J. Energy Conversion
Volume: 11, Issue: 1, 2024: 1-20

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۱، شماره ۱، بهار۱۴۰۳، ص: ۱-۲۰

بررسی تأثیر نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در بهبود خواص روغن‌های روان‌کننده‌ی موتور بر پایه زیستی

رحیم معین‌زاده[۱]، رضا صمصامی[۲و*]، عباس تقی‌پور[۳]

۱- دانشجو، گروه شیمی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران. rahimmoein48@gmail.com
*۲ - استادیار، گروه شیمی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران. reza.samsami@gmail.com
۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران. taghipoor@iaud.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶، بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶

چکیده

در این پژوهش، تأثیر نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید در بهبود خواص ضد سایشی، اصطکاک و خواص فیزیکی روغن سویای اپوکسی شده، بررسی شد. این پژوهش شامل چهار مرحله است. در مرحله اول، برای تهیه مخلوط‌های نانو روان‌کار، ابتدا نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید با غلظت‌های وزنی ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد با روغن سویا اپوکسی شده ترکیب شد. در مرحله دوم، برای پراکنده کردن نانو ذرات در روان‌کار از حمام التروسونیک و همچنین برای پایداری سیال و جلوگیری از ته‌نشینی نانو ذرات جامد از سورفکتانت span80 استفاده گردید. در مرحله سوم آزمون‌های تجربی، شامل آزمون سایش با استفاده از دستگاه آزمون سایش پین روی دیسک و همچنین خواص فیزیکی نانو روان‌کارها شامل نقطه‌ی ریزش، نقطه‌ی اشتعال و گرانروی توسط دستگاه‌های مربوطه و بر اساس استانداردهای بین المللی انجام شد. در مرحله چهارم نیز نتایج حاصل تحلیل و عملکرد مخلوط‌های نانو روان‌کارها با سیال پایه مقایسه گردید. بر اساس نتایج آزمون‌های انجام شده مشخص شد، بهترین عملکرد مربوط به مخلوط نانو روان‌کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی از نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید می‌باشد که ضریب اصطکاک و سایش به ترتیب ۷/۹۳٪ و ۵۷/۱۴ ٪ کاهش یافت، همچنین گران‌روی به میزان ۱۱/۹۵ درصد و نقطه‌ی اشتعال نیز به میزان ۳ درصد نسبت به روغن پایه کاهش یافت، اما با افزایش غلظت، تغییر محسوسی در نقطه‌ی ریزش نانو روان‌کارها مشاهده نشد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** reza.samsami@gmail.com

کلمات کلیدی: نانوذرات، تیتانیوم دی‌اکسید، خواص تریبولوژیکی، روان‌کننده‌ی پایه‌ی زیست

نحوه استناد به این مقاله رحیم معین‌زاده، رضا صمصامی، عباس تقی‌پور. بررسی تأثیر نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در بهبود خواص روغن‌های روان‌کننده‌ی موتور بر پایه زیستی. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۳; ۱۱ (۱) : ۱-۲۰.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

