و ایجاد حالت پایا را مشاهده کرد. سیمون ماریسیج و همکاران [۸] مدل ریاضی برای انژکتور یک سیستم تزریق سوخت ریل مشترک ارائه نمودند. آن ها برای این کار از شبیه سازی رایانه ای همراه با اندازه گیری سیستم تزریق سوخت آکومولاتور ریل مشترک یک موتور تک سیلندر استفاده نمودند. شبیه سازی رایانه ای، پدیده هایی از قبیل فشار ریل، نرخ تزریق، کل سوخت تزریقی، فاصله زمانی جریان انژکتور تا اولین شواهد فرآیند تزریق و سایر تأخیرهای زمانی بین فازهای مختلف را محاسبه می کند. مقایسه بین پارامترهای تزریق محاسبه شده و اندازه گیری شده تطابق خوبی را نشان داد. کمال تدینوف و همکاران [۹] مطالعات تجربی تزریق سوخت در موتور دیزل با انژکتور شیب دار را انجام دادند. سوخت اسپری شده توسط یک دوربین پرسرعت با ضبط همزمان پالس های کنترل دوربین و انژکتور بر روی اسیلوسکوپ انجام شد. دو انژکتور دیزل هشت سوراخه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که افزایش در قطر روزه های نازل که محورهای آن ها حداکثر از محور انژکتور منحرف می شوند، باعث کاهش توزیع ناهموار سوخت در محفظه احتراق و بهبود فرآیند احتراق و عملکرد دیزل می شود. مولر و همکاران [۱۰] اثرات اکسیژن رسانی به سوخت تزریق شده در یک موتور احتراق تراکمی با انژکتور دو روزه را بررسی نمودند. آن ها به منظور مقایسه احتراق دیزل معمولی و تزریق سوخت با هوا از یک موتور تک سیلندر استفاده کردند. نتایج نشان داد ویژگی های عملیاتی، انتشار هیدروکربن و مونوکسید کربن و در نتیجه راندمان احتراق بین دو مورد اشاره شده مشابه است.

در مطالعات تأثیر هندسه سوراخ های نازل بر فرآیندهای تزریق، اختلاط و احتراق، عمدتاً از دو رویکرد تجربی و عددی استفاده می شود. مطالعات تجربی با تجسم فرآیند تزریق در یک محفظه با حجم ثابت و فیلم برداری با سرعت بالا انجام می شوند [۱۱-۱۶] و مدل سازی عددی با استفاده از فناوری های CFD (دینامیک سیالات محاسباتی) انجام می پذیرد [۱۷-۱۹].

به منظور عملکرد صحیح موتور خودرو باید از انژکتورهای آن به خوبی مراقبت و نگهداری شود؛ همچنین تعویض این قطعه نیز راه حلی برای حل مشکل محسوب نمی شود؛ زیرا این قطعه گران قیمت است و جهت تعویض آن باید هزینه زیادی صرف شود و از سوی دیگر ممکن است دستیابی به انژکتورهایی

رله مغناطیسی بوده و برد آردوینو با قطع و وصل جریان این رله می‌تواند جریان برق انژکتورها را قطع و وصل نماید.



شکل ۲ مکانیزم قطع و وصل جریان برق انژکتورها

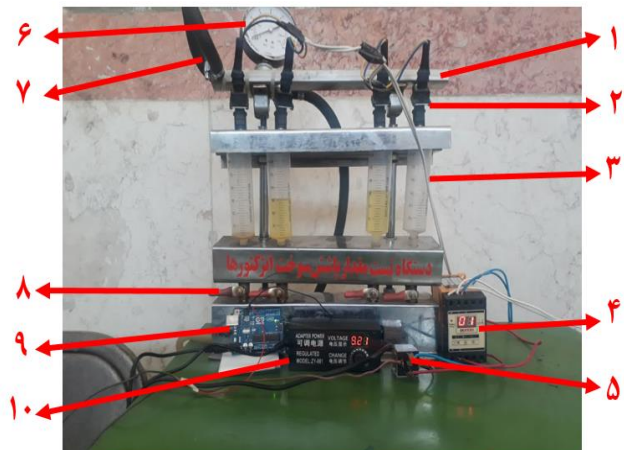
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تست نشتی سوزن انژکتورها

