



ارائه معیار پخش شوندگی و بررسی آن برای شرایط فشار محفظه نزدیک به خلاء، در فواره‌های بنزینی تزریق مستقیم چندسوراخ

سعید رحمانی^۱، علیرضا حاجی‌علی‌محمدی^{۲*}، هادی فتح‌اللهی^۳، سید مصطفی آقامیرسلیم^۴

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، saeed.rahmani@aut.ac.ir

^۲ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، ahajiali@semnan.ac.ir

^۳ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران، fathollahy@email.kntu.ac.ir

^۴ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، mo_mirsalim@aut.ac.ir

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۷

پذیرش: ۴ آذر ۱۳۹۷

کلیدواژه‌ها:

افشانه چند سوراخ

فواره تزریق مستقیم

روش عکس برداری سریع

سامانه نوری شیلرین

زاویه کلی فواره

سطح تصویر شده فواره

با گسترش و پیشرفت فناوری‌های نوری، استفاده از روش‌های متفاوت تصویربرداری برای مطالعه خصوصیات مختلف فواره تزریق مستقیم بنزین در حال توسعه یافتن است. در این مقاله هدف بررسی اثر دو مشخصه زاویه کلی فواره و سطح تصویر شده فواره در تعیین نحوه پخش شوندگی فواره و مقایسه آنها در اثر بخشی سنجش این معیار فواره می باشد. افشانه مورد بررسی از نوع افشانه تزریق مستقیم چندسوراخ بود و به منظور تولید فشار مورد نیاز پاشش سوخت، سامانه پاشش سوخت انبساطی طراحی و ساخته شد و برای آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به بررسی تجربی انجام شده، مشخص شد که مشخصه زاویه کلی فواره، معیار درستی برای سنجش قابلیت پخش شوندگی فواره در محیط نیست. مشخصه سطح تصویر شده فواره نیز بررسی شد و این نتیجه حاصل شد که این مشخصه بیان صحیحی از پخش شوندگی فواره بخصوص برای افشانه‌های تزریق مستقیم چند سوراخ را ارائه می‌دهد. برای محاسبه سطح تصویر شده از روش نوری شیلرین برای عکسبرداری از فواره سوخت استفاده شد و به کمک روش پردازش تصویر، میزان سطح تصویر شده فواره محاسبه شد. در ادامه بر این اساس پخش شوندگی فواره برای فشارهای مختلف محیط و پاشش سوخت بررسی شد که به ترتیب روند کاهشی و افزایشی پخش شوندگی فواره با افزایش فشار محیط و پاشش سوخت به دست آمد، همچنین در بررسی صورت گرفته برای فشارهای محیط کمتر از فشار جو (نزدیک به شرایط خلاء) و مقایسه آن با فشارهای بیشتر از آن، مشخص شد که در فشارهای کمتر از فشار جو، سرعت پخش شوندگی فواره در محیط با افزایش فشار پاشش سوخت روند افزایشی دارد، درحالی که در فشارهای بیشتر از فشار جو این سرعت تقریباً ثابت است.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

به این نتیجه رسیدند که اتانول تأثیری منفی بر طول نفوذ دارد، و این تأثیر منفی با افزایش درصد ترکیبی اتانول به بنزین بیشتر شده و در اتانول خالص کمترین مقدار طول نفوذ ثبت شد، همچنین در این بررسی گزارش شد که در ابتدای پاشش سوخت، افزایش مقدار اتانول بنزین، کاهش شدید زاویه فواره را در پی دارد هرچند در ادامه با گذشت زمان زوایا به مقداری برابر میل می‌کنند.

آقای بامگارتن [۱۰] یک افشانه چند سوراخ را در دو فشار متفاوت محیط و شرایط سوخت پاشش شده یکسان بررسی کرد. در این آزمایش زاویه کلی فواره در دو حالت بررسی شده ثابت گزارش شده است، و این در حالی است که در فشار محیط ۵ بار، فواره درصد کمتری از محیط را اشغال کرده است، به بیان دیگر باید گفت که پخش شدگی فواره در هوا در این حالت کمتر است.

در این مقاله تأثیر دو مشخصه زاویه کلی فواره و سطح تصویر شده فواره در بیان مقدار پخش‌شوندگی فواره‌های تولیدی از یک افشانه تزریق مستقیم چند سوراخ بررسی و مقایسه شد، سپس پس از انتخاب مشخصه سطح تصویر شده فواره به عنوان معیار صحیح بیان پخش‌شوندگی فواره، استفاده از مشخصه مذکور به جای مشخصه زاویه کلی فواره برای مطالعه فواره بخصوص فواره‌های تزریق مستقیم چند سوراخ توصیه شد، در ادامه بر این اساس نحوه پخش‌شوندگی فواره در فشارهای مختلف محیط و پاشش سوخت، همچنین پخش‌شوندگی فواره در فشارهای محیط کمتر از فشار جو بررسی و با فواره تولیدی در فشارهای محیط بیشتر از فشار جو مقایسه شده است.