یک روان‌کار خوب باید قابلیت کاهش مصرف انرژی، به حداقل رساندن فرسایش، کمک به کاهش حرارت، جذب ذرات معلق و رسوبات لجنی حاصل از عمل احتراق در موتور را داشته باشد. از این‌رو یک روان‌کار، باید یک فرمولاسیون شیمیایی پیچیده‌ای داشته باشد تا بتواند این وظایف را به خوبی انجام دهد [۱]. برای سنتز روغن‌های سنتزی، واکنش‌های کنترل شده‌ی زیادی نیاز است که از طریق ایجاد یک یا چند گروه عاملی مشخص با جرم مولکولی کم در شرایط بسیار کنترل شده، سنتز می‌کنند. از این رو روغن حاصل، خواص مشخصی که مورد نظر است، دارا می‌باشد[۲]. عیب روان‌کارهای پایه نفتی در این است که به راحتی تجزیه نمی‌شوند و سبب آلودگی جبران ناپذیر در محیط زیست می‌شوند. دسته‌ای دیگر از روان‌کارها، روان‌کارهای پایه زیستی هستند. در تولید این روان‌کارها از روغن‌های چرب طبیعی مانند روغن کرچک، روغن نخل، روغن سویا، روغن ذرت و آفتاب‌گردان استفاده می‌شود. این ترکیبات شامل تری گلیسریدهایی با استرهای چرب غیر اشباع هستند[۳]. مزیّت این روان‌کارها در زیست تخریب پذیری و غیر سمّی بودن می‌باشد. به طور کلی روغن‌های گیاهی و برخی استرها به راحتی به صورت زیستی تجزیه می‌شوند و در مقایسه با روغن‌های معدنی و سنتزی خواص تریبولوژیکی بهتری از خود نشان می‌دهند [۴]. این محدودیت‌ها را می‌توان به کمک مواد افزودنی و یا تغییر ژنتیکی گونه‌های جدید گیاهان کاهش داد[۵]. روغن‌های گیاهی مانند سویا و کلزا موادی تجدیدپذیر، پایدار و زیست‌تخریب‌پذیر هستند، از این رو می‌توانند جایگزین بسیار خوبی برای مواد پتروشیمی و روان-کننده‌های پایه‌ی نفتی باشند. روغن سویا شامل مقادیر بالایی از اسیدهای چرب اشباع نشده می‌باشد از این رو به راحتی می‌توانند تبدیل به اسیدچرب اپوکسی شوند. روغن سویا معمولاً از پالمیتیک‌اسید، استئاریک‌اسید، اولئیک‌اسید، لینولئیک‌اسید و لینولنیک-اسید تشکیل شده است. از نظر ساختاری می‌توان روغن‌های زیستی را استر اسیدهای چرب بلند زنجیر دانست. برای اپوکسی کردن روغن سویا باید از آب‌اکسیژنه یا هیدروژن‌پراکسید به عنوان دهنده‌ی اکسیژن و فرمیک‌اسید به عنوان کاتالیزگر استفاده کرد. گروه‌های اپوکسی نسبت به پیوندهای دوگانه کربن-کربن واکنش‌پذیرتر هستند از این‌رو، مکان مناسب‌تری برای انجام واکنش فراهم می‌کنند [۶].

امروزه نسل جدیدی از سیال‌ها وجود دارد که در اثر پخش شدن ذرات نانو در یک سیال تولید می‌شوند که به آنها نانو سیال می‌گویند. همان‌گونه که در بعد نانو، خواص ماده به طور قابل توجهی تغییر می‌کند پس می‌توان انتظار داشت هنگامی‌که در یک سیال پخش می‌شوند ویژگی‌های بسیار متفاوت با حالتی داشته باشند که اندازه‌های آنها در حد میکرو باشد. پراکنده شدن نانوذرات که اندازه‌ای کمتر از ۱۰۰ نانومتر دارند و به صورت یکنواخت در درون سیال پایه که معمولاً به عنوان محیط‌های انتقال گرما به‌کار می‌روند، می‌توانند خواص گرمایی سیال را به طور چشمگیری بهبود دهند[۷]. استفاده از روان‌کارهایی که با نانوذرات، خواص گرمایی آنها بهبود پیدا می‌کند، یکی از اهداف تولید روان‌کارها با کیفیت بالا می‌باشد که مزایای بیشماری خواهند داشت. روان‌کاری که خواص گرمایی بهبود یافته‌ای دارد، کنترل بهتری روی تغییر در سیستم روان‌کاری ایجاد می‌کند، به صورتی‌که می‌تواند باعث خنک‌تر شدن نقاطی شود که دمای بالاتری دارند. همین موضوع باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود [۸]. نانوذرات اغلب به صورت اکسیدهای فلزی مانند اکسیدمس، تیتانیوم دی‌اکسید و فلزاتی مانند نیکل استفاده می‌شوند. این نانوذرات معمولاً نقش نانو بلبرینگ‌ها را انجام می‌دهند و با تشکیل یک لایه‌ی محافظ، از سایش و اصطکاک سطوح در تماس باهم جلوگیری می‌کنند[۹]. در تحقیقات انجام شده بیان می‌کنند که غلظت این نانوذرات باید کمتر از ۲ درصد وزنی باشد تا بتوانند اصطکاک و سایش بین سطوح درگیر را کاهش دهند. بنابراین گرمای تولید شده ناشی از تماس قطعات موتور کاهش پیدا