- تعداد انژکتورهای همزمان کاری ۱ تا ۴
- گیج فشار با قابلیت تحمل ۱۶ بار (230 Psi)
- ابعاد دستگاه: ۹۰*۵۰*۳۰ سانتی‌متر
- قابلیت‌های ویژه دستگاه طراحی شده:
- بررسی و مشاهده نشتی انژکتور
- تست زاویه تزریق و نحوه پودر سازی انژکتورها
- تست حالت یکنواختی پاشش سوخت انژکتورها
- شستشوی شیمیایی و رفع کامل رسوبات داخلی انژکتورهای مسدود
- مشاهده و مقایسه حجم پاشش سوخت انژکتورها نسبت به یکدیگر
- امکان شستشوی انژکتورها بدون جداسازی از خودرو (شستشوی روکار)، برای این منظور کافی است که شیلنگ‌های ورودی و خروجی ریل سوخت دستگاه را به ریل سوخت خودروی مورد نظر متصل نمود.
- دارا بودن اتصالات مناسب و مخصوص انژکتورهای تمام خودروهای ایرانی (سایپا و ایران خودرو)



(الف)



شکل ۱ نمای ظاهری و اجزاء دستگاه



(ب)

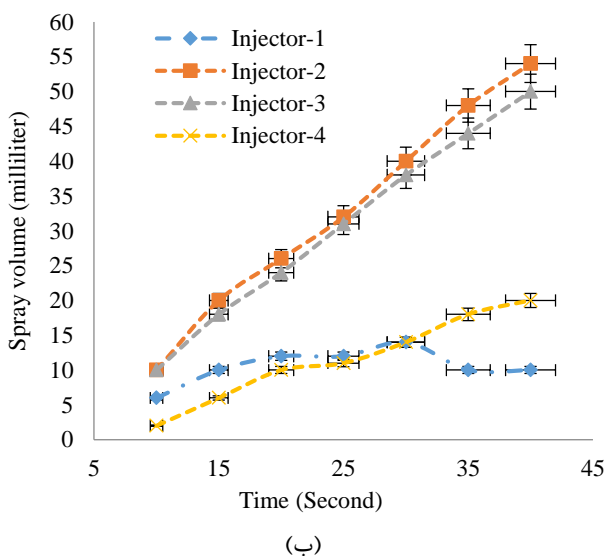
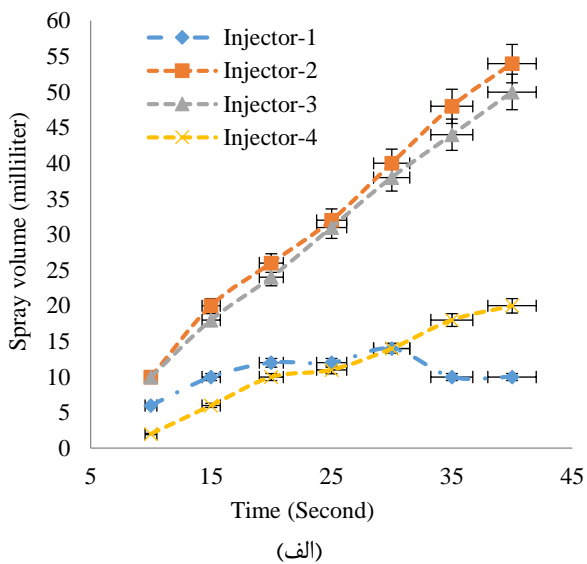
شکل ۳ فشار ریل سوخت؛ الف- در حین پاشش انژکتورها، ب- زمانی که انژکتورها پاشش نمی‌کنند.