۲- روش آزمون

در این آزمون برای ثبت تصاویر از سامانه نوری شیلرین استفاده شد، همچنین محیط پاشش سوخت یک محیط حجم ثابت بود. سامانه نوری و محیط در آزمایش‌های قبلی به وسیله حاجی‌علی‌محمدی و همکاران ساخته شد که می‌توان اطلاعات مورد نیاز در این دو مورد را در مرجع [۱۱] یافت. با توجه به فشار زیاد پاشش سوخت در موتورهای تزریق مستقیم نسبت به درگاهی، نیاز بود سامانه‌ای مجزا برای تهیه سوخت پرفشار ساخته شود، بنابراین سامانه تهیه سوخت انباره‌ای^۱ طراحی و ساخته شد، شکل ۱ تصویری نمادین از سامانه آزمایشگاهی را نشان می‌دهد، در این سامانه سوخت به کمک گاز نیتروژن در انباره تحت فشار قرار می‌گیرد، پس از رسیدن فشار سوخت به مقدار مورد نظر با قطع جریان گاز نیتروژن، فشار انباره ثابت خواهد ماند، پایداری فشار در این روش از جمله مزیت‌های آن نسبت به استفاده از تلمبه فشار قوی می‌باشد؛ فشار درون محفظه نیز به کمک گاز نیتروژن تنظیم می‌شود، همچنین برای ایجاد خلأ در محفظه از تلمبه خلأ استفاده شد.

به کمک مرکز پایش افشانه نحوه تحریک افشانه تنظیم و پاشش سوخت انجام شد، با پاشش سوخت، سامانه نوری تصاویر را به کمک

امروزه روش‌های نوری در مطالعه مشخصه‌های مختلف فواره سوخت تکامل چشم‌گیری داشته‌اند و به صورت گسترده در این زمینه استفاده می‌شوند. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری نقطه‌ای و میدانی خصوصیات مختلف سیال مانند سرعت، قطر قطرات، عمق نفوذ و زاویه فواره سوخت در حال حاضر توسعه یافته اند [۱-۴]. مطالعه تجربی فواره سوخت در شرایط مشابه شرایط کاری موتور، برای صحنه گذاری حل‌های عددی و محاسبات طراحی موتور مورد استفاده قرار بگیرد. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه مطالعه مشخصات هندسی فواره تزریق مستقیم سوخت مایع انجام شده است. در سال ۲۰۰۰، آقای آراتو و همکارانش [۵] با انجام آزمایش‌هایی که به کمک روش فازی داپلر انجام شد، برای فواره چرخشی تزریق مستقیم بنزین به این نتیجه رسیدند که، تغییر فشار و دمای سوخت، تغییرات شدیدی در ساختار و قطر متوسط ذرات فواره ایجاد خواهد کرد، آنها در آزمایش‌های تجربی دریافتند که با افزایش دمای سوخت سرعت نفوذ فواره افزایش و قطر متوسط ذرات کاهش می‌یابد، همچنین به این نتیجه رسیدند که با افزایش فشار محیط، زاویه و طول نفوذ فواره کاهش می‌یابد. آقای برفوی و همکارانش [۶] در سال ۲۰۰۲ با انجام آزمایش‌هایی تأثیر دما و فشار هوای موجود در محیط را بر یک افشانه از بیرون باز شونده بررسی کردند، در این تحقیق که در آن از یک محفظه حجم ثابت استفاده می‌شد، تأثیر منفی افزایش دما و فشار محیط بر مقدار طول نفوذ فواره گزارش شده است.

در سال ۲۰۰۵، آقای جیان گائو و همکارانش [۷] یک افشانه چرخشی را در شرایط متفاوت محیط و سوخت پاشش شده بررسی کردند، در این آزمایش که فواره آزاد غیرتبخیری نیز مورد بحث قرار گرفت کاهش طول نفوذ فواره برای فشارهای بیشتر محیط گزارش شده است. آنها همچنین بیان کردند، هر چند در فشار کمینه محیط (۰٫۱ Mpa) بیشترین زاویه فواره وجود دارد که این امر به دلیل وجود گردابه‌های بزرگ و شکل مخروطی فواره است، ولی مقدار کاهش زاویه فواره با افزایش فشار محیط بسیار اندک بود. نتایج حاصل از این تحقیق توسط آقای ژاو و همکارانش [۸] در سال ۲۰۰۵ طی مطالعاتی جداگانه باردیگر به دست آمد، آنها که از یک افشانه چرخشی استفاده کردند علاوه بر مطالعه تجربی به کمک نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی کیوا به صورت عددی نیز به بررسی فواره پرداختند.

در سال ۲۰۰۷ آقای جیان گائو و همکارانش [۹] به بررسی ترکیب‌های متفاوت از سوخت بنزین و اتانول در یک افشانه چرخشی پرداختند. در این آزمایش علاوه بر آزمایش بنزین و اتانول به صورت خالص، بنزین با ۰٫۲۵، ۰٫۵ و ۰٫۷۵ درصد اتانول ترکیب شد و فواره تولیدی در شرایط متفاوت مورد بررسی قرار گرفت، آنها بدین منظور از روش نوری شیلرین استفاده کردند، با توجه به نتایج حاصل از عمق نفوذ و زاویه فواره، آنها

¹ Accumulator

شدن سوزن افشانه از چندراهه دیزل استفاده شد، علاوه بر فشارسنج روغنی، فشار سوخت به کمک حسگر فشار چندراهه نیز پایش شد، همچنین برای هواگیری خط از یک شیر سوزنی استفاده شد.

