Experimental study of the effect of silica nanoparticles on thermal and tribological properties of industrial lubricants

Hasan Sabooei[1], Abbas Taghipoor[2] *

1. Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.
2. Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

*Corresponding author Email: taghipoor@iaud.ac.ir

Abstract

Lubrication is one of the most effective ways to decrease friction and excess heat generated in a mechanical system. Identifying the suitable additive is essential to improve lubrication properties by additives with features such as accessibility and higher quality performance. This study aims to investigate the effect of silicon dioxide (SiO2) nanoparticles with different concentrations as additives on the thermal and anti-wear properties of lubricants. For this purpose, nanoparticles with concentrations of 0.2, 0.4, and 0.5 wt% were combined with oil. To disperse the nanoparticles into the base fluid and achieve a stable nanofluid, Span 80 surfactant, ultrasonic bath, and High-speed mixer were used. The static stability of nanofluids was also visually investigated. The obtained results showed that the addition of nanoparticles to the oil does not cause any change in its state. Over time, no sedimentation and phase change was observed, which indicates the excellent stability of this nanofluid. In the last stage, wear tests, determination of friction coefficient, and thermal conductivity coefficient was performed on the samples. According to the results, the lowest disc wear was related to the lubricating mixture with a concentration of 0.5% by weight. The weight loss of the discs due to wear for this mixture was 60.76%, the reduction of the coefficient of friction was 15.07%, and the increase of the thermal conductivity was 2.4% compared to the base oil.

Keywords: Wear, Thermal conductivity, Lubrication, Silicon dioxide nanoparticles.

Introduction

Friction in various mechanical systems is a significant cause of energy loss. Mechanical friction forces in the engine include hydrodynamic stresses in the oil layer and metal-to-metal contact. Improving lubrication properties is an important factor in saving the overall energy given to a mechanical system. Lubrication is one of the most effective ways to reduce friction

and excess heat generated in a mechanical system. The base lubricant creates a layer of oil on the friction surfaces, separating them from each other and removing excess heat and abrasion particles. The use of various additives with unique properties to enhance the physical, chemical, and mechanical properties of base lubricants is one way. The properties of lubricants change by adding special chemical additives to the base oil [1]. The most important advantage of using nanomaterials in lubricants is their small size. Also, choosing a suitable lubricant has a remarkable effect on the performance of the machines. Nano-additives are not somewhat sensitive to temperature compared to conventional additives, and their frictional reactions are minimal [2]. Improving the properties of lubricants using solid nanoparticles effectively is currently a significant research process [3]. In recent years, due to the inefficiency of traditional and conventional lubricants in reducing their friction and low quality, and on the other hand, with the advent and expansion of nanotechnology, a new generation of nano-lubricants has emerged. Nano-lubricants are a homogeneous mixture of liquid-solid that are produced from a combination of solid metal and non-metallic elements with a diameter of about 100 nm by adding base oil. According to many researchers, nanocomposites, due to their very high specific surface area, can increase efficiency and reduce costs by improving anti-wear properties and significantly reducing friction [4]. In 2018, Azman et al. Conducted a study entitled "Investigation of the tribological properties of copper oxide in lubrication with the help of a pin abrasion device on a disk. In this study, experiments were performed at a sliding velocity of 0.2 m / s, force N 9.8, contact pressure 0.93 GPa for 60 minutes. The oil used was also SAE40 oil. The results showed decreased friction coefficient and wear rate of 56% and 48%, respectively. The presence of nanoparticles reduced the roughness of the pin plate by 43.7% [5]. In 2019, Parasa et al. Conducted a study entitled The effect of copper oxide and alumina nanoparticles as an additive on the tribological properties of oils with a complete (synthesized) formula. Their research used two types of synthesized oils, GL-4 (SAE 75W-85) and poly-alpha olefin oil (PAO 8), as base oil. Copper oxide and alumina nanoparticles with concentrations of 0.5, 0.1, and 2 wt% were used. The test results showed more than 18% reduction in friction and 14% abrasion by combining 2% by weight of copper nano oxides in PAO 8 oil. The tolerable load capacity for GL-4 and PAO8 oils was increased by adding 14% and 273%, respectively, by adding copper oxide nanoparticles. Although alumina nanoparticles were not very effective, they showed an increase of 18% and 12% for GL-4 and PAO 8 oils, respectively [6]. In a 2020 study, Ratsugi et al. Investigated the effect of silica nanoparticles on the tribological properties of Jatorfa oil. In this study, silica nanoparticles with weight concentrations of 0.2, 0.6, and 1% and tribological properties were investigated using a pin abrasion device on a disk. Different loads were used in this test. The test results showed friction reduction for weight concentrations of 0.2 and 0.6 wt% [7].

Due to the necessity and importance of using nanoparticles in lubricants and due to the little research done on the use of silicon dioxide (silica) nanoparticles in this study using these nanoparticles with concentrations of 0.2, 0.4, and 0.5% by weight in combination with a base oil (Transcal N oil), its wear properties and thermal conductivity were investigated.

materials and methods

In this study, Transcal N oil, which is made by the British company, was used as the base oil. This oil is used in oil laboratory devices to transfer heat and prevent wear of parts. Also, Silicon dioxide nanoparticles have been used due to their dimensional stability and environmental compatibility. Nanoparticles were combined with concentrations of 0.2, 0.4, and 0.5 wt% with oil. To disperse the nanoparticles into the base fluid and achieve a stable nanofluid, Span 80 surfactant, ultrasonic bath with a power of 500 watts, and a High-speed mixer were used in environment temperature. The static stability of nanofluids was also visually investigated. For this purpose, all the samples were poured into completely clear glass containers and kept in a completely static environment for three months. The trend of changes in them was observed and recorded periodically and continuously. The obtained results showed that the addition of nanoparticles to the oil does not cause any change in its state. Over time, no sedimentation and phase change was observed, which indicates the excellent stability of this nanofluid. The most important feature for selecting these nanomaterials is related to their spherical structure. Nanoparticles with spherical structures show better tribological properties and easily penetrate each other. Nanoparticles, by penetrating the surface's pores and filling the roughness due to their small size and high specific surface area, reduce wear, friction, energy consumption, and temperature production. Figure 1and 2 shows the TEM, and SEM images of the silicon dioxide applied nanoparticles in this study, respectively.

