بررسی اثر برخورد افشانهٔ روغن با سمبهٔ متحرک در مقدار قطرات موجود در گازهای نشتی با استفاده از روش موتور گردانی

محمد علی احترام*
دانشجوی دکتری – دانشگاه صنعتی امیرکبیر – شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو
ali_ehteram@aut.ac.ir

حسن بصیرت تبریزی
استاد– دانشگاه صنعتی امیرکبیر
hbasirat@aut.ac.ir

مهدی احمدی
اداره کل محاسبات مهندسی – شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو
m_ahmadi@ip-co.com

سید وحید حسینی
دانشجوی دکتری– دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی – – شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو
v_hosseini@ip-co.com

سید مصطفی میرسلیم
استادیار– دانشگاه صنعتی امیرکبیر
mirsalim@csr.ir

* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۰۸ پذیرش نهایی مقاله: ۸۸/۱۲/۲۵

چکیده

این پژوهش به بررسی تجربی تأثیر افشانهٔ روغن خنک‌کن سمبه بر مقدار قطرات روغن آلاینده در گازهای نشتی موجود در محفظهٔ لنگ می‌پردازد. با توجه به اینکه گازهای موجود در محفظهٔ لنگ به موتور باز گردانده می‌شود، همواره مقداری روغن نیز همراه با آن وارد موتور و سبب تولید آلایندگی می‌شود. برای آزمایش، از موتور ملی در حالت موتورگردانی استفاده شده است. دما و فشار روغن و آب به‌کمک تلمبهٔ خارجی پایش می‌شود. نتایج نشان دهنده افزایش قطرات روغن در شار ثابت افشانهٔ خنک‌کن با افزایش سرعت دورانی موتور است. در عین حال با افزایش سرعت موتور قطرات ریزتر نیز می‌شوند. در این پژوهش مقدار قطرات روغن موجود در گازهای محفظهٔ لنگ که با عبور از افشانه تولید شده، در ٤٠٠٠ د.د.د.[1] حداقل ۰,۲۵ گرم بر ساعت است که از لحاظ معیارهای آلایندگی جدید مانند یورو ۵ مهم است و باید در طراحی موتورهای جدید در نظر گرفته شود. برای اندازه‌گیری قطرات از صافی‌هایی از جنس الیاف شیشه با ضریب عبور مختلف و روش وزنی با دقت ۰,۰۰۱ گرم استفاده شده است. همچنین تأثیر ترتیب قرارگیری این صافی‌ها برای تخمین قطر قطرات نیز بررسی شده است.

کلید واژه‌ها: افشانهٔ روغن، تهویهٔ محفظهٔ لنگ، قطرات روغن، صافی

۱– مقدمه

امروزه پیشرفت فناوری‌ها، سبب افزایش سرعت عملکرد، فشار و مقدار حرارت تولیدی از آن‌ها شده است. یکی از روش‌هایی که برای خنک‌کاری دستگاه‌های جدید استفاده می‌شود، استفاده از فوارهٔ[2] مایع روی قطعهٔ مورد نظر است. این فناوری در صنعت خودرو نیز وارده شده است و در خنک‌کاری سمبه[3] استفاده می‌شود. با توجه به محدودیت ناشی از قوانین کاهش آلاینده‌ها در موتور، نکتهٔ مهم در استفاده از این فناوری، تأثیر آن بر آلاینده‌های خروجی از موتور است. فوارهٔ روغن بعد از بر خورد با سمبه

۱- RPM
۲- Jet
۳- Piston

Archive of SID
www.SID.ir

سبب تشکیل یک غشاء روغن زیر سمبه می‌شود. با این حال مقداری از روغن به‌دلیل سرعت فواره و سرعت سمبه تبدیل به قطرات ریز می‌شوند. قطرات تولیدی به همراه بخار روغن که تحت تأثیر دمای سمبه تولید می‌شود، وارد گازهایی می‌شود که از کنار سمبه نشت کرده‌اند و از طریق سامانهٔ تهویهٔ محفظهٔ لنگ[۱] ، ابتدا به سمت جدا ساز روغن و سپس به سمت اتاق احتراق می‌رود. باید توجه داشت که جدا سازهای موجود بازدهی محدود دارند و برای پایش مناسب این نوع آلاینده‌ها طراحی مناسب منابع تولید قطرات روغن باید در نظر گرفته شود. در عین حال تکثیر قطرات روغن سبب کاهش بازدهی خنک‌کاری فواره نیز می‌شود.

گازهای نشتی حدود ۲ درصد از جرم هوای ورودی به موتور را تشکیل می‌دهند. قطرات تولید شده در محفظهٔ لنگ بیشتر در حلقه‌ها و تحت تأثیر فشار اتاق احتراق تولید می‌شود. اما با توجه به اینکه قوانین پایش آلایندگی با گذر زمان سخت‌گیرانه‌تر می‌شود، ۰٫۲ g/hr تا ۰٫۵ g/hr روغن‌سوزی ناشی از تهویهٔ محفظهٔ لنگ، بررسی دقیق‌تر دیگر عوامل تولید قطره در محفظهٔ لنگ به منظور پایش آلاینده‌ها ضروری به نظر می‌رسد[۱].

تأثیر جریان گازهای نشتی را در روغن‌سوزی موتور به صورت تجربی ایلماز[۲] [۲] و لوپز[۳] [۳]، بررسی کرده‌اند. ایلماز با استفاده از روغن با گوگرد زیاد واندازه‌گیری دی اکسید گوگرد در خروجی، مقدار روغن‌سوزی به دلایل مختلف را با دقت اندازه‌گیری کرده است. در ادامه لوپز، به طور دقیق روغن‌سوزی حاصل از گازهای نشتی را با استفاده از روش وزنی و با استفاده از صافی‌های با قطر حفرهٔ مختلف مورد بررسی قرار داده است. بر اساس تحقیق او، افزایش سرعت و بار در موتور سبب افزایش روغن‌سوزی در اثر تهویهٔ محفظهٔ لنگ و ریزتر شدن قطر قطرات روغن می‌شود، اما اثر بار بسیار محسوس‌تر است. همچنین سطح روغن در محفظهٔ لنگ تأثیر زیادی بر روی این روغن‌سوزی دارد.

در زمینه تأثیر افشانه بر انتقال حرارت تحقیقات بسیاری انجام شده است. از مشخص‌ترین این کارها می‌توان به کار لینهارد[۴] [۴] و استیونز و وب [۵] [۵] اشاره کرد. در پژوهش آن‌ها عدد پرانتل بر حسب عدد ناسلت و رینولدز فواره بیان شده است.

از جمله فعالیت‌هایی که در زمینهٔ تولید قطرات در افشانهٔ روغن در موتور صورت گرفته است می‌توان به کارهای وارگس[۶] و اگراوال[۷] اشاره کرد که ضمن بررسی مقدار خنک‌کاری سمبه، حرارت شروع تولید قطرات را در سمبه ثابت بررسی کرده‌اند.

وارگس در کنار بررسی تجربی انتقال حرارت افشانهٔ روغن در زیر سمبه در خودروهای دیزل، اثر تشکیل قطرات ریز روغن را به دنبال تبخیر با دوربین و استوانهٔ شفاف بررسی کرده است[۶].