جدول ۱: مشخصات شیمیایی ایزواکتان

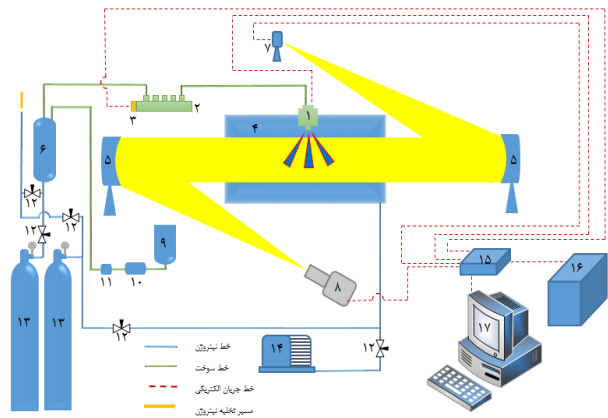
رابطه شیمیایی	C8H18
چگالی (kg/m ³)	714.9
گرمای ویژه (J/kg.k)	2041
لزجت (kg/m.s)	0.0004549
نقطه جوش (K)	372.39
ضریب نفوذ در هوا (m ² /s)	5.410*10 ⁻⁶
آنتالپی تبخیر (kJ/kg)	298
فشار بخار اشباع (kPa)	28.828
تنش سطحی (N/m)	0.01816



شکل ۳: محفظه و اتصالات آن از انباره تا افشانه

آزمون‌ها در چهار فشار پاشش ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ بار و چهار فشار محیط ۵، ۰٫۸۸، ۰٫۴ و ۰٫۰۵ بار بررسی انجام شد. در فشارهای محیط کمتر از فشار جو (۰٫۸۸ بار) بخشی از سوخت پاشش شده تبخیر می‌شود، که با کاهش هرچه بیشتر فشار محیط، مقدار تبخیر سوخت افزایش می‌یابد، با توجه به استفاده از روش شیلبرین در آزمایش و عدم امکان ثبت جبهه تبخیر شده فواره در تصاویر، محاسبات انجام شده مربوط به فاز مایع فواره می‌باشد.

دوربین پرسرعت ثبت می‌کند، تصاویر در رایانه ذخیره و در ادامه تحلیل شدند، اسم تجاری دوربین استفاده شده Motion Blitz است، این دوربین که توانایی ثبت تصاویر با سرعت بالا را دارا می‌باشد، در آزمایش‌ها تصاویر را با سرعت ۸۸۹۸ عکس در هر ثانیه و با اندازه ۱۴۴*۲۲۴ پیکسل ثبت شد، از جمله قابلیت‌های دوربین امکان تغییر سرعت آن می‌باشد، در واقع با کاهش اندازه تصویر می‌توان به سرعت تصویربرداری بیشتری دست یافت. افشانه از نوع تزریق مستقیم شش سوراخ HDEV5.1 و ساخت شرکت بوش بود، شکل ۲ تصویری از سوراخ‌های افشانه در راستای محور آن نشان می‌دهد، سوراخ‌های افشانه بر روی دایره‌ای به قطر ۱٫۴۵ mm قرار دارند، البته این دایره در مرکز نیست و ۰٫۳ mm نسبت به مرکز آن خروج از مرکز دارد، این افشانه بر روی موتور سه استوانه اکوبوست^۱ شرکت فورد استفاده شده است.



۱. مجموعه افشانه و نگهدارنده آن ۲. چندراهه سوخت ۳. حسگر فشار ۴. محفظه احتراق ۵. آینه ۶. انباره سوخت ۷. منبع نور ۸. دوربین پرسرعت ۹. مخزن سوخت ۱۰. صافی سوخت ۱۱. تلمبه سوخت ۱۲. شیر سوزنی ۱۳. مخزن نیتروژن ۱۴. خلا‌ساز ۱۵. مرکز پایش افشانه ۱۶. منبع تغذیه الکتریکی ۱۷. رایانه

شکل ۱: تصویری نمادین از سامانه آزمایشگاهی



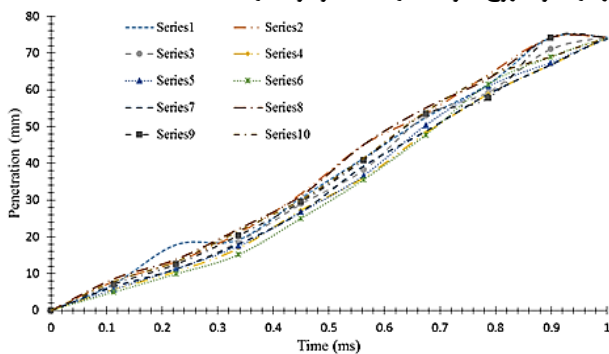
شکل ۲: تصویری از نحوه چینش سوراخ‌های افشانه

با توجه به نزدیک بودن ویژگی‌های ایزواکتان به بنزین و مشخص بودن ترکیب شیمیایی آن، همچنین اطمینان از ایمنی آزمایش، به جای بنزین از ایزواکتان به عنوان سوخت استفاده شد، مشخصات شیمیایی ایزواکتان در جدول ۱ بیان شده است.