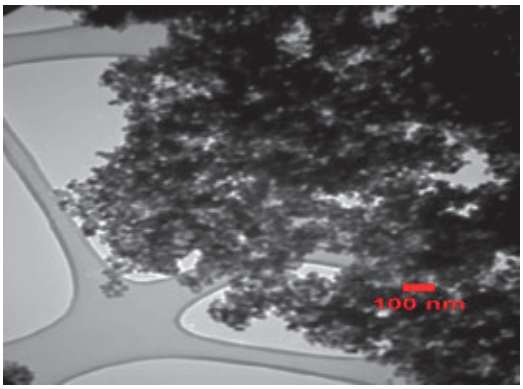


Figure 1: TEM image of silicon dioxidenanoparticles [8]

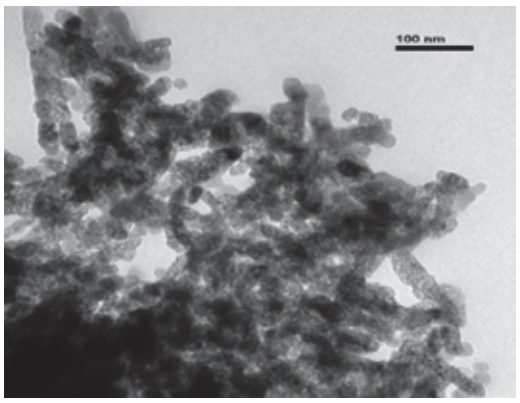


Figure 2: SEM image of silicon dioxide nanoparticles [8]

The concentration of nanoparticles has a significant effect on the performance of nano-lubricants so that concentrations above 0.5% by weight cause the deposition of particles on the parts, and larger particles such as impurities cause scratches on the surfaces and increase friction. Also, at very low concentrations and less than 0.5 wt%, nanoparticles can not completely cover the friction surfaces and do not perform well. Thus, the concentration used should be optimal, which in most previous studies, the concentration in the range of 0.1 to 0.5% by weight has been expressed as the optimal concentration of nanoparticles. In this study, surfactant and nanoparticles were added to the base oil in a ratio of 1: 1. In the last stage, wear tests, determination of friction coefficient, and thermal conductivity coefficient were performed on the samples.

Conclusions

According to the results, the lowest amount of disc wear was related to the lubricating mixture with a concentration of 0.5% by weight. The weight loss of the discs due to wear for this mixture was 60.76%, the reduction of the coefficient of friction was 15.07%, and the increase of the thermal conductivity was 2.4% compared to the base oil.

References

1- Ettefaghi, A., Ahmadi, H., Rashidi, A., Mohtasbi, S., Soltani, R., (2011), The effect of nanoparticles on the properties of engine oil and its performance in reducing wear, Journal of Motor Research, 7(24), pp 3-12. In farsi.

2- Farzin Nejad, N., Hassani Rad, J., (2014), A Review of the Application of Nanotechnology in Lubricants, Tehran Petroleum Industry Research Institute, Extension Scientific Quarterly, 9(48), pp 18-35. In farsi.

3- Zhanga, X., Lia, Ch., Y. Zhanga, Y., Wanga, Y., Lia, B., Yanga, M., Guoa, Sh., Liua, G., d Zhang. N., (2017), Lubricating property of MQL grinding of Al2O3/SiC mixed nanofluid with different particle sizes and microtopography analysis bycross correlation, Precision Engineering, 47, pp 532-545.

4- Zare Detsari, B., Abbaszadeh, M., Davoodi, B., (2015), Improving lubrication in the deep drawing process using nanoparticle additives, Modares Mechanical Engineering Monthly, 15(1), pp 317- 322. In farsi.

5-Azman, N.F., Samion, S., Hakim Mat Sot, M.N., (2018), Investigation of tribological properties of CuO/palm oil nanolubricant using pin-on-disc tribotester, Green Materials 6(1), pp 30–37.

6- Parasa, L.P., Maldonado-Cortesa, D., V. Kharissovab, O., Saldivara, K.I., Contrerasa, L., Arquietab, P., Castañosa, B., (2019), Novel carbon nanotori additives for lubricants with superior anti-wear and extreme pressure properties, Tribology International, 131, pp 488–495.

7-Rastogi, P.M., Kumar, R., Kumar, N., (2020), Effect of SiO2 nanoparticles on the tribological characteristics of jatropha oil, Materials Today: Proceedings, Available online.

8- Nanomaterils Pioneers Company, Third unit. No51.Sadaf No.5.Vakil Abad Blv. Mashhad City, Khorasan Province, Iran.

بررسی تجربی تأثیر نانو ذرات سیلیکا بر خواص حرارتی و تریبولوژیکی روان کارهای صنعتی

حسن صبوئی[۱] ، عباس تقی پور[۱]*

۱. گروه مهندسی مکانیک ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران.

نویسنده مسئول: taghipoor@iaud.ac.ir

چکیده

روان‌کاری یکی از راه‌های خیلی مؤثر در کاهش اصطکاک و کم کردن گرمای اضافی تولیدشده در یک سامانه مکانیکی است. شناسایی افزودنی مناسب برای بهبود خواص روان‌کاری توسط افزودنی‌هایی که دارای ویژگی‌هایی نظیر قابلیت دسترسی و کارایی با کیفیت بالاتری هستند امری مهم است. هدف این پژوهش بررسی تأثیر نانو ذرات سیلیکات (SiO_2) با غلظت‌های مختلف به‌عنوان افزودنی بر خواص حرارتی و ضد سایشی روان‌کار می‌باشد. بدین منظور نانو ذرات با غلظت‌های ۰/۲ و ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی با روغن Transcal N که در دستگاه‌های آزمایشگاهی نفت استفاده می‌شود، ترکیب گردید. برای پراکنده کردن نانو ذرات درون سیال پایه و دستیابی به یک نانو سیال پایدار از سورفکتانت Span 80، حمام آلتراسونیک و همزن دور بالا استفاده شد. پایداری استاتیک نانو سیالات ساخته‌شده نیز به‌صورت دیداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که افزودن نانو ذرات به روغن هیچ‌گونه تغییر حالتی در آن ایجاد نمی‌کند و با گذشت زمان هیچ‌گونه رسوب و تغییر فازی مشاهده نشد که بیانگر پایداری بسیار خوب این نانو سیال می‌باشد. در مرحله آخر آزمون‌های سایش، تعیین ضریب اصطکاک و ضریب هدایت حرارتی بر روی نمونه‌ها انجام گردید. با توجه به نتایج حاصل کم‌ترین میزان سایش دیسک‌ها مربوط به مخلوط روان‌کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی بود. میزان کاهش وزن دیسک‌ها در اثر سایش برای این مخلوط ٪۶۰/۷۶، کاهش ضریب اصطکاک ٪۱۵/۰۷ و افزایش ضریب هدایت حرارتی ٪۲/۴ در مقایسه با روغن پایه به دست آمد.

