

بررسی تأثیر نانو ذرات روی خواص روغن موتور و میزان عملکرد آن در کاهش سایس

سید سعید محتسبی
استاد، دانشگاه تهران
mohtaseb@ut.ac.ir

رضا سلطانی
کارشناس ارشد، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو
r_soltani@ip-co.com

احسان اله اتفاقی
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران
ehsan.etefaghi@ut.ac.ir

حجت احمدی*
دانشیار، دانشگاه تهران
hjahmadi@ut.ac.ir

علیمراد رشیدی
دانشیار، پژوهشگاه صنعت نفت
rashidiam@ripi.ir

* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۹۱۰-۷/۱۶ پذیرش نهایی مقاله: ۹۱۱۰-۱/۱۶

چکیده

امروزه روغن‌های موتور وظایف متعددی دارند که از مهمترین آنها می‌توان به روانکاری قطعات به منظور کاهش میزان اصطکاک و سایس اشاره نمود. خواص روغن‌ها عمدتاً ناشی از افزودنی‌هایی است که به منظور بهبود و یا ایجاد خواص مورد نیاز به آنها افزوده شده است. اخیراً نیز نانو ذرات به دلیل خواص منحصر بفردشان به عنوان نوع جدیدی از افزودنی‌ها پدیدار گشته‌اند. هدف از تحقیق حاضر، بررسی میزان توانایی و نحوه عملکرد نانو ذرات در بهبود ویژگی ضد سایس و قابلیت انتقال حرارت روغن موتور و بررسی تغییرات ایجاد شده در برخی خواص روغن شامل گرانبوی، نقطه ریزش و نقطه اشتعال می‌باشد. برای این منظور نانو ذرات کربن نانو بال با استفاده از آسیاب گلوله‌ای، درون روغن موتور بهران یشتاز SAE 20W50 پراکنده شدند، سپس آزمون‌های تجربی به منظور بررسی خواص ذکر شده انجام گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که ضریب هدایت حرارتی روغن حاوی ذرات کربن نانو بال با غلظت ۰/۱ درصد وزنی ۱۸٪ نسبت به روغن پایه افزایش داشت. همچنین براساس نتایج آزمون چهار ساچمه، میزان سایس در روغن حاوی نانو ذرات به میزان ۵٪ نسبت به روغن فاقد نانو ذرات کاهش یافت.

کلید واژه‌ها: نانو ذرات، روغن موتور، سایس، هدایت حرارتی، گرانبوی

۱- مقدمه

کمک یک دستگاه آزمون لغزشی رفت و برگشتی انجام گرفت. نتایج آنها نشان داد که نانو ذرات افزوده شده به روغن‌ها تأثیر بسزایی در کاهش اصطکاک و سایش داشتند بگونه‌ای که ضریب اصطکاک در روغن‌های API-SF و روغن پایه، حاوی نانو ذرات CuO بترتیب ۱۸,۴٪ و ۵,۸٪ کاهش یافت. علاوه بر این عمق شکاف‌های سایشی بترتیب ۱۶,۷ و ۷۸,۸ درصد در مقایسه با روغن فاقد نانو ذرات CuO کاهش یافت [۶]. در آزمایش‌های لی^۳ و همکاران، خواص روانکاری نانو ذرات فولرن (C₆₀) افزوده شده به روغن معدنی به عنوان تابعی از غلظت حجمی نانو ذرات بررسی شد. آزمایش‌ها با یک دستگاه آزمون دیسک روی دیسک^۴ تحت بارهای عمودی مختلف و غلظت‌های حجمی مختلف نانو ذرات فولرن انجام گرفت. در این مطالعه خواص روانکاری از طریق اندازه گیری دمای سطح اصطکاک و ضریب اصطکاک ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که نانو روغن‌های با غلظت حجمی بزرگتر نانو ذرات، ضریب اصطکاک کوچکتر و سایش کمتری را در دیسک ثابت نتیجه می‌دهد، که این نشانه بهبود خواص روانکاری روغن معدنی بر اثر افزودن نانو ذرات است [۷]. علاوه بر این کوو^۵ و همکاران، رفتارهای روانکاری نانو ذرات فولرن افزوده شده به روغن معدنی را بررسی کردند، خواص فشار نهایی و ضد سایشی آنها با استفاده از آزمون چهار ساچمه^۶ و نیز دستگاه آزمون دیسک روی دیسک تحت بارهای عمودی مختلف، ارزیابی شد و نتایج آنها بیانگر بهبود خواص روانکاری نانو روغن‌ها نسبت به روغن‌های فاقد نانو ذرات بود [۸].

نانوسیالات اخیراً به دلیل گزارش‌های متعدد درباره افزایش چشمگیر خواص حرارتی بشدت مورد توجه قرار گرفته‌اند [۹]. مطالعات اخیر آشکار می‌کنند که برخی از ساختارهای کربنی هدایت حرارتی خیلی خوبی دارند. بنابراین تعداد چشمگیری از مطالعات با استفاده از نانو ساختارهای کربنی، مانند گرافیت، فولرن، نانو لوله‌های کربنی تک دیواره (SWCNTs)، نانو لوله‌های کربنی چند دیواره (MWCNTs)، نانو الماس و گرافن بر روی خواص حرارتی نانوسیالات انجام گرفته است. هاریش^۷ و همکاران، قابلیت هدایت حرارتی نانو سیال ساخته شده از اتیلن گلیکول و نانو لوله‌های تک دیواره را بررسی کردند. بیشترین افزایش هدایت حرارتی ۱۴,۸٪، در غلظت حجمی ۰,۲ درصد وزنی

