فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineresearch.ir

بررسی تجربی بازدهی و افت فشار جداساز قطرات روغن موجود در سامانهٔ تهویهٔ بخارات محفظهٔ لنگ سه نمونه موتور احتراق داخلی

امین نامور ایوری[۱]، محمدعلی احترام[۲]

[۱] دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران، namvar.a@qut.ac.ir

[۲] دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران، m_ehteram@ip-co.com

[*] نویسندهٔ مسئول، شمارهٔ تماس: ۳۲۲- ۴۴۵۲۰۸۸۲- ۰۲۱

چکیده

در این تحقیق عملکرد جداساز ذرات روغن مربوط به سامانهٔ تهویهٔ محفظهٔ لنگ سه موتور فورد- اکوبوست (جداساز برخوردی با سطح متغیر)، نیسان vq37de (جداساز برخوردی) و پژو- ایکس یو ۷ (جداساز گردشی) در شارهای یکسان به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شد. به‌دلیل پیچیدگی‌های هندسی و کارکردی موتورهای احتراق داخلی، چیدمانی آزمایشگاهی به منظور بررسی جداسازی ذرات بسیار ریز روغن‌موتور با قطر ۰٫۱ تا ۱۰ میکرومتر موجود در گازهای نشتی (blow-by) طراحی و ساخته شده است. در این آزمایش، برای تولید قطرات میکرونی، از قطره‌سازی روغن مخصوص که قطراتی مشابه با قطرت روغن موجود در گازهای نشتی ایجاد می‌کند، استفاده شد. آزمون‌ها در دو شار ۱۶ و ۲۴ لیتر بر دقیقه انجام گرفته است. برای اطمینان از مقدار دقت نتایج بدست آمده از چیدمان آزمایشگاهی، کلیهٔ آزمایش‌ها برای هر شار، حداقل سه بار تکرار گردیده است. برای اندازه‌گیری بازدهی از روش وزنی استفاده شد. با توجه به نتایج آزمون‌ها مشاهده شد که جداساز برخوردی با سطح متغیر در مقابل روش‌های مشابه، بازدهی بهتری دارد، به‌طوری که در شار یکسان جریان دو حالتی هوا- روغن بازده آن تقریباً هشت برابر روش‌های مشابه است. در این مقاله همچنین افت فشار جریان به واسطهٔ وجود جداسازهای ذکر شده به‌صورت آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده است. مشاهده شد که با توجه به اینکه بازده جداساز برخوردی با سطح متغیر بیشتر از بازده جداساز برخوردی نیسان است ولی افت فشار آن کمتر است.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

اطلاعات مقاله

تاریخچهٔ مقاله:

دریافت: ۳۰ آذر ۱۳۹۴

پذیرش: ۲۹ بهمن ۱۳۹۴

کلیدواژه‌ها:

گازهای نشتی (blow-by)

جریان دو حالتی هوا-روغن

ذرات بسیار ریز روغن موتور

جداساز برخوردی با مقطع متغیر

افت فشار

۱- مقدمه

دستهٔ مهمی از جریان‌های دو حالتی[1]، جریان های گازی حاوی قطرات اند. در این نوع جریان‌ها مطالعهٔ حرکت قطرات، رشد قطرات و نحوهٔ ته‌نشینی آنها بر روی دیواره‌های جامد، از اهمیت بسزائی برخوردار است.

در بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به جداسازی این قطرات از جریان گاز است. از نمونه کاربردهای‌جداسازی قطرات می‌توان به جداسازی قطرات آب و روغن از هوای فشرده، جداسازی قطرات آب آغشته به ذرّات در پاک‌کننده‌های مرطوب[2]، جداسازی قطرات آب در برج‌های خنک‌کن، و جداسازی قطرات روغن در تهویهٔ محفظهٔ لنگ در موتورهای احتراق داخلی اشاره کرد.

با توجه به محدود شدن روز افزون انتشار آلاینده‌های خودروها، تلاش‌های محققین برای کاهش حداکثری عوامل آلاینده در موتور بیشتر شده است.

یکی از این عوامل آلاینده، مصرف روغن، داخل موتور است که می‌تواند سبب واکنشگر، بدسوزی مخلوط احتراقی و ایجاد رسوب روی اجزا مختلف شود. در صورت عدم طراحی درست سامانهٔ بازگردانی بخارات محفظهٔ لنگ این سامانه می‌تواند سبب افزایش روغن سوزی در موتور شود.

به علت وجود قطرات ریز روغن در بخارات محفظهٔ لنگ لازم است قبل از بازگردانی بخارات، روغن آن جدا شود. جداسازی روغن با سازکارهای مختلفی از جمله جداساز برخوردی، جداساز گردشی و جداساز برخوردی با سطح متغیر قابل انجام است.

احترام و همکاران تأثیر هندسهٔ ورودی به سایکلون در اشکال دایره، مثلث و مستطیل در قطر هیدرولیکی ۱۴ میلیمتر را بر بازده جذب بخارات روغن بررسی کردند. نتایج نشان داد که مجاری ورودی مستطیلی و مثلثی نسبت به دایروی در قطر هیدرولیکی یکسان بازده بهتری دارند [۱].

اگرچه برای توسعهٔ جداسازی ذرات روغن از گذشته تا بحال آزمایش‌های تجربی زیادی انجام گرفته است ولی ساتو[3] و همکاران با استفاده از مکانیک سیالات محاسباتی[4] به بررسی بازده و بهینه‌سازی جداسازهای برخوردی پرداختند[۲].

کوله و همکاران نیز با استفاده از تجهیز قطره‌سازی مخصوص به بررسی تعداد قطر سوراخ در جداساز برخوردی ساخت شرکت ماهله پرداختند. بر اساس بررسی آنها این جداساز در شار بیشتر از ۵۰ لیتر بر دقیقه می‌تواند بازدهی ۸۰ درصدی با ۵ افشانه و ۹۰ درصدی با ۳ افشانه داشته باشد. به منظور کاهش افت فشار تعداد افشانه بر حسب شار از ۳ به ۵ تغییر پیدا می‌کند [۳].

احترام و همکاران یک سازوکار ج فوارهٔ دید برای ساختن قطرات میکرونی با برخورد یک فوارهٔ هوا بر روی سطح روغن موتور ارائه کردند.

