بررسی تاثیر نانوذرات اکسیدمس و اکسید تیتانیوم بر ویژگی‌های تریبولوژیکی روغن موتور

محمد امینی*، نسترن برهمتی و سید امیرحسین زمزمیان

پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران.

یادداشت فنی

تاریخ ثبت اولیه :۹۲/۱۱/۶، **تاریخ دریافت نسخهٔ اصلاح‌شده**: ۹۳/۴/۲۲، **تاریخ پذیرش قطعی**: ۹۳/۵/۱

چکیده: در این تحقیق، ویژگی‌های تریبولوژیکی روغن موتور ۲۰W۵۰ مخلوط با ۰/۱٪ وزنی از نانوذرات کروی اکسید مس ۲۰ نانومتری و اکسید تیتانیوم ۲۱ نانومتری مورد بررسی قرار گرفته است. از مهمترین ویژگی‌های تریبولوژیکی که وجود دارد، دو عامل سایش و اصطکاک می‌باشد. در این تحقیق، پس از آماده سازی نانوسیالات مذکور، دو عامل سایش و ضریب اصطکاک با استفاده از تریبومتر پین و صفحه، تحت یک بار ثابت در دمای محیط یک دفعه بر روی روغن موتور خالص و دفعه دیگر بر روی روغن موتور مجهز به نانوذرات اندازه‌گیری و نتایج آنها با هم مقایسه گردیده است. این نتایج نشان داد که وجود نانوذرات کروی اکسید مس ۲۰ نانومتری و اکسید تیتانیوم ۲۱ نانومتری در روغن روانکار موتور، میزان سایش را به ترتیب تا ۷۶/۷۲٪ و ۵۰٪ و ضریب اصطکاک را تا ۱۷/۸۴٪ و ۹/۴۸٪ در مقایسه با روغن موتور بدون نانوذرات کاهش داده است. بنابراین می‌توان پیش‌بینی کرد که نانوذرات کروی اکسید مس و اکسید تیتانیوم به عنوان افزودنی به روغن موتور می‌تواند نقش موثری در افزایش توان موتور و کاهش آلاینده‌های خروجی از موتور و مصرف سوخت ایفا کند.

کلمات کلیدی: نانوذرات، روغن موتور، میزان سایش، ضریب اصطکاک.

Investigating effect of CuO and TiO_2 Nano Particles on Tribological Characteristics of Engine Oil

Mohammad Aminy*, Nastaran Barhemmati and Seyed Amirhosein Zamzamian

Material & Energy Research Center (MERC), Karaj, Iran

Abstract: in this work tribological characteristic of engine oil 20w50 mixed with 0.1% by weight of spherical nano particles of copper oxide of 20 nm and also spherical nano particles of titanium oxide of 21 nm has been investigated. Wear and friction are the two important factors of tribological characteristics. In this work after preparation of the nano fluids, two factors of wear and friction factor, using pin and plate tribometer, under constant load and at room temperature, once with pure engine oil and also with each nano fluids were measured and the results were compared to each other. The results indicated that presence of spherical nano particles of 20 nm copper oxide and 21 nm titanium oxide in lubricating oil, reduced the wear by 76.72% and 50% respectively and friction factor by 17.84% and 9.48% respectively, in comparison with engine oil without any nano particles. Therefore it can be predicted that spherical nano particles of copper oxide and titanium oxide, as an additive to engine oil, can play an effective role in increasing engine power and reduce engine exhaust emissions and fuel consumption.

Keywords: Nanoparticles, Engine Oil, Wear, Friction Factor.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: کرج، مشکین دشت، پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده انرژی،