اصطکاک در سامانه‌های مکانیکی مختلف یک عامل اصلی اتلاف انرژی است. نیروهای اصطکاک مکانیکی در موتور شامل تنش‌های هیدرودینامیکی در لایه روغن و تماس فلز با فلز می‌باشند. اصطکاک مکانیکی، شامل اصطکاک موجود در اجزای متحرک داخلی از قبیل میل‌لنگ، سمبه، حلقه‌ها و دریچه‌ها می‌باشد [۱]. بهبود بخشیدن خواص روانکاری، یک عامل بسیار مهم برای صرفه‌جویی در انرژی کلی داده شده به یک سامانه مکانیکی است. روانکاری یکی از راه‌های خیلی مؤثر در کاهش اصطکاک و کم کردن گرمای اضافی تولید شده در یک سامانه مکانیکی است. روانکار پایه با ایجاد یک لایه روغن بر روی سطوح اصطکاکی، آنها را از یکدیگر جدا می‌کند و گرمای اضافی و ذرات سایشی ایجاد شده را برطرف می‌نماید. اخیراً تحقیقات بسیاری، روش‌های مختلفی را به منظور بهبود خواص روانکاری روغن پایه گسترش داده‌اند. استفاده از مواد افزودنی مختلف با خواص منحصربفرد برای تقویت خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی روانکارهای پایه، یکی از این راه‌ها می‌باشد. در واقع خواص روانکارها با اضافه کردن افزودنی‌های شیمیایی مخصوص به روغن پایه تغییر می‌کند. برای مثال پایداری روغن موتور در برابر اکسایش با افزودن مواد ضد اکسایش مانند زینک دی آلکیل دیسیو فسفات^۱ (ZDDP) بهبود می‌یابد، همچنین فسفرها و سولفورها به عنوان مواد بهبود دهنده فشار نهایی و خواص ضد سایشی در روغن‌های چرخ دنده استفاده می‌شوند [۲]. اخیراً نیز نانو ذرات به دلیل اندازه، شکل و دیگر خواص منحصر بفردشان به عنوان نوع جدیدی از افزودنی‌ها پدیدار گشته‌اند. نانو روانکارها نوعی روانکار مهندسی ساخته شده از نانو ذرات، پراکنده کننده‌ها و روانکار پایه اند که خواص روانکاری و خواص انتقال حرارت بهبود یافته نسبت به روانکارهای متداول دارند [۳]. استفاده از روانکارهای حاوی نانو ذرات مختلف به دلیل بهبود خواص سطحی و قابلیت انتقال حرارت، افزایش بازده موتور و کاهش هزینه‌ی تعمیرات بسیار جذاب و مورد توجه اند [۴]. پژوهشگران زیادی گزارش کرده‌اند که نانو روانکارها در کاهش اصطکاک و سایش و نیز افزایش قابلیت انتقال حرارت مؤثرند. آنها انواع مختلفی از نانو ذرات ساخته شده از مواد پلیمری، فلزی، آلی و غیر آلی را برای ساخت نانو روانکارها استفاده کرده‌اند [۵-۱۰]. برای نمونه واو^۲ و همکاران، خواص روانکاری دو نوع روغن شامل روغن موتور API-SF و روغن پایه حاوی نانو ذرات CuO، TiO₂ و نانو الماس را بررسی کردند. آزمایش‌های اصطکاک و سایش به

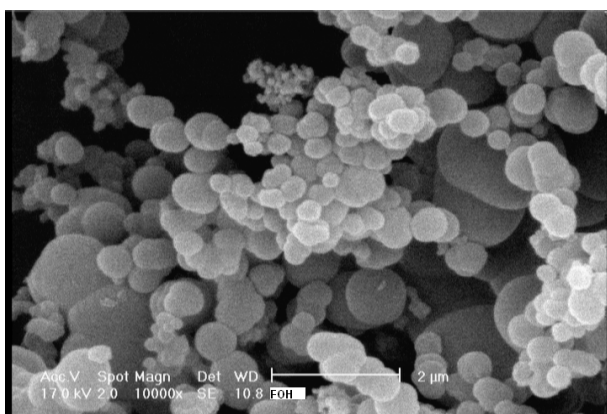
- 1- Zinc dialkyldithiophosphate
- 2- Wu

- 3- Lee
- 4- Disk-on-disk tester
- 5- Ku
- 6- Four ball test
- 7- Harish

ذرات کربن نانو بال دارای ساختار کروی بوده و به طور میانگین دارای اندازه هایی در حدود ۷۰ نانومتر می‌باشند.

جدول ۱ مشخصات روغن SAE 20W50

مشخصه	مقدار	واحد
گرانروی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد	۱۷۲,۱۰	cSt
گرانروی در ۱۰۰ درجه سانتیگراد	۱۹,۸۰	cSt
چگالی در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد	۸۸۹	Kg/m ³
شاخص گرانروی	۱۳۳	-
نقطه ریزش	-۲۷	°C
نقطه اشتعال	۲۲۴	°C



شکل ۱ تصویر SEM ذرات کربن نانو بال

غلظت نانو ذرات تأثیر زیادی در عملکرد نانو روانکارها دارد به گونه ای که غلظت‌های بالا (بیشتر از ۰,۵ درصد وزنی) موجب رسوب ذرات بر روی قطعات شده و ذرات بزرگ‌تر همانند ناخالصی‌ها موجب ایجاد خراش بر روی سطوح شده و اصطکاک افزایش می‌یابد. همچنین در غلظت‌های خیلی پایین (کمتر از ۰,۰۵ درصد وزنی) نانو ذرات نمی‌توانند سطوح اصطکاکی را به طور کامل پوشش بدهند و در نتیجه عملکرد خوبی ندارند. بنابراین باید غلظت مورد استفاده در حد بهینه باشد که در اکثر کارهای پژوهشی، غلظت در محدوده ۰,۱ تا ۰,۵ درصد وزنی به عنوان غلظت بهینه نانو ذرات بیان شده است [۱۲ و ۱۱]. در پژوهش حاضر نیز به منظور بررسی میزان و نحوه تأثیر غلظت نانو ذرات بر روی خواص روغن پایه، نانو روانکارها در سه غلظت ۰,۱، ۰,۲ و ۰,۵ درصد وزنی، با افزودن ذرات کربن نانو بال به روغن پایه ساخته شدند.

اساساً نانو سیالات مخلوط‌های جامد- مایعی هستند که از

با استفاده از روش سیم داغ گذرا^۱ تعیین شد [۱۰]. همچنین چوبی^۲ و همکاران گزارش کردند که گرانروی سینماتیکی روغن حاوی نانو ذرات مس حدود ۱۴٪ کاهش یافت [۲].