کلمات کلیدی: **سایش، ضریب هدایت حرارتی، روان‌کاری، نانو ذرات دی‌اکسید سیلیسیم.**

مقدمه

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 می‌باشد. اصطکاک مکانیکی، شامل اصطکاک موجود در اجزای متحرک داخلی از قبیل میل‌لنگ، سمبه، حلقه‌ها و دریچه‌ها می‌باشد. بهبود خواص روان‌کاری، یک عامل بسیار مهم برای صرفه‌جویی در انرژی کلی داده‌شده به یک سامانه مکانیکی است. روان‌کاری یکی از راه‌های خیلی مؤثر در کاهش اصطکاک و کم کردن گرمای اضافی تولیدشده در یک سامانه

مکانیکی است. روان‌کار پایه با ایجاد یک لایه روغن بر روی سطوح اصطکاکی، آن‌ها را از یکدیگر جدا نموده و گرمای اضافی و ذرات سایشی ایجادشده را برطرف می‌نماید. اخیراً تحقیقات بسیاری، روش‌های مختلفی را به‌منظور بهبود خواص روان کاری روغن پایه گسترش داده‌اند. استفاده از مواد افزودنی مختلف با خواص منحصربه‌فرد برای تقویت خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی روانکارهای پایه، یکی از این راه‌ها می‌باشد. در واقع خواص روان‌کارها با اضافه‌کردن افزودنی‌های شیمیایی مخصوص به روغن پایه تغییر می‌کند[۱]. مهم‌ترین مزیت استفاده از نانو مواد در روان‌کارها، اندازه کوچک آن‌ها می‌باشد. هم‌چنین انتخاب روان‌کار مناسب تأثیر ویژه‌ای بر عملکرد ماشین‌ها دارد. نانو افزودنی‌ها نسبت به افزودنی‌های معمول تا حدودی به دما حساس نیستند و واکنش‌های اصطکاکی در آن‌ها بسیار محدود می‌باشد[۲]. بهبود خواص روان‌کننده‌ها با استفاده از نانو ذرات جامد به‌طور مؤثر در حال حاضر یک روند اصلی پژوهش است[۳]. در سال‌های اخیر به دلیل عدم کارایی کافی روان کننده‌های سنتی و متداول در کاهش اصطکاک و کیفیت پایین آن‌ها و از طرف دیگر با ظهور و گسترش روزافزون فناوری نانو موجب پیدایش نسل جدیدی از نانو روان‌کارها شده است. اساساً نانو روان‌کارها مخلوط همگنی از مایع –جامد می‌باشند که از ترکیب عناصر فلزی و غیرفلزی جامد با قطر حدوداً ۱۰۰ نانومتر با افزودن به روغن پایه تولید می‌شوند. مطابق با گزارش بسیاری از پژوهشگران، ترکیبات نانو به دلیل مساحت سطح ویژه بسیار بالا می‌توانند با بهبود خواص ضد سایش و کاهش اصطکاک قابل‌ملاحظه، باعث افزایش راندمان و کاهش هزینه‌ها شوند[۴]. در پژوهشی خواص تریبولوژیکی گریس با کمک نانو ذرات SiO_2 / TiO_2 بررسی شد. نتایج نشان داد که ظرفیت حمل بار تا ۴۰٪ در مقایسه با وضعیت بدون استفاده از نانو ذرات افزایش یافته است. نرخ سایش با ترکیب نانو ذرات TiO_2 به مواد مرکب اپوکسی تحت فشار بالا و سرعت بالا کاهش یافت. نانو ذرات به دلیل اندازه کوچک آن‌ها (کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر) قابلیت هدایت حرارتی بالاتری نسبت به مایعات دارند. آزمون تجربی بر روی موتور نشان داد که بافت سطحی از رینگ پیستون می‌تواند مصرف سوخت موتور را تا ۴٪ کاهش دهد. بیش از ۶۰٪ از قدرت عرضه‌شده به یک موتور به‌صورت گرما از طریق رد و بدل در سطوح فرسوده و اگزوز با درجه حرارت بالا مصرف می‌شود [۵]. آزمن و همکاران [۶] پژوهشی تحت عنوان بررسی خواص تریبولوژیکی اکسید مس در روان‌کار با کمک دستگاه سایش پین روی دیسک انجام دادند. در این پژوهش آزمایش‌ها در سرعت لغزشی ۰/۲ m/s، نیروی ۹/۸ N، فشار تماسی ۰/۹۳ GPa در مدت زمان ۶۰ دقیقه انجام شد. روغن مورد استفاده نیز روغن SAE۴۰ بود. نتایج کاهش ضریب اصکاک و میزان سایش را به‌ترتیب ٪۵۶ و ٪۴۸ نشان داد. وجود نانوذرات میزان زبری سح پین را به اندازه‌ی ٪۴۳/۷ کاهش داد. پاراسا و همکاران [۷] پژوهشی تحت عنوان تأثیر نانو ذرات اکسید مس و آلومینا به‌عنوان افزودنی بر روی خواص تریبولوژیکی روغن‌ها با فرمول کامل (سنتزشده) انجام دادند. آن‌ها در پژوهش خود از دو نوع روغن سنتز شده GL-۴ (۷۵W SAE-۸۵) و روغن پلی آلفا الفین(PAO ۸) به‌عنوان روغن پایه استفاده کردند. نانو ذرات اکسید مس و آلومینا با غلظت‌های ۰/۵، ۰/۱ و ۲ درصد وزنی استفاده شد. نتایج آزمون کاهش بیش از ٪۱۸ اصطکاک و ٪۱۴سایش با ترکیب ۲ درصد وزنی نانو اکسید مس در روغن PAO ۸ را نشان داد. ظرفیت بار قابل‌تحمل برای روغن GL-۴ و PAO۸ با اضافه نمودن نانوذره‌ی اکسید مس به ترتیب ٪۱۴ و ٪۲۷۳ افزایش یافت. هرچند نانوذره‌ی آلومینا چندان مؤثر نبود ولی افزایشی معادل ٪۱۸ و ٪۱۲ را به ترتیب برای روغنGL-۴ و PAO ۸ نشان داد. راتسوگی و همکاران [۸] در پژوهشی اثر نانو ذرات سیلیکا را بر روی خواص تریبولوژیکی روغن جاتورفا بررسی کردند. در این پژوهش نانو ذرات سیلیکا با غلظت های وزنی ۰/۲، ۰/۶ و ۱ درصد و بررسی خواص تریبولوژیکی با کمک دستگاه سایش پین روی دیسک انجام شد. در این آزمون از بارگذاری‌های مختلف استفاده شد. نتایج آزمون کاهش اصطکاک را برای غلظت‌های وزنی ۰/۲ و ۰/۶ درصد وزنی نشان داد.