همچنین اگراوال تشکیل قطرات را در اثر افشانهٔ روغن و تأثیر آن را بر روی آلایندگی در موتورهای دیزل سنگین، در حالتی که سمبه ثابت است، بررسی کرده است. او تأثیر تبدیل فوارهٔ روغن را به قطرات به دنبال بر خورد با سطح سمبه مشاهده کرده است. در آزمایش او دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد برای سمبه دمای شروع تولید مه روغن و دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد برای تولید دودهٔ روغن ثبت شده است. همچنین بر اساس تحقیق او سرعت تندتر از ۴۰ متر بر ثانیه برای فواره موجب تشدید تولید قطرات روغن می‌شود[۷]. توجه شود که افزایش دما سبب جوشش روغن به صورت نقطه‌ای در سطح و تولید قطرات ریز می‌شود. همچنین تغییر دما سبب تغییر گرانروی، چگالی و کشش سطحی روغن نیز می‌شود. این پژوهشگران به مقدار قطرات تولیدی و یا قطر آن‌ها اشاره‌ای نکرده‌اند.

با توجه به کاربرد افشانهٔ برخورد کنندهٔ سیال[۸] در زمینه‌های مختلف از جمله برش قطعات، تعدادی از محققان بر روی تولید قطرات حاصل از فواره به صورت خاص مطالعاتی را انجام داده‌اند–لینهارد و بوهینا[۹] مقدار قطرات تولید شده را در اثر برخورد فوارهٔ آب بررسی کردند. بر اساس بررسی آنها مقدار قطرات تولیدی فقط تابع عدد وبر و نسبت فاصلهٔ افشانه از صفحه است [۸] و[۹].

همچنین دربارهٔ تأثیر بر خورد افشانه خنک‌کن با سمبهٔ متحرک بر مقدار روغن موجود در گازهای نشتی، پژوهشی در مقالات یافت نشد. با این حال، فعالیت‌هایی در زمینهٔ تأثیر حرکت صفحه بر انتقال حرارت در اثر برخورد فواره با صفحهٔ متحرک انجام شده است. زامبرون[۱۰] تأثیر حرکت صفحه متحرکی را که سرعتش نصف سرعت فواره‌ای است که به آن برخورد می‌کند، بررسی کرده است. بر اساس بررسی او حرکت صفحه در انتقال حرارت در نقطه سکون تأثیری ندارد اما بر تبدیل جریان از آرام به مغشوش تأثیر گذار است [۱۰].

در این پژوهش تأثیر برخورد فوارهٔ روغن با سمبه بر مقدار قطرات موجود در گازهای محفظهٔ لنگ در یک موتور ۴ استوانه‌ای خطی به صورت تجربی بررسی شده است. به منظور حذف سایر موارد تولید قطره، که ناشی از احتراق در موتور است، از حالت موتور گردانی استفاده شده است .

۱- Crankcase Ventilation
۲- Yilmaz
۳- Lopez
٤- Lienhard
٥- Stevens and Webb
٦- Varghese
۷- Agarwal
۸- Impingement Jet
۹- Bhunia
۱۰- Zumbrunnen

Archive of SID
www.SID.ir

در حالت کارکرد عادی موتور، فشار روغن با سرعت دورانی موتور تغییر می‌کند که روی شار فواره تأثیر می‌گذارد. بنابراین دما و فشار آب و روغن به کمک تلمبهٔ خارجی و گرم‌کن پایش می‌شود. در ابتدا تأثیر سرعت موتور و حرکت سمبه بر مقدار قطرات در دما و فشار ثابت آب و روغن بررسی و سپس تأثیر فشار و دمای روغن در حالتی که سمبه ساکن است بررسی می‌شود.

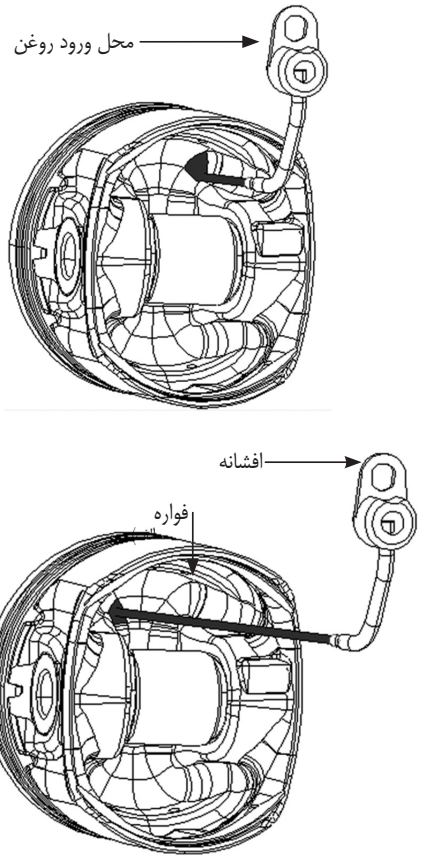
به منظوراندازه‌گیری مقدار قطرات و تخمین قطر قطرات از روش وزنی با دقت ۰٫۰۰۱ گرم با استفاده از صافی‌هایی با الیاف میکرونی شیشه[۱] و با ضریب عبور متفاوت استفاده شده است. صافی‌هایی با الیاف شیشه به‌خصوص در جدایش قطرات روغن از هوای فشرده و یا روغن موجود در گاز طبیعی فشرده کار برد دارد. بازدهی این صافی‌های تابع مقدار دمای گاز حامل، کشش سطحی مایع حمل شده و رطوبت می‌باشد[۱۵]. در این پژوهش اثر نحوهٔ قرارگیری صافی‌ها با ضریب عبور مختلف در تخمین قطر قطرات و مقدار افت فشار نیز بررسی شده است.

۲-بررسی نحوهٔ تولید قطرات روغن به توسط افشانهٔ خنک‌کن سمبه

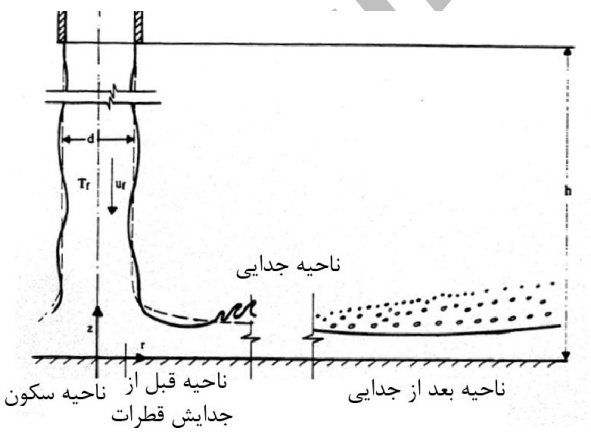
یکی از روش‌هایی که امروزه برای خنک‌کاری سمبه از آن استفاده می‌شود، استفاده از افشانهٔ خنک‌کنندهٔ سمبه است. در این روش جریان روغن با سرعتی حدود ۲۰-۱۰ متر بر ثانیه به انتهای سمبه بر خورد می‌کند و با تشکیل غشاء روغن، سمبه را خنک می‌کند. شار روغن موجود در افشانهٔ روغن به کمک فشار تلمبهٔ روغن موتور تامین می‌شود، در برخی موارد برای تولید فواره از سوراخی که روی دسته سمبه[۲] است استفاده می‌شود. اما در بیشتر موارد برای تولید فواره از افشانهٔ مستقل استفاده می‌شود. بر خورد افشانه با سطح سمبه سبب تولید لایهٔ روغن روی آن می‌شود و سمبه را خنک می‌کند. در بعضی از طرح‌ها برای بهبود انتقال حرارت، در داخل سمبه حفره‌ای ایجاد می‌شود تا جریان روغن درون سمبه نفوذ کند [۱۴].