تلفن: ۰۹۱۲۲۷۰۴۳۱۱، دورنگار: ۶۲۸۰۰۳۰ ۰۲۶۲، پیام نگار: mohamedaminy@yahoo.co.uk

۱- مقدمه

نانوتکنولوژی از جمله انقلابی‌ترین تکنولوژی در قرن ۲۱ بوده و در بسیاری از زمینه‌ها کاربرد دارد. پیش‌بینی‌های بسیاری درباره رفتار تریبولوژیکی روانکارها با نانوذرات مختلف به عنوان افزودنی به آنها صورت گرفته است و تحقیقات فراوانی از تاثیر افزودن نانوذرات در جهت کاهش سایش و ضریب اصطکاک گزارش شده است [۱]. به دلیل ویژگی‌های تریبولوژیکی نانوذرات که قبلاً ذکر شد (کاهش سایش و ضریب اصطکاک)، همراه با عامل خود ترمیمی (self-repair)، جهت پوشش سطح، گزینه بسیار خوبی به عنوان افزودنی به روانکارها به خصوص در شرایط اصطکاک شدید از قبیل دمای بالا، بار بالا و سرعت رفت و برگشتی بالا، در نظر گرفته می‌شود [۲،۳،۴]. نانو روانکاری به عنوان هنر و علم لازم برای کنترل چسبندگی، سختی، اصطکاک و سایش سطوح درحال تماس در مقیاس نانو تعریف شده است. یکی از مهمترین قوانین روانکاری سطوح در مقیاس نانو مربوط به وجود فیلم‌های سطحی محکم و بسیار بادوام است [۳]. همچنین از مباحث مطرح در روانکاری می‌توان به جلوگیری از اتلاف انرژی اشاره کرد. در بسیاری از سیستم‌های مکانیکی، اصطکاک یکی از دلایل اصلی اتلاف انرژی است، بنابراین ما باید بتوانیم در سیستم‌های مکانیکی به ذخیره انرژی بپردازیم. با افزودن بعضی از نانوذرات‌ها می‌توان به این هدف مهم دست پیدا کرد. نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که با افزودن برخی نانوذرات، یک فیلم نازک روی سطح اصطکاک تشکیل می‌شود که باعث کاهش سایش و ضریب اصطکاک شده و روانکاری را بهبود می‌بخشد [۵-۷]. تحقیق و کاربرد نانوذرات به عنوان افزودنی در روغن‌های روانکار برای مدت ۲۰ سال در دست مطالعه و پیشرفت بوده است. نانوذرات مختلفی از جمله: مولیبدیوم دی‌سولفاید، الماس، آلومینا، گرافیت، پلی‌تترافلورواتیلن (PTFE) و دی‌اکسیدتیتانیوم در روغن موتور یا سایر روغن‌های روانکار از جمله پارافین، روغن کانولا و ... مورد استفاده قرار گرفته است [۸-۱۱]. به هرحال مکانیسم عمل حقیقی یا واقعی نانوذرات افزودنی به روغن هنوز ناواضح است. دو نظریه، منطقی به نظر می‌رسد: الف) مقاومت به غلتش در مقیاس میکرو[1] بین جفت. های در حال سایش[2] : این نظریه [۱۲] ادعا می‌کند هنگامی که نانوذرات به طور یکنواخت در روغن‌های روانکار توزیع شده‌اند، هرذره منحصر به فرد بین جفت‌های در حال سایش می‌تواند از تماس مستقیم سطوح درحال سایش جلوگیری کرده و اصطکاک سایشی این سطوح را به اصطکاک لغزشی تغییر دهد. این امر به آن معنی است که نانوذرات، ویژگی‌های فوق‌العاده عالی ضدسایشی و فشار حداکثر را دارند. این فرآیند هنگامی وجود دارد که بار نرمال بین جفت‌های درحال سایش، بسیار کم است و نانوذرات باید به طور غیریکنواخت توزیع گردند و استحکامشان را تحت دمای موضعی بالا و فشار بالا در مناطق با سطح تماس در حد میکرو[3] نگه دارند [۱۴]. ب) شکل‌گیری فیلم مرزی توسط تشکیل نانوذرات اکسید فلزی در محل[4] : این فرضیه [۱۵]، [۱۶] و [۱۷] ادعا می‌کند که نانوذرات توزیع شده در روغن‌های روانکار می‌توانند لایه‌ای از فیلم درحال رسوب را تشکیل دهند که سبب کاهش کشش برشی جفت‌های در حال سایش شده و آسیب‌های میکرونی و خراش سطح اصطکاک را خنثی کند. این فرآیند می‌تواند سطح را صاف نموده و حتی منجر به آزادسازی فشار مورد نظر، کاهش اصطکاک، جلوگیری از سایش و حتی خود ترمیمی[5] یک سطح ساییده شود [۱۸]. نتایج مطالعات لیو[6] و همکارانش به روی نانوذرات مختلف به عنوان افزودنی به روغن روانکار، نشان داد که واکنش تریبوشیمیایی حاصل از فرآیند اصطکاک می‌تواند منجر به ایجاد فیلم نازک ضد سایش و کاهش تنش برشی گردد [۱،۱۹-۲۳]. طبق گزارش کیو[7]، مکانیسم تریبولوژیکی که رخ می‌دهد، عبارت است از تشکیل فیلم در سطوح تماس که باعث کاهش شدید نیروی اصطکاک بین آنها می‌گردد [۲۰]. این تحقیق، ویژگی‌های تریبولوژیکی روغن موتور ۲۰w۵۰ مجهز به نانوذرات کروی اکسید مس ۲۰ نانومتری و اکسید

