

بررسی تاثیر نانوصفحات گرافن بر روی خواص روغن موتور به عنوان نانوروانکار

احسان‌اله اتفاقی^۱، حجت احمدی^{۱*}، علیمراد رشیدی^۲ و سید سعید محتسبی^۱

۱- دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی بیوسیستم، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، کرج

۲- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده نانو و کاتالیست، تهران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۱/۱۱/۰۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۲/۰۱/۲۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۲/۰۲/۲۹

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی تاثیر نانوصفحات گرافن بر روی خواص روغن موتور می‌باشد. گرانروی، شاخص گرانروی، نقطه اشتعال و نقطه ریزش روغن موتور SAE 20W50، به عنوان چهار پارامتر کیفی و مؤثر در عملکرد روغن موتور مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد که نقطه اشتعال و نقطه ریزش در روغن حاوی نانوصفحات گرافن با غلظت ۰/۲ درصد وزنی، به ترتیب به میزان ۶/۷ و ۱۱/۱ درصد نسبت به روغن پایه بهبود داشتند. هر چند گرانروی نانوروانکارها به عنوان یک پارامتر بسیار مهم در امر روانکاری، با بالا رفتن غلظت گرافن کمی افزایش یافت. از بین روش‌های مختلف انجام شده برای پراکنده کردن نانوذرات درون روغن پایه، استفاده از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای به عنوان بهترین روش برای پایدارسازی نانوصفحات گرافن درون روغن موتور تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: نانوصفحات گرافن، روغن موتور، گرانروی، نقطه اشتعال، نقطه ریزش.

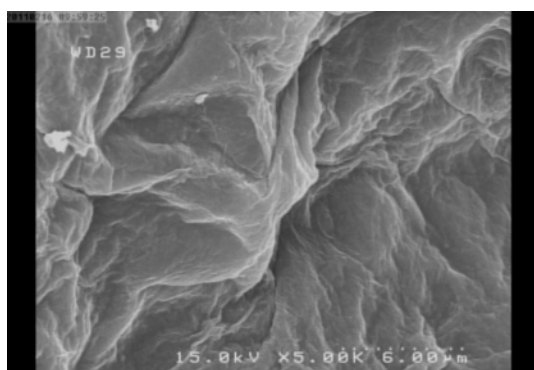
۱- مقدمه

اتم‌های کربن ساخته شده است. به عبارتی به نوارهای بسیار نازکی از تک لایه‌های گرافیت، "گرافن" گفته می‌شود. با توجه به خصوصیات ویژه این ماده از جمله مساحت بالا و خصوصیات ساختاری و الکتریکی و مکانیکی خارق‌العاده این ماده، می‌توان از آن در اکثر زمینه‌های کاربردی از جمله کاتالیست، الکترونیک، انرژی، پلیمر، صنایع نظامی و حمل و نقل استفاده نمود. خواص ضدسایشی و ضداصطکاک نانوروانکارهای مختلف توسط محققین زیادی بررسی شده است [۱۸-۱۳]. طی آزمایش‌های انجام شده توسط کوو و همکاران (۲۰۱۰) رفتارهای تریبولوژیکی نانوذرات فولرن افزوده شده به روغن معدنی بررسی شد. خواص فشار نهایی و ضدسایشی آنها با استفاده از تست چهار ساچمه و نیز دستگاه تست