۳-۲- مکانیزم قطع و وصل جریان انژکتورها

به منظور جلوگیری از یکسره باز بودن انژکتورها و همچنین ایجاد حالت واقعی‌تر در دستگاه شستشوی انژکتور، نیاز به قطع و وصل جریان برق انژکتورها می‌باشد. این عمل بر روی خودرو توسط قطع و وصل نمودن پایه منفی توسط ECU انجام می‌شود. برای انجام این کار در دستگاه طراحی شده مدار شکل (۲) طراحی و ساخته شد. در این مدار به کمک تایمر دیجیتال زمان تست تعیین می‌شود (۱۰؛ ۲۰؛ ۳۰ و ۴۰ ثانیه) و توسط برنامه‌نویسی در برد آردوینو زمان قطع و وصل انژکتورها مشخص می‌گردد. پایه‌های ۸۵ و ۸۶ در رله ۵ پایه مربوط به

۳-۳- بررسی مقدار پاشش هر یک از انژکتورها

به منظور بررسی مقدار پاشش هر یک از انژکتورها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر، تایمر دستگاه بر روی ۱۰ الی ۴۰ ثانیه تنظیم می‌شود و مقدار پاشش هر انژکتور با دیگری مقایسه می‌گردد. در این آزمایش از یک انژکتور نو و سه انژکتور کارکرده استفاده شده است. اگر متوسط پاشش هر یک از انژکتورهای کارکرده از متوسط پاشش انژکتور نو بیشتر باشد، دلیل بر گشاد شدن سوراخ انژکتور می‌باشد و در صورتی که از متوسط پاشش انژکتور نو کمتر باشد؛ احتمالاً به علت گرفتگی سوراخ انژکتور است که باید توسط دستگاه اولتراسونیک نسبت به شستشوی آن اقدام گردد. در روش‌های نوین از پردازش تصویر برای تشخیص این عیوب در انژکتور استفاده می‌شود.



شکل ۵ بررسی مقدار پاشش یک انژکتور نو و سه انژکتور کارکرده؛ الف- در حالت معمولی، ب- بعد از اولتراسونیک

تست نشستی سوزن انژکتورها در فشار ۵ بار انجام شده است. در این آزمایش برق پمپ‌بنزین وصل و برق انژکتورها قطع می‌باشد. در این حالت نشستی احتمالی انژکتورها به صورت چشمی کنترل می‌شود و در صورت وجود نشستی، اورینگ سوزن انژکتور مربوطه تعویض می‌گردد. اصولاً در این شرایط با توجه به فشار تنظیم شده در رگولاتور، کل جریان ورودی به ریل سوخت از مسیر برگشت به باک عبور می‌کند. لازم به ذکر است فشار تولیدی پمپ‌بنزین‌ها ۵ الی ۶ بار است و فشار ریل سوخت جهت پاشش ۲/۵ الی ۳ بار می‌باشد. زمانی که انژکتورها در حین پاشش باشند، فشار ریل سوخت ۲ الی ۲/۵ بار می‌باشد؛ ولی زمانی که برق انژکتورها قطع می‌باشد و پاشش نمی‌کنند فشار پمپ تا ۵ بار افزایش پیدا کرده و با فعال شدن رگولاتور کل سوخت برگشت داده می‌شود (شکل (۳)).

۳-۲- بررسی شکل پاشش انژکتورها

در این آزمایش برق پمپ‌بنزین و برق انژکتورها وصل می‌باشد و به صورت چشمی شکل پاشش انژکتورها بررسی می‌گردد. در شکل (۴) حالت‌های مختلف به صورت عملی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود انژکتور شماره (۱) با اینکه خوب پاشش می‌کند ولی ضعیف است. این موضوع نشان‌دهنده گرفتگی نسبی سوراخ‌های انژکتور می‌باشد. انژکتور شماره (۲) دارای یک شکاف در پاشش است و مورد قبول نیست. این مشکل می‌تواند ناشی از انسداد موضعی در قسمتی از سوراخ‌های انژکتور باشد. انژکتور شماره (۳) به سمت چپ بیشتر پاشش می‌کند. انژکتور شماره (۴) خوب است ولی انژکتور شماره (۵) به یک سمت پاشش پهن‌تری دارد. این مشکل زمانی ایجاد می‌شود که قطر سوراخ‌های آن سمت در اثر سایش بزرگ‌تر شده باشند.