1- Microrolling bearing
2- Tribo-pairs
3- Microcontact
4- In situ
5- Self-Repairing
6- Lio
7- Qiu

تیتانیوم ۲۱ نانومتری را با روغن موتور بدون نانوذرات مقایسه کرده است.

۲- روش تحقیق

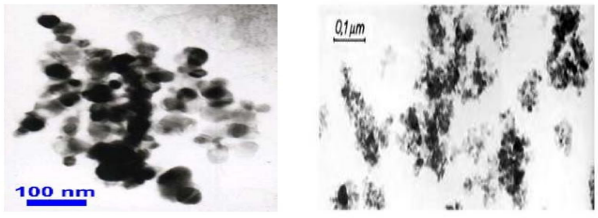
در این تحقیق دو نوع نانو سیال با درصد وزنی ۰/۱٪ تهیه شده است. نانوسیال اول شامل روغن موتور۲۰w۵۰ به عنوان سیال و نانو اکسید کروی مس ۲۰ نانومتری و نانوسیال دوم شامل روغن موتور مذکور به همراه نانوذرات کروی اکسید تیتانیوم ۲۱ نانومتری می‌باشد. روغن موتور مذکور از شرکت بهران، نانوذرات کروی اکسید مس ۲۰ نانومتری در پژوهشگاه مواد و انرژی سنتز و نانو اکسید کروی تیتانیوم ۲۱ نانومتری از شرکت نوترینو خریداری شده‌اند. برخی از ویژگی‌ها و مشخصات این مواد در جداول (۱) و (۲) و تصاویر مربوط به TEM آنها در شکل (۱) آورده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های روغن موتور [۲۴]

نام روغن	SAE 20W50
دانسیته در ۱۵/۶ $^{\circ}C$ (kg/m^3)	۸۹۳
ویسکوزیته در ۱۰۰ $^{\circ}C$ (cSt)	۱۷
شاخص گرانروی	۱۱۵
قلیائیت کلی (mgKOH/g)	۶
کمترین نقطه اشتعال ($^{\circ}C$)	۲۱۴
کمترین نقطه ریزش ($^{\circ}C$)	-۲۴

جدول ۲. مشخصات نانوذرات استفاده شده [۲۶و۲۵].

نام نانوذره	شکل	اندازه(nm)	خلوص(٪)
CuO	کروی	۲۰	۹۹
TiO_2	کروی	۲۱	۹۹/۸

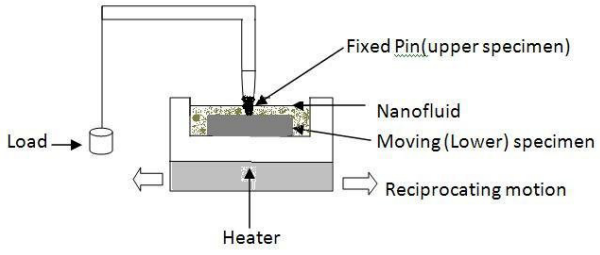


(CuO) (TiO_2)

شکل ۱. تصاویر TEM نانوذرات اکسید تیتانیوم و اکسید مس.