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

می‌کند. از این‌رو فرآیند اکسایش روغن موتور با سرعت پایین‌تری انجام شده و طول عمر آن افزایش پیدا می‌کند. باتز و همکاران[1] (۲۰۰۶) در پژوهش خود بیان کردند، نانو ذرات کروی شکل می‌توانند به صورت ساچمه‌های بسیار ریز در ابعاد نانو (۲۰ تا ۳۰ نانومتر) عمل کنند و با ایجاد یک لایه‌ی مقاوم در سطح تماس بین دو قطعه، مانع از تماس مستقیم آنها با یکدیگر شوند[۱۰]. فرزین و همکاران[2] (۲۰۱۳) در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی انتقال حرارت و افت فشار نانو سیال روغن توربین، حاوی TiO_2 در یک رژیم روان‌کاری با جریان آرام پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که افزودن نانوذرات TiO_2 به سیال پایه و افزایش رینولدز نانو سیال، هر دو سبب افزایش در افت فشار می‌شوند[۱۱].

در این پژوهش در نظر است از نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به عنوان ماده افزودنی در روغن‌های پایه‌ی زیستی استفاده شود و تأثیر آن بر اصطکاک، سایش سطوح، نقطه‌ی ریزش، ویسکوزیته سینماتیکی و نقطه‌ی اشتعال با طراحی و انجام آزمایش‌های عملی مورد بررسی قرار گیرد. بهبود خواص روان‌کاری روان‌کننده‌های پایه‌ی زیستی با استفاده از نانوذرات تیتانوم دی‌اکسید، روشی است که دست‌یابی به آن می‌تواند به میزان قابل قبولی اصطکاک و سرعت سایش قطعات موتور را کاهش دهد، که نتیجه ی آن کاهش مصرف سوخت و انرژی و افزایش عمر مفید قطعات موتور می‌باشد[۱۲].

۲- مواد و روش ها

در این بخش مواد و تجهیزات و نحوه‌ی انجام آزمایش‌های مورد نیازجهت انجام پژوهش ذکر شده است. در ابتدا به مشخصات تجهیزات و مواد مورد نیاز و سپس نحوه‌ی ترکیب و تهیه‌ی نانو روان‌کار و آزمون‌های پایداری اشاره شده است؛ در ادامه شرح آزمایش‌های مورد نیاز جهت مقایسه‌ی عملکرد سیال پایه با نانو سیال ارائه گردیده است. آزمایش‌های انجام شده شامل آزمون سایش باکمک دستگاه پین روی دیسک، تعیین ضریب اصطکاک، آزمون تعیین خواص فیزیکی نانو مخلوط‌های روان‌کار می‌باشد. مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش شامل :

۱) روانکار پایه: روغن سویا اپوکسی شده
۲) نانوذره: تیتانیم دی‌اکسید
۳) سورفکتانت: Span 80

و دستگاه‌ها و تجهیزات مورد نیاز نیز شامل موارد زیر است :

۱) ترازوی دیجیتال SHIMADZU MODEL AW 320
۲) دستگاه آلتراسونیک SONOPULS BANDELIN UW 3200
۳) دستگاه ویسکومتر POUYESH V100
۴) دستگاه ویسکومتر POUYESH V40
۵) دستگاه اندازه‌گیری نقطه‌ی ریزش ATK-P0-2003
۶) دستگاه اندازه‌گیری نقطه‌ی اشتعال TANAKA ACO8
۷) دستگاه پین روی دیسک Pin on disk

[1] Battez et al
[2] Farzin et al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۲-۱ مشخصات روغن پایه