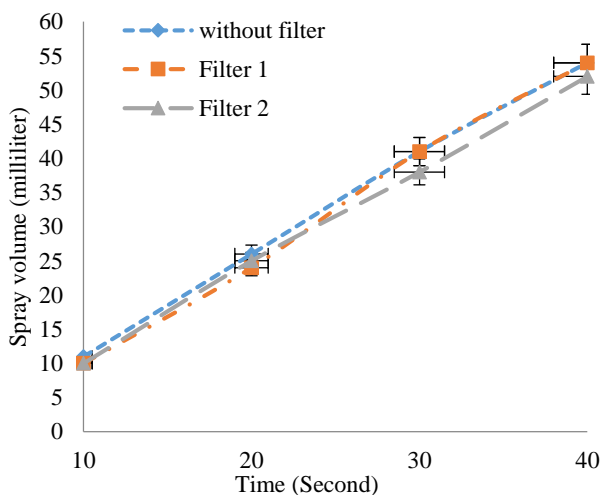


شکل ۴ نمونه‌های انواع پاشش سوخت در انژکتورها

ولتاژ ورودی این مبدل ۳ تا ۳۰ ولت و ولتاژ خروجی آن ۱/۵ تا ۳۰ ولت و حداکثر جریان خروجی ۳ آمپر می‌باشد. آزمایش در چهار ولتاژ مختلف و پنج بازه زمانی انجام شده است و متوسط پاشش‌ها محاسبه و در نتیجه در شکل (۶) گزارش گردیده است. با توجه به شکل (۶) مشخص گردید هرچقدر ولتاژ سیستم زیاد باشد مقدار پاشش نیز بیشتر خواهد بود؛ مثلاً زمانی که ولتاژ سیستم ۱۰ ولت است نسبت به حالتی که ولتاژ سیستم ۶ ولت می‌باشد در مدت زمان ۱۰ ثانیه؛ ۷ میلی‌متر سوخت بیشتر پاشیده می‌شود.

۳-۵- بررسی تأثیر وجود فیلتر بر میزان پاشش

به‌منظور بررسی تأثیر وجود فیلتر بر میزان پاشش انژکتورها؛ دو فیلتر متفاوت در سه حالت مختلف (بدون فیلتر؛ فیلتر ۱؛ فیلتر ۲) و در چهار بازه زمانی آزمایش پاشش از سیستم گرفته شد و متوسط پاشش‌ها محاسبه گردید و نتیجه در شکل (۷) گزارش گردید. نتایج نشان داد در صورتی که فیلتر گرفتگی زیادی نداشته باشد، وجود یا عدم وجود آن بر روی سیستم تأثیر چندانی بر میزان پاشش انژکتورها ندارد.



شکل ۷ بررسی تأثیر وجود فیلتر بر میزان پاشش انژکتورها

۳-۶- بررسی سرعت قطع و وصل انژکتورها بر میزان مصرف سوخت

به‌منظور بررسی سرعت قطع و وصل انژکتورها بر میزان پاشش و در نتیجه مصرف سوخت، برنامه‌نویسی بر روی برد آردوینو انجام گرفت. طبق برنامه نوشته‌شده برق انژکتورها با سرعت ۴، ۶ و ۸ میلی‌ثانیه قطع و وصل می‌شوند. برای انجام این آزمایش،

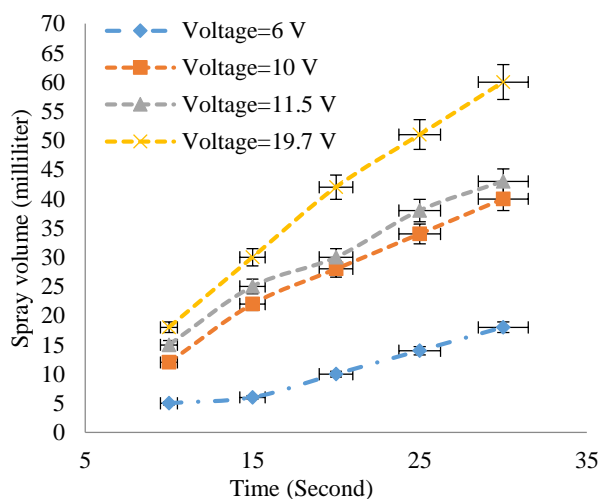
در این آزمایش انژکتور شماره (۲) نو می‌باشد. با توجه به شکل (۵-الف) مشخص است که انژکتور شماره (۱) کلاً معیوب می‌باشد چراکه در ۳۵ و ۴۰ ثانیه با وجود افزایش زمان پاشش، مقدار پاشش کاهش یافته است. انژکتور شماره (۴) گرفتگی شدید دارد و انژکتور شماره (۳) با وجود کارکرده بودن ولی گرفتگی نداشته و مقدار پاشش آن به انژکتور نو نزدیک می‌باشد.