چون نانو ذرات با ساختار کروی دارای عملکرد ضد سایشی بهتری نسبت به نانو ساختارهای لوله‌ای و صفحه‌ای می‌باشند، بنابراین در تحقیق حاضر از ذرات کروی کربن نانو بال برای ساخت نانو روانکارها استفاده گردید. همچنین بررسی‌های گروه پژوهشی حاضر در پژوهشگاه صنعت نفت نشان داد که استفاده از آسیاب گلوله‌ای^۳ برای ساخت نانو روانکارها عملکرد بهتری نسبت به روش‌های فراصوتی حمامی و پروبی مورد استفاده در سایر کارهای پژوهشی، برای پایدارسازی نانو ذرات دارد. بنابراین در کار حاضر نانو روانکارهای حاوی روغن موتور بهران پیشتاز SAE 20W50 و ذرات کربن نانو بال در سه غلظت مختلف (۱، ۰,۲، ۰,۵ درصد وزنی)، ساخته شدند و سپس با آزمون‌های تجربی علاوه بر خواص تریبولوژیکی و قابلیت هدایت حرارتی، خواص فیزیکی شامل گرانروی، نقطه اشتعال و نقطه ریزش آنها نیز بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی نانو روانکارها

به منظور ساخت یک نانو روانکار نیاز به روغن روانکار به عنوان سیال پایه و نیز نانو ذرات مورد نظر برای افزودن به روغن می‌باشد. برای این منظور از روغن بهران پیشتاز با درجه گرانروی SAE 20W50 و سطح کیفیت API SJ/CF4 به عنوان سیال پایه استفاده شد. روغن بهران پیشتاز یک روغن موتور ممتاز، مطابق با بالاترین استانداردهای جهانی است و برای اکثر خودروهای بنزینی و دیزلی سبک و سنگین امروزی مناسب است. مشخصات روغن استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است.

همان‌طور که گفته شد در این تحقیق از ذرات کربن نانو بال برای ساخت نانو روانکارها استفاده شد. یکی از دلایل مهم برای انتخاب این ذرات، ساختار کروی آنها است زیرا نانو ذرات با ساختار کروی خواص تریبولوژیکی بهتری از خود نشان می‌دهند. قابل ذکر است که نانو ذرات مورد استفاده در این پژوهش در پژوهشگاه صنعت نفت ساخته شدند. برای بررسی شکل و اندازه ذرات کربن نانو بال از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ (SEM) استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود،

- 1- Transient hot wire system
- 2- Choi
- 3- Planetary Ball Mill
- 4- Scanning electron microscope

روانکارها در سه غلظت مختلف اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که براساس استانداردهای ASTM بیشینه خطای آزمون‌های انجام شده مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳ خطای بیشینه در استانداردهای ASTM

ASTM D-445E	ی/٪
(ASTM D-92E)	±
(ASTM D-97E)	±

همچنین در ابتدا و پیش از شروع آزمون‌ها، به منظور سنجش میزان دقت تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش و نیز برای اطمینان از قابلیت تکرار و دقت نتایج بدست آمده، آزمون‌های مربوط به روغن پایه فاقد نانو ذرات در دو تکرار انجام گرفت که نتایج به دست آمده بیانگر دقت بزرگ و خطای کم در اندازه‌گیری‌های انجام شده در این پژوهش می‌باشد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴ اندازه‌گیری خواص روغن پایه

مشخصه	آزمون اول	آزمون دوم	واحد
گرانروی سینماتیک در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد	۱۹,۸۰ ± ۰,۰۵	۱۹,۸۰ ± ۰,۰۵	cSt
گرانروی سینماتیک در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد	۱۷۲,۰۰ ± ۰,۴۴	۱۷۲,۲۰ ± ۰,۴۴	cSt
نقطه اشتعال	۲۲۳ ± ۸	۲۲۵ ± ۸	°C
نقطه ریزش	-۲۷ ± ۳	-۲۷ ± ۳	°C

۲-۴- اندازه‌گیری هدایت حرارتی

ضریب هدایت حرارتی سیالات به عنوان توانایی آنها در انتقال گرما اندازه‌گیری شد. برای این منظور، از یک دستگاه با نام تجاری KD2-Pro (Decagon Devices)، موجود در پژوهشگاه صنعت نفت استفاده گردید. این دستگاه، یک دستگاه تحلیل خواص حرارتی کاملاً قابل حمل آزمایشگاهی است، که از روش منبع حرارت خط گذرا برای اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی استفاده می‌کند [۱۴]. به دلیل پایداری بهتر نمونه‌های ساخته شده در غلظت ۰,۱ درصد وزنی، ضریب هدایت حرارتی روغن پایه و نانو روانکارها تنها در غلظت ۰,۱ درصد وزنی و در

پراکنده‌سازی ذرات نانو با اندازه‌های کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر درون یک سیال پایه به دست می‌آیند [۱۳]. برای این منظور از روش‌های متداولی در کارهای پژوهشی مختلف استفاده شده است، از جمله پراکنده‌سازی به وسیله همزن مکانیکی، استفاده از امواج فراصوت (اولتراسونیک^۱ حمامی و پروبی)، استفاده از آسیاب گلوله‌ای و استفاده از مواد فعال کننده سطح. به دلیل بالا بودن گرانروی سیال پایه مورد استفاده در پژوهش حاضر، از روش آسیاب گلوله‌ای برای پراکنده‌سازی نانو ذرات درون سیال پایه استفاده گردید. برای این منظور از یک آسیاب گلوله‌ای (PM 100 Retche) استفاده شد. مشخصات کارکرد دستگاه برای ساخت نانو روانکارها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ مشخصات کارکرد آسیاب گلوله‌ای

مشخصه	مقدار	واحد
سرعت	۳۰۰	rpm
زمان	۳	h
وزن گلوله‌ها	۲۰۰	gr
وزن نمونه (سیال+نانو ذره)	۳۰	gr

۲-۲- اندازه‌گیری گرانروی

گرانروی یکی از فراسنج‌های مهمی است که نقش اساسی در فرآیند روانکاری بازی می‌کند [۸]. بنابراین در این پژوهش، به اندازه‌گیری و بررسی تغییرات گرانروی پرداخته شد. گرانروی سینماتیکی نمونه‌های ساخته شده، در دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد و نیز در سه غلظت مختلف (۰,۱ - ۰,۲ - ۰,۵ درصد وزنی) براساس استاندارد ASTM D-445 اندازه‌گیری شدند.