برای انتخاب روغن، عوامل و پارامترهای مختلفی مدنظر قرار می‌گیرد. در این پژوهش، از روغن سویا اپوکسی شده Liaflex 6500 ساخت شرکت بسپارلیا[1] که یک روغن گیاهی مهم و پرکاربرد می‌باشد به‌عنوان روغن‌پایه استفاده شد. روغن‌های گیاهی، تجدید پذیر و زیست‌دوست هستند که جایگزین مواد پتروشیمی در برخی کاربردها شده‌اند. درصد ترکیبات تشکیل دهنده‌ی روغن سویا و مشخصات فیزیکی این روغن به ترتیب در جداول (۱) و (۲) ذکر گردیده است. روغن‌های سویا حاوی مقادیر بالای اسید چرب هستند که می‌توان به اسید اپوکسی چرب تبدیل شوند. با توجه به اینکه این روغن جزو روغن‌های پرمصرف می‌باشد نیاز به افزایش طول عمر و همچنین بهبود خواص روان‌کاری آن دارد. روغن‌های گیاهی مانند سویا جزء مواد تجدیدپذیر، غیر سمی و زیست تخریب‌پذیر هستند[۱۳].

جدول ۱-درصد ترکیبات تشکیل دهنده‌ی روغن سویا [۱۳]

اسید چرب	درصد اسید چرب
لینولنیک اسید	۷/۷۸
لینولئیک اسید	۴۷/۰۶
اولئیک اسید	۲۴/۴۸
استارئیک اسید	۳/۷۷
پالمیتیک اسید	۱۱/۴

جدول ۲- مشخصات روغن سویا اپوکسی شده که در این پژوهش استفاده شده

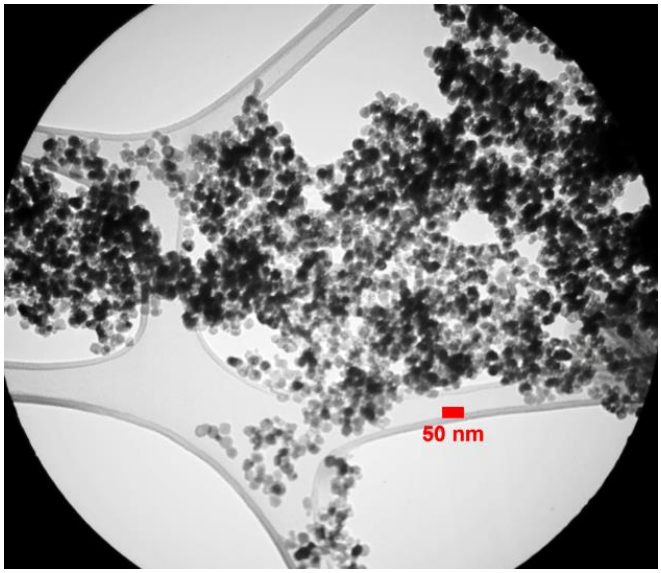
ویژگی‌ها	مقدار
شکل ظاهری	مایع شفاف مایل به زرد با بویی بسیار کم
ویسکوزیته سینماتیکی (m^2/S) @ $25\ ^oC$	۵۰۰
نقطه‌ی اشتعال ^oC	۲۲۷
دانسیته kg/m^3	۹۹۴

۲-۲ نانوذره‌ی تیتانیوم دی‌اکسید

در این پژوهش از نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید از نوع آناتاس با قطر ۱۰ تا ۲۵ نانومتر و خلوص ٪۹۹ استفاده شده است. شکل (۱) تصویر TEM[2] گرفته شده از نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید به کار رفته در این پژوهش را نشان می‌دهد. این تصویر به خوبی مورفولوژی و اندازه‌ی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید را نشان می‌دهد. همانطورکه درتصویر دیده می‌شود شکل نانوذرات تقریباً کروی بوده و اندازه آنها در حدود ۲۵ نانومتر است.