۲-۱- آماده سازی نانوسیالات

برای آماده‌سازی نانو سیالات، ابتدا به میزان ۰/۱٪ وزنی از هر نانوذره را وزن کرده و به منظور توزیع بهتر (به طور جداگانه) به اتیلن گلیکول افزوده و سپس یک قطره سورفکتانت به آن اضافه نموده و محلول حاصل را در اولتراسونیک قرار داده و در فواصل زمانی معین، به روغن موتور تحت اولتراسونیک اضافه نمودیم. سپس به میزان ۱ سی‌سی از هرکدام به صورت جداگانه روی قطعه‌ای از جنس چدن پوسته داخلی سیلندر موتور خودرو، (به دلیل نزدیک کردن شرایط آزمایش با جنس موتور خودرو) اضافه نموده، توسط دستگاه تست سایش و ضریب اصطکاک مورد آزمایش قرار داده و با نتایج حاصل از تست سایش و ضریب اصطکاک روغن موتور بدون نانوذرات مقایسه می‌کنیم. این دستگاه شامل مکانیسم رفت و برگشتی و از نوع pin-on-plate می‌باشد. بازوی متحرک دستگاه، قطعه مورد آزمایش را که از جنس چدن با ابعاد (۱۳۷mm×۲۵,۵mm×۱mm) انتخاب شده، به صورت رفت و برگشتی در زیر پین ثابتی که از جنس فولاد بلبرینگ ۵۲۱۰۰ با سختی ۶۴ راکول و ابعاد (۱۰mm×۵mm×۵۰mm) می‌باشد یک‌بار در تماس با نانوسیال و بار دیگر در تماس با روغن موتور بدون نانوذرات حرکت می‌دهد. شماتیکی از این دستگاه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲. شماتیکی از دستگاه تست سایش و ضریب اصطکاک.

۲-۲- طراحی آزمایش‌ها

هر تست در مدت زمان کلی۶۶۰۰ ثانیه در دمای ثابت محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد)، رطوبت ۵۸٪ با سرعت خطی ۰/۱۵ متر بر ثانیه برای مسافت ۱۰۰۰ متر، تحت بار عمودی و ثابت ۶۰ نیوتن انجام می‌شود. لازم به ذکر است که هر تست

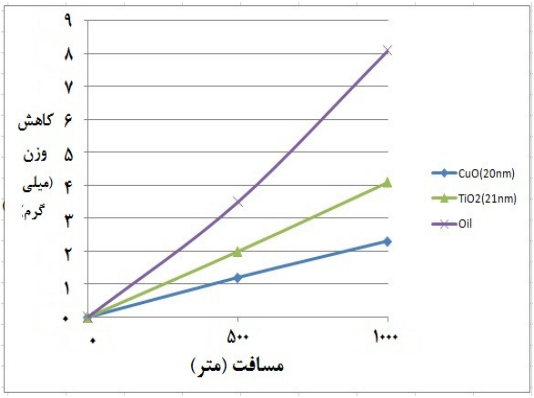
شامل دو سیکل می‌باشد. هر سیکل به ازای هر ۵۰۰ متر تحت شرایطی که قبلاً بیان شد، انجام می‌گیرد. در تست سایش در هر ۵۰۰ متر، دستگاه موقتاً متوقف شده و نمونه چدنی پس از شستشو و خشک شدن توسط ترازویی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، وزن و مجدداً در دستگاه برای ادامه تست قرار داده می‌شود. در جدول (۳) شرایط حاکم بر تست آورده شده است.

جدول ۳. شرایط حاکم بر تست سایش و ضریب اصطکاک.