شکل ۳ تصویری از محفظه و اتصالات آن از انباره تا افشانه را نشان می‌دهد؛ در این سامانه برای حذف نوسانات فشار سوخت ناشی از بلند

¹ Ford-Ecoboost

تکرارهای مختلف را نشان می‌دهد، خطای اندازه‌گیری ۰.۴٪ محاسبه شد، این خطا از تقسیم بیشترین اختلاف اندازه‌گیری شده هر نمودار با خط میانگین ده نمودار، بر بیشینه طول نفوذ حاصل می‌شود، علاوه بر خطای اندازه‌گیری اجزای مختلف سامانه آزمایشی و خطاهای محاسباتی، عمده خطای محاسبه شده ناشی از متفاوت بودن فاصله زمانی بین لحظه شروع ثبت تصاویر و شروع پاشش سوخت در تکرارهای مختلف آزمایش می‌باشد، در واقع با توجه به زمان شروع تصویربرداری و زمان خروج سوخت از افشانه، حداکثر به اندازه فاصله زمانی دو عکس، امکان وجود خطای ناشی از تفاوت زمانی شروع تصویر برداری و خروج سوخت از افشانه وجود دارد.



شکل ۶: طول نفوذ فواره در ده بار تکرار یک آزمایش در شرایط برابر

برای محاسبه سطح تصویر شده فواره، مراحل لبه‌یابی تصویر، تبدیل تصویر واقعی به تصویر دودویی و شمارش تعداد پیکسل‌ها به ترتیب طی شد. پس از یافتن تعداد پیکسل‌های فواره، تعداد آنها در مجذور ضریب تبدیل پیکسل بر حسب میلی‌متر ضرب شد تا سطح تصویر شده محاسبه شود.

۴- تحلیل و بررسی

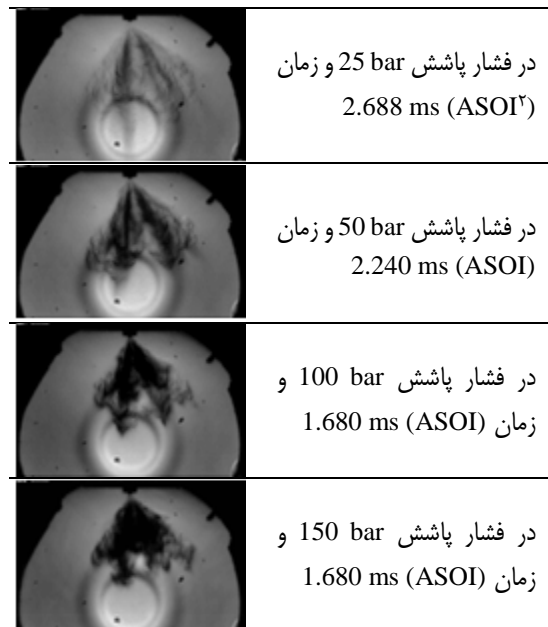
به طور معمول زاویه کلی فواره در دورترین طول نفوذ ممکن برای فواره محاسبه می‌شود، اما چون پاشش سوخت بعضی از فواره‌های آزمایش قبل از رسیدن فواره به انتهای تصویر به اتمام می‌رسد، این زاویه در فاصله‌ای نزدیک‌تر محاسبه شد، البته چون هدف از بررسی زاویه کلی فواره، مقایسه نحوه پخش شونده‌گی فواره در شرایط مختلف پاشش است این موضوع خللی در بررسی انجام شده وارد نمی‌کند، بدین منظور زاویه کلی فواره (α) در حالتی که فاصله فواره از نوک افشانه تا ۳۰ میلی‌متر است محاسبه شد.

زاویه کلی فواره با استفاده از استاندارد SAE J2715 اندازه گرفته شد [۱۲]، بر این اساس زاویه کلی فواره، زاویه‌ای است بین دو پاره خط مماس بر لبه‌های فواره که از فاصله ۵ میلی‌متری از نوک افشانه تا ۱۵ میلی‌متری از نوک آن امتداد یافته‌اند، شکل ۷ مثالی از نحوه محاسبه زاویه کلی فواره می‌باشد.

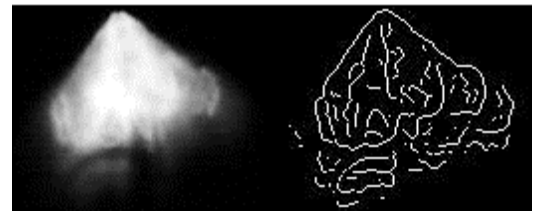
۳- روش تحلیل تصاویر

شکل ۴ تصاویری از فواره را در فشارهای متفاوت پاشش سوخت، فشار محیط ۰.۸۸ بار و در انتهای زمان پاشش سوخت نشان می‌دهد، همان‌طور که مشخص است با افزایش فشار پاشش، تصویر فواره تیره‌تر شده است، چون مقدار سوخت پاشش شده افزایش می‌یابد و در نتیجه شکست نور گذرنده از فواره بیشتر شده است.