نفوذ گاز در سطح روغن منجر به تشکیل شدن رشته‌های روغن می‌شود با برخورد جت هوا به این رشته‌ها، قطرات ریز با قطر کمتر از ۵ میکرومتر و با قطر ساتر[5] متوسط ۱,۲ میکرومتر تشکیل می‌گردد [۴].

شجاعی‌فرد و همکاران با استفاده از پیکربندی فوارهٔ برخوردی دایروی، رسوب ذرات روغن میکرونی مشابه قطرات روغن موجود در گازهای برگشتی در موتورهای احتراق داخلی[6] بر روی صفحه داغ را به‌صورت آزمایشگاهی را مطالعه کردند.

برای پیدا کردن شرایط حداقل رسوب، وزن رسوب با استفاده از طراحی تاگوچی روش آزمایش[7] با توجه به متغیرهای طراحی بهینه شد [۵].

با وجود اینکه بازده جداسازهای برخوردی و جداساز گردشی مورد بررسی قرار گرفته است ولی تا بحال بررسی رفتار یک جداساز برخوردی سطح متغییر در یک تجهیز آزمایشگاهی و مقایسهٔ آن با دیگر جداسازها بررسی نشده است.

۲- روش‌های جداسازی ذرات روغن از جریان دو حالتی[8] هوا-روغن

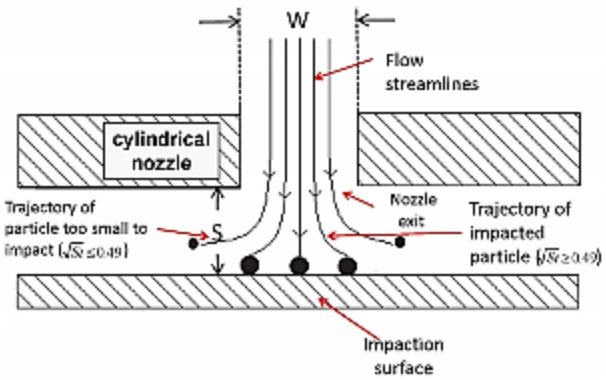
۲-۱- جداسازی روغن با سازکارهای مختلف

۱. **جداساز برخوردی**: یکی از روش‌های مرسوم در جداسازی قطرات استفاده از جداساز برخوردی است. در این روش، جداسازی قطرات به‌دلیل اختلاف نیروی لختی حاصل از وزن قطرات با نیروی لختی جریان هوا، انجام می‌پذیرد.

با عبور جریان از افشانه خروجی، سرعت جریان افزایش می‌یابد و با عبور از جلوی صفحه مانع که در فاصله مشخص از خروجی افشانه قرار دارد، جریان از مسیر مستقیم منحرف می‌شود. ذرات به خاطر نیروی لختی[9] حاصل از وزنشان، قادر به دنبال کردن مسیر جریان نیستند و به صفحه برخورد می‌کنند (شکل ۱).

بازدهی جداسازی در این روش، به قطر قطرات، سرعت جریان، چگالی قطرات و چسبندگی سیال حامل قطرات، در اینجا هوا، ارتباط دارد.

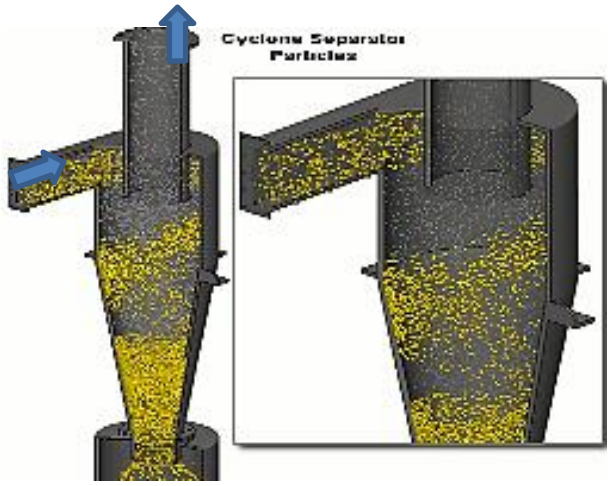
[1] Two phases
[2] Wet Scrubber
[3] Satoh
[4] Computational Fluid Dynamic (CFD)
[5] Sauter
[6] Internal Combustion
[7] Taguchi Design of Experiment Method
[8] Two phases
[9] Inertia forces



شکل ۱: رفتار ذرات در جداساز برخوردی [۲]

۲. جداساز حلزونی یا گردابی یا همان سایکلون‌ها:

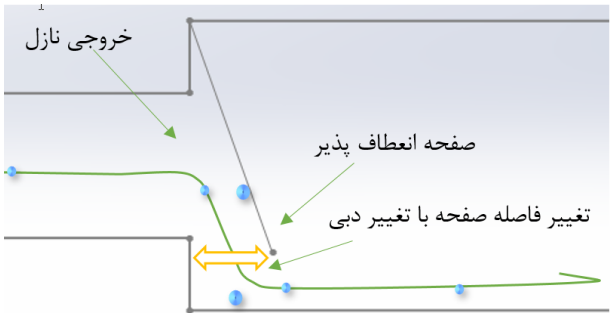
روش مرسوم دیگر استفاده از جداساز حلزونی یا گردابی یا همان سایکلون‌ها است. در این نوع جداسازها، جداسازی با استفاده از نیروی گریز از مرکز انجام می‌گیرد. قطرات موجود در جریان گاز حین چرخش گاز در جداساز حلزونی، به دلیل لختی[1] زیاد خود و نیروی گریز از مرکز از مسیر گاز خارج می‌شوند و به دیواره‌ها برخورد می‌کنند. این قطرات پس از انباشته شدن روی دیواره در اثر نیروی گرانش به طرف پایین سرازیر شده و در محل‌های تعبیه شده جمع-آوری می‌شوند. بازدهی این جداسازها به طور عمومی با افزایش قطر ذرّات و افزایش سرعت حرکت آن‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۲: جداساز گردشی ذرات روغن (سیکلون)

موتور اکوبوست از روشی نو برای جداسازی ذرات روغن استفاده کرده است. عملکرد این جداساز تا حدودی شبیه جداساز موتور نیسان است با این تفاوت که جداساز برخوردی با سطح متغیر طوری طراحی شده است که فاصله خروجی افشانه تا صفحه، با توجه به شار عبوری از صفحه تغییر می‌کند. برای ایجاد این تغییر از یک صفحهٔ فنری جلوی جریان استفاده شده است.