در طول چند دهه گذشته، پژوهش در مورد مواد تریبولوژیکی به‌خصوص در توسعه مواد دارای اصطکاک

کـم و روان کننده‌هـای کارآمدتـر کـه ممکـن اسـت قـادر بـه کاهش مصـرف سـوخت، افزایش بهـره‌وری انـرژی و در نتیجـه، کاهـش گازهـای گلخانه‌ای باشـند متمرکز شـده اسـت. ظهور فنـاوری نانو اجازه می‌دهـد تا با ترکیـب نانو مواد جدیـد بـه خـواص تریبولوژیکی خوب دسـت پیـدا کرد. فیلم تشکیل‌شـده تریبولوژیکی بر روی سـطح فـولاد می‌تواند نانـو ذرات را در شـیارها و خلـل و فـرج فـولاد محاصره کنـد. این نانو ذرات بـه دام افتاده می‌توانند روان کاری مناسـبی را در منطقـه تمـاس بیـن نانـو روان‌کار و فـولاد فراهـم کننـد[۹]. بـا توجه به ضـرورت و اهمیـت کاربرد نانـو ذرات در روان‌کارهـا و بـا توجـه بـه پژوهش‌هـای انـدک انجام‌شـده در زمینه کاربرد نانو ذرات دی‌اکسـید سیلیسـیم (سـیلیکا) در ایـن پژوهـش بـا اسـتفاده از این نانو ذرات بـا غلظت‌هـای ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی در ترکیب بـا روغن پایه (روغن Transcal N) خـواص سـایش و ضریـب هدایـت حرارتی آن مورد بررسـی قـرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات روغن پایه

در این پژوهش، از روغن Transcal N که سـاخت شـرکت BP[1] کشـور انگلیس اسـت و جهت انتقال حرارت و جلوگیـری از سـایش قطعـات در دسـتگاه‌های آزمایشـگاهی نفـت اسـتفاده می‌شـود، به‌عنـوان روغـن پایه اسـتفاده شـد. مشـخصات فیزیکـی ایـن روغـن در جدول ۱ ذکر گردیده اسـت. بـا توجه به اینکـه این روغن جـزو روغن‌های پرمصـرف می‌باشـد نیـاز به افزایش طـول عمر و همچنین بهبـود خـواص روان کاری آن دارد.

جدول ۱: مشخصات روغن مورد استفاده در پژوهش[۱۰]

خواص فیزیکی	مقدار
گرانروی سینماتیکی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (s/mm^2)	۳۱
چگالی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد (kg/m^3)	۸۷۵
نقطه ریزش (درجه سانتی گراد)	-۱۲
نقطه اشتعال (درجه سانتی گراد)	+۲۴۳

مشخصات نانو مواد

در ایـن پژوهـش از نانـو ذرات دی‌اکسـید سیلیسـیم بـه دلیـل پایـداری ابعـادی و سـازگاری آن با محیط زیسـت، استفاده‌شـده اسـت. مشـخصات فنـی نانـو ذرات دی‌اکسـید سیلیسـیم در جدول ۲ ذکر شـده اسـت.

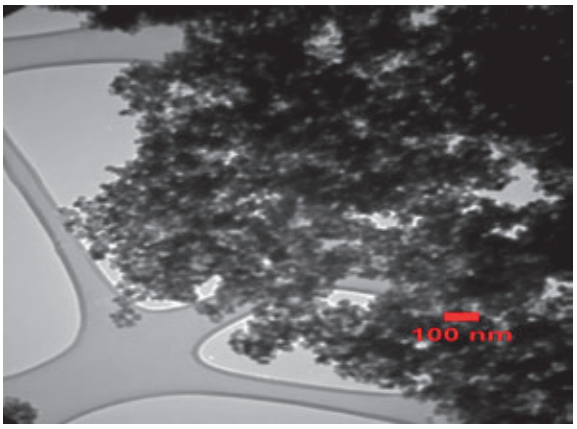
جدول ۲: مشخصات نانو ذرات دی‌اکسید سیلیسیم[۱۱]

اندازه قطر (نانومتر)	۱۰-۲۵
سطح ویژه (gr/m^2)	۲۰۰-۲۴۰
شکل هندسی پودر	کروی
رنگ	سفید
چگالی (gr/cm^3)	۳/۹

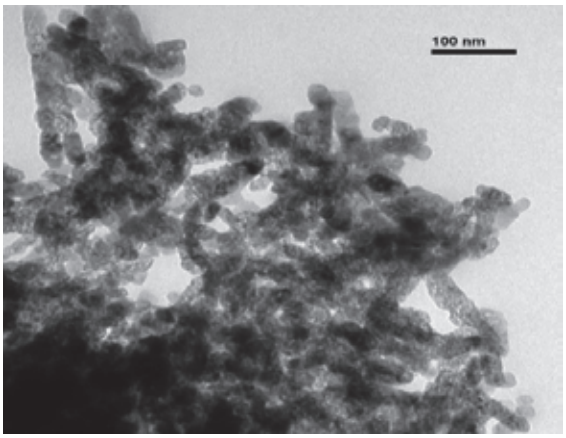
شـکل ۱ تصویر TEM[2] و شـکل ۲ تصویر SEM[3] نانو ذرات دی‌اکسـید سیلیسـیم مورداسـتفاده در این پژوهش

1.-British Petroleum
2.- Transmission electron microscopy
3.- Scanning electron microscope