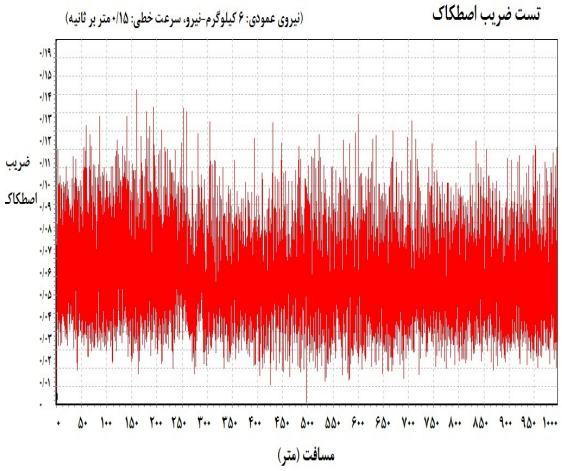
بار اعمالی (N)	۶۰
دما (°C)	۲۵
رطوبت محیط (%)	۵۸
کل مسافت طی شده (m)	۱۰۰۰
کل زمان (s)	۶۶۰۰
تعداد سیکل ها در هر بار اعمالی	۲

۳- نتایج و بحث

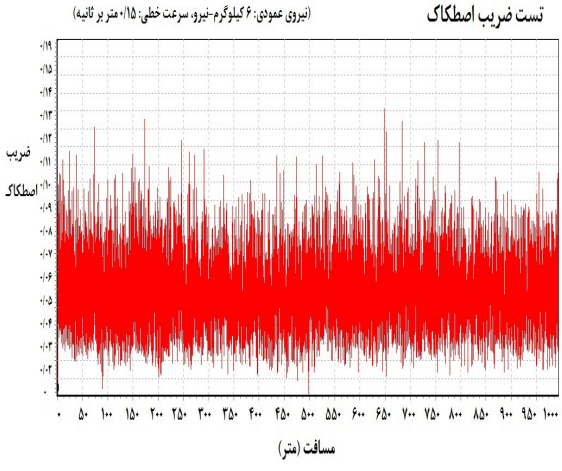
همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده میزان سایش به وجود آمده در نمونه چدنی توسط روغن موتور (بدون نانوذرات) برحسب مسافت طی شده روی سطح مورد سایش تحت بار ۶۰ N رسم گردیده است. همان‌طور که از این نمودار مشخص است میزان سایش هنگام افزودن نانوذرات، ازجمله اکسید مس و اکسید تیتانیوم، در مقایسه با روغن موتور بدون نانوذرات کاهش یافته است که به صورت کاهش وزن نمونه چدنی بعد از تست سایش نمایش داده شده است. شکلهای (۴)، (۵) و (۶) نیز نشان دهنده میزان ضریب اصطکاک، تحت بار ۶۰ N برای دو نانوسیال فوق برحسب مسافت طی شده روی سطح در حال سایش (نمونه چدنی) می‌باشد. از مقایسه این نمودارها نیز مشخص است که محدوده ضریب اصطکاک هنگام استفاده از نانوذرات اکسید مس و تیتانیوم در روغن موتور، نسبت به حالتی که از روغن موتور بدون نانوذرات استفاده شده، کاهش یافته است. دلیل این امر آن است که در واقع استفاده از نانوذرات کروی منجر به تغییر مکانیسم حرکت دو سطح در حال سایش از حالت رفت و برگشتی (لغزشی) به صورت غلتشی می‌گردد [۱]. همچنین به دلیل آن که سطوح پوشیده شده با نانوذرات کروی اکسید مس ۲۰ نانومتری، صاف‌تر از سطوح پوشیده شده با نانوذرات کروی اکسید تیتانیوم ۲۱ نانومتری هستند، رفتار ضدسایشی بهتر و ضریب اصطکاک کمتری را نشان داده‌اند [۱].



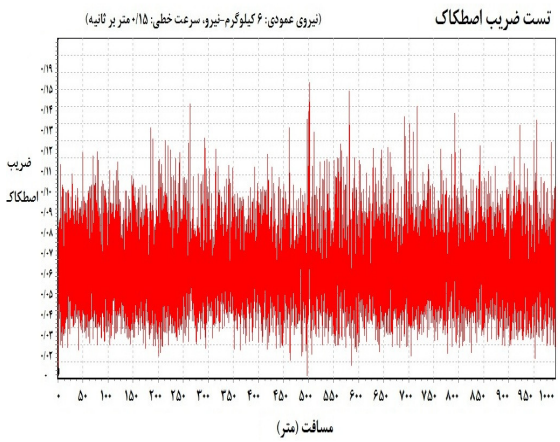
شکل ۳. نمودار مقایسه میزان سایش- مسافت بین نانوسیال‌ها و روغن موتور بدون نانوذرات.