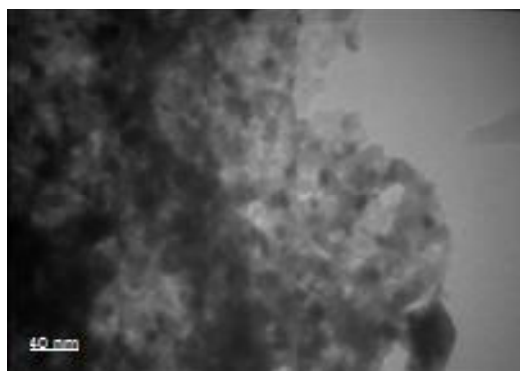
سطح کیفیت روغن‌های روانکار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا هر چه کیفیت روغن بالاتر باشد وظایف محوله را به نحو بهتری می‌تواند انجام دهد. سطح کیفیت روغن‌ها بستگی به انواع مواد افزودنی دارد که به آنها اضافه می‌شود. یک دیدگاه ساده برای بهبود خواص روانکارها استفاده از مواد افزودنی می‌باشد. نانوذرات به خاطر شکل، اندازه و دیگر خواص منحصر بفرد آنها به عنوان نوع جدیدی از افزودنی‌ها برای روانکارها استفاده می‌شوند [۱]. اخیراً محققین، نانومواد مختلف با ساختارهای کروی و لوله‌ای را به عنوان افزودنی در سیالات مختلف استفاده کرده‌اند [۱۲-۲]. گرافن ماده‌ای است که از یک لایه

* عهده‌دار مکاتبات: حجت احمدی

تا زمانیکه ذرات دیده نشوند درون التراسونیک قرار گرفت. سپس یک میلی گرم N_2H_4 اضافه شد و محلول درون یک حمام روغن در دمای $100^\circ C$ به مدت ۲۴ ساعت گرم شد تا گرافن اکسید به تدریج همانند یک جامد سیاه رنگ رسوب کند. در نهایت نمونه به دقت توسط آب دیونیزه شسته شد و درون آون خلا در $60^\circ C$ خشک گردید. مورفولوژی نانوصفحات استفاده شده در شکل‌های ۱ و ۲ به خوبی نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر SEM نانوصفحات گرافن.



شکل ۲: تصویر TEM نانوصفحات گرافن.

دیسک روی دیسک، ارزیابی شد و نتایج آنها بیانگر بهبود خواص تریبولوژیکی نانوروغن‌ها نسبت به روغن‌های فاقد نانوذرات بود [۱۵]. همچنین به دلیل خواص انتقال حرارت ضعیف خنک کننده‌های متداول مانند آب، اتیلن گلیکول و روغن‌های موتور و در نتیجه عملکرد ضعیف آنها در انتقال حرارت، درخواست‌های زیادی برای سیالات انتقال حرارت با بازده بالا، در بسیاری از صنایع به منظور توسعه بازده انرژی مبدل‌های حرارتی وجود دارد [۱۹]. بنابراین محققین شروع به کاربرد تکنولوژی‌های نانومواد در زمینه افزایش انتقال حرارت، به منظور توسعه یک سیال انتقال حرارت همگن و پایدار با بازده بالا کرده‌اند. نانوسیالات پراکنده کردن نانوذرات درون سیالات انتقال حرارت متداول تولید می‌شوند [۲۰]. تاکنون خواص انتقال حرارت سیالات حاوی نانوساختارهای مختلف توسط محققین زیادی بررسی شده است [۲۱-۲۶]. چوی و همکاران (۲۰۰۸) ضریب هدایت حرارتی نانوسیال حاوی روغن ترانسفورماتور و نانوذرات AIN را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که ضریب هدایت حرارتی نانوسیال Oil/AIN به میزان ۲۰٪ نسبت به روغن پایه افزایش یافت [۱۹]. با توجه به کارهای تحقیقاتی انجام گرفته بر روی خواص سایشی و انتقال حرارتی نانوسیالات مختلف، در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر نانوصفحات گرافن بر روی خواص دیگر روغن موتور، از قبیل گرانبوی، به عنوان یکی از مهمترین عوامل برای انتخاب صحیح روغن مورد نیاز در سیستم روانکاری و نیز شاخص گرانبوی، نقطه اشتعال و نقطه ریزش به عنوان خواص مرتبط با کیفیت عملکرد روغن در شرایط مختلف پرداخته شد.

همچنین مشخصات سیال پایه برای ساخت نانوروغن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات روغن SAE 20W50.