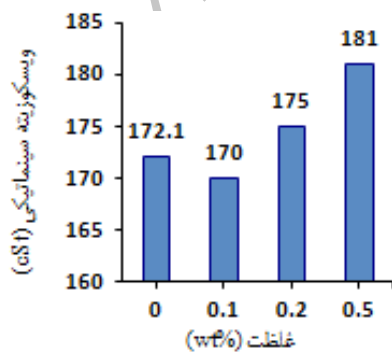
۲-۳- اندازه‌گیری نقطه ریزش و نقطه اشتعال

علاوه بر گرانروی، خواص متعدد دیگری در رابطه با کیفیت عملکرد روغن در شرایط مختلف مطرح است که از آن جمله می‌توان نقطه ریزش و نقطه اشتعال را ذکر نمود. این دو فراسنج در واقع بیانگر محدوده‌ی دمایی کارکرد روغن می‌باشند. زیرا نقطه ریزش کمترین دمایی است که روغن در آن حالت می‌تواند جریان داشته باشد، و نقطه اشتعال کمترین دمایی است که در آن روغن به اندازه کافی به بخار تبدیل شده، و با هوا مخلوطی قابل اشتعال به وجود می‌آورد، که در واقع نشان دهنده کمینه و بیشینه دمای کارکرد روغن می‌باشند. این دو فراسنج مهم بترتیب بر اساس استانداردهای ASTM D-92 و ASTM D-97 برای نانو

1- Ultrasonic

ذرات درون سیال پایه قرار دارد. وکیلی نژاد ودرانی گرانروی سینماتیکی نانو سیالات مختلف روغن- نانو لوله‌های کربنی چند دیواره، را در غلظت‌های مختلف از صفر تا ۰,۲ درصد وزنی بررسی کردند. آنها از روش همزن مغناطیسی و امواج فراصوت (اولتراسونیک) برای پراکنده نمودن نانو ذرات درون روغن پایه استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که در غلظت‌های پایین، گرانروی به مقدار بسیار ناچیزی افزایش یافته و در غلظت‌های بالاتر، میزان افزایش گرانروی محسوس‌تر بود [۴].

در پژوهش حاضر گرانروی سینماتیکی نمونه‌های ساخته شده در سه غلظت مختلف (۰,۱-۰,۲-۰,۵ درصد وزنی) و دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد به منظور بررسی تأثیر دما و غلظت نانو ذرات بر روی گرانروی نانو روانکارها اندازه گیری شدند. همانطور که در شکل‌های ۳ و ۴ دیده می‌شود طبق انتظار با افزایش دما، گرانروی همه‌ی نمونه‌ها کاهش یافته است. از طرفی با افزایش غلظت نانو ذرات (بیشتر از ۰,۱ درصد وزنی)، مقدار گرانروی نیز افزایش یافته است، هرچند در غلظت ۰,۱ درصد وزنی، در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد، حدود ۱,۲٪ کاهش گرانروی داشته‌ایم و در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد نیز گرانروی تغییر محسوسی نداشته است. بیشترین میزان تغییر گرانروی مربوط به گرانروی نانو روانکار حاوی ذرات کربن نانو بال در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و در غلظت ۰,۵ درصد وزنی است، که به میزان ۵,۲٪ نسبت به گرانروی سیال پایه در همان دما افزایش داشته است. هنگامی که نانو ذرات کروی به روغن اضافه می‌شوند نانو ذرات مابین لایه‌های روغن قرار گرفته و موجب سهولت حرکت لایه‌های سیال بر روی یکدیگر می‌شوند در نتیجه گرانروی اندکی کاهش می‌یابد اما با افزایش غلظت، نانو ذرات به یکدیگر می‌پیوندند (آگلومره می‌شوند) و با ایجاد ذرات بزرگتر و نامتقارن میزان برخورد آنها افزایش یافته و در نتیجه مانع حرکت لایه‌های سیال بر روی یکدیگر می‌شوند که خود سبب افزایش گرانروی سیال پایه می‌شود.



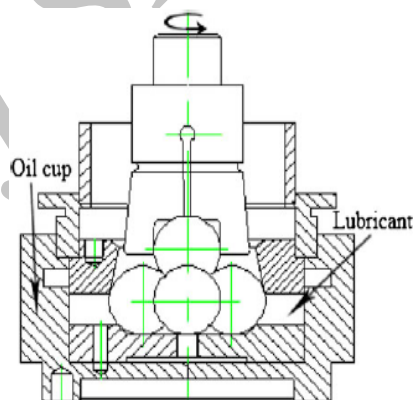
شکل ۳ گرانروی سینماتیکی روانکارها در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد

دمای ۲۰ درجه سانتیگراد، در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

۲-۵- آزمون چهار ساچمه

برای بررسی ویژگی ضد سایشی روانکارها از آزمون چهار ساچمه استفاده گردید. در آزمون چهار ساچمه همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، سه گلوله در کنار هم در یک محفظه قرار داده شده و به طور کامل ثابت می‌شوند. سپس یک گلوله بر روی آنها قرار گرفته و تحت بار اعمال شده و با سرعت معین می‌چرخد. آزمون مورد نظر بر اساس استاندارد ASTM D-2783 و تحت شرایط زیر انجام گرفت:

- دما ۳۵ درجه سانتیگراد
- سرعت ۱۷۶۰ (rpm)
- زمان یک ساعت
- تحت بار ۴۰ (Kgf) معادل با ۳۹۲ (N)



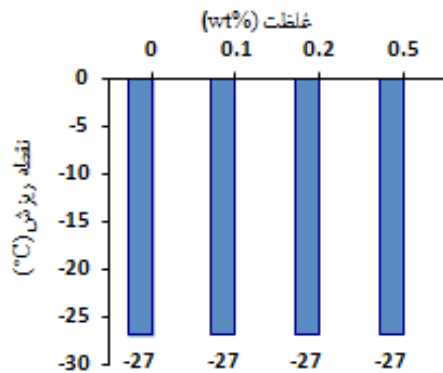
شکل ۲ شماتیک ساختمان آزمون چهار ساچمه

آزمون مورد نظر بر روی روغن پایه و نیز نانو روانکار ساخته شده با غلظت ۰,۱ درصد وزنی انجام گرفت. سپس اندازه‌ی زخم‌های سایشی ایجاد شده بر روی هر یک از سه گلوله‌ی زیرین در راستای سایش و راستای عمود بر آن اندازه‌گیری و ثبت شدند.