[1] Inertia



(الف)

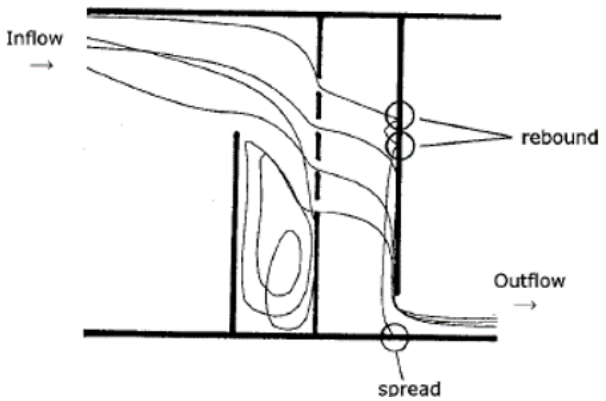
(ب)

شکل ۳: (الف) شماتیک، (ب) نمای برش خورده بخشی از جداساز موتور فورد-اکوبوست.

۳. جداساز برخوردی موتور نیسان:

جداساز ذرات روغن نیسان از نوع جداساز برخوردی است. در این نوع جداساز فاصله خروجی افشانه از صفحه ساکن ثابت است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، جداساز برخوردی موتور نیسان شامل یک صفحه سراسری و ۴ افشانه است که باعث افزایش سرعت جریان می‌شوند.

جریان در مقابل صفحه از مسیر خود منحرف می‌شود ذرات روغن با توجه به نیروی لختی خود، از جریان جدا شده و به صفحه برخورد می‌کنند.



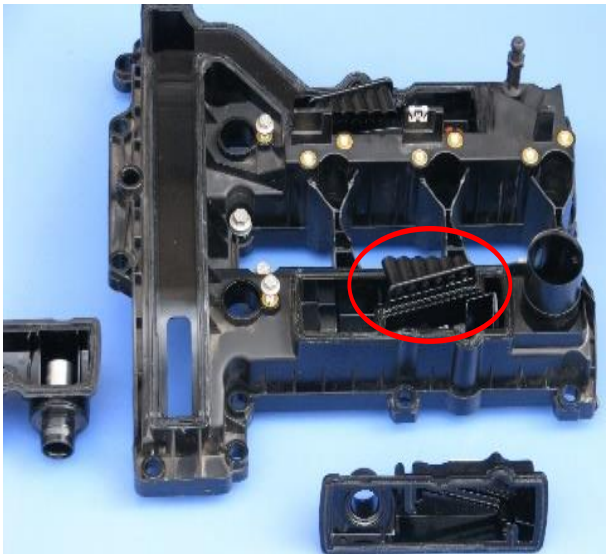
شکل ۴: جداساز برخوردی موتور نیسان [۲]

۲-۲- جداساز گردشی موتو ایکس یو ۷

این جداساز از نوع جریان گردشی یا همان سیکلون است که ذرات روغن به خاطر نیروی گریز از مرکز از جریان جدا می‌شوند.

۲-۳- جداساز برخوردی با سطح مقطع متغیر موتور فورد-اکوبوست

همان طور که در بخش‌های قبلی گفته شد، در این موتور از جداساز سطح متغیر استفاده شده است. این جداساز در داخل پوشش پلاستیکی بستار[1] جداسازی شده است.



شکل ۵: جداساز ذرات روغن موتور فورد-اکوبوست

۳- تجهیزات آزمایشگاهی و رویه آزمایش

در این بخش تجهیزات، چیدمان آزمایشگاهی و رویه‌های آزمون برای بررسی و مقایسهٔ جداسازها معرفی می‌شوند.

۳-۱- چیدمان آزمایشگاهی

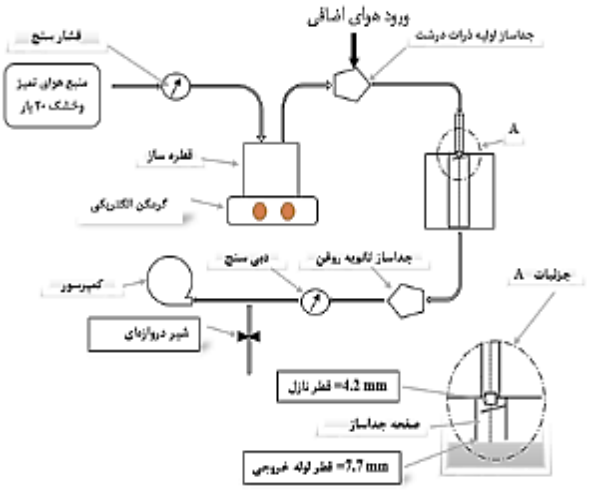
از آنجا که در بررسی بازده جداسازی ذرات روغن در آزمایش‌های موتوری به‌دلیل وجود نوسانات دور و توان موتور، هزینه‌بر بودن و اینکه تکرارپذیری آنها قابلیت اطمینان کمتری نسبت به روش‌های آزمایشگاهی دارد، تلاش شده است تا با طراحی یک چیدمان آزمایشگاهی، بازده جداسازی به‌صورت بنیادی بررسی شود.

نمای کلی چیدمان آزمایشگاهی برای بررسی بازده جداساز برخوردی با سطح مقطع متغیر موتور فورد- اکوبوست در شکل ۶ و شکل ۷، نشان داده شده است.

همچنین چیدمان جداسازهای دو موتور نیسان و ایکس یو ۷ به ترتیب در شکل ۸ قسمت الف و ب نشان داده شده است.

[1] Cylinder head

شکل ۶: چیدمان آزمایشگاهی جداساز برخوردی ماشین فورد- اکوبوست



شکل ۷: نمای کلی چیدمان آزمایشگاهی جداساز برخوردی با سطح متغیر ماشین فورد- اکوبوست

۳-۲- قطره ساز

اساس کارکرد و تولید قطره توسط قطره‌ساز، برخورد افشانهٔ گاز (هوا) به سطح روغن داغ است.

از آنجا که معمولاً دمای روغن موتور در موتور حدود ۹۰ درجهٔ سانتیگراد است، دمای روغن قطره‌ساز نیز همان دمای روغن‌موتور است.