۱۷۲/۱۱ cSt	گرانبوی در $40^\circ C$
۱۹/۸ cSt	گرانبوی در $100^\circ C$
889 kg/m^3	دانسیته در $15^\circ C$
۱۳۳	شاخص گرانبوی
$-27^\circ C$	نقطه ریزش
$224^\circ C$	نقطه اشتعال

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

نانوصفحات گرافن در پژوهشگاه صنعت نفت به روش اصلاح سطح هامر (Modified Hummers' Method) [۲۷] ساخته شدند. گرافن با کاهش هیدرازین هیدرات (N_2H_4) از گرافن اکسید سنتز شد. در ابتدا ۱۰۰ میلی گرم گرافن اکسید درون بالن ته گرد ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر آب به آن افزوده شد و نمونه

گردید. مشخصات کارکرد دستگاه برای ساخت نانوروانکارها در جدول ۲ آورده شده است. میزان غلظت نانوافزودنی‌ها تاثیر زیادی در عملکرد نانوروانکارها دارد. در اکثر کارهای تحقیقاتی، غلظت در محدوده ۰/۱ تا ۰/۵ درصد وزنی به عنوان غلظت بهینه بیان شده است [۱۶،۲۸]. همچنین به منظور بررسی میزان و نحوه تاثیر غلظت گرافن بر روی خواص روغن پایه، نانوروانکارها در دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲ wt.%، با افزودن نانوصفحات گرافن به روغن پایه ساخته شدند.

۲-۴- اندازه‌گیری گرانبوی، شاخص گرانبوی، نقطه اشتعال و نقطه ریزش

گرانبوی سینماتیکی، شاخص گرانبوی، نقطه اشتعال و نقطه ریزش روغن پایه و نیز نانوروانکارهای ساخته شده، در دو غلظت مختلف، به ترتیب بر اساس استانداردهایی همچون ASTM D-92، ASTM D-2270، ASTM D-445 و ASTM D-97 اندازه‌گیری شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آماده‌سازی و پایداری نانوروانکارها

یکی از عوامل بسیار مؤثر بر روی خواص نانوسیالات، میزان پراکندگی و پایداری نانوذرات درون سیال پایه است. زمانیکه پراکندگی ذرات درون سیال پایه خوب نیست، ممکن است آگلومره شدن و رسوب نانوذرات اتفاق بیفتد که در این صورت ذرات درشت ایجاد شده، همانند مواد ناخالصی، موجب آسیب دیدن سطوح اصطکاکی و نیز گرفتگی مجاری روانکاری می‌شوند، که این مورد برای روغن‌های موتور بدلیل شرایط خاص کاربردشان از اهمیت بیشتری برخوردار است. در تحقیق حاضر برای پراکنده‌سازی نانوصفحات گرافن درون روغن پایه و دستیابی به بهترین و پایدارترین حالت، نمونه Oil-Graphene با غلظت ۰/۱ wt.%، با استفاده از سه روش التراسونیک حمامی و پروبی و آسیاب گلوله‌ای ساخته شد. سپس همه نمونه‌ها به منظور بررسی وضعیت پایداری آنها، درون ظروف شیشه‌ای کاملاً شفاف، در حالت کاملاً ساکن برای ۷۲۰ ساعت نگهداری شدند. در این مدت وضعیت

در این تحقیق از روغن موتور SAE 20W50 محصول شرکت نفت بهران (بهران پیشتاز) 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.

۲-۲- ابزارها

در این پژوهش از دستگاه‌هایی نظیر التراسونیک حمامی (P120h. Elmasonic. Germany)، التراسونیک پروبی (Syclon Ultrasonic Homogenizer/JY92-IIN. China) و از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای مدل (PM 100. Retche.) ساخت کشور آلمان برای باز کردن نانوصفحات آگلومره از یکدیگر و پراکنده کردن آنها درون سیال پایه استفاده شد. بعلاوه در این پژوهش از میکروسکوپ‌های الکترونی انتقالی (TEM, ZEISS EM 900) و الکترونی روبشی مدل (FESEM, Hitachi S-4160) برای بررسی مورفولوژی نانوصفحات گرافن استفاده شد.