را نشـان می‌دهـد. مهم‌تریـن ویژگـی بـرای انتخـاب ایـن نانـو مـواد سـاختار کـروی آن‌ها می‌باشـد زیـرا نانـو ذرات با سـاختار کـروی خـواص تریبولوژیکـی بهتـری از خـود نشـان می‌دهنـد و بـا نفـوذ بـه خلل و فـرج سـطوح و پرکردن ناهمواری‌هـا بـه دلیـل کوچکـی و سـطح ویـژه زیـاد به‌سـادگی روی‌هـم می‌لغزنـد و باعث کاهـش سـایش، اصطکاک و کاهـش انـرژی مصرفـی و تولیـد دمـا می‌شـوند. غلظـت نانـو ذرات تأثیـر زیـادی در عملکرد نانـو روان کارهـا دارد، به‌گونـه‌ای کـه غلظت‌هـای بـالای ۰/۵ درصـد وزنـی موجـب رسـوب ذرات بـر روی قطعـات شـده و ذرات بزرگ‌تـر هماننـد ناخالصی‌هـا موجـب ایجاد خراش بر روی سـطوح شـده و اصطکاک افزایـش می‌یابد. همچنیـن در غلظت‌های خیلـی پاییـن و کم‌تـر از ۰/۵ درصـد وزنـی، نانـو ذرات نمی‌توانند سـطوح اصطکاکـی را به‌طور کامل پوشـش بدهند و درنتیجـه عملکـرد خوبـی ندارنـد. بنابرایـن غلظت مورداسـتفاده باید در حد بهینه باشـد کـه در اکثـر پژوهش‌های قبلی، غلظـت در محـدوده ۰/۱ تـا ۰/۵ درصـد وزنـی به‌عنـوان غلظت بهینه نانو ذرات بیان شـده اسـت [۱۲]. بـه همین خاطر در ایـن پژوهـش جهـت بررسـی اثـر نانـو ذرات از غلظت‌هـای ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد وزنی اسـتفاده شـد.



شکل ۱: تصویر MET نانو ذرات دی‌اکسید سیلیسیم [۱۱]



شکل ۲: تصویر MES از نانو ذرات دی‌اکسید سیلیسیم[۱۱]

روش ساخت نانو سیال‌ها و بررسی پایداری آن

بـه دلیـل اهمیـت موضـوع پراکندگـی و پایـداری نانـو ذرات در سـیال پایـه برای روغن‌هـای روان‌کار، سـاخت و دسـتیابی بـه یک نانو سـیال پایدار و مناسـب بـرای کاربردهـای صنعتی بزرگ‌ترین چالش اسـت. بـرای پراکنده کردن

نانـو ذرات درون سـیال پایـه و دسـتیابی بـه یک نانو سـیال پایدار از سـورفکتانت Span ۸۰، همـزن دور بالا و حمام آلتراسـونیک بـا تـوان ۵۰۰ وات در دمـای محیط اسـتفاده شـد. نمونه‌ها بـرای مدت‌زمـان ۳۰ دقیقه تحـت همزن دور بـالا و امـواج آلتراسـونیک قـرار گرفتنـد. امـواج حمـام آلتراسـونیک می‌تواننـد پیوندهـای بیـن تکه‌های کلوخه شـده را بشـکنند و باعـث افزایـش کیفیـت محلـول شـوند. تصویـر همـزن دور بـالا و حمـام آلتراسـونیک مورداسـتفاده در ایـن پژوهـش بـه ترتیـب در شـکل‌های ۳ و ۴ نشـان داده شـده اسـت. در ایـن پژوهش، سـورفکتانت و نانـو ذرات با نسـبت ۱:۱ بـه روغـن پایـه افزوده شـد. بدین منظور بـرای توزین نمونه‌هـا از تـرازوی دیجیتال آزمایشـگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اسـتفاده شـد (شکل ۵).

شکل۳: هم زن دور بالا

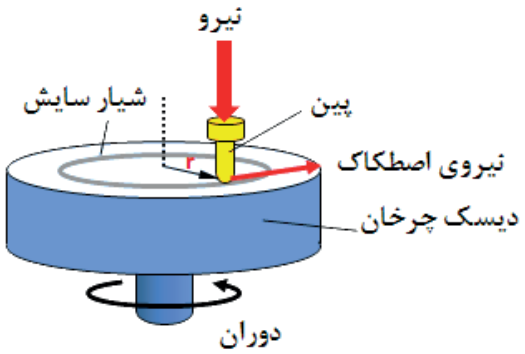
شکل ٤:حمام آلتراسونیک مورداستفاده در این پژوهش

شکل ۵ : ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱۰۰۰ گرم

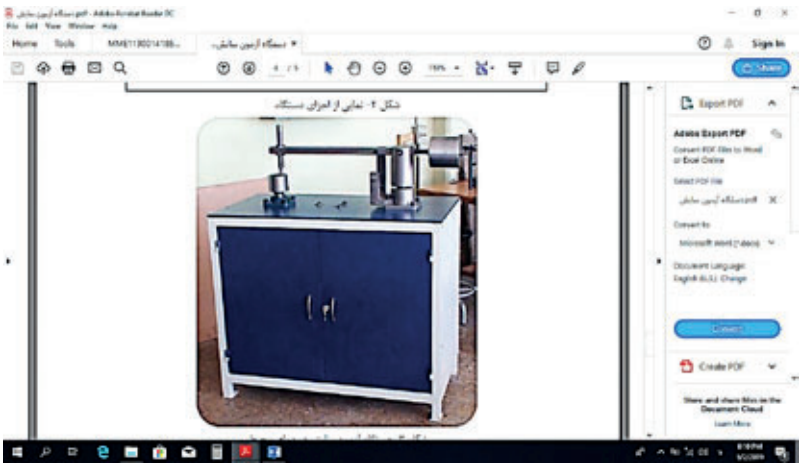
پایـداری اسـتاتیک نانـو سـیالات ساخته‌شـده به‌صـورت دیداری مورد بررسـی قـرار گرفت. برای ایـن منظور همه نمونه‌هـای ساخته‌شـده درون ظـروف شیشـه‌ای کامـلاً شـفاف ریختـه شـد و بـرای مدت‌زمـان ۳ مـاه در یـک محیط کاملاً سـاکن نگهداری شـدند. روند تغییرات ایجادشـده درآن‌ها به‌صورت دوره‌ای و پیوسـته مشـاهده و ثبت گردید. نتایـج به‌دسـت‌آمده نشـان داد کـه افـزودن نانـو ذرات دی‌اکسـید سیلیسـیم بـه روغـن هیچ‌گونـه تغییـر حالتـی در آن ایجـاد نکـرد. از طـرف دیگـر بـا گذشـت زمـان هیچ‌گونـه رسـوب و تغییـر فازی مشـاهده نشـد کـه بیانگـر پایداری بسـیار خـوب این نانو سـیال می‌باشـد.