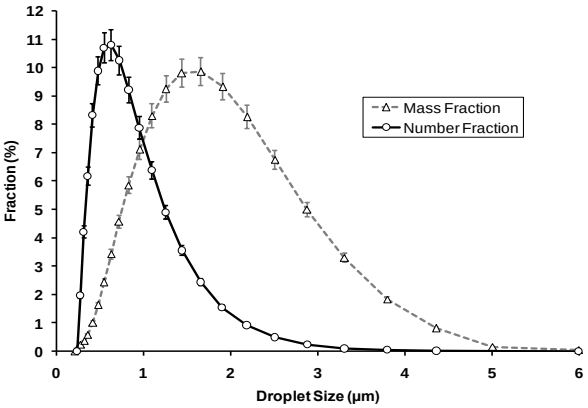
روش تولید قطره به‌گونه‌ای است که می‌تواند توزیع تکرارپذیری از قطرات روغن مطابق شکل ۹ را تولید کند. بعلاوه قطر قطرات کوچکتر از μm ۶ بوده و قطر میانگین حدود μm ۱,۲ است؛ به‌طوری که سعی شده است توزیع قطرات در بخارات محفظهٔ لنگ را تا حد امکان شبیه‌سازی کنند.

شار خروجی جریان دو حالتی از قطره‌ساز L/min ۹ و فشار ورودی به قطره‌ساز bar ۵ است.

(الف)

(ب)

شکل ۸: چیدمان آزمایشگاهی جداساز ذرات روغن، الف: موتور نیسان، ب: موتور ایکس یو ۷ .



شکل ۹: توزیع جرمی و تعدادی قطرات روغن تولید شده در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد قطر روزنهٔ افشانه ۰٫۳۸ میلیمتر و فشار هوای ورودی ۴ بار [۴]

۳-۳- افشانه جداساز برخوردی با سطح مقطع متغیر

جداساز برخوردی موتور فورد- اکوبوست شامل یک مجموعه از ۶ روزنه که به‌صورت موازی با یکدیگر قرار دارند. در این آزمایش شارهای مورد استفاده ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۳۰ لیتر بر دقیقه است که با توجه به این موضوع که مجموعهٔ برخوردی شامل ۶ روزنه است شار عبوری از هر کدام از روزنه‌ها یک ششم شارهای ذکر شده است.

با توجه به بزرگ بودن قطر لوله گازهای برگشتی، سرعت جریان کافی برای نشست ذرات روغن موتور بر روی صفحهٔ جداساز ایجاد نمی‌شود، لذا به منظور افزایش سرعت برخورد قطرات به سطح مطابق با سرعت جریان دو حالتی هوا- روغن گازهای نشتی، جداساز برخوردی شامل شش افشانه دایروی[1] ساده است. سرعت برخورد قطرات با سطح از عوامل مهم تأثیرگذار بر نشست قطرات است.

این عامل با افزایش سرعت و تغییر لختی برخورد باعث نشست[2]، بازگشت[3] و یا پاشیده شدن قطرات[4] (تبدیل به قطرات ریزتر) و در نتیجه تغییر مقدار تَرشوندگی سطح و تشکیل لایهٔ مایع بر روی آن می‌شود [۵].

در این جداساز، قطر افشانه ورودی برابر ۴٫۲ mm است. این کاهش قطر باعث افزایش سرعت جریان دو حالتی سیال می‌گردد. همچنین قطر بخش گرد صفحهٔ فلزی ۶٫۵ mm و قطر مقطع خروجی جریان ۷٫۷ mm است.

شکل ۱۰: جداساز برخوردی ماشین فورد- اکوبوست

با توجه به اینکه نسبت قطر ذرات (قطرات) روغن ایجاد شده (متوسط ۲ میکرون) به قطر افشانه (۴٫۲ میلیمتر) عددی بسیار کوچک و دارای مرتبه بزرگی 10^{-3} است و همچنین به‌دلیل رقیق بودن جریان دو حالتی ایجاد شده (غلظت حجمی کمتر از ۵ درصد [۷])، برخورد قطرات به یکدیگر قابل صرفنظر کردن است، لذا کاهش قطر خروجی افشانه تأثیری زیادی بر توزیع اندازهٔ قطرات ندارد. توزیع ذرات مطابق با شکل ۹ درنظر گرفته شده است.

صفحهٔ فلزی که هم به عنوان جداکنندهٔ ذرات روغن و هم به عنوان شیر یکطرفه عمل می‌کند از جنس استیل ضد زنگ[5] است (شکل ۱۰). فاصلهٔ خروجی افشانه از صفحه فاصله‌ای است که قطره از آن رها می‌شود تا به سطح برخورد کند، مسئله‌ای مهم در بررسی برخورد قطرات به سطح است [۸].

[1] Round Nozzle
[2] Deposition
[3] Rebounding
[4] Splashing
[5] Stainless Steel

در جداساز فورد- اکوبوست در ابتدا فاصله صفحهٔ فلزی از خروجی روزنه صفر است و با ورود جریان صفحه شروع به فاصله گرفتن از خروجی روزنه می‌کند. هرچه شار جریان افزایش یابد، به‌دلیل افزایش سرعت، این فاصله افزایش می‌یابد. در این جداساز، جداسازی ذرات روغن در دو مرحه انجام می‌شود. در ابتدا با انحراف جریان از جلوی صفحهٔ جداساز در اثر نیروی لختی ذرات درشت‌تر از مسیر منحرف شده و نشست می‌کنند.

در ادامه بعد از خروجی افشانه جریان به حداکثر سرعت خود رسیده و با برخورد با دیواره‌ی مقطع خروجی، ذرات ریزتر روغن از جریان جدا می‌گردنند. جداره لوله خروجی جداساز نقش اصلی را در نشست ذرات روغن موتور دارد.

با توجه به این موضوع آزمایش‌ها در شارهای مختلفی صورت گرفته است لذا با افزایش شار و متعاقباً افزایش سرعت، طبق معادلهٔ اندازه حرکت، نیروی وارد بر صفحه افزایش یافته و در نتیجه فاصلهٔ صفحهٔ از خروجی افشانه نیز افزایش می‌یابد. صفحهٔ جداساز همچنین در نقش یک شیر یک طرفه عمل می‌کند و مانع برگشت جریان به میسر گازهای ورودی می‌شود ((ب) شکل **۳** (ب)).