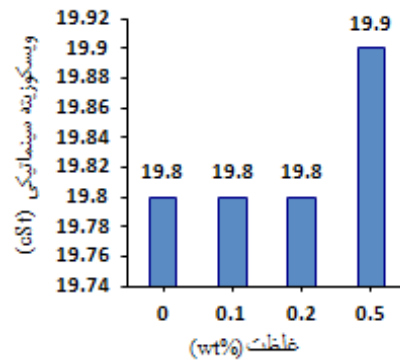
۳- بحث و نتایج

۳-۱- گرانروی

پژوهش‌های مختلف انجام گرفته نشان می‌دهد که نحوه‌ی تغییر گرانروی نانو سیالات، به شدت تحت تأثیر عوامل متعددی از قبیل نوع نانو ذرات، نوع سیال پایه، غلظت نانو ذرات، روش مورد استفاده برای پراکنده سازی نانو ذرات درون سیال پایه و همچنین میزان پراکنده‌گی نانو



شکل ۵: نقطه ریزش روانکارها در غلظت‌های مختلف



شکل ۴: گرانیروی سینماتیکی روانکارها در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد

همانند نقطه ریزش، نقطه اشتعال نیز به عنوان یکی از مشخصه‌های کیفی روغن‌های روانکار شناخته می‌شود. زیرا نقطه اشتعال، پایین‌ترین دمایی است که در آن بخارات روغن در تماس با هوا و در معرض یک جرقه در یک لحظه آتش می‌گیرد و سپس خاموش می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت نقطه اشتعال یک روغن در واقع تعیین کننده حد بالای دمای کارکرد آن روغن است. پس هرچه نقطه اشتعال بالاتر باشد امکان کارکرد روغن در دماهای بالاتر تا حدودی میسر می‌شود. اما مشکلی که وجود دارد این است که در حالت عادی، روغن‌های با نقطه اشتعال بالا به دلیل دارا بودن هیدروکربن‌های با وزن مولکولی زیاد، دارای گرانیروی بالایی نیز می‌باشند که بالا بودن گرانیروی روانکار در حالت عادی به عنوان یک عیب محسوب شده و موجب بروز مشکلات جدیدی برای سامانه‌ی روانکاری می‌شود. اما همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، افزودن ذرات کربن نانو بال به روغن پایه در غلظت‌های مختلف، موجب افزایش نقطه اشتعال نانو روانکارها نسبت به روغن پایه شده است، که بیشترین مقدار آن ۱۳٫۸٪، مربوط به روغن حاوی ذرات کربن نانو بال با غلظت ۰٫۲ درصد وزنی می‌باشد، درحالی که مقدار گرانیروی این نانو روانکار در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد هیچ گونه تغییری نکرده و در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد تنها به میزان ۱٫۶٪ افزایش داشته است که می‌توان گفت در برابر میزان افزایش نقطه اشتعال، گرانیروی آن تغییر محسوسی نداشته است. به طور کلی افزایش مقاومت روغن در برابر اشتعال را می‌توان ناشی از افزایش هدایت حرارتی روغن بر اثر افزودن نانو ذرات دانست. هرچند با افزایش غلظت، نانو ذرات به یکدیگر پیوسته و تا حدودی رسوب می‌کنند و در نتیجه عملکرد آنها اندکی کاهش می‌یابد. در نهایت بهبود نقطه اشتعال را می‌توان به عنوان یک نکته‌ی مثبت در ارتباط با بهبود خواص روانکاری روغن پایه در نظر گرفت.

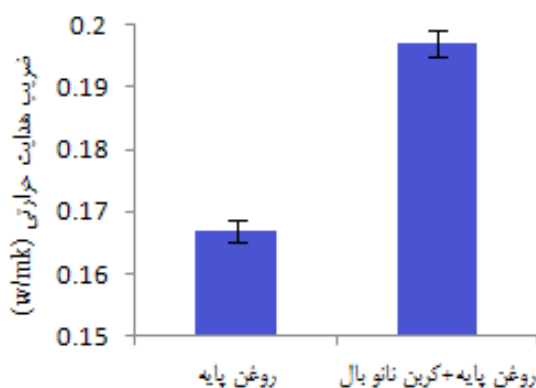
در نهایت با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان نتیجه گرفت که افزودن ذرات کربن نانو بال به روغن بهران پیشنهاد SAE 20W50 تحت شرایط ذکر شده و در غلظت‌های کم، تأثیر محسوسی بر گرانیروی روغن پایه ندارد.

۳-۲- نقطه ریزش و نقطه اشتعال

رسیدن روغن موتور در زمانی بسیار کم و محدود به اجزای موتور، شامل یاتاقان‌ها، حلقه‌ها، دریچه‌ها، میل‌بادامک و سایر قطعات، در لحظات حساس استارت و روشن نمودن خودرو موضوعی است که اهمیت بسیار زیادی دارد. زیرا بیشترین میزان سایش در موتور، در همان لحظات ابتدایی شروع به کار موتور به دلیل نرسیدن روغن کافی به قطعات، ایجاد می‌شود. برای جلوگیری از این مشکل و کاهش اثرات آن نیاز است تا روغن در دماهای پایین به اندازه‌ی کافی روان و قابل تلمبه شدن باشد و به راحتی و با سرعت به همه‌ی نقاط موتور برسد تا از تماس قطعات با یکدیگر و ایجاد سایش جلوگیری نماید. این خاصیت روغن با فراسنجی به نام نقطه ریزش ارزیابی می‌شود. در واقع نقطه ریزش روغن، نقطه مرزی دمایی است که سیال در آن دما دیگر نمی‌تواند جریان داشته باشد.

به دلیل اهمیت این موضوع، در این پژوهش تغییرات ایجاد شده در میزان نقطه ریزش روغن پایه در اثر افزودن نانو ذرات در غلظت‌های مختلف بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود نقطه ریزش نانو روانکارهای ساخته شده در هر سه غلظت، نسبت به نقطه ریزش روغن پایه هیچ گونه تغییری نداشته‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که افزودن ذرات کربن نانو بال تحت شرایط ذکر شده تغییری در نقطه ریزش روغن پایه به عنوان یکی از فراسنج‌های مهم در تعیین کیفیت خواص روانکاری روغن موتور ایجاد نمی‌کند.