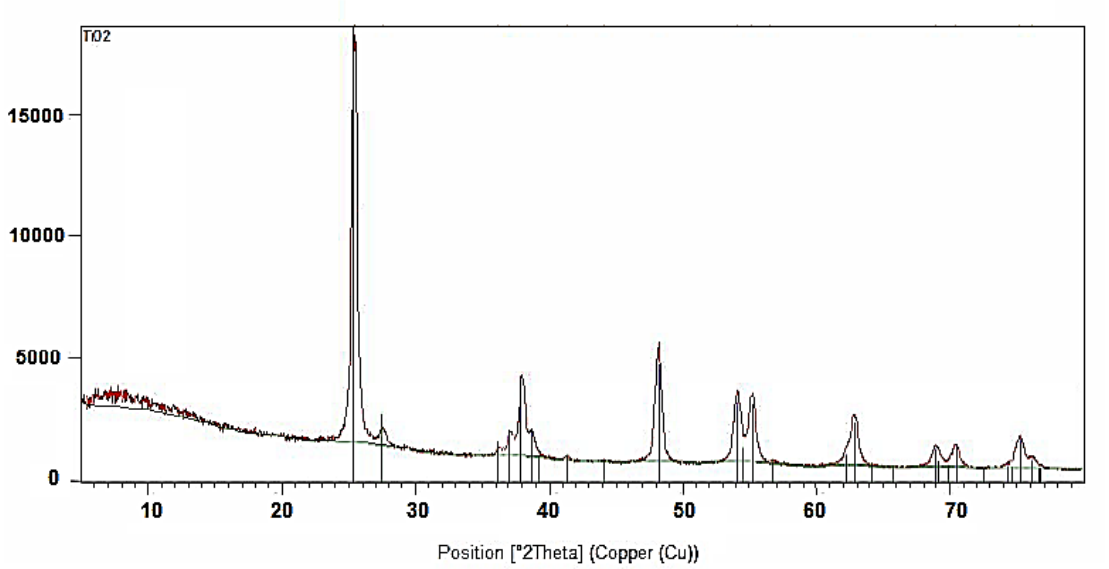
[1]-BASPAR Chemical Co.
[2] Transmission electron microscopy

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM از تیتانیوم دی‌اکسید

شکل (۲) الگوی پراش پرتو X نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید را نشان می‌دهد. دراین تصویر هیچ پیک مزاحمی در الگوی پراش مشاهده نمی‌شود و پهن شدگی قله‌ها دلیلی بر کوچک بودن اندازه‌ی ذرات می‌باشد.



شکل ۲- الگوی پراش پرتو X نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید.

تیتانیوم دی‌اکسید مورد استفاده از نوع آناتاس بوده که ساختاری کروی شکل دارند. به همین خاطر می‌توانند تأثیر بهتری در کاهش اصطکاک و سایش قطعات موتور از خود نشان دهند[۱۴]، زیرا این ذرات کروی در خلل و فرج سطوح قطعات قرارگرفته و ناهمواری‌های موجود در سطوح را پر می‌کنند و از آنجایی که این ذرات سطح ویژه‌ی زیاد و اندازه‌ی ذرات آنها خیلی کم است می‌توانند روی هم بلغزند و از تماس مستقیم قطعات موتور جلوگیری کنند. جدول (۳) مشخصات فیزیکی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

جدول ۳- مشخصات فنی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید از نوع آناتاس.

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

غلظت نانو ذرات تأثیر زیادی در عملکرد نانو روان‌کارها دارد، به‌گونه‌ای که غلظت‌های بالای 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 و کم‌تر از ۰/۰۵ درصد وزنی نانو ذرات نمی‌توانند سطوح اصطکاکی را به‌طور کامل پوشش بدهند و در نتیجه عملکرد خوبی ندارند. بنابراین غلظت مورد استفاده باید در حد بهینه باشد که در اکثر پژوهش‌های قبلی، غلظت در محدوده‌ی ۰/۱ تا ۰/۵ درصد وزنی به‌عنوان غلظت بهینه نانو ذرات بیان شده است[۱۵]. به همین خاطر در این پژوهش جهت بررسی اثر نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید از غلظت‌های وزنی ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد وزنی استفاده شد.