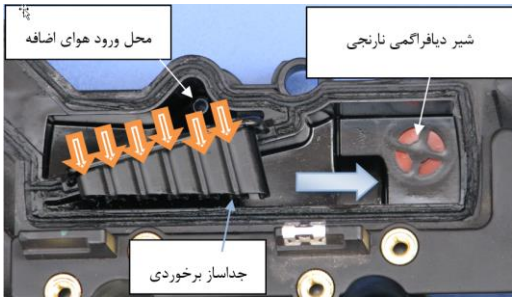
با توجه به شار خروجی جریان دو حالتی از قطره ساز که فقط L/min ۹ است برای تهیهٔ بقیهٔ شار مورد نیاز، از یک مسیر هوای اضافه مطابق (الف) به همراه دو عدد متراکم‌کننده مکشی استفاده شده است. در این آزمایش افزودن هوای اضافی به جریان دو حالتی، با استفاده از دو عدد متراکم‌کننده با توان hp ۱، که امکان ایجاد شار مکشی تا L/min ۴۰، را با اتصال موازی فراهم می‌کند، انجام می‌شود. دقت شود که شار خروجی جریان دو حالتی هوا-روغن از قطره‌ساز به تنهایی و بدون اضافه کردن هوای اضافه، L/min ۹ است.

حال این سوال مطرح می‌شود که آیا با توجه به اینکه مکش هوای اضافه به ورودی جداساز نزدیک است، جریان هوای اضافه، همگن بودن جریان دو حالتی گاز-قطره زا به هم نمی‌زند؟ برای پاسخ به این مشکل ما با جابجا کردن محل ورود هوای اضافه به مخزن جداساز اولیه، زمان کافی را به جریان برای اینکه کاملاً همگن شود را، مطابق شکل ۱۱ (ب) می‌دهیم.

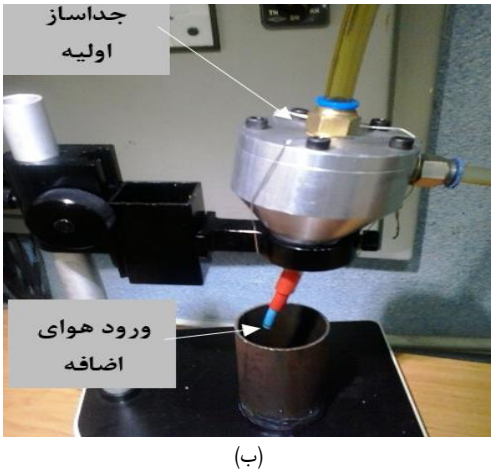
با محاسبهٔ بازده به این نتیجه رسیدیم که این جابجایی تأثیر محسوسی در بازده جداساز نداشته و جریان در هر دو صورت ذکر شده به‌صورت همگن وارد جداساز می‌شود. از آنجا که آزمایشات در شارهای ۱۶، ۲۰، ۲۴ و ۳۰ لیتر بر دقیقه آنجام پذیرفته است در هر صورت نیاز به اضافه کردن هوای اضافه به جریان دو حالتی خروجی از قطره ساز برای رسیدن به شارهای ذکر شده است. از طرفی سازوکار این قطره‌ساز بدین صورت است که سرعت در خروجی افشانهٔ قطره‌ساز به سرعت صوت می‌رسد، بنابراین شار خروجی از قطره ساز، ثابت و محدود است.

توزیع قطر قطرات بدست آمده از قطره‌ساز صرفاً تابع سرعت برخورد فوارهٔ خروجی از افشانه قطره‌ساز به سطح روغن است، بنابراین تابع جریان هوای اضافه که ما بعد از قطره‌ساز به جریان اضافه می‌کنیم نیست. مخلوط کردن ذرات روغن با هوای اضافه، رقت جریان را تا حد کمی کاهش می‌دهد ولی با توجه به بررسی انجام شده توسط احترام و همکاران [۳] بخاطر رقیق بودن جریان دو حالتی هوا-روغن، $\alpha < 0.001$ و همچنین چون انرژی کشش سطحی قطرات خیلی زیاد است قطرات براحتی با هم برخورد ادغام نمی‌شوند، بنابراین اضافه کردن هوای اضافه تأثیری بر توزیع قطرات ندارد. توزیع قطرات مستقل از هوای اضافه است.

هدف از این مقاله مقایسهٔ بازده جداسازهای ذکر شده در شرایط یکسان با هم است. توزیع ذرات خروجی از قطره‌ساز دقیقاً مانند موتور نیست ولی سعی شده است که تا جای ممکن توزیع قطرات و شرایط مانند موتور باشد. آزمون‌های مقایسه‌ای در شرایط کاملاً یکسان انجام گرفت. لزوماً نیازی نیست شرایط جداسازی دقیقاً مانند موتور باشد زیرا ما می‌خواهیم در شرایط یکسان بین بازده جداسازها مقایسه‌ای انجام دهیم.



(الف)



(ب)

شکل ۱۱: (الف) محل ورود هوای اضافه از مجرای کناری جداساز، (ب) محل ورود جریان هوای اضافه از مخزن به منظور بررسی همگن بودن جریان (شیر پرده‌ای[1] نارنجی رنگ محل تخلیهٔ روغن است)

[1] Diaphragm

۳-۴- زمان آزمایش و روغن مورد استفاده

در ابتدا آزمایش در بازه زمانی یک ساعت انجام شد ولی به دلیل اینکه دقت ترازوی استفاده شده، $\pm 0.1\ mg$ بود و وزن ذرات روغن جمع آوری شده محسوس نبود. بنابراین با افزایش زمان آزمون به دو ساعت و انجام سه بار آزمون تکرار پذیری در نتایج، نتایج با دقت مناسب ۵± درصد تکرار پذیر بودند.

در این آزمایش از روغن موتور ۱۰w۴۰ کارکرده برای ایجاد جریان دو حالتی هوا- روغن استفاده گردیده است که لزجت سینماتیکی آن در ۴۰ °c برابر با ۱۲۶ cst است.

۴- مراحل آزمایش برای محاسبهٔ بازده جدساز برخوردی

۴-۱- آماده‌سازی تجهیزات پیش از آزمایش

- در ابتدای هر آزمایش باید به مقدار کافی روغن درون قطره ساز ریخته شود تا سطح روغن موجود در قطره ساز ثابت بماند.
- جداساز اولیهٔ روغن باید در صورت نیاز تخلیه گردد.
- جداساز ثانویه[1] نیز در صورت نیاز برای پاکسازی شستشو داده می‌شود و سپس با منبع باد موجود خشک می‌گردد.
- کلیهٔ تجهیزات و شلنگ‌های واصل در مسیر ذکر شده باید وزن گردند.