یکی از اصلی‌ترین لوازم دستگاه انژکتور شوی وان اولتراسونیک می‌باشد. با مشاهده عملکرد نامناسب هر یک از سوزن انژکتورها در مرحله شستشوی اتوماتیک یا دستی؛ آن انژکتور باید با دستگاه اولتراسونیک شستشو شود. در این روش با استفاده از امواج مافوق صوت ذرات چربی و آلودگی‌ها از روی سطح جسم جدا شده و جسم یا قطعه پاک می‌شود. عمل شستشو بین ۱ الی ۱۰ دقیقه می‌تواند طول بکشد. در این آزمایش انژکتورهای (۱)، (۳) و (۴) در دستگاه اولتراسونیک برای شستشو قرار داده شده و به مدت ۱۰ دقیقه توسط اولتراسونیک شستشو شدند و مجدد آزمایش تکرار شد.

با توجه به شکل (۵-ب) نمودار انژکتور شماره (۴) به نمودار انژکتورهای (۲) و (۳) نزدیک شد و نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد که گرفتگی آن برطرف شده است ولی انژکتور شماره (۱) همچنان نمودار قابل قبولی ندارد. همچنین مطابقت نمودار انژکتور شماره (۳) با نمودار انژکتور شماره (۲) بیشتر شده است.

۳-۴- بررسی تأثیر مقدار ولتاژ سیستم بر میزان پاشش

به‌منظور بررسی تأثیر ولتاژ سیستم بر روی میزان پاشش انژکتورها از مبدل DC-DC LM25596 استفاده شده است (شکل (۲)).



شکل ۶ تأثیر مقدار ولتاژ سیستم بر میزان پاشش انژکتورها

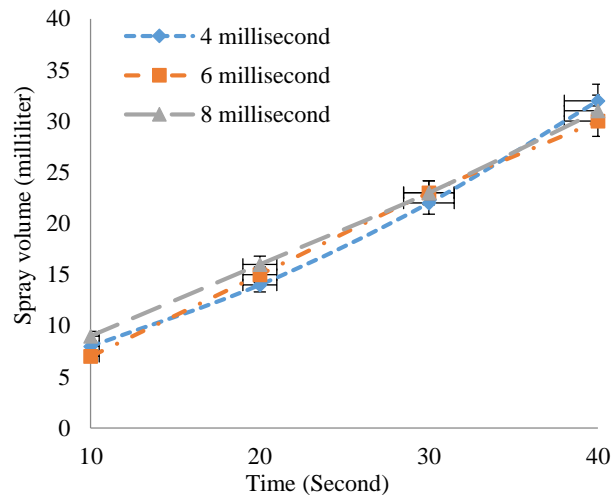
۴- نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل تجربی پارامترهای مؤثر بر نرخ و توزیع پاشش انژکتورها، یک مدل آزمایشگاهی دستگاه تست انژکتور طراحی و ساخته شد. در این دستگاه تست نشستی سوزن انژکتورها، بررسی شکل پاشش و مقدار پاشش به صورت چشمی انجام گرفت. نتایج نشان داد افزایش زمان پاشش، افزایش فشار ریل سوخت و افزایش ولتاژ اعمال شده به انژکتورها باعث افزایش مقدار پاشش می شود و سرعت قطع و وصل برق انژکتورها و وجود یا عدم وجود فیلتر تأثیر چندانی بر میزان پاشش نخواهد داشت.