برای تبدیل تصاویر به جدول دودویی از روش لبه‌یابی کنی^۱ استفاده شد [۱۲]، در این روش مشتق تابع گوسی به تصویر اعمال و حاصل آن با توجه به یک حد آستانه به تصویر دودویی تبدیل شد. در بخش سمت چپ شکل ۵ تصویر فواره را در حالتی نشان می‌دهد که از زمینه و اغتشاشات تصویر پاکسازی شده و در بخش سمت راست شکل ۵ به تصویری دودویی تبدیل شده‌است؛ نتایجی چون طول نفوذ فواره، سرعت لبه و مساحت سطح تصویر شده فواره در نتیجه تحلیل تصاویر دودویی ایجاد شده به کمک نرم‌افزار متلب به دست آمد.



شکل ۴: تصاویر فواره در فشارهای متفاوت پاشش سوخت و فشار محیط ۰.۸۸ بار



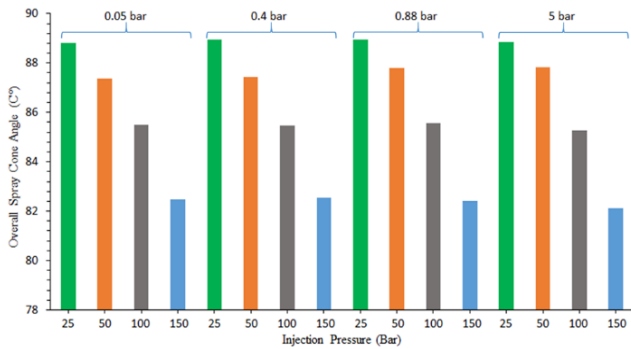
شکل ۵: تصویر پاک شده از اغتشاشات و زمینه (سمت چپ) و دودویی شده فواره (سمت راست)

به منظور کاهش تأثیر خطای نهایی، هر آزمایش ده بار تکرار شد و میانگین آنها در نظر گرفته شد، شکل ۶ نمودار طول نفوذ فواره برای

^۲ After Start Of Injection

^۱ Canny

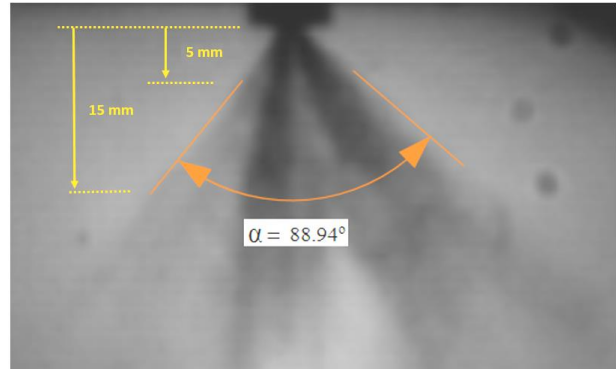
از بررسی شکل های ۹ و ۱۰ مشخص می شود که زاویه کلی فواره بیانی صحیح را از پخش شونندگی فواره ارائه نمی دهد، زیرا در حالی که در فشارهای محیط بزرگتر، فواره کسر حجمی بیشتری از محیط را اشغال می کند و پخش شونندگی بیشتری دارد، افزایش فشار محیط تغییرات ناچیز و نامنظم زاویه کلی فواره را در پی دارد، بنابراین نیاز است معیار دیگری برای بیان صحیح پخش شونندگی فواره ارائه شود.



شکل ۹: زاویه کلی فواره در فشارهای محیط ۰,۰۵، ۰,۴، ۰,۸۸، ۵ و ۰,۰۵ بار و فشارهای پاشش ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ بار