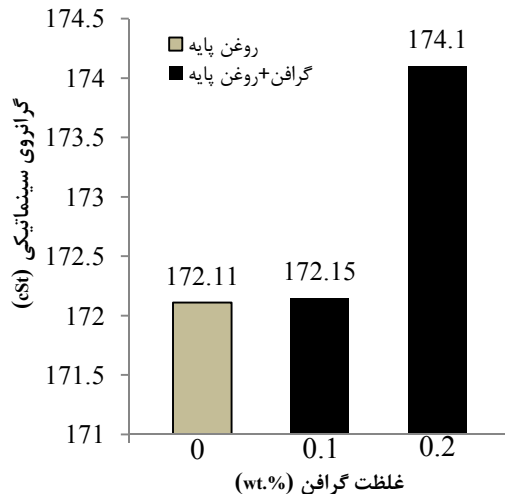
۲-۳- آماده‌سازی نانوروانکارها

اساساً نانوسیالات مخلوط‌های جامد-مایعی هستند که از پراکنده‌سازی مواد نانو با ابعاد کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر درون یک سیال پایه بدست می‌آیند [۲۱]، که برای این منظور از روش‌های متداولی در کارهای تحقیقاتی مختلف استفاده شده است، از جمله پراکنده‌سازی بوسیله همزن مکانیکی، استفاده از امواج فراصوت (التراسونیک حمامی و پروبی)، استفاده از آسیاب گلوله‌ای و استفاده از مواد فعال کننده سطح.

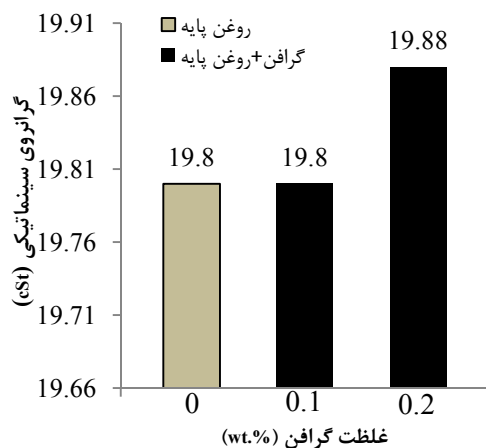
جدول ۲: مشخصات کارکرد آسیاب گلوله‌ای.

سرعت	۳۰۰ rpm
زمان	۳ h
وزن گلوله‌ها	۲۰۰ g
وزن نمونه (سیال + نانومواد)	۳۰ g

در تحقیق حاضر، از روش آسیاب گلوله‌ای برای پراکنده‌سازی نانوصفحات گرافن درون سیال پایه استفاده



شکل ۳: گرانروی سینماتیکی روانکارها در دمای ۴۰ °C.



شکل ۴: گرانروی سینماتیکی روانکارها در دمای ۱۰۰ °C.

نکته قابل توجه مربوط به گرانروی نانوروانکارهای با غلظت ۰/۱ wt.% است که در هر دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ °C نسبت به گرانروی روغن فاقد گرافن، فقط مقدار بسیار اندکی افزایش داشته‌اند. بنابراین در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که گرانروی روغن موتور SAE 20W50 حاوی نانوصفحات گرافن، تابع غلظت گرافن بوده و در غلظت‌های پایین تغییر قابل توجهی نسبت به گرانروی روغن پایه ندارد.