۵- مراجع

- [1] B. Rahmatinejad, H. Rahimi Asiabaraki, and F. Azimpour Shishevan, "Investigation of the effect of AL2O3 nanofluid in M13NI engine cooling system," (in persian), *The Journal of Engine Research*, vol. 70, no. 1, pp. 47-65, 2023, doi: <https://doi.org/10.22034/ER.2023.1975318.0>.
- [2] B. Rahmatinejad, H. Rahimi Asiabaraki, F. Azimpour Shishevan, and M. A. Mohtadi Bonab, "Experimental analysis of the effect of using aluminum oxide nanofluid in improving the heat transfer of XU7 engine radiator," (in persian) *The Journal of Engine Research*, vol. 70, no. 2, pp. 66-79, 2023, doi: <https://doi.org/10.22034/ER.2023.2011671.1015>.
- [3] A. Poormahmood, M. Ghorban Hosseini, A. Kebriaee, and M. Farshchi, "An Experimental Study on the Operating Parameters of a Simplex Swirl Injector," (in persian), *Fuel and Combustion*, vol. 9, no. 1, pp. 75-84, 2016.
- [4] S. M. Hosseinalipour, H. Karimaei, and F. Ommi, "Experimental Analysis of the Spray Characteristics of a Swirl Injector," (in persian), *Journal of Mechanical Engineering University of Tabriz*, vol. 46, no. 4, pp. 69-75, 2017.
- [5] M. R. Morad, and A. Ramezani, "Experimental study of liquid film thickness formed by spray impingement on a solid surface," (in persian), *Fuel and Combustion*, vol. 13, no. 2, pp. 57-72, 2020.
- [6] E. Rostami, and H. Mahdavy Moghaddam, "Experimental and Numerical Investigation of Atomization characteristics of Diesel and Mazut Fuel injected from a Pressure-Swirl Atomizer," (in persian), *Fuel and Combustion*, vol. 14, no. 3, pp. 33-58, 2021, doi: <https://doi.org/10.22034/jfnc.2021.284326.1278>.

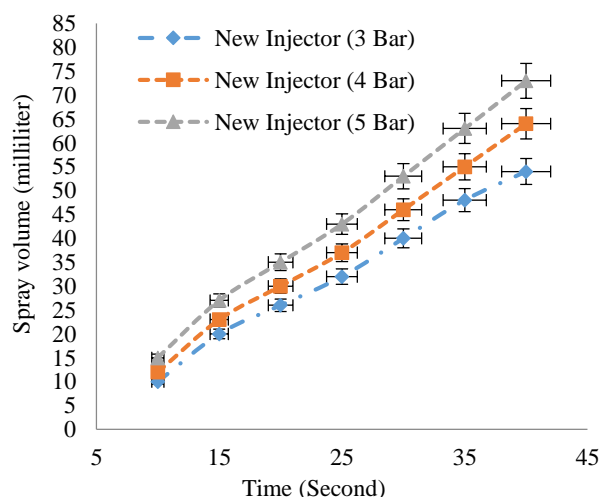
تایمر دستگاه بر روی ۱۰ الی ۴۰ ثانیه تنظیم می گردد و مقدار پاشش انژکتور نو در سه حالت ذکر شده مطابق شکل (۸) به دست می آید. طبق آزمایش انجام شده مشخص گردید که سرعت قطع و وصل انژکتورها در میزان پاشش انژکتورها بی تأثیر می باشد.



شکل ۸ تأثیر سرعت قطع و وصل انژکتورها بر میزان پاشش

۳-۷- بررسی تأثیر افزایش فشار بر روی مقدار پاشش

با مسدود کردن نسبی مسیر برگشت سوخت می توان فشار ریل سوخت را افزایش داد. در این حالت فعال شدن رگولاتور انتهایی ریل سوخت تأثیری بر کنترل فشار ندارد و می توان فشار ریل سوخت را افزایش و کاهش داد. به منظور بررسی تأثیر افزایش فشار بر روی مقدار پاشش فقط از انژکتور نو استفاده شده است و آزمایشها در سه فشار ۳، ۴ و ۵ بار انجام شد. همان طور که در شکل (۹) ملاحظه می شود نتایج نشان داد متوسط پاشش انژکتورها با افزایش فشار ریل سوخت افزایش می یابد.