بدین منظور مشخصه سطح تصویر شده فواره نیز بررسی شد، بدین منظور نیاز است برای مقایسه صحیح این دو مشخصه، سطح تصویر شده فواره در همان لحظه ای بررسی شود که زاویه کلی فواره بررسی شد (تصاویر موجود در شکل ۸)، زاویه کلی فواره در حالتی که طول نفوذ فواره ۳۰ میلی متر است، محاسبه شد، بنابراین با توجه به تصویر بالای شکل ۱۰ می توان زمانی را که طول نفوذ دو فواره ۳۰ میلی متر است، محاسبه کرد، در واقع این زمان، زمان پس از شروع شدن پاشش سوخت است که در فشار محیط ۰,۰۵ بار ۰,۵۳ میلی ثانیه و در فشار محیط ۵ بار ۱,۵۲ میلی ثانیه محاسبه می شود، تصویر پایین شکل ۱۰ سطح تصویر شده فواره را بر حسب زمان بعد از شروع پاشش سوخت در فشار پاشش ۵۰ بار و فشارهای متفاوت محیط نشان می دهد، با توجه به این تصویر مشخص است که در فشار محیط ۰,۰۵ بار سطح تصویر شده فواره ۳۲۰ و در فشار محیط ۵ بار ۵۰۰ میلی متر مربع است، در واقع بیشتر بودن سطح تصویر شده فواره در فشار محیط ۵ بار به علت وجود فضای خالی بین فواره های متفاوت افشانه در فشار محیط ۰,۰۵ بار است، موضوعی که در شکل ۸ مشهود بود، پس می توان به صورت کلی گفت که مشخصه سطح تصویر شده فواره بیان صحیح تری از پخش شونندگی فواره نسبت به مشخصه زاویه کلی فواره ارائه می کند. بنابراین توصیه می شود در مطالعات مربوط به فواره و به طور ویژه برای فواره افشانه تزریق مستقیم چند سوراخ، به جای مشخصه زاویه کلی فواره از مشخصه سطح تصویر شده فواره برای توصیف نحوه پخش شونندگی فواره در محیط استفاده شود، هر چند این مولفه برای افشانه های تک سوراخ نیز بسیار کارآمدتر می باشد.

شکل ۸ دو تصویر از فواره را در فشار پاشش ۵۰ بار و دو فشار محیط ۰,۰۵ و ۵ بار نشان می دهد، همان طور که در شکل مشخص است، بین فواره های مختلف افشانه در فشار محیط ۰,۰۵ بار فضای خالی وجود دارد، در حالی که در فشار محیط ۵ بار فواره ها کاملاً در هم آمیخته شده اند و فضایی خالی بین آنها وجود ندارد، پخش شونندگی فواره ای بیشتر است که در شرایط یکسان کسر حجمی بیشتری از محیط را اشغال کرده باشد، در واقع مقدار پخش شونندگی فواره در فشار محیط ۵ بار بیشتر از حالتی است که در آن فشار محیط ۰,۰۵ بار است.



شکل ۷: مثالی از نحوه اندازه گیری زاویه کلی فواره



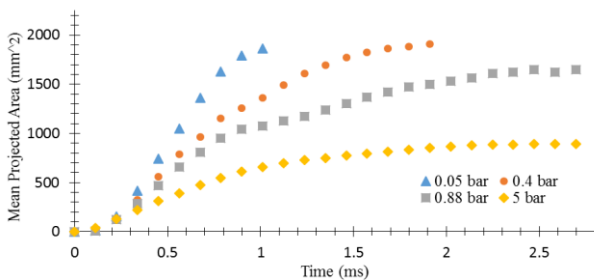
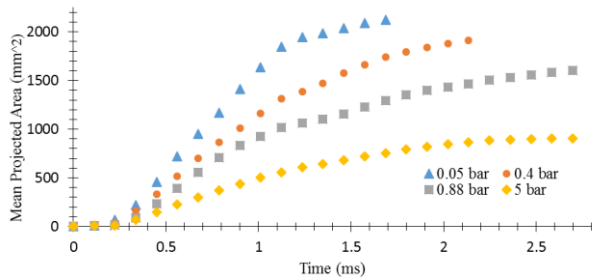
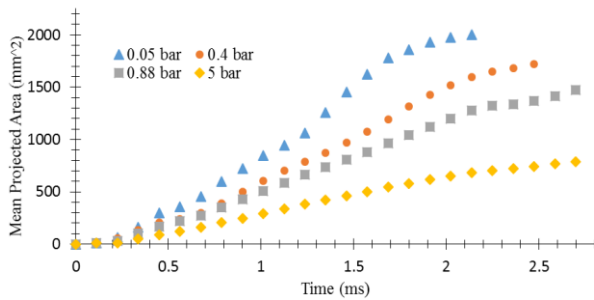
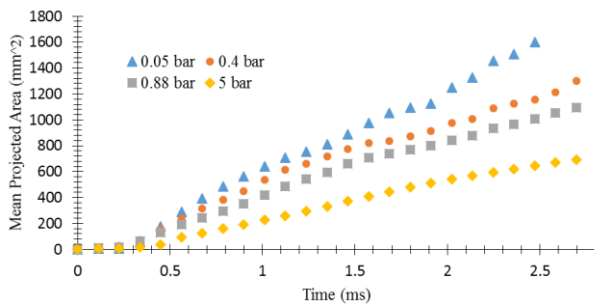
شکل ۸: تداخل و جدایی فواره های متفاوت افشانه در فشار پاشش سوخت ۵۰ بار و فشارهای محیط ۰,۰۵ بار (راست) و ۵ بار (چپ)