۳-۳- شاخص گرانروی

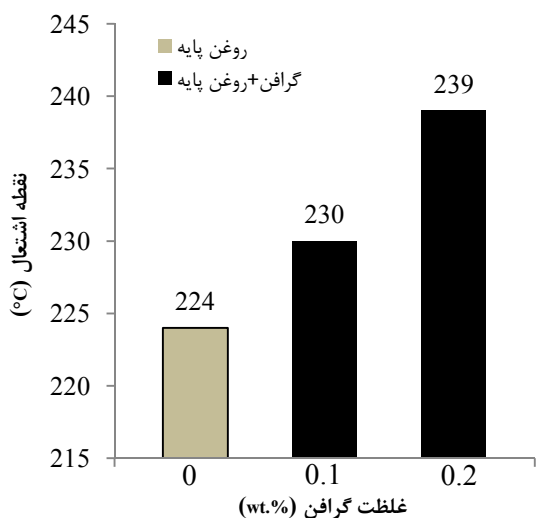
شاخص گرانروی یک ارزش عددی برای نشان دادن تغییرات گرانروی یک روغن با تغییر درجه حرارت است. در این تحقیق شاخص گرانروی نانوروانکارهای ساخته شده در دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲ wt.%، به منظور بررسی تاثیر

پایداری همه نمونه‌ها به طور پیوسته و متناوب، به صورت دیداری بررسی و ثبت شد. نانوصفحات گرافن در هر سه نمونه مقداری رسوب کرده بودند، هر چند میزان رسوب در نمونه ساخته شده به روش آسیاب گلوله‌ای، خیلی کمتر از دو نمونه دیگر بود. به نظر می‌رسد بدلیل بالا بودن گرانروی روغن موتور پایه و نیز حالت آگلومره نانوصفحات گرافن، برای باز کردن و پراکنده کردن نانوصفحات درون روغن پایه، نیاز به انرژی زیادی می‌باشد، که این انرژی در روش آسیاب گلوله‌ای نسبت به دو روش دیگر، به میزان بهتری تامین شده است.

۳-۲- گرانروی

روغن‌های روان کننده باید دارای گرانروی مناسبی باشند تا فیلم روغن با ضخامت کافی بر روی قطعات تشکیل شده و موجب کم شدن اصطکاک و ساییدگی و انتقال حرارت و آب‌بندی گردد. بدلیل اهمیت فوق‌العاده خاصیت گرانروی برای یک روانکار، در این تحقیق به بررسی تغییرات ایجاد شده بر روی گرانروی روغن موتور، ناشی از افزودن نانوصفحات گرافن، پرداخته شد. برای این منظور گرانروی روغن موتور فاقد گرافن به عنوان سیال پایه و نیز گرانروی روانکارهای حاوی نانوصفحات گرافن در دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲ wt.% در دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شدند. نتایج بدست آمده در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود گرانروی نانوروانکارها در هر دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد با زیاد شدن غلظت گرافن افزایش یافته است. هر چند میزان تغییرات گرانروی در غلظت‌های پایین، بسیار کمتر از غلظت‌های بالا می‌باشد. در واقع هنگامی که نانوصفحات گرافن به روغن موتور افزوده می‌شوند نانوصفحات بدلیل اندازه کوچکشان در بین لایه‌های روغن قرار می‌گیرند و تا حدودی مانع حرکت و لغزش لایه‌های روغن بر روی یکدیگر می‌شوند که با افزایش غلظت ($\leq 0.2 \text{ wt.}\%$)، نانوصفحات گرافن به یکدیگر پیوسته و ذرات بزرگتری را ایجاد می‌کنند که منجر به افزایش قابل توجه در میزان گرانروی سیال پایه می‌گردد. بیشترین مقدار افزایش گرانروی نسبت به سیال پایه حدود ۱/۱٪، مربوط به نانوروانکار با غلظت ۰/۲ wt.% در دمای ۴۰ °C می‌باشد.