در شکل ۱ نمایی از پاشش افشانهٔ روغن به سطح پیچیده سمبه در موتور ملی، دیده می‌شود. مشاهده می‌شود که با حرکت سمبه محل برخورد افشانه تغییر می‌کند که روی ضخامت غشاء روغن و مقدار قطرات تولیدی مؤثر است. نحوهٔ برخورد افشانه با سطح و پدیده‌های مختلفی که در این حین اتفاق می‌افتد در شکل ۲ نشان داده شده است.

۱- Glass Micro Fiber
۲- Piston Conrod



شکل ۱ نمایش برخورد فواره با هندسهٔ پیچیدهٔ سمبه در هنگام حرکت سمبه الف) هنگامی سمبه بالا است ب)هنگامی که سمبه پایین است



شکل ۲ مراحل مختلف تشکیل قطرات مایع در برخورد افشانه با سطح[۹]

بر اساس تحقیقات لینهارد علت تولید قطرات وجود ناپایداری در سطح سیال و شکسته شدن امواج تشکیل شده به قطرات ریز است. شروع نا پایداری تابع ضخامت غشاء روغن است. بر اساس تحقیق او با افزایش

www.SID.ir

عدد وبر و فاصلهٔ افشانه از سطح، مقدار قطرات زیاد می‌شود. عدد وبر به کمک معادلهٔ (۱) تعریف می‌شود.

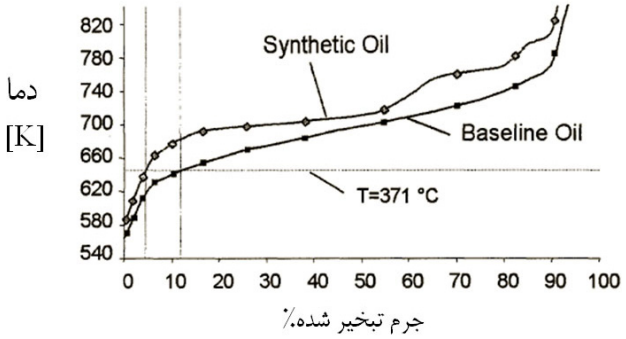
$$We = \frac{\rho V_f^2 d}{\sigma} \qquad (۱)$$

که در آن We عدد وبر ρ ،Vf، و d بترتیب چگالی، سرعت متوسط نسبت به سطح و قطر فواره می‌باشد. بنابر این با ثابت نگه داشتن دما می‌توان انتظار داشت که مقدار تولید قطرات صرفا تابع سرعت سیال باشد.

همچنین بر اساس بررسی او فاصلهٔ محل برخورد افشانه روی صفحه تا محل تولید قطره نسبت به قطر فواره تنها تابع عدد وبر است و نسبت عکس با آن دارد [۸].

یکی از روش‌های تولید قطره که می‌توان به‌وسیلهٔ آن توزیع قطرات را در برخورد افشانه با سطح سمبه الگوسازی کرد، افشانه‌های برخورد – صفحه‌ای[۱] هستند. در افشانه‌های برخورد–صفحه‌ای فوارهٔ مایع با زاویه‌ای به صورت مایل با سطح بر خورد و پس از برخورد با سطح در جهت شعاعی حرکت می‌کند و تشکیل ورقه‌هایی از مایع می‌دهد. سپس این ورقه‌ها به‌دلیل ناپایداری شکسته می‌شوند و قطرات ریز را تشکیل می‌دهند. اشکریز، پژوهش‌های زیادی در این زمینه کرده است. بر اساس تحقیق او قطر قطرات تقریباً نسبت خطی با سرعت بر خورد با صفحه دارند. تکثیر قطرات به دو مرحلهٔ تشکیل ورقه‌های مایع و شکست این ورقه‌ها به قطرات ریز تقسیم می‌شود [۱۲]و [۱۳] . حرکت سمبه در عین تغییر سرعت برخورد، سبب تغییر در سرعت هوا زیر سمبه، نیز می‌شود. بر اساس بررسی دو[۲] بر خورد هوا ی اطراف با غشاء روغن تشکیل شده روی صفحه می‌تواند سبب ریز تر شدن قطرات شود. با افزایش شار هوا، قطر قطرات نیز ریزتر می‌شوند [۱۱]. بنابراین سرعت سمبه علاوه بر تأثیر بر افزایش سرعت برخورد فواره، سبب برخورد هوا با زیر سمبه نیز می‌شود، که خود سبب ریز تر شدن قطرات می‌شود.

یادآوری: یکی دیگر از عوامل تولید قطره در افشانهٔ روغن، تبخیر روغن است، زیرا بخار روغن در طول مسیر می‌تواند تبدیل به قطره شود. این اثر زمانی که سمبه داغ است–احتراق وجود دارد– می‌تواند اندکی جرم قطرات ریز را افزایش دهد. برای درک بهتر این پدیده در شکل ۳ منحنی جرم تبخیر شدهٔ روغن در فشار جو با دما آورده شده است. با توجه به این منحنی حداقل دمای لازم برای شروع تبخیر ۵۸۰ کلوین می‌باشد. با توجه به اینکه در آزمون موتور گردانی دمای سمبه تحت تأثیر دمای آب خنک و دمای روغن می‌باشد، و دمای آب و روغن در ۱۰۰ درجهٔ سانتیگراد تنظیم می‌شود، از اثر تبخیر در این آزمون صرف نظر می‌کنیم. بنابراین قطرات جمع شده در این آزمون به صورت غالب حاصل از بر خورد افشانه با سطح سمبه می‌باشد.

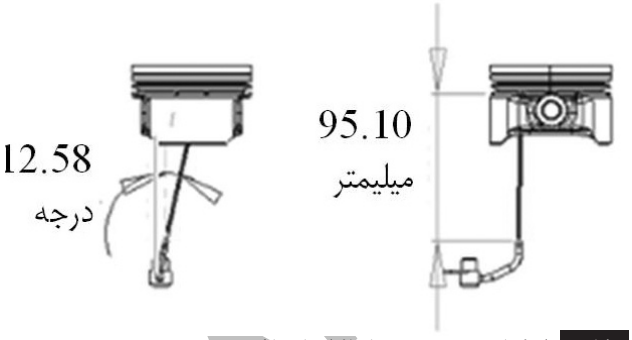


شکل ۳ نمودار مقدار جرم روغن تبخیر شده با دما در فشار جو برای روغن‌های مورد استفاده در موتور [۲]

۳–شرایط آزمایش

در این بخش به بررسی مشخصات موتور و نحوهٔ آزمایش پرداخته می‌شود.

در شکل ۴ موقعیت افشانه نسبت به سمبه نشان داده شده است.