شکل ۴. نمودار ضریب اصطکاک- مسافت برای روغن موتور بدون نانو ذرات.



شکل ۵. نمودار ضریب اصطکاک- مسافت برای نانوسیال روغن موتور- اکسید مس ۲۰ نانومتری.



شکل ۶. نمودار ضریب اصطکاک- مسافت برای نانوسیال روغن موتور- اکسید تیتانیوم ۲۱ نانومتری.

میزان کاهش سایش و ضریب اصطکاک هنگام استفاده از نانوذرات کروی اکسید مس ۲۰ نانومتری به ترتیب تا ٪۷۶/۷۲ و ٪۱۷/۸۴ و این مقدار در مورد استفاده از نانواکسیدکروی تیتانیوم ۲۱ نانومتری ۵۰٪ و ٪۹/۴۸ می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

نانوذرات کروی اکسید مس ۲۰ نانومتری و نانوذرات کروی اکسید تیتانیوم ۲۱ نانومتری که در روغن موتور ۲۰w۵۰ بهران توزیع شده بودند، ویژگی‌های کاهش اصطکاک و سایش خوبی را نسبت به حالتی که روغن موتور بدون نانوذرات را داشتیم نشان دادند. این امر به دلیل نشستن نانوذرات کروی در خلل و فرج قطعه چدنی و پر کردن این فضاها می‌باشد که به کاهش ضریب اصطکاک و سایش ایجاد شده که توسط پین فولادی در حال سایش روی این سطح می‌باشد، منجر گردیده است. در واقع در این حالت مکانیسم حرکت دو سطح در حال سایش، از حالت لغزشی به غلتشی تغییر کرده است. نتایج تحت اعمال بار ۶۰ نیوتن در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴. نتایج مربوط به میزان کاهش سایش و ضریب اصطکاک.

	CuO (۲۰nm)	TiO_2 (۲۱nm)
میزان کاهش سایش (٪)	۷۶/۷۲	۵۰
میزان کاهش ضریب اصطکاک (٪)	۱۷/۸۴	۹/۴۸

همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود هنگامی که نانوذرات اکسید مس ۲۰ نانومتری اضافه شدند، ضریب اصطکاک ٪۱۷/۸۴ و میزان سایش ٪۷۲/۷۶ کاهش و در مورد نانواکسید کروی تیتانیوم ۲۱ نانومتری، ضریب اصطکاک ٪ ۹/۴۸ و میزان سایش ۵۰٪ در مقایسه با روغن موتور بدون نانوذرات، کاهش نشان دادند. همان‌طور که مشاهده شد به دلیل نرم‌تر بودن نانوذرات اکسید مس نسبت به نانوذرات اکسید تیتانیوم، میزان بهبود مقادیر سایش و ضریب اصطکاک، بیشتر شده است. در پایان می‌توان پیش‌بینی کرد که با استفاده از این نانوذرات در روغن موتور خودروها، می‌توان به مقدار قابل توجهی در مصرف سوخت آنها صرفه جویی نمود. همچنین این امر منجر به کاهش آلایندگی و کمک به محیط زیست نیز خواهد شد.

۵- تقدیر و تشکر

از جناب آقای دکتر محمدرضا واعظی جهت سنتز نانوذرات اکسید مس ۲۰ نانومتری و آقای مهندس کامران صائبی به دلیل ساخت و ارائه راهنمایی‌های دستگاه تست سایش و ضریب اصطکاک، تشکر و قدردانی می‌نماییم.