روغن، نرخ اکسیده شدن روغن دو برابر شده و سبب افزایش گرانبوی آن می‌گردد. همچنین روغن پایه دارای مواد سبک و فراری است که در صورت بالاتر رفتن دما از حد مجاز، تخییر شده و موجب افزایش گرانبوی روغن می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت، که افزایش هدایت حرارتی روغن روانکار به منظور بالا بردن مقاومت آن در برابر افزایش دما، به عنوان یک فراسنج مهم در بهبود عملکرد آن می‌باشد. نتایج مربوط به اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی روانکار پایه و نیز نانو روانکارهای ساخته شده در این پژوهش در غلظت ۰٫۱ درصد وزنی، در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود ضریب هدایت حرارتی نانو روانکار حاوی ذرات کربن نانو بال به طور میانگین ۱۸٪ نسبت به روغن پایه افزایش یافته است.

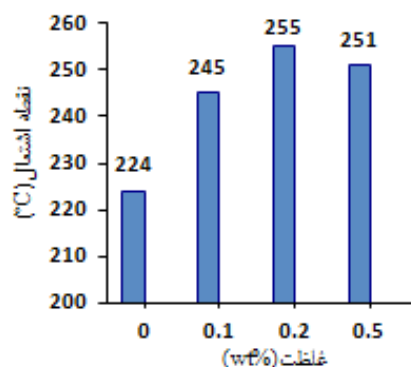


شکل ۷ ضریب هدایت حرارتی روغن پایه و نانو روانکار با غلظت ۰٫۱ درصدوزنی

از آنجا که ضریب هدایت حرارتی یک سیال بیانگر توانایی آن در جذب و انتقال گرماست و با توجه به آینده‌ی روانکارها و سخت‌تر شدن شرایط کارکرد آنها، به عللی همچون کوچک شدن حجم موتورها و به تبع آن کم شدن حجم روغن و کاهش گرانبوی آن، و نیز افزایش زمان کارکرد موتورها در حالت بیشینه قدرت خود، که همگی منجر به بالا رفتن دمای کارکرد موتور و در نتیجه موجب افزایش دمای روغن می‌شوند، می‌توان گفت که در صورت افزودن نانو ذرات به روغن موتور، در حالت بار ثابت، موتور قابلیت کارکرد در دماهای پایین‌تر و در حالت دمای ثابت، موتور قابلیت کارکرد در بارهای بالاتر و یا شرایط سخت‌تر را خواهد داشت.

۳-۴-۴- آزمون چهار ساچمه

یکی از مشکلات عمده و علل خرابی قطعات در موتورهای درونسوز سایش قطعات در اثر اصطکاک و تماس با یکدیگر می‌باشد، که برای جلوگیری و کاهش آن قطعات موتور به طور پیوسته توسط روغن‌های



شکل ۶ نقطه اشتعال روانکارها در غلظت‌های مختلف

۳-۳- هدایت حرارتی

یکی از وظایف روغن موتور، خنک کردن موتور است. در اثر احتراق و نیز اصطکاک بین قطعات، حرارت شدیدی در موتور ایجاد می‌شود. مقداری از این حرارت صرف تولید کار مفید شده و مقداری نیز از طریق آگزوز خارج می‌شود. مابقی حرارت ایجاد شده باید توسط سامانه خنک کاری موتور دفع گردد. آب اطراف استوانه حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد این حرارت را جذب می‌کند و بقیه‌ی آن توسط روغن موتور، بخصوص از قطعاتی مثل یاتاقان‌های متحرک میل لنگ، سمبه، گزن پین و میل بادامک که از مسیرهای آب اطراف استوانه دور هستند جذب شده و از طریق محفظه روغن به هوا منتقل می‌شود.

به طور کلی نانو ذرات به دلیل افزایش قابل توجه در ضریب هدایت حرارتی سیالات به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه جامدات فلزی و اکسیدهای آنها و نیز ساختارهای کربنی رسانش بالاتری نسبت به سیالات دارند، ایده پراکنده سازی ذرات جامد درون سیال، برای بالا بردن رسانش سیال به وجود آمد. کبلینسکی^۱، ایستمن^۲ و چوی^۳ چهار عامل اصلی را در افزایش غیر عادی رسانش نانو سیال‌ها مؤثر می‌دانند که می‌توان با بررسی آنها رفتار غیر عادی نانو سیال‌ها را توجیه نمود. در اینجا فقط به ذکر موردی این موارد می‌پردازیم: ۱- حرکت براونی نانو ذرات ۲- نانو لایه‌های ایجاد شده در مرز نانو ذرات و سیال پایه ۳- طبیعت انتقال گرما در نانو ذرات و بررسی انتقال فونونی ۴- تأثیر خوشه شدن نانو ذرات [۱۵].

علاوه بر موارد فوق باید متذکر شد که دمای بالای روغن، سبب تسریع در نرخ اکسیده شدن روغن پایه نیز می‌شود، به طوری که طبق معادلات آرنیوس به ازای هر ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش در دمای کارکرد

- 1- Keblinski
- 2- Eastman
- 3- Choi

روانکارها را بهبود ببخشد. طبق نظر لی^۳ و همکاران بهبود خواص فشار پذیری و ضد سایشی نانو روانکارها ناشی از سه اثر نانو ذرات می باشد که عبارتند از:

۱- ذرات نانو همانند بلبرینگ بین دو سطح اصطکاکی عمل کرده و تماس بین دو سطح را کاهش می دهد.

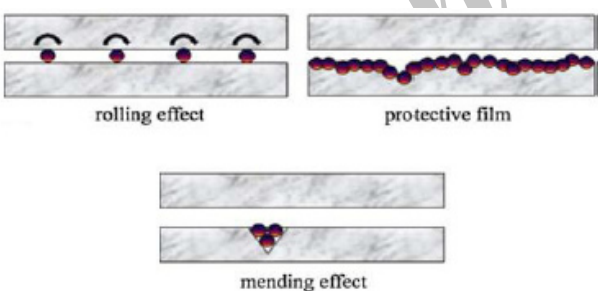
۲- ذرات نانو با پوشاندن سطوح زبر، یک لایه محافظ بین دو سطح ایجاد می کنند.