۴-۲- مراحل اجرای آزمایش

پس از آماده‌سازی و وزن کردن اولیه، تجهیزات آزمایشگاهی را مطابق شکل ۶ یا شکل ۷ همبندی می‌کنیم. سپس گرمکن برقی که در زیر قطره‌ساز است را روشن می‌کنیم تا روغن درون مخزن قطره‌ساز را تا ۹۰ درجهٔ سانتیگراد گرم کند.

با روشن کردن متراکم‌کننده[2] جریان دو حالتی درون سامانه برقرار می‌شود. طول شلنگ خروجی محفظهٔ آزمایش به اندازهٔ کافی بلند درنظر گرفته شده است تا مکش نوسانی متراکم‌کننده تأثیری بر روی آزمایش‌ها نداشته باشد.

همچنین، تغییر مقدار مکش متراکم‌کننده‌ها با تغییر مقدار باز بودن شیری که قبل از جداکننده و توسط یک سه‌راهی در مسیر تخلیه محفظهٔ آزمایش تعبیه شده است، صورت می‌گیرد.

پس از گذشت ۲ ساعت متراکم‌کننده را خاموش کرده و با وزن کردن مجدد کلیهٔ تجهیزات می‌توان وزن روغن جمع‌آوری شده و متعاقباً بازده جداسازها را بدست آورد.

در اندازه‌گیری‌های تجربی یکی از نکات مهم، تکرارپذیری نتایج آزمایش‌ها است، به‌طوری‌که با تکرار آزمایش‌ها، نتایج، باید اختلاف زیادی با یکدیگر نداشته باشند.

برای اطمینان از مقدار قطعیت نتایج به‌دست آمده از چیدمان آزمایشگاهی، آزمایش‌ها برای هر شار سه بار تکرار گردیده است تا از صحت عملکرد چیدمان آزمایشگاهی مطمئن شویم.

با توجه به این موضوع که آزمایشات برای هر شار حداقل سه بار تکرار گردیده است، حداقل و حداکثر عدم قطعیت بترتیب ۰,۳۶ و ۱۱,۰۷ درصد است.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (۱)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right]^{0.5} \times 100 \qquad (۲)$$

که $\bar{x}$ میانگین حسابی، n تعداد تکرار آزمایشات یا همان تعداد داده‌ها، x_i داده‌ها و σ انحراف معیار است. در اینجا منظور از عدم قطعیت، عدم قطعیت تجربی است که همان انحراف معیار است.

شکل ۱۲: وزن کردن تجهزات آزمایش با ترازو با دقت ۰,۱ mg ±

[1] Filter
[2] Compressor

(الف)

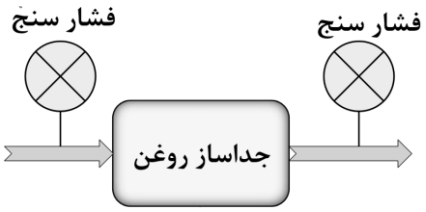
(ب)

(ج)

شکل ۱۳: (الف) متراکم‌کننده‌های استفاده شده برای ایجاد مکش از محفظهٔ آزمایش، (ب) خروجی جداساز برخوردی موتور اکوبوست برای مکش متراکم‌کننده، (ج) جداساز ثانویه و شیر تنظیم (شار) مکش متراکم‌کننده

۴-۳- افت فشار جداساز

برای محاسبهٔ افت فشار بواسطه وجود جداساز، با قرار دادن دو فشارسنج رقمی[1] با دقت ۲۰ پاسکال قبل و بعد از جداساز افت فشار را محاسبه می‌کنیم. شکل ۱۴ چیدمان آزمایشگاهی برای محاسبهٔ افت فشار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: نمای آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری فشار

۴-۴- دقت تجهیزات اندازه‌گیری

تجهیزات اندازه‌گیری استفاده شده در آزمایش‌ها توسط واحد نگاشت ایپکو، تنظیم شده‌اند. لیست این تجهیزات در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: تجهیزات اندازه‌گیری

نوع وسیله	محدوده کاری	دقت اندازه‌گیری
شارسنج	۴-۱۲۵۰(Lit/min)	٪۳
ترازو	۰-۳۰۰۰ (gr)	۰٫۱ (gr)
فشارسنج رقمی	۰-۲۰(bar)	۲۰ (pa)
تنظیم‌گر دمای PID	۰- ۹۹۹ (°C)	±۳(°C)
دماسنج نوع k	-۲۰۰ الی ۱۲۰۰ (°C)	±۰٫۰۰۴×T (°C)

۵- نتایج و بحث

در این قسمت نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مختلف برای جداسازهای مشخص، ارائه می‌شود. سپس تحلیل نتایج با نمودارهای مختلف بیان می‌گردد.

۵-۱- بازدهی نشست ذرات روغن

آزمایش‌های تجربی به ازاء شارهای مختلف انجام شد. گزارش نتایج مربوط به انجام آزمایش به‌صورت تعریف عدد بی‌بعد زیر ارائه شده است.

$$\eta_d = 100 \times \frac{\text{جرم ذرات روغن نشست کرده روی صفحه و جدار خروجی جداساز}}{\text{جرم ذرات روغن پاشیده شده از ورودی افشانه}}$$

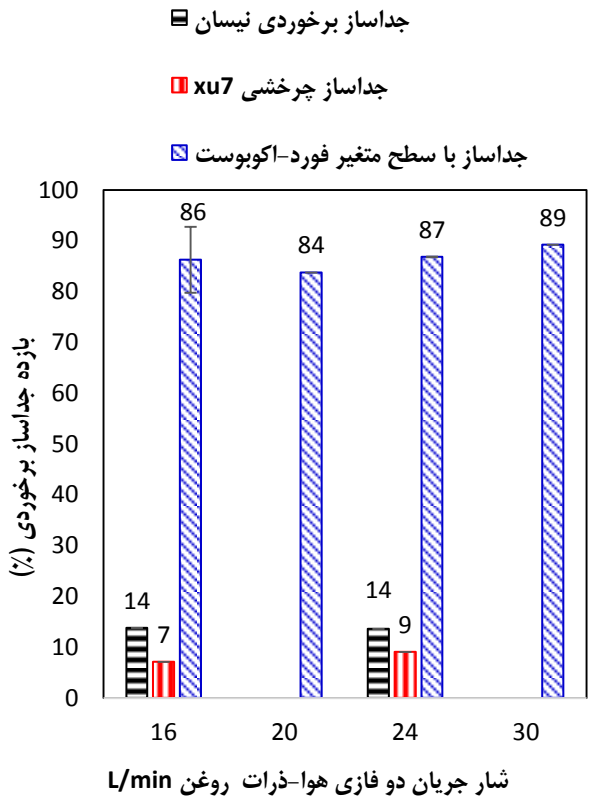
که η_d، بازدهی نشست[2]؛ نام‌گذاری شده است.