شکل ۴ زاویهٔ پاشش و بیشترین فاصلهٔ افشانه تا کف سمبه

برای آزمایش از موتور ملی استفاده شده است. مشخصات موتور در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ مشخصات موتور مورد آزمون

تعداد استوانه	۴
قطر استوانه ـ متر	۰.۰۷۸
طول مسیر سمبه ـ متر	۰.۰۸۵
طول دسته سمبه ـ متر	۰.۱۳۴
ظرفیت موتور ـ سی سی	۱۷۰۰

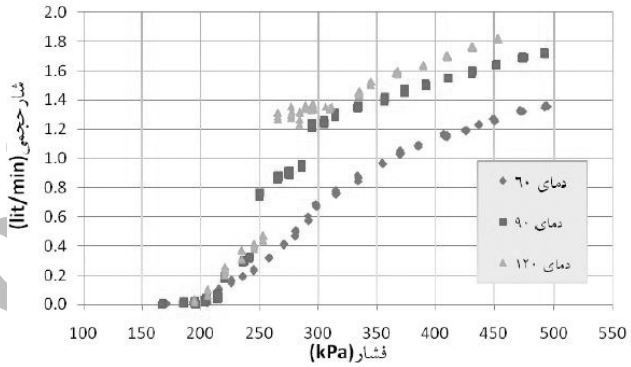
۱- Splash Plate
۲- Do

www.SID.ir

قطر افشانه ۲ میلیمتر و زاویه فواره ۱۲٫۶ درجه است. دمای آب و روغن ۱۰۵ درجه سانتیگراد و فشار روغن ۴۲۵ کیلو پاسکال می‌باشد. در این دما و فشار، شار فواره از شکل۵، ۱٫۹ لیتر بر دقیقه بدست می‌آید. شار هوایی که قطرات را به سمت صافی می‌برد ۱۰ لیتر بر دقیقه در نظر گرفته می‌شود.

به منظور بر آورد درست از مقدار قطرات در محدودهٔ ۱ تا ۱۰ میکرون، جداساز حلزونی[1] موجود در موتور اصلی در این آزمون حذف شده است.

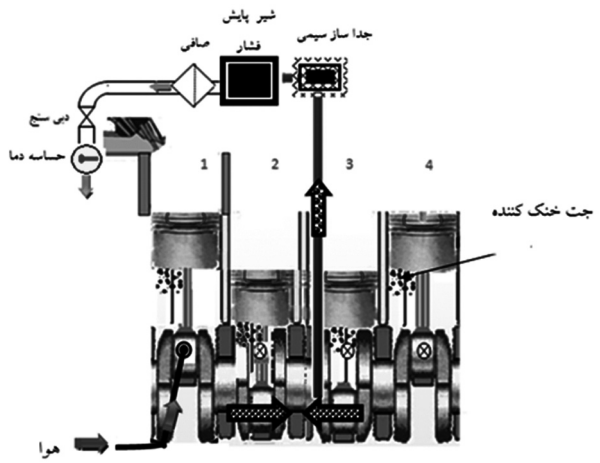
منحنی‌های تغییر دما و فشار روغن با شار روغن در فوارهٔ مربوط به موتور ملی با در نظر گرفتن مقدار نشتی، در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ تأثیر دما و فشار بر شار روغن [۱۶]

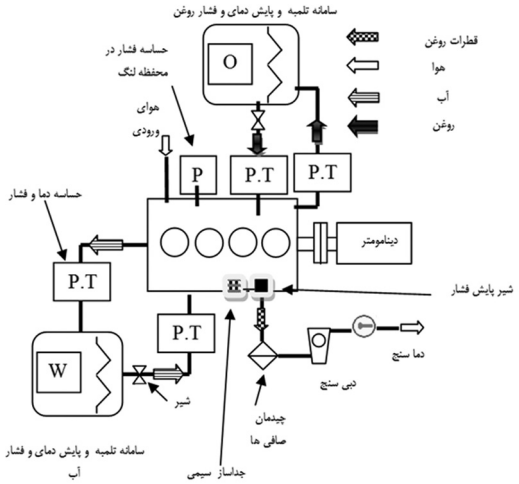
٤-نحوهٔ آزمایش

برای آزمایش از موتور ۴ استوانهٔ بنزینی در حالت موتور گردانی استفاده می‌شود. نحوهٔ ورود هوا و نحوهٔ اندازه‌گیری مقدار قطرات در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که قبل از صافی، یک جدا ساز که از شبکه‌های فلزی متصل به هم تشکیل شده (جداساز سیمی) وجود دارد. این جدا ساز متعلق به خود موتور است و قطرات بزرگتر از ۱۰ میکرون را جدا می‌کند. در شکل ۶ سامانه‌های پایش موتور و اندازه‌گیری در اتاق آزمون موتورگردانی نمایش داده شده است. شار روغن با تنظیم فشار روغن به کمک یک شیر پایش می‌شود. با توجه به تغییر گرانروی روغن با دما، شار افشانه علاوه بر فشار روغن، تابع دمای آن نیز می‌باشد. یادآوری: نحوهٔ تغییر شار افشانه با فشار روغن در موتورهای مختلف یکی نیست و بسته به ساختار شیر پایش فشار، ممکن است به صورت تدریجی یا به صورت ناگهانی با تغییر فشار روغن تغییر کند.



شکل ۶ نحوهٔ ورود هوا برای انتقال قطرات به سمت جدا ساز

در نتیجه در هنگام آزمایش، دما و فشار روغن به کمک حسگر اندازه‌گیری و پایش می‌شود تا شار افشانه از طریق آن محاسبه شود.



شکل ۷ نحوهٔ پایش موتور واندازه‌گیری قطرات دراتاق موتور گردانی

به منظور بررسی اثر سرعت سمبه، دمای آب و روغن و فشار روغن ثابت است و دور موتور از ۰ تا ۴۰۰۰ دور بر دقیقه تغییر می‌کند. سپس، تغییر مقدار قطرات ریز در اثر تغییر سرعت موتورکه متناسب با سرعت برخورد افشانه به سمبه است، اندازه‌گیری می‌شود. همچنین مقدار ریز شدن قطرات به صورت کیفی به کمک دو صافی با بازدهی متفاوت بررسی می‌شود.

با توجه به اینکه در حالت موتور گردانی، احتراق وجود ندارد، گازهای نشتی وجود ندارد تا قطرات تولید شده را به صافی برساند. بنابراین در

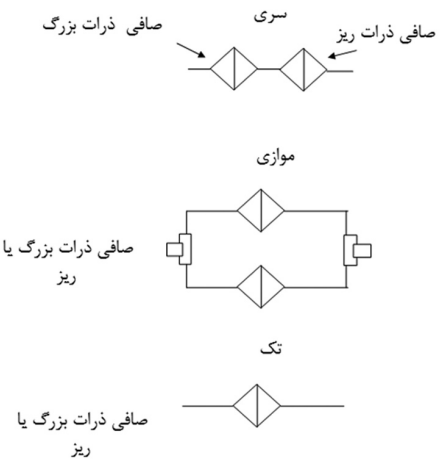
۱- Cyclone

www.SID.ir

این آزمون سوراخ‌هایی در بدنه موتور ایجاد می‌شود تا هوای لازم جهت افزایش قطرات ریز از طریق این مجاری وارد محفظهٔ لنگ شود. شار هوای ورودی در هنگام آزمایش ثابت می‌باشد و با شارسنج پایش می‌شود.

با توجه به اینکه مقداری هوا همیشه در روغنی که در موتور در گردش است وجود دارد، این مقدار هوا در خروج روغن از دهانهٔ افشانه ممکن است سبب ناپیوستگی در جریان و تولید قطره (که به خاطر ساختار آن از نوع قطرات بزرگ می‌باشد) شود. البته با توجه به مقدار کم این هوا و تولید قطرات بزرگ، اثر آن قابل صرف نظر است.