آزمون سایش پین روی دیسک

دستگاه آزمون سایش، دستگاهی است که برای پیش‌بینی رفتار تریبولوژیکی مواد و آلیاژهای مهندسی در شرایط عملیاتی به کار می‌رود. این تجهیز آزمایشگاهی، سایش و ضریب اصطکاک نمونه را در اثر تماس چرخشی بین پین و نمونه، در محیط‌های خشک، سیال روان‌کار و دمای بالا محاسبه و ذخیره می‌نماید(شکل۶). تصویر دستگاه آزمون سایش پین روی دیسک مورداستفاده در پژوهش در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶: تصویر محل قرارگیری پین و نمونه سایش، مسیر سایش، جهت چرخش



شکل ۷: دستگاه آزمون سایش پین روی دیسک

این آزمون با استفاده از دستگاه سایش پین روی دیسک در دمای محیط، سرعت خطی دیسک ۰/۱۵ m/s، نیروی وارد بر پین N90 انجام شد. جنس پین‌ها از فولاد بلبرینگ و دیسک‌ها CK55 بود. مسافت در نظر گرفته‌شده برای پیمودن پین روی دیسک نیز ۱۱۳۰ متر در نظر گرفته شد. قبل از انجام آزمون نمونه دیسک‌ها با ترازوی دیجیتال وزن و پس از اتمام آزمون نیز نمونه‌ها با استون و الکل شسته شد و بعد از خشک نمودن نمونه‌ها دوباره توزین گردید. بر اساس اختلاف وزن حاصل، میزان سایش دیسک‌ها مشخص شد. نمودار تغییرات ضریب اصطکاک برحسب مسافت پیموده شده نیز توسط نرم‌افزار دستگاه ثبت گردید.

آزمون تعیین ضریب هدایت حرارتی

برای انجام آزمون رسانایی گرمایی از یک دستگاه با نام تجاری KD2-Pro ساخت شرکت Decagon، استفاده گردید. این دستگاه یک وسیله‌ی پرتابل است که بر اساس استاندارد مرجع EN55022:1987 از روش

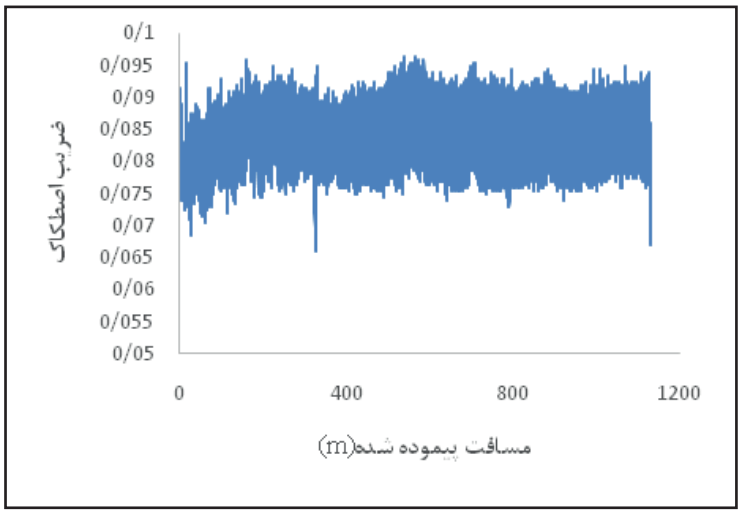
منبع گرمایی خط گذرا برای اندازه‌گیری رسانایی گرمایی استفاده می‌کند(شکل ۸).

شکل۸ : دستگاه تعیین رسانایی گرمایی

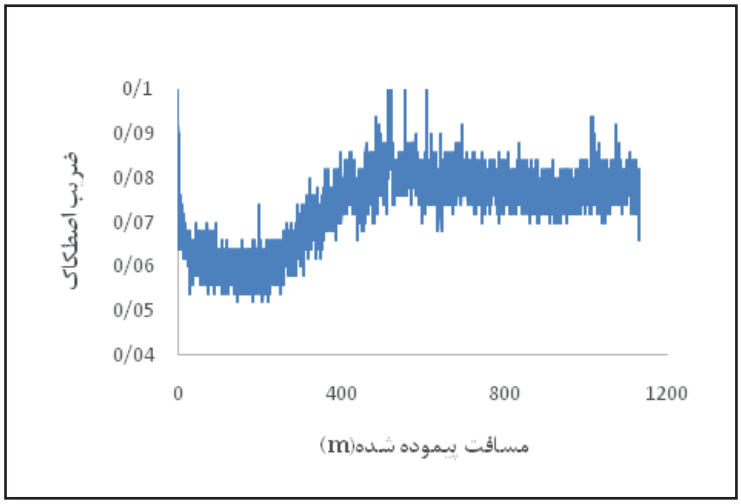
نتایج و بحث

نتایج آزمون سایش

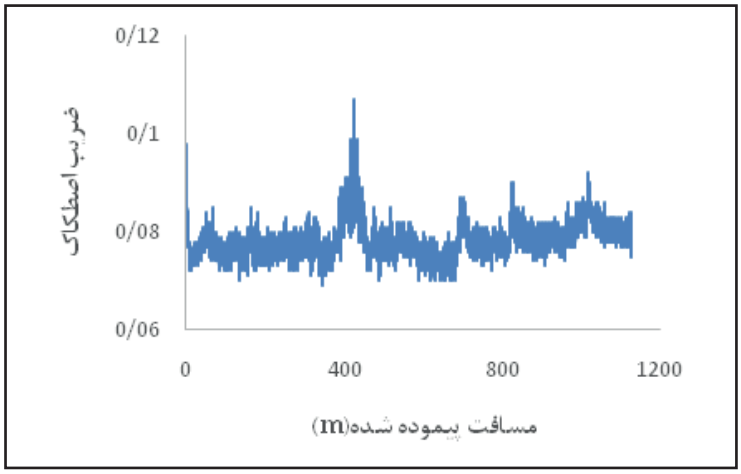
تغییرات ضریب اصطکاک برای چهار مخلوط سیال شامل روان‌کار پایه و نانو روان‌کارها با درصدهای وزنی ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۵ به ترتیب در شکل‌های ۹ تا ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده محدوده تغییرات ضریب اصطکاک برای روغن پایه بین ۰/۰۰۵۵ تا ۰/۰۹۶۵ و میانگین این تغییرات ۰/۰۸۳۶، برای روان‌کار با غلظت ۰/۲ درصد وزنی بین ۰/۰۵۲ تا ۰/۱۱۸ و میانگین ۰/۰۷۳۶، برای روان‌کار با غلظت ۰/۴ درصد وزنی بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۱۰۷ و میانگین ۰/۰۷۸ و برای روان‌کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی بین ۰/۰۰۷ تا ۰/۱۰۹ و با میانگین ۰/۰۷۱، ثبت شد. بر اساس نتایج برای مخلوط روان‌کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی کم‌ترین ضریب اصطکاک حاصل شد.