[1] Digital
[2] Deposition Efficiency

در شکل ۱۵ نتایج شبیه‌سازی آزمایشگاهی برای بدست آوردن بازده جداساز سه موتور ذکر شده نشان داده شده است. در حالت واقعی شار ورودی به هر کدام از این جداسازها متفاوت است ولی هدف مقایسهٔ آنها در شار یکسان است.

همانطور که از نتایج مشاهده می‌شود بازده جداساز موتور فورد-اکوبوست تقریباً هشت برابر روش‌های مشابه است. این بازده با احتساب افزودن هوای اضافه از روزنهٔ کناری جداساز است.

در صورتی که هوای اضافه شده به جریان دو حالتی از مخزن قبل از جداساز اضافه گردد، بازده جداساز در دو شار ۲۰ و۲۴ لیتر بر دقیقه به‌صورت مقایسه‌ای با حالتی که هوای اضافه از مجرای کناری جداساز اضافه گردد در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۵: مقایسهٔ بازده‌های جداساز ذرات روغن سه موتور فورد اکوبوست، نیسان و ایکس یو ۷

همانطور که از نمودار مشاهده می‌شود جابه‌جا کردن محل ورود هوای اضافه تأثیر محسوسی در بازده جداساز برخوردی با سطح متغیر ندارد.

۵-۲- افت فشار جداسازهای ذرات روغن

شکل ۱۷ نمودار افت فشار قبل و بعد از جداساز ذرات روغن در موتورهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

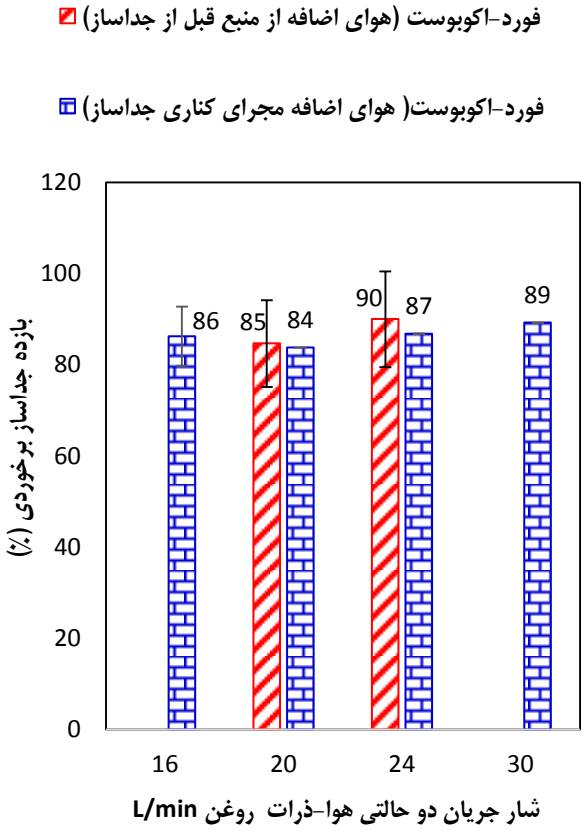
در جداساز موتور ایکس یو ۷ هیچ گونه مانعی برای جداسازی ذرات وجود ندارد. لذا سازوکار جداسازی ذرات نیروی گریز از مرکز در جداساز گردشی است.

بنابراین افت فشار قبل و بعد از جداساز برای موتور ایکس یو ۷ کمتر از دو حالت جداساز موتور اکوبوست و نیسان است.

با توجه به اینکه سازوکار دو جداساز برخوردی با سطح متغیر موتور فورد-اکوبوست و جداساز برخوردی نیسان تا حدودی مشابه است.

اما مشاهده شد که در شارهای یکسان برای شار بیشتر از ۴۰ لیتر بر دقیقه با وجود اینکه بازده جداساز موتور اکوبوست هشت برابر بازده جداساز موتور نیسان است، افت فشار حاصل از آن در مسیر جریان کمتر از افت فشار جداساز موتور نیسان است.

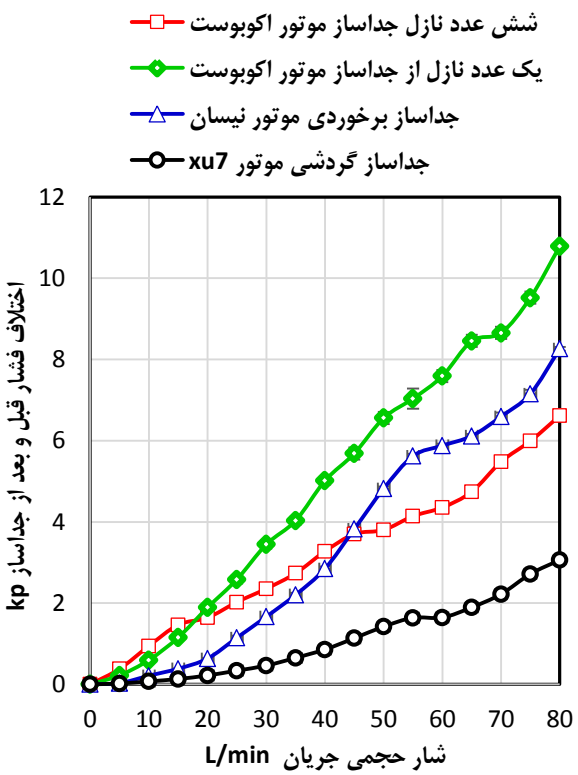
با این وجود برای شارهای کمتر از ۴۰ لیتر بر دقیقه، افت فشار جداساز برخوردی سطح متغیر، به خصوص برای شار کمتر از ۲۰ لیتر بر دقیقه، از جداساز نیسان بیشتر است.



شکل ۱۶: تأثیر محل ورود هوا بر بازده جداساز برخوردی با سطح متغیر موتور فورد اکوبوست

در شکل ۱۷، بازدهی برای یک افشانه و برای مجموعهٔ کامل ۶ افشانه نشان داده شده است.

شکل ۱۷ نشان می‌دهد که در پوشش پلاستیکی روی بستار موتور اکوبوست، دو جفت ۶ تایی معادل ۱۲ عدد افشانه وجود دارد. هدف اصلی از این دو جفت ۶ تایی این است که بتوان تا آنجا که امکان دارد تا افت فشار را کم نمود.