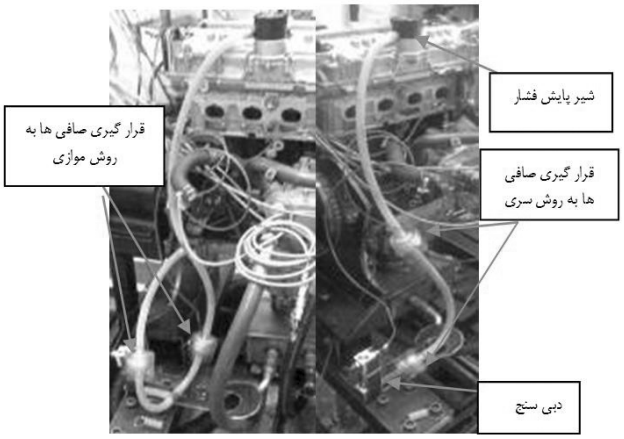
برای تخمین قطر قطرات روغن از صافی‌هایی با ضریب عبور مختلف استفاده می‌شود. برای این منظور می‌توان صافی با بازدهی کمتر را در ابتدا و در پی آن صافی ریز را در مسیر قرار داد–روش ردیفی–، همچنین می‌توان یک بار صافی بزرگ و بار دیگر صافی ریز را قرار داد که اختلاف وزن این دو صافی تخمینی از تغییرات قطر قطرات می‌دهد. در عین حال دو صافی هم جنس را می‌توان به صورت موازی قرار داد تا افت فشار را در مسیر کاهش داد. در شکل ۸ نحوهٔ چیدمان صافی‌ها آورده شده است. صافی‌ها از جنس الیاف شیشه می‌باشند. صافی‌هایی با الیاف میکرونی شیشه برای مواردی که نرخ جریان زیاد و قابلیت ذخیره‌سازی بزرگ مورد نیاز است استفاده می‌شود. این صافی‌ها ساختار شبکه‌ای بسیار ریزی دارند. صافی استفاده شده در این پژوهش از نوع GF/D و GF/A متعلق به شرکت وات‌من[1] می‌باشد. براساس داده‌های سازندهٔ صافی‌ها، حد عبور ذرات برای این صافی‌ها به ترتیب ۲٫۷ و ۱٫۶میکرون می‌باشد. با توجه به وابستگی بازدهی صافی‌ها به دما، دمای گاز خروجی در هر آزمون‌اندازه‌گیری شده است.



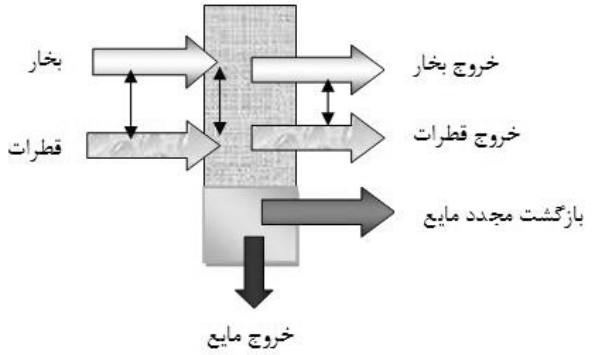
شکل ۸ نحوهٔ قرارگیری صافی‌ها در آزمون

۱- WhatMan

در شکل ۹ نیز تصاویری از نحوهٔ قرارگیری اجزای مختلف در آزمون‌ها نشان داده شده است.



شکل ۹ سمت راست آزمون به روش ردیفی و سمت چپ به روش موازی



شکل ۱۰ پدیده‌های مختلف در جدا سازی قطرات به‌وسیلهٔ صافی‌هایی با الیاف شیشه

مزایا و معایب هر کدام از چیدمان‌ها، که در وهلهٔ اول انتظار می‌رود، در جدول ۲ بیان شده است. نکته‌ای که در مورد صافی‌ها باید رعایت کرد این است که در هنگام جدا سازی قطره‌ها امکان تشکیل قطره جدید از قطرات جمع شده در صافی وجود دارد که این خود سبب ایجاد خطا در آزمون می‌شود. در شکل ۱۰ انواع پدیده‌هایی که در جداسازی قطرات در صافی می‌تواند رخ دهد، نمایش داده شده است.

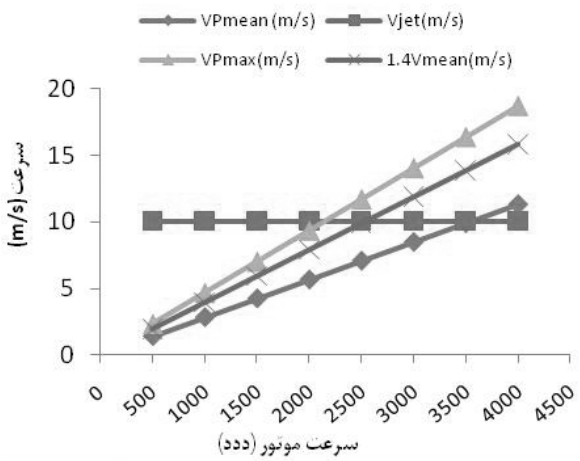
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲ بررسی مزایا و معایب چیدمان صافی‌ها(+ مزیت و – عیب)

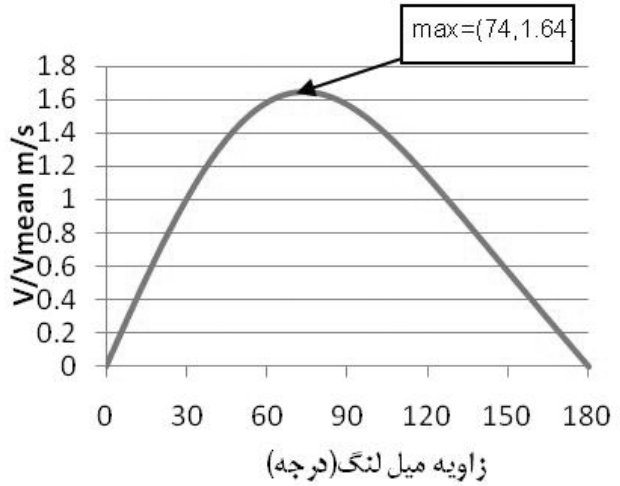
چیدمان	نتیجه
ردیفی	کاهش دفعات آزمون +
	افت فشار خیلی زیاد ––
	احتمال خشک شدن صافی دوم به توسط گاز خروجی از صافی اول–
	سادگی آزمایش+
موازی	کاهش زیاد افت فشار++
	اضافه شدن اتصالات–
	افزایش دفعات آزمون برای تخمین قطر قطرات–
	افت فشار زیاد–
تک	افزایش دفعات آزمون–
	سادگی آزمایش+

۵- بررسی اثر سرعت سمبه نسبت به افشانه بر روی قطر قطرات

در هنگام حرکت موتور ۴ استوانه‌ای، دو سمبه رو به بالا و دو سمبه رو به پایین حرکت می‌کند، بنابراین با ثابت بودن سرعت فواره، سرعت نسبی فواره در دو سمبه از جمع سرعت آن با سرعت سمبه و در دو تای دیگر از کم کردن آن بدست می‌آید. با توجه به اینکه افزایش سرعت نسبی سبب افزایش تولید قطرات می‌شود، بنابراین بیشتر قطرات در زیر دو سمبه‌ای که در حال پایین آمدن است، تشکیل می‌شود. در عین حال در صورتی که سرعت سمبه‌هایی که بالا می‌روند از سرعت فواره بیشتر باشد، فواره از سمبه جدا می‌شود و مقدار قطرات تولیدی کاهش می‌یابد. به منظور بررسی تأثیر سرعت سمبه در آزمون، شار افشانه ثابت در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۱، سرعت بیشینه –۱٫۶سرعت متوسط–، سرعت متوسط سمبه در کنار سرعت فواره برای موتور ملی ارائه شده است. در دور ۲۰۰۰ سرعت لحظه‌ای از سرعت افشانه بیشتر و فواره جدا می‌شود. اما بلافاصله با کاهش سرعت سمبه دوباره به آن بر خورد می‌کند. بنابراین سرعت لحظه‌ای بیشینه معیار مناسبی برای بررسی کاهش قطرات نیست، در نتیجه سرعتی باید به عنوان معیار جدایی قرار گیرد تا مدت زمان جدایی فواره از سمبه برای تغییر مقدار قطرات تولیدی کافی باشد. این سرعت در آزمون تجربی بدست آمده و در بخش بعد در مورد آن بحث می‌شود. با توجه به شکل ۱۲، بیشینهٔ سرعت در زاویهٔ ۷۴ درجه رخ می‌دهد. حال بسته به اینکه سرعت فواره نسبت به سرعت متوسط سمبه چقدر باشد، می‌توان زاویه جدایی را از این نمودار حساب کرد.