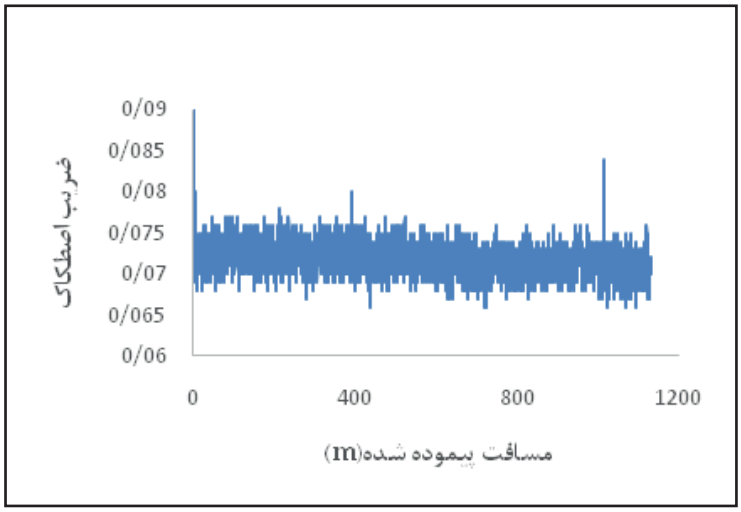
شکل ۹ : تغییرات ضریب اصطکاک روغن پایه



شکل۱۰: تغییرات ضریب اصطکاک مخلوط نانو روان کار با غلظت۰/۲ درصد وزنی



شکل۱۱: تغییرات ضریب اصطکاک مخلوط نانو روان کار با غلظت۰/٤ درصد وزنی

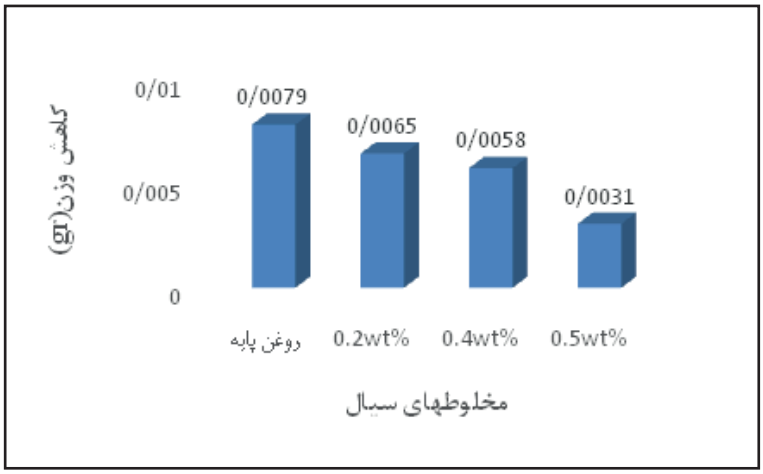


شکل۱۲: تغییرات ضریب اصطکاک مخلوط نانو روان کار با غلظت۰/۵ درصد وزنی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون، میانگین تغییرات ضریب اصطکاک برای نانو روان‌کارها با غلظت ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی نسبت به روغن پایه به ترتیب ۱۱/۹۶، ۶/۷۰ و ٪۱۵/۰۷ کاهش را نشان داد. نانو روان کار با غلظت ۰/۴ درصد وزنی کاهش کم‌تری نسبت به نمونه‌های ۰/۲ و ۰/۵ درصد وزنی نشان داد، علت آن می‌تواند ترکیب ناهمگن نانو ذرات جامد در روان کار باشد که ذرات جامد به‌عنوان جسم ساینده بین سطوح تماسی عمل کرده و سبب افزایش ضریب اصطکاک شده است. نانو روان کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی دارای بیشترین کاهش ضریب اصطکاک نسبت به روغن پایه بود. این نتایج با یافته‌های[۱۳] مطابقت داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که نانو ذرات اکسید زیرکونیم می‌توانند با پر کردن خلل و فرج باعث کاهش اصطکاک شوند. نتایج پژوهش[۱۴] نشان داد که نانو ذرات الماس مواد افزودنی هستند که باعث بهبود خواص مکانیکی، حرارتی و تریبولوژیکی می‌شوند. بهترین غلظت در این پژوهش ۰/۰۵ درصد وزنی بود که باعث بهبود ضریب اصطکاک و کاهش آن تا ۲۳ درصد شد.

کاهش وزن دیسک‌های سائیده شده

بررسی‌های انجام‌شده بر روی وزن دیسک‌های استفاده شده در این پژوهش بعد از انجام آزمون سایش نشان داد که مخلوط نانو روان کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی حاوی نانو ذرات دی‌اکسید سیلیسیم کم‌ترین کاهش وزن را نسبت به دیگر مخلوط‌ها داشته است. این کاهش وزن ۰/۰۰۳۱ گرم بود که نشان از عملکرد خوب این مخلوط نسبت به دیگر مخلوط‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج این آزمون روغن پایه بیشترین کاهش وزن را داشت. میزان کاهش وزن دیسک‌ها در اثر سایش برای مخلوط‌های نانو روان کار با غلظت ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی نسبت به روغن پایه به ترتیب ٪۱۷/۷۲، ٪۲۶/۵۸ و ٪۶۰/۷۶ کم‌تر بود. شکل ۱۳ تغییرات کاهش وزن برای هر چهار نمونه از مخلوط روان کار را نشان می‌دهد.