۳- ذرات نانو افزوده شده به روغن اثر مرمتی دارند، به گونه ای که با نشستن بر روی سطوح اصطکاکی و پر کردن محل خراشیدگی ها جرم از دست رفته را جبران می کنند و زبری سطح کاهش می یابد [۱۷].

موارد فوق، به صورت نمادین در شکل ۸ نشان داده شده اند.

جدول ۵ نتایج آزمون چهار ساچمه بر روی روانکارها

...
...
...
...



شکل ۸ سازوکار عملکرد نانو روانکارها بر روی سطوح اصطکاکی

در نهایت می توان نتیجه گرفت که در صورت استفاده از نانو ذرات، درون روغن های روانکار، امکان کاهش میزان اصطکاک و سایش در بین قطعات موتور بدون افزایش گرانشی روغن پایه فراهم می گردد، که این مورد را نیز می توان به عنوان بهبود خواص روانکاری روغن پایه در نظر گرفت.

موتور، روانکاری می گردند. یکی از راه های مؤثر برای کاهش میزان سایش و کم کردن اندازه قطر خراش های ایجاد شده بر روی قطعات در حال روانکاری، استفاده از روغن های با گرانشی بالاتر می باشد [۸]. هنگامی که از روغن با گرانشی بالاتر استفاده می شود لایه روغن ایجاد شده بین قطعات در تماس با یکدیگر مانع از تماس مستقیم و ایجاد سایش بر روی آنها می شود. اما در مقابل باید توجه داشت که افزایش گرانشی و به تبع آن افزایش ضخامت لایه روانکار در بین قطعات، موجب افزایش توان اتلافی در موتور می گردد. به طور مثال معادله ی پتروف^۱ بیانگر آن است که توان اتلافی در یک یاتاقان به طور مستقیم با گرانشی روانکار متناسب است.

$$f = 2\pi^2 \frac{\mu N r}{p C} \quad (1)$$

در این معادله μ گرانشی مطلق روانکار بر حسب پاسکال-ثانیه، r شعاع محور و C لقی شعاعی بر حسب اینچ، N سرعت دورانی محور بر حسب دور در ثانیه و p فشار وارد بر سطح تصویر شده یاتاقان است [۱۶].

کوو^۲ و همکاران برای رفع مشکل و تضاد پیش آمده در انتخاب روانکار مناسب پیشنهاد کردند که از نانو ذرات به عنوان افزودنی به روغن روانکار برای بهبود خواص فشار پذیری و ضد سایشی آنها، بدون نیاز به افزایش گرانشی روغن استفاده گردد. آنها برای بررسی میزان تأثیر نانو ذرات در کاهش اصطکاک و سایش، نانو ذرات فولرن را به روغن روانکار معدنی در گرانشی های مختلف اضافه کردند و با استفاده از دستگاه آزمون چهار ساچمه خواص فشار پذیری و ضد سایشی آنها را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که خواص ضد سایشی روغن روانکار بدون نیاز به افزایش گرانشی و تنها با افزودن نانو ذرات فولرن به طور چشمگیری بهبود یافت [۸].

در پژوهش حاضر نیز تأثیر افزودن ذرات کربن نانو بال بر روی ویژگی ضد سایشی روغن موتور بهران پیشتاز SAE 20W50 بررسی شد. آزمون چهار ساچمه بر روی هر دو نمونه روانکار، شامل روغن پایه و روغن حاوی ذرات کربن نانو بال با غلظت ۰,۱ درصد وزنی، انجام گرفت که نتایج آنها در جدول ۵ قابل مشاهده است.

بررسی نتایج بدست آمده نشان می دهد که میانگین سایش ایجاد شده بر روی گلوله ها در نمونه حاوی ذرات کربن نانو بال به میزان ۵٪ نسبت به روغن پایه کاهش یافته است. بنابراین می توان ادعا کرد که استفاده از نانو ذرات در روغن موتور می تواند ویژگی ضد سایشی

- 1- Petroff
- 2- Ku

3- Lee

همانطور که در قسمت قبل نیز گفته شد، شرایط کارکرد موتورها در آینده سخت‌تر خواهد شد و در نتیجه فشار بیشتری به قطعات و روانکارها وارد خواهد شد. بنابراین می‌توان با کمک گرفتن از فناوری افزودنی‌های نانو، در روغن‌های روانکار، خواص روانکاری آنها را در برابر شرایط پیش رو بهبود بخشید و امکان کارکرد موتورها و روغن‌های روانکار در شرایط سخت‌تر را بدون آسیب رسیدن به آنها فراهم نمود.

۴- نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر ذرات کربن نانو بال بر روی برخی از خواص روغن موتور شامل گرانبوی، هدایت حرارتی، نقطه اشتعال، نقطه ریزش و خاصیت ضد سایشی آن بود. بر اساس نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر میزان ضریب هدایت حرارتی و نقطه اشتعال روانکارهای حاوی ذرات کربن نانو بال با غلظت ۰٫۱ درصد وزنی، به ترتیب ۱۸٪ و ۹٫۳٪ نسبت به روغن پایه افزایش یافت که این امر می‌تواند توانایی انتقال حرارت و کارکرد روغن موتور در شرایط دمایی سخت‌تر را بهبود بخشد. همچنین براساس نتایج آزمون استاندارد چهار ساچمه خاصیت ضد سایشی نانو روانکار ساخته شده با غلظت ۰٫۱ درصد وزنی، به میزان ۵٪ نسبت به روغن پایه بهبود داشت. علاوه بر این قابل ذکر است که گرانبوی روغن موتور به عنوان یک فراسنج بسیار مهم در امر روانکاری و نیز نقطه ریزش روغن، تغییر محسوسی نداشتند. بنابراین طبق نتایج بدست آمده در این پژوهش می‌توان گفت که در صورت استفاده از نانو ذرات درون روغن‌های موتور می‌توان برخی از خواص اساسی روغن مانند نقطه اشتعال، قابلیت انتقال حرارت و نیز ویژگی ضد سایشی آن را بهبود بخشید. هرچند لازم است تا در ادامه و در پژوهش‌های تکمیلی، تأثیر نانو ذرات با ساختارها و غلظت‌های مختلف بر روی خواص ضد سایشی و نیز سایر خواص فیزیکی شیمیایی روغن و همچنین تأثیر آنها بر روی قطعات موتور به صورت مستقیم بررسی شود.