شکل ۱۱ سرعت فواره و سمبه در دورهای مختلف

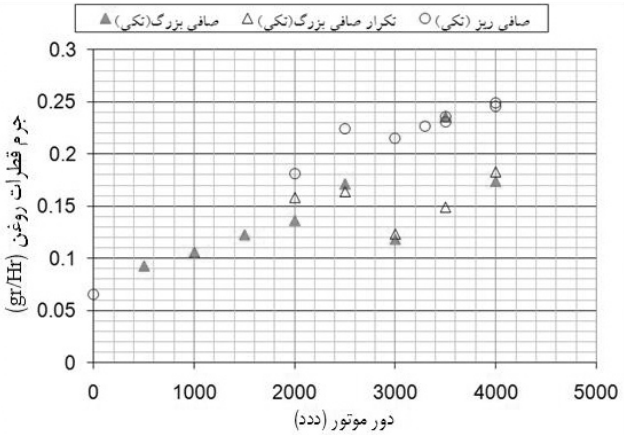


شکل ۱۲ تغییرات نسبت سرعت لحظه‌ای سمبه به سرعت متوسط سمبه با تغییر زاویه میل لنگ(در حرکت از پایین به بالای سمبه)

۶-بررسی نتایج

در شکل ۱۳، مقدار قطرات روغن جمع شده در صافی‌ها با تغییر دور موتور در حالی که شار هوا و شار فوارهٔ روغن ثابت است، نشان داده شده است. به منظور تخمین دقیق‌تر مقدار ریز شدن قطرات با دور، آزمون یک بار با صافی درشت و با دیگر با صافی ریز انجام گرفته است. در عین حال یک بار صافی‌های بزرگ به صورت موازی قرار گرفتند تا مقدار کاهش فشار در حالت موازی و تأثیر آن بر بازدهی بررسی شود. نتایج این آزمون نیز در شکل ۱۴ نشان داده شده است. به منظور اطمینان از دقت داده‌ها، داده‌های با صافی بزرگ دو باراندازه‌گیری شده‌اند. همچنین در سایر موارد، در برخی نقاط آزمون دو بار انجام شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۳ مقدار قطرات روغن تولید شده به توسط افشانه‌های روغن(بین ۱ تا ۱۰ میکرون) بر حسب دور

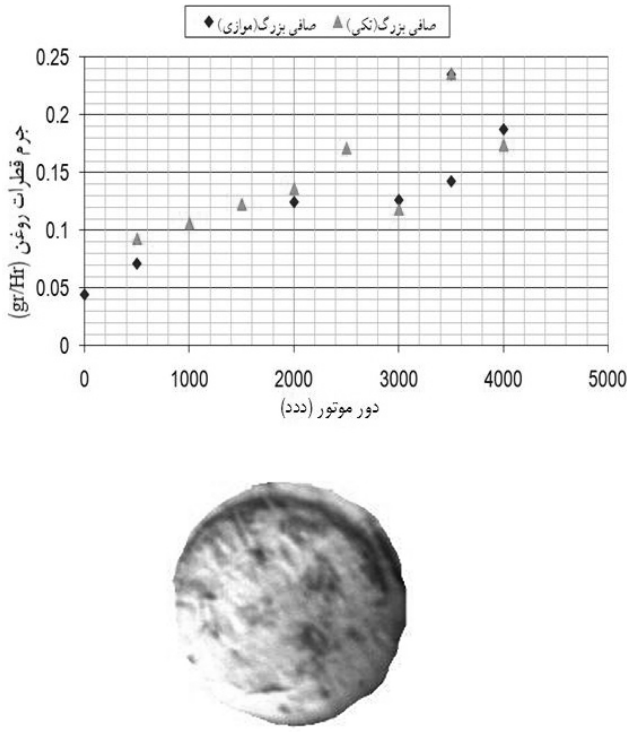
با توجه به نتایج یاد شده :

۱–با افزایش سرعت سمبه، مقدار قطرات جمع شده افزایش پیدا می‌کند.

۲–در ۲۵۰۰ د.د.د. فواره به اندازهٔ کافی از سمبه عقب می‌ماند در نتیجه مقدار قطرات روغن کم می‌شود، ولی مجددا با افزایش دور این مقدار افزایش پیدا می‌کند. با توجه به شکل ۱۱، سرعت سمبه در ۲۱۰۰ د.د.د. از سرعت فواره بیشتر می‌شود، اما اثر این جدایی در نتایج در ۲۵۰۰ د.د.د. یعنی زمانی که فواره ۵۰ درجه از سمبه جدا مانده است، خود را نشان می‌دهد(شکل ۱۲).

۳–در هنگام جدایی سمبه از فواره، به‌دلیل برخورد مجدد سمبه در برگشت، مقدار قطرات جمع شده در صافی ریز با صافی بزرگ تفاوت بیشتری پیدا می‌کند که نشان دهنده ریز شدن قطرات است. مقدار قطرات تولید شده به توسط افشانه‌ها که از جدا ساز سیمی در دور ۴۰۰۰ د.د.د. عبور کرده، ۰٫۲۵گرم بر ساعت است که در صورت عدم استفاده از جداساز دوم مناسب می‌تواند از نظر استانده‌های آلایندگی جدید مشکل‌زا باشد. باید توجه داشت که جدا سازهای موجود تنها زمانی که شار گازهای نشتی زیاد است بازدهی مناسبی دارند و نمی‌تواند تمام قطرات را جدا کنند. دقت در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که در ۳۵۰۰ د.د.د.، در یک آزمون، مقادیر صافی درشت تر با صافی ریز یکی شده است. این مورد می‌تواند به علت عدم یکنواختی صافی‌های تولیدی باشد. زیرا در هر آزمون از صافی جدید استفاده شده است .دقت در شکل ۱۴ نشان می‌دهد که نتایج روش موازی مخصوصاً بعد از جدایی فواره، به حالت صافی تک نزدیک است.

در همین شکل۱۴ یک نمونه صافی بعد ازاندازه‌گیری نشان داده شده است.



شکل ۱۴ بررسی تأثیر روش نصب صافی‌ها به روش موازی با روش تکی (بالا)
یک نمونه صافی بزرگ بعد ازاندازه‌گیری (پایین)

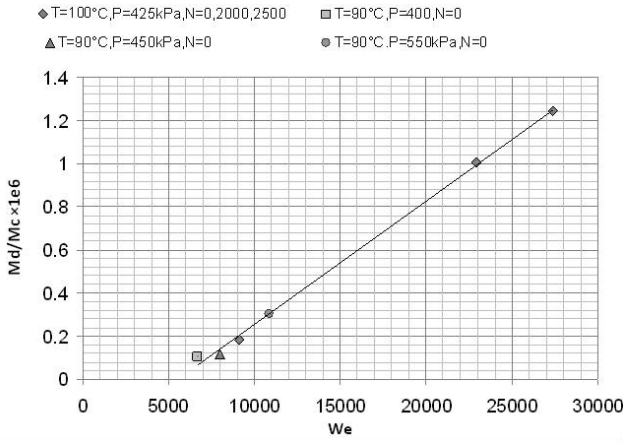
در ادامه، برای اینکه نتایج بدست آمده در سایر موتورها و شرایط نیز قابل استفاده باشد، نتایج تا قبل از جدایی فواره به صورت بی بعد بیان می‌شود.