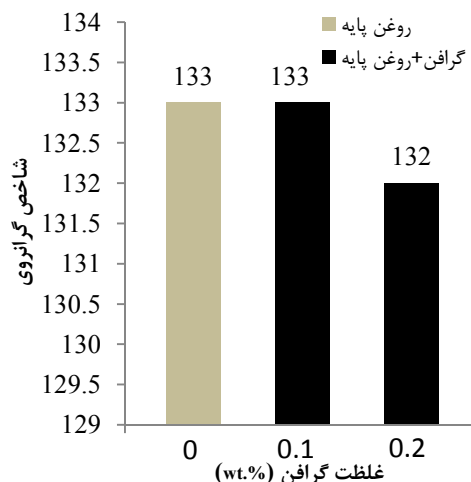
قابل توجهی بیشتر از ضریب هدایت حرارتی سیال پایه فاقد نانومواد افزودنی می باشد. یکی از دلایل این امر را می توان ناشی از ضریب هدایت حرارتی بسیار بالاتر نانومواد جامد نسبت به سیالات متداول از قبیل آب، اتیلن گلیکول و روغن دانست. هر چند دانشمندانی همانند کبلینسکی، ایستمن و چوی، چهار عامل اصلی: ۱- حرکت براونی نانوذرات، ۲- نانولایه های ایجاد شده در مرز نانوذرات و سیال پایه، ۳- طبیعت انتقال گرما در نانوذرات و بررسی انتقال فونونی و ۴- تاثیر خوشه شدن نانوذرات [۲۹]، را در افزایش غیرعادی رسانش نانوسیال ها مؤثر می دانند. میزان افزایش نقطه اشتعال نمونه حاوی نانوصفحات گرافن با غلظت ۰/۱ wt.% نسبت به سیال پایه ۲/۶٪ است و بیشترین میزان افزایش مربوط به نمونه ۰/۲ wt.% به مقدار ۶/۷٪ می باشد. در نهایت افزایش یافتن نقطه اشتعال روغن موتور ناشی از افزودن نانوصفحات گرافن را می توان به عنوان یک نکته مثبت، در ارتباط با بهبود خواص روانکاری روغن پایه در نظر گرفت.



شکل ۶: نقطه اشتعال روانکارها در غلظت های مختلف.

از طرف دیگر بیشترین میزان سایش در موتورها، در همان لحظات ابتدایی شروع به کار موتور، بدلیل نرسیدن روغن کافی به قطعات، ایجاد می شود. برای کاهش سایش و اثرات آن در موتور، نیاز است تا روغن در دماهای پایین، به اندازه کافی روان و قابل پمپ شدن باشد و به راحتی و با سرعت به همه نقاط موتور برسد، تا از تماس قطعات با

نانوصفحات گرافن بر روی شاخص گرانروی روغن موتور اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: شاخص گرانروی روانکارها در غلظت های مختلف.

همانطور که مشاهده می شود تغییرات شاخص گرانروی بر اثر افزودن گرافن بسیار ناچیز است و تنها در غلظت ۰/۲ wt.% به میزان ۰/۷۵٪ نسبت به روغن پایه کاهش یافته است.

۳-۴- نقطه ریزش و نقطه اشتعال

نقطه اشتعال، پایین ترین دمایی است که در آن بخارات روغن در تماس با هوا و در معرض یک جرقه در یک لحظه آتش می گیرند و سپس خاموش می گردد. بنابراین می توان گفت نقطه اشتعال یک روغن، در واقع تعیین کننده حد بالای دمای کارکرد آن روغن می باشد. روند تغییرات نقطه اشتعال به عنوان تابعی از غلظت گرافن در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود افزودن نانوصفحات گرافن به روغن پایه موجب افزایش یافتن نقطه اشتعال آن شده است. همچنین نقطه اشتعال با غلظت گرافن رابطه مستقیم دارد، هر چند این رابطه خطی نمی باشد. به طور کلی افزایش مقاومت نانوروغن در برابر اشتعال را می توان ناشی از افزایش قابلیت هدایت حرارتی روغن بر اثر افزودن نانوصفحات گرافن دانست. طبق نتایج بدست آمده از تحقیقات انجام شده توسط محققین [۲۶-۲۱]، میزان ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات به طور

نتایج بدست آمده نشان داد که خواص اندازه‌گیری شده در نمونه‌های حاوی نانوصفحات گرافن نسبت به روغن پایه بهبود یافته‌اند. نمونه Oil/Graphene با غلظت ۰/۱ wt.% دارای پایداری بهتری نسبت به نمونه با غلظت ۰/۲ wt.% بود. همچنین نقطه اشتعال و نقطه ریزش نمونه ۰/۱ wt.% به ترتیب ۲/۶ و ۳/۷ درصد نسبت به روغن پایه بهبود داشتند. گرانیروی و شاخص گرانیروی نانوروانکار با غلظت ۰/۱ wt.% تغییر محسوسی نسبت به روغن پایه نداشتند.