مراجع

1. Y.Y. Wu, W.C. Tsui, T.C. Liu, “Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives”, WEAR, 262 (2007) 819-825.
2. YU He-long, XU Yi, SHI Pei-jing, XU Bin-shi, WANG Xiao-li, LIU Qian, “Tribological properties and lubricating mechanisms of Cu nanoparticles in lubricants”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 18(2008) 636-641.
3. Atsushi Hirata, “Nanolubricants and Applications-Nanotechnology in solid lubrication”, 2005.
4. H.L. Yu , Y.Xu, P.J. Shi, B.S. Xu, X.L. Wang, Q. Liu, H.M. Wang, “Characterization and nano-mechanical properties of tribofilms using Cu nanoparticles as additives”, SURFACE & COATINGS TECHNOLOGY, 203 (2008) 28-34.
5. 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, 9 (2009) 124-127.
6. Ming Zhang, Xiaobo Wang, Weimin Liu, Xisheng Fu, “Performance and anti-wear mechanism of Cu nanoparticles as lubricating oil additives” , Industrial Lubrication and Tribology, 61/6 (2009) 311-318.
7. GU Cai-xiang, ZHU Guan-jun, LI Lei, TIAN Xiao-yu and ZHU Guang-yao, “Tribological effects of oxide based nanoparticles in ubricating oils”, Journal of .Marine Science and Application (2009) 8: 71-76.
8. Jagdish Narayan, Raleigh, NC, “Lubricant Having

Nanoparticles and Microparticles to Enhance Fuel Efficiency and Laser Synthesys Method to Create Dispersed Nanoparticles", US 7,994,105B2, 2011.
9. Himanshu C.Patel, G. M. Deheri., "Characteristics of Lubrication at nano scale on the performance of transversely rough slider bearing", ISSN 1392-1207, MECHANIKA, 2009.
10. Boris Zhmud, and Bogdan Pasalskiy, "Nanomaterials in Lubricants: An Industrial Perspective On Current Research", 2013.
11. Bagavathi D/O Krishnan, "Investigation OF Alumina Additive IN Lubricant Oil for Enhanced Engine Performance", 2012.
12. Yu, L. Y., Hao, C. C., Sui, L. N., and Cui, Z. L., "Journal of Materials Science and Engineering", 22 (6), 2004, 901.
13. Makowski, R., "Tribologia", 32 (4), 2001, 669.
14. Tarasov, S., Klubaev, A., Belyaev, S., Lerner, S. and Tepper, F., "Wear", 252, 2002, 63.
15. Tarasov, S. Y. and Kolubaev, A. V., "Wear", 231, 1999, 228.
16. Jiang, B. X., Chen, B. S.and Dong, J. X., "Lubrication Engineering", 132 (3), 1999, 50.
17. 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 9(2009) e124-e127.
18. Y. Choi, C. Lee, Y. Hwang, M.Park, J. Lee, C. Choi, M. of a surface modified TiO2 nanoparticle as an additive in liquid paraffin", Wear 213, (1997) 29–32.
19. W. Liu, S. Chen, "An investigation of the tribological behaviour of surface modified ZnS nanoparticles in liquid paraffin", Wear 238 (2000) 120–124.
20. S. Chen, W. Liu, "Characterization and antiwear ability of non-coated ZnS nanoparticles and DDP-coated ZnS nanoparticles", Mater. Res. Bull. 36 (2001) 137–143.
21. J. Zhou, Z. Wu, Z. Zhang, W. Liu, H. Dang, "Study on an antiwear and extreme pressure additive of surface coated LaF3 nanoparticles in liquid paraffin", Wear 249 (2001) 333–337.
22. S. Chen,W. Liu, "Oleic acid capped PbS nanoparticles: synthesis, characterization and tribological properties", Mater. Chem. Phys. 98 (2006) 183–189.
23. S. Qiu, Z. Zhou, J. Dong, G. Chen, Preparation of Ni nanoparticles and evaluation of their tribological performance as potential additives in oils, J. Tribol. 123 (2001) 441–443.
24. Behran Company, "Application Guide and specifications of Behran Oil company's products", 2010, Behran Oil Company, 46, Tehran, Iran.
25. Website, http://www.neunano.com
۲۶. گروه نانو مواد، پژوهشگاه مواد و انرژی