در شکل ۹ نتایج محاسبه شده برای زاویه کلی فواره نشان داده شده است، این نتایج از متوسط گیری بین ده تکرار انجام شده برای هر آزمایش به دست آمده است. همان طور که در شکل مشخص است در فشار پاشش ۵۰ بار، افزایش فشار محیط، افزایش ناچیز زاویه کلی فواره را در پی داشته است، و در دیگر فشارهای پاشش سوخت، در اندازه گیری این مشخصه نوسانات ناچیزی با افزایش فشار محیط ثبت شده است. با توجه به تغییرات ناچیز و نامنظم زاویه کلی فواره با افزایش فشار محیط، می توان این نوسانات را ناشی از خطای اندازه گیری دانست، در حالی که در تمام فشارهای محیط، کاهش ملموس زاویه کلی فواره با افزایش فشار پاشش سوخت دیده می شود، بنابراین به صورت کلی می توان گفت افزایش فشار پاشش سوخت، زاویه کلی فواره را کاهش می دهد، در حالی که افزایش فشار محیط تأثیر چندانی بر زاویه کلی فواره ندارد، این نتیجه تأییدی بر نتایج به دست آمده توسط آقای بامگارتن [۹] در ثابت ماندن زاویه کلی فواره برای فشارهای مختلف محیط می باشد.

از مشخصه سطح تصویر شده فواره برای توصیف پخش شونددگی در محیط استفاده شود.

در ادامه بر این اساس پخش شونددگی فواره در فشارهای مختلف محیط و پاشش سوخت بررسی شد، بر این اساس مشخص شد که با افزایش فشار سوخت، پخش شونددگی فواره افزایش و با افزایش فشار محیط، پخش شونددگی فواره کاهش می‌یابد.

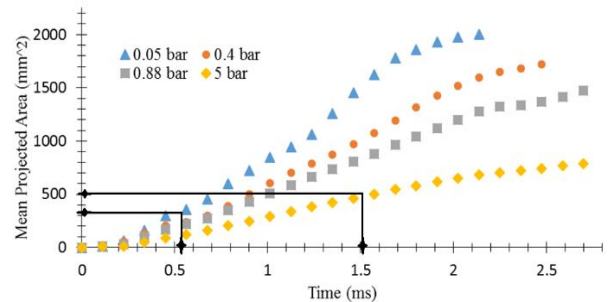
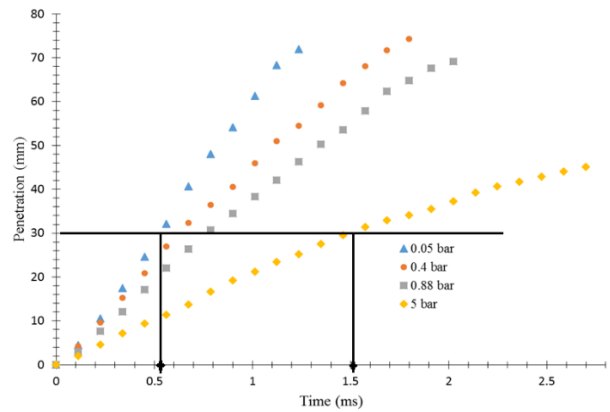
همچنین در بررسی صورت گرفته برای فشارهای محیط کمتر از فشار جو و مقایسه آن با فشارهای بیشتر از آن، مشخص شد که در فشارهای کمتر از فشار جو با نزدیک شدن به خلا، سرعت پخش شونددگی فواره در محیط با افزایش فشار پاشش سوخت افزایش یافته است، درحالی که در فشارهای بیشتر از فشار جو این سرعت تقریباً ثابت است.



شکل ۱۱: مساحت سطح تصویر شده فواره در فشارهای مختلف محیط و پاشش سوخت (از بالا به پایین فشارهای پاشش ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ بار)

در شکل ۱۱ مساحت سطح تصویر شده فواره بر حسب زمان بعد از شروع پاشش سوخت نشان داده شده است، چهار تصویر موجود در شکل به ترتیب از بالا به پایین مربوط به فشارهای پاشش سوخت ۲۵ تا ۱۵۰ بار است، همان‌طور که در این تصاویر مشخص است، با افزایش فشار محیط از ۰٫۰۵ بار تا ۵ بار، سطح تصویر شده فواره کاهش می‌یابد، که به معنی کاهش پخش شونددگی فواره در زمان برابر بعد از شروع پاشش سوخت با افزایش فشار محیط است.

همچنین مطابق شکل ۱۱ با افزایش فشار پاشش سوخت، فاصله بین نمودارهای سطح تصویر شده فواره در فشارهای محیط کمتر از فشار جو، با کاهش فشار محیط به سمت خلا، روندی افزایشی دارد، و این درحالی است که فاصله بین نمودار سطح تصویر شده فواره برای دو فشار ۰٫۸۸ بار و ۵ بار تقریباً ثابت است، بنابراین می‌توان گفت در فشارهای محیط کمتر از فشار جو (۰٫۸۸ بار) تاثیر افزایش فشار پاشش سوخت بر پخش شونددگی فواره در محیط افزایش یافته است.