سپاسگزاری

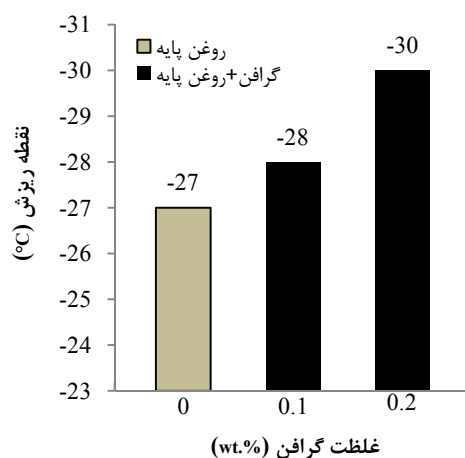
از مرکز تحقیقات CM و آزمایشگاه آنالیز روغن و ذرات فرسایشی البرز تدبیرکاران و نیز از پژوهشگاه صنعت نفت در جهت همکاری‌های به عمل آمده در راستای اجرای تحقیقات، صمیمانه کمال تشکر را می‌نماییم.

مراجع

- [1] C.G. Lee, Y.J. Hwang, Y.M. Choi, J.K. Lee, C. Choi, J.M. Oh, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, **10**, 2009, 85.
- [2] G.R. Vakili-Nezhaad, A. Dorany, *Chem. Eng. Commun.*, **196**, 2009, 997.
- [3] Y. Hwang, J.K. Lee, C.H. Lee, Y.M. Jung, S.I. Cheong, C.G. Lee, B.C. Ku, S.P. Jang, *Thermochim. Acta*, **455**, 2007, 70.
- [4] Y. Hwang, H.S. Park, J.K. Lee, W.H. Jung, *Curr. Appl. Phys.*, **6**, 2006, 67.
- [5] S. Harish, K. Ishikawa, E. Einarsson, S. Aikawa, S. Chiashi, J. Shiomi, S. Maruyama, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **55**, 2012, 3885.
- [6] G. Liu, X. Li, B. Qin, D. Xing, Y. Guo, R. Fan, *Tribol. Lett.*, **17**, 2004, 961.
- [7] L. Liu, Z. Fang, A. Gu, Z. Guo, *Tribol. Lett.*, **42**, 2011, 59.
- [8] Y. Peng, Y. Hu, H. Wang, *Tribol. Lett.*, **25**, 2007, 247.
- [9] S. Mingwu, L. Jianbin, W. Shizhu, Y. Junbin, *Chin. Sci. Bull.*, **46**, 2001, 1227.
- [10] L. Chen, H. Xie, W. Yu, Y. Li, *J. Dispersion Sci. Technol.*, **32**, 2011, 550.
- [11] Y. Cho, J. Park, B. Ku, J. Lee, W.G. Park, J. Lee, S.H. Kim, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, **13**, 2012, 97.
- [12] M.H. Vasheghani, E. Marzbanrad, C. Zamani, M. Aminy, B. Raissi, T. Ebadzadeh, H. Barzegar-Bafrooei, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **47**, 2011, 1401.
- [13] Y. Wu, W. Tsuia, T. Liub, *Wear*, **262**, 2007, 819.
- [14] J. Lee, S. Cho, Y. Hwang, C. Lee, S. Kim, *Tribol. Lett.*, **28**, 2007, 203.
- [15] B.C. Ku, Y.C. Han, J.E. Lee, J.K. Lee, S.H. Park, Y.J. Hwang, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, **11**, 2010, 607.
- [16] J. Lee, S. Cho, Y. Hwang, H.J. Cho, C. Lee, Y. Choi, B.C. Ku, H. Lee, B. Lee, D. Kim, S. Kim, *Tribol. Int.*, **42**, 2009, 440.
- [17] J. Ou, L. Liu, J. Wang, F. Wang, M. Xue, W. Li, *Tribol. Lett.*, **48**, 2012, 407.
- [18] L.B. Zhang, J.Q. Wanga, H.G. Wanga, Y. Xu, Z.F. Wanga, Z.P. Li, Y.J. Mi, S.R. Yang, *Composites: Part A*, **43**, 2012, 1537.