شکل ۱۷: تأثیر شار بر افت فشار جداسازهای مختلف

۶- نتیجه‌گیری

همانطور که از نمودارها مشاهده شد بازده جداساز برخوردی با سطح متغیر موتور فورد-اکوبوست در شارهای ۱۶ و ۲۴ لیتر بر دقیقه به ترتیب ۸۶ و۸۷ درصد است. بازده جداساز برخوردی موتور نیسان در شارهای مشابه ۱۴ درصد و برای جداساز گردشی موتور ایکس یو ۷ بترتیب ۷ و ۹ درصد است.

برای جداساز برخوردی با سطح متغیر موتور فورد-اکوبوست آزمایشات همچنین در شارهای ۲۰ و ۳۰ لیتر بر دقیقه انجام پذیرفت که بازده جداساز برای این دو شار بترتیب ۸۴ و ۸۹ درصد بدست آمد.

مشاهده شد که بازده جداساز برخوردی موتور فورد-اکوبوست با افزایش شار تقریباً افزایش می‌یابد. با جابجا کردن محل ورود هوای اضافه به جریان دو حالتی هوا-روغن، از مجرای کناری جداساز به عقب تر یعنی مخزن مشاهده شد که این جابجایی تأثیر محسوسی در همگن بودن جریان دو حالتی نداشت و لذا در بازده جداساز نیز به‌طور چشمگیر تغییر ایجاد نمی‌کند.

به‌طور مثال برای زمانی که هوای اضافه از مجرای کناری جداساز اضافه می‌شود و زمانی که هوا از مخزن اضافه می‌شود در شار ۲۰ لیتر بر دقیقه، بازده‌ها بترتیب برابر با ۸۴ و ۸۵ درصد و در شار ۲۴ لیتر بر دقیقه برابر با ۸۷ و ۹۰ درصد است.

برای اطمینان از مقدار قطعیت نتایج به‌دست آمده از چیدمان آزمایشگاهی، آزمایش‌ها برای هر شار سه بار تکرار گردیده است تا از صحت عملکرد چیدمان آزمایشگاهی مطمئن شویم.

از آنجا که در جداساز موتور ایکس یو ۷ هیچ گونه مانعی برای جداسازی ذرات وجود نداشت و سازوکار جداسازی ذرات استفاده از نیروی گریز از مرکز در جداساز گردشی است، بنابراین افت فشار قبل و بعد از جداساز برای موتور ایکس یو ۷ کمتر از دو حالت جداساز موتور اکوبوست و نیسان است.

با توجه به اینکه سازوکار دو جداساز برخوردی با سطح متغیر موتور فورد-اکوبوست و جداساز برخوردی نیسان تا حدودی مشابه است ولی مشاهده شد که در شارهای بیشتر از ۴۰ لیتر بر دقیقه، افت فشار حاصل از جداساز موتور اکوبوست در مسیر جریان کمتر از افت فشار جداساز موتور نیسان است.

تشکر و قدردانی

از کارکنان محترم شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو (ایپکو) بخاطر همکاری، ارائه اطلاعات مورد نیاز و همچنین اجازه استفاده از آزمایشگاه دو حالتی بویژه از جناب آقای مهندس کرباسی‌فروشها سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

[1] M. A. Ehteram, *et al.*, Experimental study on the effect of connecting ducts on demisting cyclone efficiency. Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 29, pp: 26-36, 2012

[2] K. Satoh *et al.*, Development of method for predicting efficiency of oil mist separators, SAE Technical Paper, 2000

[3] V. Kolhe , M. Sharma , K. Veeramani and R. Ravva, Development of Advanced Oil Separator to Give Uniform Oil Separation Efficiency across Engine Speed and Load Conditions (No. 2012-01-0179). SAE Technical Paper, 2012

[4] M. A. Ehteram, *et al.*, Investigation of fine droplet generation from hot engine oil by impinging gas jets onto liquid surface. Journal of Aerosol Science, Vol. 65, pp: 49-57, 2013

[5] M. H. Shojaeefard, *et al.*, Taguchi optimization of micron sized lubricant oil droplet deposition on a hot plate. Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 29, No. 8, pp: 3277-85, 2015

[6] M. Gavaises, A. Theodorakakos and G. Bergeles, Modeling wall impaction of diesel sprays. International journal of heat and fluid flow, Vol. 17, No. 2, pp: 130-138, 1996

[7] C. T. Crowe, *et al.*, Multiphase flows with droplets and particles, CRC press. 2011

[8] E. Alatawia and E. Matidaa, Effect of Anisotropy on Particle Deposition in Impinging Jet Flow. Journal ISSN, pp:1929-2724, 2012

The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineresearch.ir

Experimental study on the efficiency and pressure drop of three different engine types blow by oil separator

A. Namvar Ayuri[1], M. A. Ehream[2*]

[1] Qom University of Technology, Qom, Iran, namvar.A@qut.ac.ir
[2] Qom University of Technology, Qom, Iran, m_ehteram@ip-co.com
*Corresponding Author, Telephone Number: +98-2144520882-322

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 20 December 2015
Accepted: 17 February 2016

Keywords:
Blow-by
Two phase air-oil flow
Micro droplet of engine oil
Impactor with variable area
Pressure drop

ABSTRACT

In this study, performance of oil droplet separator in crankcase ventilation system for three engines, Ford-Ecoboost (impactor with variable area), Nissan-vq37de (inertial impactor), and Peugeot-Xu7 (cyclone) at the same volumetric flow rate has been studied experimentally. Because of the complexities of geometrical and functional in internal combustion engines, a test rig is designed to study the separation of engine oil droplets with a diameter of 0.1 to 10 μm of gas leakage (blow-by), in this experiment, a special oil atomizer implemented for the production of micro droplets, similar to the drops in engine blow-by. Tests were done in two volumetric flow rate 16 and 24 L/min. To ensure the accuracy of the results of designed test rig, all the tests were repeated at least three times for each volumetric flow rate. Gravimetric method was implemented to estimate the separation efficiency. According to the results of the tests it was found that the separation efficiency of impactor with variable area is better than similar models, so that at the same flow rate of two phase air-oil flow, efficiency of impactor with variable area is almost eight times that of similar models. In this article, pressure drops of flow of the mentioned separators were also measured experimentally. Although the efficiency of impactor with variable area is more than the other impactors but its pressure drop is lower than Nissan's impactor.

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