۳-۲ روش تهیه‌ی نانو روان‌کار از روغن سویا اپوکسی شده و بررسی پایداری آن

پراکندگی و پایداری نانو ذرات در سیال پایه و دست‌یابی به یک نانوسیال پایدار اهمیت زیادی دارد و از روش‌های مختلفی برای رسیدن به این هدف استفاده می‌شود. در این پژوهش برای پراکنده کردن نانو ذرات درون سیال پایه و دست‌یابی به یک نانوسیال پایدار از سورفکتانت Span 80 و حمام آلتراسونیک استفاده شد Span 80 یک سورفکتانت غیر یونی و دوگانه دوست می‌باشد؛ این سورفکتانت جزو ترکیبات سنتزی می‌باشد و کاملاً زیست تخریب‌پذیر بوده و به راحتی در محیط‌زیست تجزیه می‌شود. از نظر شکل ظاهری این ماده یک مایع ویسکوز و زرد رنگ بوده که در حلال‌های مختلفی مانند آب، انواع الکل‌ها و اسیدهای چرب محلول است. این ماده در دمای محیط به‌صورت مایع بوده و میزان پایداری دمایی آن بسیار بالا می‌باشد. در حضور اکثر ترکیبات شیمیایی و حرارت پایدار می‌باشد و فقط در حضور اکسیدکننده‌های قوی، اکسید می‌شود. وجود چنین ویژگی‌هایی باعث شد که در این پژوهش از این ماده برای پخش شدن یکنواخت نانوذرات و عامل پایدار کننده سوسپانسون‌ها استفاده شود. در روش مافوق صوت، زمان یک عامل مهم است که هنگام تهیه‌ی یک سوسپانسیون پایدار باید در نظر گرفته شود. مواد افزودنی نانو روان‌کار تنها در صورت انجام اولتراسونیک در مدت زمان بهینه، بهترین پایداری پراکندگی را از خود نشان می‌دهند. در یک بررسی مشخص شده است که پایداری پراکندگی نانو ذرات PTEF با ۶۰ دقیقه اولتراسونیک بهترین نتیجه را خواهد داشت. در این حالت سوسپانسیون به مدت ۱۵ روز پایدار خواهد ماند[۱۶]. بنابراین نمونه‌ها برای مدت زمان ۶۰ دقیقه تحت امواج اولتراسونیک قرار گرفتند. حمام اولتراسونیک، درای یک محفظه‌ی فلزی است که مقداری آب داخل آن قرار دارد؛ دستگاه متصل به این ظرف امواج ماورای صوت ایجاد می‌کند. یکی از موارد استفاده از این حمام پخش ذرات داخل محلول و در نتیجه یکنواخت شدن محلول مورد نظر می‌باشد. این امواج می‌توانند پیوندهای بین تکه‌های کلوخه شده را بشکنند و باعث افزایش کیفیت محلول شوند. حمام اولتراسونیک مورد استفاده در این پژوهش، ساخت کشور دانمارک، شرکت Struers مدل Melason 120T می‌باشد که دارای ظرفیت حدود ۳/۳۶ لیتر، توان ۱۲۵ وات و قابلیت ایجاد نوسان ۵۰ الی ۶۰ هرتز در مایعات با قابلیت کنترل زمان می‌باشد (شکل ۳). در این پژوهش، سورفکتانت و نانو ذرات با نسبت ۱:۱ و نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید با غلظت‌های مختلف ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد وزنی به روغن پایه افزوده شد. بدین منظور برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

استفاده شد. پایداری استاتیک نانو سیالات ساخته‌شده به‌صورت دیداری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور همه نمونه‌های ساخته شده درون ظروف شیشه‌ای کاملاً شفاف ریخته شده و برای مدت زمان ۳ ماه در یک محیط کاملاً ساکن نگهداری شدند و روند تغییرات ایجاد شده در آن‌ها به‌صورت دوره‌ای و پیوسته مشاهده و ثبت گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که افزودن نانوذرات تیتانیوم دی اکسید به روغن پایه هیچ‌گونه تغییر حالتی در آن ایجاد نکرد. از طرف دیگر با گذشت زمان هیچ‌گونه رسوب و تغییر فازی مشاهده نشد که بیان‌گر پایداری بسیار خوب این نانو سیال می‌باشد.





شکل ۳- مراحل پراکنده شدن نانوذرات در نانو روانکار به وسیله‌ی دستگاه آلتراسونیک.