شکل ۱۰: طول نفوذ فواره (تصویر بالا) و سطح تصویر شده فواره (تصویر پایین) در فشار پاشش ۵۰ بار و فشارهای متفاوت محیط

۵- نتیجه گیری

پس از اجزای آزمایش در شرایط مختلف پاشش سوخت مشخص شد که معیار زاویه کلی فواره، معیاری صحیح برای تعریف نحوه پخش شونددگی سوخت در محیط نمی‌باشد، بنابراین مشخصه سطح تصویر شده فواره برای بیان پخش شونددگی فواره در محیط بررسی شد، که مشخص شد این مشخصه بیانی صحیح از پخش شونددگی فواره را ارائه می‌دهد، بنابراین توصیه می‌شود به جای مشخصه زاویه کلی فواره،

- D., Wanlin, H. and Weiten, C, Investigation of a DISI fuel injector for a close-arranged spray-guided combustion system, SAE Paper No. 2002-01-1133.
- [7] Jian Gao et al, Characteristics of Non-evaporating Free Sprays of a High-Pressure Swirl Injector under Various Ambient and Injection Pressures, J Energy & Fuels, Vol. 19, No. 5, 2005.
- [8] J Gao, D Jiang, Z Huang, and X Wang, Experimental and numerical study of high-pressure-swirl injector sprays in a direct injection gasoline engine, J Power and Energy, 2005.
- [9] Jian Gao et al, Spray properties of alternative fuels: A comparative analysis of ethanol-gasoline blends and gasoline, J Fuel 1645-1650, 2007.
- [10] Carsten Baumgarten; Mixture Formation in Internal Combustion Engines; Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2006.
- [11] Alireza Hajjalimohammadi et al; Experimental and Numerical Investigation on the macroscopic characteristics of the jet discharging from gaseous direct injector; Journal of Mechanical Science and Technology 28 (2) (2014) 773~781.
- [12] D.T. Montgomery, R.D. Reitz, Effects of Multiple Injections and Flexible Control of Boost and EGR on Emissions and Fuel Consumption of a HeavyDuty D.I. Diesel Engine, SAE paper 2001-01-0195, 2001.
- [13] SAE International Surface Vehicle Recommended Practice, "Gasoline Fuel Injector Spray Measurement and Characterization," SAE standard J2715, Rev. 2007

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایرانخودرو (ایپکو) به خاطر حمایت مالی از این پروژه اعلام می دارند.

مراجع و منابع

- [1] C. h. lee and K. h. lee. "Experimental study on macroscopic spray characteristic after impingement in a slit-type GDI injector", International Journal of Automotive Technology, Vol. 9, No. 3, pp. 373-380, 2008.
- [2] Pastor, J. V., García, J. M., Pastor, J. M., Zapata, L. D., Evaporating Diesel Spray Visualization using a Double-pass Shadowgraphy/Schlieren imaging, SAE Technical Paper 2007-24-0026, 2007, doi:10.4271/2007-24-0026.
- [3] Pastor, J. V., Payri, R., Garcia-Oliver, J. M., Briceño, F. J., Schlieren Methodology for the Analysis of Transient Diesel Flame Evolution, SAE Int. J. Engines, 6(3): 1661-1676, 2013, doi:10.4271/2013-24-0041.
- [4] Huang et al, The Effect of Fuel Temperature on the Ethanol Direct Injection Spray Characteristics of a Multi-hole Injector, SAE paper 2014-01-2734 (2014).
- [5] L. Araneo et al, Effects of Fuel Temperature and Ambient Pressure on a GDI Swirled Injector Spray, SAE Paper 2000-01-1901 (2000).
- [6] Befrui, B., Kneer, R., Breuer, S., Reckers, W., Robart,



Introducing of the propagation criterion and investigation of that for near vacuum chamber pressures for multi hole gasoline direct injector spray

S. Rahmani¹, A. Haljialimohammadi^{2*}, H. Fathollahy³, S. M. Aghamirsalim⁴

¹Faculty of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, saeed.rahmani@aut.ac.ir

²Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran, ahajjali@semnan.ac.ir

³Faculty of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tabriz, Iran, fathollahy@email.kntu.ac.ir

⁴Faculty of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, mo_mirsalim@aut.ac.ir

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17 May 2018

Accepted: 25 November 2018

Keywords:

Multi hole injector

Direct injection spray

High speed imaging

Schlieren optical system

Overall spray angle

Spray projected area

ABSTRACT

With developing of optical technologies, using of different imaging methods to study various properties of gasoline direct injection spray is under development. Scope of this article is to study the effect of overall spray angle and spray projected area for determination of spray propagation and investigate the effectiveness of this criterion. The injector was a multi-hole direct injection injector and for producing of the required injection pressure the accumulator type fuel injection system was designed and built and employed in the experiments. According to empirical study, it was found that the spray overall angle characteristic is not an appropriate criterion for measuring the spray propagation. The spray projected area also was investigated and it was found that this characteristic is a correct criterion for measuring the spray propagation especially for the multi-hole GDI injectors spray. The Schlieren method was used for spray imaging and the spray projected area of image was extracted using image processing technique.

The propagation of the spray was also investigated for different chamber and injection pressures, which resulted a decreasing and increasing procedure in propagation with increasing environmental and injection pressures respectively. Also, investigation of the spray for chamber pressures less than the atmosphere pressure comparing with higher than atmosphere pressures, showed that at pressures less than the atmospheric pressure, the speed of spray propagation increases with increase of injection pressure, while at pressures More than the atmosphere pressure, this speed is almost constant.