تشکر و قدردانی

از شرکت آزمایش و تحقیقات قطعات و مجموعه خودرو (ایتراک)، مرکز تحقیقات CM و آزمایشگاه تحلیل روغن و ذرات فرسایشی البرز تدبیرکاران و نیز از پژوهشگاه صنعت نفت در جهت همکاری‌های به عمل آمده در راستای اجرای پژوهش‌ها، صمیمانه کمال تشکر را می‌نمایم.

References:

- [1] C.R. Ferguson, A.T. Kirkpatrick, Internal combustion engines: applied thermo-sciences, New York John Wiley & Sons, Inc, 2001
- [2] Y. Choi, C. Lee, Y. Hwang, M. Park, J. Lee, C. Choi, M. Jung, Tribological behavior of copper nanoparticles as additives in oil, *Current Applied Physics*, Vol. 9, pp. 124-127, 2009
- [3] C.G. Lee, Y.J. Hwang, Y.M. Choi, J.K. Lee, C. Choi, J.M. Oh, A study on the tribological characteristics of graphite nano lubricants, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 10, No. 1, pp. 85-90, 2009
- [4] G.R. Vakili-Nezhaad, A. Dorany, Investigation of the effect of multiwalled carbon nanotubes on the viscosity index of lube oil cuts, *Chemical Engineering Communications*, Vol. 196, pp. 997-1007, 2009
- [5] G.L.X. Liu, B. Qin, D. Xing, Y. Guo, R. Fan, Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface, *Tribology Letters*, Vol. 17, No. 4, pp. 961-966, 2004
- [6] Y. Wu, W. Tsuia, T. Liub, Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives, *Wear*, Vol. 262, Nos. 7-8, pp. 819-825, 2007
- [7] J. Lee, S. Cho, Y. Hwang, C. Lee, S. Kim, Enhancement of lubrication properties of nano-oil by controlling the amount of fullerene nanoparticle additives, *Tribology Letters*, Vol. 28, No. 2, pp. 203-208, 2007
- [8] B.C. Ku, Y.C. Han, J.E. Lee, J.K. Lee, S.H. Park, Y.J. Hwang, Tribological effects of fullerene (C60) nanoparticles added in mineral lubricants according to its viscosity, *International journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 11, No. 4, pp. 607-611, 2010
- [9] X. Li, D. Zhu, X. Wang, Experimental investigation on viscosity of Cu-H2O nanofluids, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater*, Vol. 24, No. 1, 2009
- [10] S. Harish, K. Ishikawa, E. Einarsson, S. Aikawa, S. Chiashi, J. Shiomi, S. Maruyama, Enhanced thermal conductivity of ethylene glycol with single-walled carbon nanotube inclusions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 55, pp. 3885-3890, 2012
- [11] W. Li, S. Zheng, B. Cao, S. Ma, Friction and wear properties of ZrO₂/SiO₂ composite nanoparticles, *Journal of Nanoparticles Research*, Vol. 13, pp. 2129-2137, 2011
- [12] J. Lee, S., Cho, Y. Hwang, H.J. Cho, C. Lee, Choi, B.C. Ku, H. Lee, B. Lee, D. Kim, S. Kim, Application of fullerene-added nano-oil for lubrication enhancement in friction surfaces, *Tribology International*, Vol. 42, pp. 440-447, 2009
- [13] X. Wang, S. Mujumdar, Heat transfer characterization of nanofluid: A review, *International Journal of Thermal Science*, Vol. 46, pp. 1-19, 2007
- [14] Decagon Devices Company, KD2-Pro, <http://www.decagon.com/products/environmental-instruments/thermal-properties-instruments/kd-2-pro>, 2012
- [15] A.A. Hamidi, A. Amrollahi, A.M. Rashidi, S.M. Hosseini, A.R. Moghadassi, Investigation of nanofluids thermal conductivity modeling, *Iranian Chemical Engineering Journal*, Vol. 8, No. 40, 2009
- [16] T. Lee, K. Kyung, Y. Chi, M.C Lee, Friction analysis according to pretension of laparoscopy surgical robot instrument, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 12, No. 2, pp. 259-266, 2011
- [17] K. Lee, Y. Hwang, S. Cheong, Y. Choi, L. Kwon, J. Lee, S.H. Kim, Understanding the role of nanoparticles in nano-oil lubrication, *Tribology Letters*, Vol. 35, pp. 127-131, 2009

Effects of Nano-Particles on Properties of Engine Oil and its Functionality Rate on Wear Reduction

E. Etefaghi

MSc. Student, University of Tehran
ehsan.etefaghi@ut.ac.ir

H. Ahmadi*

Associate Professor, University of Tehran
hjahmadi@ut.ac.ir

A.M. Rashidi

Associate Professor, Research Institute of Petroleum Industry
rashidiam@ripi.ir

S.S. Mohtasebi

Professor, University of Tehran
mohtaseb@ut.ac.ir

R. Soltani

MSc., Irankhodro Powertrain Company (IPCO)
r_soltani@ip-co.com

*Corresponding Authors

Received: Oct. 07, 2012

Accepted in Revised Form: Jan. 05, 2013

Abstract

Nowadays, engine oils have various functions, which one of the most important of them is the lubrication of different parts in the engine, for reducing the rate of the friction and the wear. Oil properties are mainly a result of additives, which are added to the oil to improve requirement properties. Recently, nano-particles are also appeared as a new kind of additives, due to their special properties.

The purpose of the present research is surveying the amount of the ability of nano-particles and it is a kind of the functionality to improve anti-wear properties and the heat-conduction ability and controlling developed variations of the engine oil, on its properties including: the viscosity, the pour point and the flash point. For this purpose, carbon nano ball particles, by using the planetary ball mill, were dispersed inside the Behran Pishtaz engine oil, SAE 20W50. Then, tests were done for investigating mentioned properties. Obtained results showed that the thermal conductivity coefficient of the oil containing carbon nano ball particles with 0.1wt%, increased about 18 percent with respect to the base oil. Also, upon results of the four ball test, the amount of the wear, in the oil contains nano-particles reduced 5 percent with respect to the oil without nano-particles.

Keywords: nano-particles, engine oil, wear, thermal conductivity, viscosity