با توجه به مباحث ارائه شده در قسمت‌های قبل می‌توان گفت مقدار قطرات تولید شده تابع عدد بی بعد وبر است(معادله ۱). برای محاسبهٔ سرعت در این معادله از سرعت نسبی فواره و سمبه، وقتی سمبه پایین می‌آید استفاده شده است.

کشش سطحی برای هیدرو کربن‌ها به صورت خطی با دما کاهش می‌یابد. برای ان–پروپان در ۲۰ درجه سانتیگراد کشش سطحی، $23{,}7\ mN\ m^{-1}$و برای ۱۰۵ درجه سانتیگراد $17{,}1\ mN\ m^{-1}$می‌باشد[۱۷]. چگالی روغن نیز با دما تغییرات خطی دارد، به صورتی که در دمای $^{\circ}C$ ۲۰ چگالی $888\ kg/m^3$ و در دمای$^{\circ}C$ ۱۰۰ چگالی $831\ kg/m^3$ می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

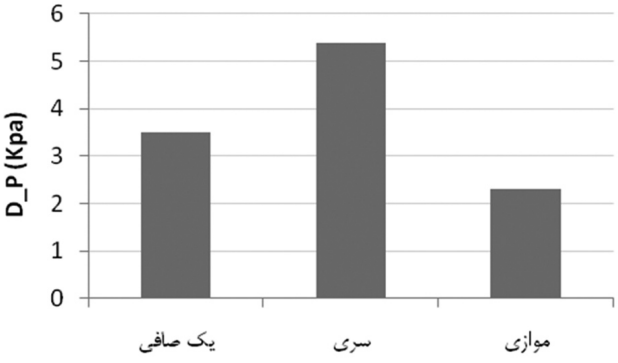


شکل ۱۵ بررسی معادلهٔ عدد وبر با مقدار قطرات تولیدی به توسط افشانه در محدودهٔ ۱ تا ۱۰ میکرون

در شکل ۱۵ تغییرات عدد وبر نسبت به مقدار شار قطرات روغن تولیدی توسط افشانه–۱ تا ۱۰ میکرون–که به کمک شار کل افشانه بی‌بعد شده است، نشان داده شده است.

با توجه به این نمودار معادلهٔ عدد وبر با قطرات تولید شده خطی است. نقطهٔ صفر با توجه به اینکه مقدار قطرات در نبود فواره ناچیز است اضافه شده است. شایان ذکر است که نمودار شکل (۱۶) برای افشانه‌هایی که مانند موتور ملی فواره آنها، تا برخورد با سمبه تقریبا به شکل استوانه‌ای باقی می‌ماند، قابل استفاده است. در صورتی که فواره بعد از خروج از افشانه پخش شود، استفاده از این تحلیل صحیح نیست.

در شکل ۱۶ تأثیر چیدمان‌های مختلف صافی روی اختلاف فشار، نشان داده شده است. در طرح ردیفی به جای دو بار آزمون–یک بار با صافی ریز و یک بار با صافی درشت – صافی درشت در ابتدا و در ادامه صافی ریز قرار می‌گیرد. بنابراین با یک آزمایش هم مقدار قطرات هم تغییر قطر آنها قابل تخمین است. اما نتایج نشان می‌دهد ضمن افت فشار زیاد این روش، مقداری از قطرات ذخیره شده در صافی اول در صافی دوم تخلیه می‌شود. در عین حال هوا بعد از عبور از صافی اول خشک و سبب تبخیر قطرات روی صافی دوم می‌شود، در نتیجه این روش مناسب نمی‌باشد. افزایش فشار در محفظهٔ لنگ در حین عملکرد موتور سبب نشت از کاسه نمدها می‌شود و در کار موتور اخلال وارد کند.



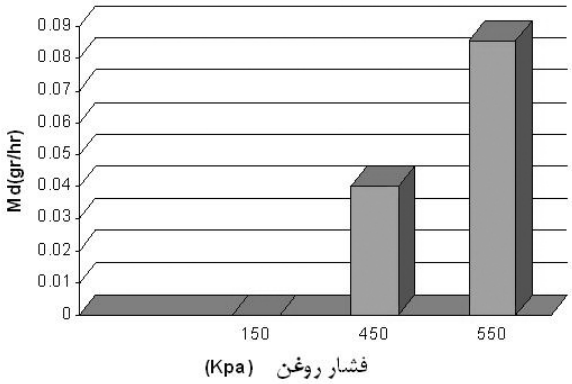
شکل ۱۶ بررسی تأثیر چیدمان صافی‌ها بر افزایش فشار در محفظهٔ لنگ در شار ۱۰ لیتر بر دقیقه

۷–بررسی تأثیر فشار و دما بر مقدار قطرات تولیدی در حالت سکون

در این بخش تأثیر دما و فشار روغن بر مقدار قطرات تولیدی در حالت سکون بررسی شده است. فشار روغن، شار فواره را تغییر می‌دهد، در عین حال دما روی گرانروی و کشش سطحی تأثیر می‌گذارد. در شکل ۱۷، تأثیر فشار بر مقدار قطرات روغن تولید شده، در دمای ثابت آب و روغن در حالی که سمبه ثابت است، نشان داده شده است.

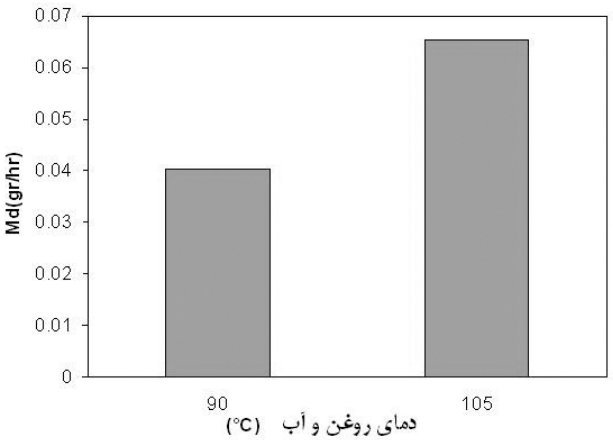
بر این اساس، افزایش فشار روغن به‌اندازهٔ ۱۰۰ کیلو پاسکال، سبب افزایش مقدار قطرات تولیدی به‌اندازه ۰٫۰۴۵گرم بر ساعت می‌شود.

توجه شود که مطابق شکل ۵، در فشار ۱۵۰ کیلو پاسکال و دمای ۹۰ درجه سانتیگراد، روغن از افشانه پاشش نمی‌کند . درشکل ۱۸ تأثیر دما، روی قطر قطرات تولید شده دیده می‌شود. مطابق شکل ۵ افزایش دما سبب افزایش شار روغن و در نتیجه افزایش قطرات تولیدی می‌شود.