یکدیگر و ایجاد سایش جلوگیری نماید. این خاصیت روغن با پارامتری 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. بدلیل اهمیت این موضوع، در این تحقیق تغییرات ایجاد شده در میزان نقطه ریزش روغن پایه، در اثر افزودن نانوصفحات گرافن بررسی شد. روند تغییرات نقطه ریزش به عنوان تابعی از غلظت گرافن در شکل ۷ نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن گرافن به روغن موتور SAE 20W50 موجب بهبود نقطه ریزش آن شده است. بگونه‌ای که در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۲ wt.% نقطه ریزش به ترتیب ۳/۷٪ و ۱۱/۱٪ نسبت به روغن پایه بهبود داشته است. از آنجایی که نقطه ریزش نیز یک پارامتر مرتبط با خواص حرارتی می‌باشد بنابراین بهبود نقطه ریزش روغن موتور بر اثر افزودن نانوصفحات گرافن را می‌توان ناشی از بهبود قابلیت انتقال حرارت روغن پایه دانست.



شکل ۷: نقطه ریزش روانکارها در غلظت‌های مختلف.

۴- نتیجه‌گیری

نانوصفحات گرافن به روغن موتور افزوده شدند تا نحوه عملکرد آنها بر روی خواص روغن موتور مورد بررسی قرار گیرد. از بین خواص متعدد روانکارها، چهار پارامتر گرانیروی، شاخص گرانیروی، نقطه اشتعال و نقطه ریزش بررسی شدند. نمونه‌های Oil/Graphene به منظور بررسی اثر غلظت، در دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲ wt.% ساخته شدند.

- [25] M. Saeedinia, M.A. Akhavan-Behabadi, P. Razi, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, **39**, 2012, 152.
- [26] B. Ruan, A.M. Jacobi, *Nanoscale Res. Lett.*, **7**, 2012.
- [27] Y. Leng, W. Guo, S. Su, *Chemical Engineering Journal*, **211**, 2012, 406.
- [28] W. Li, S. Zheng, B. Cao, S. Ma, *J. Nanopart. Res.*, **13**, 2011, 2129.
- [29] A.A. Hamidi, A. Amrollahi, A.M. Rashidi, S.M. Hosseini, A.R. Moghadassi, *Iranian Chemical Engineering Journal*, **8**, 2009, 40.
- [19] C. Choi, H.S. Yoo, *Curr. Appl. Phys.*, **8**, 2008, 710.
- [20] X. Li, D. Zhu, X. Wang, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater.*, **24**, 2009, 48.
- [21] X. Wang, S. Mujumdar, *Int. J. Therm. Sci.*, **46**, 2007, 1.
- [22] Y.J. Hwang, Y.C. Ahn, H.S. Shin, C.G. Lee, G.T. Kim, H.S. Park, J.K. Lee, *Curr. Appl. Phys.*, **6**, 2006, 1068.
- [23] D. Kim, Y. Kwon, Y. Cho, C. Li, S. Cheong, Y. Hwang, J. Lee, D. Hong, S. Moon, *Curr. Appl. Phys.*, **9**, 2009, 119.
- [24] D. Zhu, X. Li, N. Wang, X. Wang, J. Gao, H. Li, *Curr. Appl. Phys.*, **9**, 2009, 131.