شکل ۳۱: کاهش وزن دیسک‌های سائیده شده

نتایج آزمون رسانایی گرمایی

افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی با افزایش میزان نانو ذرات در سیال، مربوط به افزایش سطح ویژه نانو ذرات می‌باشد که فاصله ذرات در سیال کم می‌شود و امکان قرارگیری اتم‌ها در کنار هم و تشکیل ساختار خوشه‌ای فراهم می‌شود، این ساختار همانند یک مبدل لوله و پوسته عمل می‌کند که در آن نانو ذرات حکم لوله و سیال روان‌کار مثل پوسته تبادل حرارت می‌کنند، به‌عبارت‌دیگر ضریب انتقال حرارت را افزایش می‌دهد. در این پژوهش به دلیل اینکه نانو روان کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی دارای بهترین ضریب اصطکاک بود، برای

تعیین میزان ضریب انتقال حرارت آن به همراه روغن پایه مورد آزمایش قرار گرفت که در جدول (۳) مقدار ضریب انتقال حرارت (k) مشخص شده است. این ضریب نشان‌دهنده انتقال حرارت بیشتر در نانو روان‌کار است که باعث انتقال حرارت بیشتر می‌شود. اتفاقی و همکاران در پژوهش خود گزارش نمودند که ضریب هدایت حرارتی نانو روان‌کارها با افزایش غلظت نانو ذرات اکسید مس افزایش یافت. این بهبود برای نانو روان کار با غلظت ۰/۱ درصد وزنی نسبت به روغن پایه ٪۳ بود[۱]. نتایج گزارش]۱۵[که در پژوهش خود از نانو ذرات مس و اکسید مس با غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۰۵ درصد وزنی در ترکیب با روغن پایه SAE20W40 استفاده نمودند، حاکی از افزایش ضریب هدایت حرارتی نانو سیال‌ها به میزان ٪۴/۲ و ٪۲/۱ به ترتیب برای مس و اکسید مس دارد.

جدول ۳: مقدار ضریب انتقال حرارت

ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)K	درصد وزنی (wt٪)
۰/۱۲۳	۰
۰/۱۲۶	۰/۵

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تجربی تأثیر نانو ذرات دی‌اکسید سیلیسیم بر رفتار تریبولوژیکی روغن Transcal N پرداخته شد. نانو ذرات دی‌اکسید سیلیسیم با غلظت‌های ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی به‌عنوان ماده‌ی افزودنی به روغن مذکور اضافه و آزمون‌های استاندارد تعیین ضریب هدایت حرارتی، اصطکاک و سایش برای هریک از مخلوط‌ها انجام شد. بر اساس نتایج حاصل، نانو روان‌کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی بهترین عملکرد را داشت چون‌که کم‌ترین میزان سایش دیسک‌ها (٪۶۰/۷۶) کم‌تر نسبت به روغن پایه، بیشترین کاهش ضریب اصطکاک در مقایسه با روغن پایه(٪۱۵/۰۷) و افزایش ضریب هدایت حرارتی (٪۲/۴) را در مقایسه با روغن پایه داشت.

منابع

۱. اتفاقی، ا.، احمدی، ح.، رشیدی، ع.، محتسبی، س.، سلطانی، ر.، (۱۳۹۰)، بررسی تأثیر نانو ذرات روی خواص روغن‌موتور و میزان عملکرد آن در کاهش سایش، فصل‌نامه علمی پژوهشی تحقیقات موتور، سال ۷ شماره ۲۴، ص ۱۲-۳.

۲. فرزین نژاد، ن.، حسنی راد، ج.، (۱۳۹۳)، مروری بر کاربرد فناوری نانو در روان کارها، پژوهشگاه صنعت نفت تهران، فصلنامه تخصصی علمی ترویج، دوره۹ شماره ۴۸، ص۳۵-۱۸.

3. Zhanga, X., Lia, Ch., Y. Zhanga, Y., Wanga, Y., Lia, B., Yanga, M., Guoa, Sh., Liua, G., d Zhang. N., (2017), Lubricating property of MQL grinding of Al_2O_3/SiC mixed nanofluid with different particle sizes and microtopography analysis bycross correlation, Precision Engineering, 47, pp 532-545.

۴- زارع دشاری، ب.، عباس زاده، م.، داودی، ب.، (۱۳۹۴)، بهبود روان کاری در فرآیند کشش عمیق با استفاده از افزودنی نانو ذرات، ماهنامه مهندسی مکانیک مدرس، سال ۱۵ شماره ۱، ص ۳۲۲-۳۱۷.

5. Ahmed Ali, M.K., Xianjun, H., Mai, L., Qingping, C., Turkson, R.F., Bicheng. Ch., (2016), Improving the tribological characteristics of piston ring assembly in automotive engines

using Al2O3 and TiO2 nanomaterials as nano-lubricant additives, Tribology International, 103, pp 540-554.

6.Azman, N.F., Samion, S., Hakim Mat Sot, M.N., (2018), Investigation of tribological properties of CuO/palm oil nanolubricant using pin-on-disc tribotester, Green Materials 6(1), pp 30–37.

7. Parasa, L.P., Maldonado-Cortesa, D., V. Kharissovab, O., Saldivara, K.I., Contrerasa, L., Arquietab, P., Castañosa, B., (2019), Novel carbon nanotori additives for lubricants with superior anti-wear and extreme pressure properties, Tribology International, 131, pp 488–495.

8. Rastogi, P.M., Kumar, R., Kumar, N., (2020), Effect of SiO2 nanoparticles on the tribological characteristics of jatropha oil, Materials Today: Proceedings, Available online, https://doi.org/10.1016/j.matpr.

9. Aldana, P.U., Dassenoy, F., Vacher, B., Le Mogne, Th., Thiebaut, B., (2016), WS2 nanoparticles anti-wear and friction reducing properties on rough surfaces in the presence of ZDDP additive, Tribology International, 102, pp 213-221.

10. Technicall Data Sheet British Petroleum (BP) - BP Transcal N – High Quality Heat Transfer Oil.

11. Nanomaterils Pioneers Company, Third unit. No51.Sadaf No.5.Vakil Abad Blv. Mashhad City, Khorasan Province, Iran.

۱۲. تقی پور، ع.، (۱۳۹۸)، بررسی تجربی عملکرد ضد سایشی نانو روان کارها در گیربکس ماشین‌آلات دوار، دوماهنامه علمی پژوهشی مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، دوره ۶ شماره ۲، ص ۳۸-۳۰.

13. Akinci, A., Sen, S., Sen, U., (2014), Friction and wear behavior of zirconium oxide reinforced PMMA Composites, Composites Part B: Engineering, 56, pp 42-47.

14. Lee, G.J., Park, J.J., Lee, M.K., Rhee, Ch.K., (2017), Stable dispersion of nanodia., monds in oil and their tribological properties as lubricant additives, Applied Surface Science, 415, pp 24-27.

15. Kaviyarasu, T., Vasanthan, B., (2015), Improvement of tribological and thermal properties of engine lubricant by using nano-materials, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, 7, pp 208-211.