شکل ۱۷ تأثیر فشار بر روغن تولید شده به توسط افشانهٔ روغن، زمانی که سمبه ثابت است– دمای آب و روغن ۹۰ درجه سانتیگراد–

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۸ تأثیر دما بر روغن تولید شده به توسط افشانهٔ روغن، زمانی که سمبه ثابت است. -فشار روغن ۴۲۵ کیلو پاسکال ثابت است-

۸-جمع بندی

با توجه به پژوهش انجام شده، روشی مناسب برای تخمین حداقل مقدار قطرات روغن و قطر آن‌ها در گازهای نشتی برای عواملی که تا حدودی از احتراق مستقل هستند ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که:

۱- افشانهٔ روغن را می‌توان به عنوان یکی از عواملی که قطرات آلایندهٔ موجود در گازهای نشتی را تولید می‌کند در نظر گرفت. با توجه به اینکه معمولا جداسازهای قطرات ریز که امروزه بر روی خوردرها نصب می‌شوند، در محدودهٔ کاری خاص بازدهی مناسب دارند، بهترین راه برای کاهش آلایندگی ناشی از روغن موجود در گازهای نشتی، بهینه سازی منابع تولید قطرات روغن است.

۲-با افزایش سرعت موتور و با ثابت نگه داشتن شار فواره، قطرات ریز تولید شده بیشتر می‌شوند. در نتیجه در موتورهای که با سرعت تند کار می‌کنند، این نکته در طراحی افشانه باید در مد نظر قرار بگیرد.

۳- در صورت جدایی فوارهٔ روغن از سمبه به‌دلیل کم بودن سرعت فواره یا زیاد بودن سرعت سمبه، مقدار قطرات روغن کم می‌شود، اما به دلیل برخورد مجدد سمبه با فواره در برگشت، قطرات ریزتر می‌شود، که عملاً جدایی آن را مشکل تر می‌کند.

۴-به منظور استفاده از نتایج در سایر موارد مشابه، نتایج بر حسب عدد بی بعد وبر ارائه می‌شود که نشان دهندهٔ نسبت خطی بین مقدار قطرات موجود در گازهای نشتی با عدد بی بعد وبر است. به منظور اطمینان از مقدار عمومیت این معادلهٔ برای سایر موتورها، می‌باید آزمون‌های مشابه انجام بگیرد.

۵-استفاده از صافی با الیاف شیشه با بازدهی متفاوت برای تخمین مقدار و تغییر قطر قطرات هنگامی که شار گاز حامل ثابت است، روش مناسبی می‌باشد.

۶-بهترین حالت استفاده از صافی‌ها این است که یک بار صافی بزرگ و بار دیگر صافی ریز در مسیر قرار بگیرد. برای کاهش افت فشار نیز می‌توان در هر مرحله صافی‌های هم نوع را به صورت موازی در مسیر قرار داد.

۷-در صورتی که صافی درشت در جلوی جریان و سپس صافی ریز قرار بگیرد، به علت احتمال خروج مجدد روغن جمع شده از صافی اول،اندازه‌گیری تغییرات قطر قطرات با خطا مواجه می‌شود. همچنین هوای خروجی از صافی اول عملا خشک است، و سبب می‌شود قطرات موجود در صافی دوم تبخیر شوند.

۸-افزایش دما و فشار روغن سبب افزایش مقدار قطرات روغن می‌شود. علت این امر علاوه بر تأثیر دما روی کشش سطحی، افزایش شار فواره با افزایش دما و فشار است.

۹-تشکر و قدردانی

در انتها، از تمامی همکارن آزمایشگاه مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو به‌خصوص آقای مهندس علویون که ما را در پیشبرد پروژه یاری کردند تشکر می‌شود.

۱۰-نمادها

افت فشار	D_P
دور موتور	N
شار قطرات	Mc
شار فواره	Md
سرعت نسبی سمبه با فواره	Vf
سرعت لحظه‌ای سمبه	Vp
سرعت متوسط سمبه	$Vmean$
عدد وبر	We
قطر دهانهٔ افشانه	d
چگالی روغن	ρ
کشش سطحی	σ

Archive of SID

www.SID.ir

Refrences

1- Pietschner. S, May. T، Meinig. U ,"Crankcase Ventilation in Current and Future Vehicle Engines Part 1: Current Ventilation Systems", MTZ 10/2004 ,page 768.
2- Yilmaz. E, "Sources and characteristics of oil consumption in a spark-ignition engine, , Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology", 2003
3- Lopez. O, "Experimental Study Of Lube Oil Characteristics In The PCV System And Effects On Engine Oil Consumption" ,Proceedings of ICEF04 2004 ,ASME
4- LIU. X, LIENHARD. J. H, "Liquid Jet Impingement Heat Transfer of a Uniform Flux Surface, Proc. of the1989 National Heat Transfer Conference", MTD - vol. 106, pp. 523-530, 1989.
5– Stevens. J, WEBB. B. W. , "The effect of inclination on local heat transfer under on axisymmetric, free liquid jet, Int. J. Heat Mass Transfer", vol. 34, vr. 4, pp. 1229- 1236, 1991b.
6- Varghese. M, Goyal. S , Agarwal. A,"Numerical and Experimental Investigation of Oil Jet Cooled Piston",SAE Paper 2005-01-1382
7- Agarwal. A and Goyal. A ,"Experimental and Numerical Investigations of Jet Impingement Cooling of Piston of Heavy-Duty Diesel Engine for Controlling the Non-Tail Pipe Emissions", SAE Paper 2007-01-0763
8- Lienhard. J. H. , Liu . X. , Gabour. L. A. , Splattering and Heat Transfer During Impinging of a Turbulent Liquid Jet. ,ASME Journal of Heat Transfer, 1992Vol. 114 (May) p. 362
9- Bhunia. S. K, Lienhard. V. J. H, "Splattering During Turbulent Liquid Jet Impingement on Solid Targets" ,ASME JOURNAL OF FLUIDS ENGINEERING، 1994، VOL 116; NUMBER 2، pages 338 N.
10- Zumbrunnen. D. A. , "Method and apparatus for measuring heat transfer distributions on moving and stationary plates cooled by a planar liquid jet", Experimental Thermal and FluidScienceVolume 3، Issue 2، March 1990، Pages 202-213
11- Du، C.، Liu، J. -Z.، Huang، Z. -Y.، Zhou، J. -H.، Cen، K. -F. ,"VOF method for impinging-jet atomizers ", Energy and Fuels 24 (1)، 2010، pp. 451-455
12- Sarchami. A , Ashgriz. N , Tran. H , "An atomization model for splash plate nozzles", AIChE Journal, 2010 - wiley interscience.
13- Ashgriz. N, Washburn. R and Barbat. T,"Segregation of drop size and velocity in jet impinging splash-plate atomizers", International Journal of Heat and Fluid Flow,Volume 17, Issue 5, October 1996, Pages 509-516
14- Thiel. N, Weimar. H, Kamp. H, Windisch. H,"Advanced Piston Cooling Efficiency: A Comparison of Different NewGallery Cooling Concepts",SAE paper 2007-01-1441
15- Hajra. M. G, Mehta. K, Chase. G. G,"Effects of humidity, temperature, and nanofibers on drop coalescence in glass fiber media", Separation and Purification Technology ,30 (2003) 79_/88
16- Izadi. M,Hosseini. V,Alaviyoun. S,Mirsalim. M,"EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF THE PISTON COOLING JET'S PERFORMANCE", ASME PROCEDING ,ESDA2010-25145
17- Jasper J. J," The Surface Tension of Pure Liquid Compounds" ,J. Phys. Chem. Ref. Data, I(4), (1972) , 841–1010.

Archive of SID

www.SID.ir