شکل ۹ بررسی تأثیر افزایش فشار بر روی مقدار پاشش

- <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.140>.
- [14] Z. Wang, H. Xu, C. Jiang, and M. L. Wyszynski, "Experimental study on microscopic and macroscopic characteristics of diesel spray with split injection," *Fuel*, vol. 174, pp. 140-152, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.01.083>.
- [15] R. Payri, F. J. Salvador Rubio, G. C. Bracho León, and A. A. Viera Sotillo, "Vapor phase penetration measurements with both single and double-pass Schlieren for the same injection event," in *Illass Europe. 28th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, Editorial Universitat Politècnica de València, July 2017, pp. 747-754, doi: <https://doi.org/10.4995/TLASS2017.2017.4884>.
- [16] R. Payri, J. P. Viera, V. Gopalakrishnan, and P. G. Szymkowicz, "The effect of nozzle geometry over internal flow and spray formation for three different fuels," *Fuel*, vol. 183, pp. 20-33, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.06.041>.
- [17] F. Xue *et al.*, "Numerical analyses of transient flow characteristics within each nozzle hole of an asymmetric diesel injector," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 104, pp. 18-27, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.027>.
- [18] F. J. Salvador, D. Jaramillo, J. V. Romero, and M. D. Roselló, "Using a homogeneous equilibrium model for the study of the inner nozzle flow and cavitation pattern in convergent-divergent nozzles of diesel injectors," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 309, pp. 630-641, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2016.04.010>.
- [19] F. J. Salvador, M. Carreres, D. Jaramillo, and J. Martínez-López, "Analysis of the combined effect of hydrogrinding process and inclination angle on hydraulic performance of diesel injection nozzles," *Energy Conversion and Management*, vol. 105, pp. 1352-1365, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.035>.
- [7] R. Khodaverdian *et al.*, "Evaporation of Injected Oxidizer from a Pressure-Swirl Injector in a Low Pressure Combustion Chamber," (in persian), *Fuel and Combustion*, vol. 14, no. 1, pp. 95-116, 2021, doi: <https://doi.org/10.22034/jfnc.2021.250402.1248>.
- [8] S. Marčič, M. Marčič, and Z. Praunseis, "Mathematical model for the injector of a common rail fuel-injection system," *Engineering*, vol. 7, no. 06, pp. 307, 2015, doi: <https://doi.org/10.4236/eng.2015.76027>.
- [9] V. G. Kamaltdinov *et al.*, "Experimental studies of fuel injection in a diesel engine with an inclined injector," *Energies*, vol. 12, no. 14, pp. 2643, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/en12142643>.
- [10] C. J. Mueller, C. W. Nilsen, D. E. Biles, and B. F. Yraguen, "Effects of fuel oxygenation and ducted fuel injection on the performance of a mixing-controlled compression-ignition optical engine with a two-orifice fuel injector," *Applications in Energy and Combustion Science*, vol. 6, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2021.100024>.
- [11] R. Payri, G. Bracho, P. Marti-Aldaravi, and A. Viera, "Near field visualization of diesel spray for different nozzle inclination angles in non-vaporizing conditions," *Atomization and Sprays*, vol. 27, no. 3, pp. 251-267, 2017, doi: <https://doi.org/10.1615/AtomizSpr.2017017949>.
- [12] M. R. Herfatmanesh, P. Lu, M. A. Attar, and H. Zhao, "Experimental investigation into the effects of two-stage injection on fuel injection quantity, combustion and emissions in a high-speed optical common rail diesel engine," *Fuel*, vol. 109, pp. 137-147, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.01.013>.
- [13] R. Payri, F. J. Salvador, G. Bracho, and A. Viera, "Differences between single and double-pass schlieren imaging on diesel vapor spray characteristics," *Applied Thermal Engineering*, vol. 125, pp. 220-231, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.140>.