۲-۴ تعیین خواص فیزیکی مخلوط‌های روان‌کار

در این پژوهش برای تعیین گران‌روی مخلوط‌ها بر اساس استاندارد ملی ایران INSO 195 از ویسکومتر نوع موئینه استفاده شد. در این دستگاه یک حمام پارافینی قرار دارد که برای حفظ یک دمای پایدار استفاده می‌شود و در دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه‌ی-سانتی‌گراد، ویسکوزیته روان‌کار اندازه‌گیری شد. نقطه‌ی اشتعال روغن‌های روان‌کار مورد استفاده نیز بر اساس استاندارد ASTM D92 سنجش شد. برای سنجش نقطه‌ی اشتعال روغن‌ها از دستگاهی به نام، ظرف در باز کلولند[1] استفاده گردید. نقطه‌ی ریزش[2]، را می‌توان کمترین دمایی نامید که در آن مایع، خصوصاً یک روان‌کننده، جاری و روان می‌گردد. نقطه‌ی ریزش یک روان‌کار، تعیین کننده‌ی کمترین دمایی است که استفاده از روان‌کار را در کارکردهای دمایی معین، نشان می‌دهد. اندازه‌گیری نقطه‌ی ریزش بر اساس استاندارد ASTM D97 اندازه‌گیری شد. روش اندازه گیری نقطه‌ی ریزش به این صورت است که ابتدا به نمونه‌ها گرما می‌دهند. سپس هر یک از نمونه‌ها را با سرعت معینی سرد می‌کنند. در مرحله آخر به ازای هر ۳ درجه‌ی‌سانتیگراد کاهش دما، سیالیت نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و پایین‌ترین دمایی که در آن سیال جریان می‌یافت، به عنوان نقطه‌ی ریزش روان‌کار، ثبت گردید.

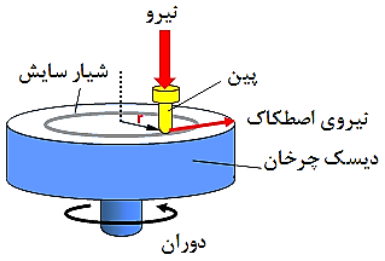
۲-۵ آزمون سایش پین روی دیسک[3]

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. این قابلیت وجود دارد که نمونه‌ی سایشی به‌عنوان پین و جسم ساینده به‌عنوان دیسک نیز قرار گیرد. تصویر شماتیکی از دستگاه پین روی دیسک در شکل ۴ نشان داده شده است. آزمون سایش، طبق استاندارد ASTM G999 انجام گرفت. مقدار سایش در هر سیستم معمولاً به عوامل مختلف مثل مقدار نیروی

[1] Cleveland open cup
[2] Pour Point
[3] Pin on Disc Wear Tester

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

اعمالی؛ مشخصات دستگاه آزمون؛ سرعت چرخش؛ فاصله چرخش؛ محیط و خواص ماده که متغیرهای سیستم هستند؛ بستگی دارد. در این پژوهش از دستگاه آزمون سایش پین روی دیسک در محیط کنترل شونده سیال TSN-WTC 03 متعلق به شرکت تجهیز صنعت نصر استفاده گردید. برای کار با این دستگاه، نمونه‌ها بر اساس شرایط استاندارد اعلام شده، آماده می‌شوند و سپس روی نگهدارنده‌ی دستگاه قرار می‌گیرند. بعد از اعمال نیروی مورد نظر، عامل ساینده بر دیسک، ساییده می‌شود. در این آزمون سرعت دورانی دیسک ۱۵۰۰ دور در دقیقه و نیروی وارد بر پین، ۹۰ نیوتن و مسافت پیموده شده توسط پین روی دیسک ۱۱۳۰ متر در نظر گرفته شد. پین‌ها از جنس فولاد بلبرینگ طراحی و سنگ مغناطیس زده شد تا کم‌ترین زبری سطح را داشته باشد، دیسک‌ها نیز از جنس CK45 ساخته شد و سنگ مغناطیس زده شد تا بتوان از دو طرف دیسک استفاده نمود، فیسکچر طراحی‌شده نیز حجم مشخصی از سیال درون خود جای می‌دهد و طراحی آن طوری می‌باشد که بتوان دیسک‌های مورد استفاده را ثابت کرده و آزمایش را در حضور سیال روان کننده انجام داد. پس از انجام آزمون، نمونه‌ها با استون و الکل شسته شد و بعد از خشک نمودن نمونه‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین گردید تا با توجه به اختلاف وزن دیسک‌ها، قبل و بعد از آزمون سایش، میزان سایش آن‌ها اندازه‌گیری شود. خروجی و گزارش آزمون شامل نمودار تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت طی شده برای هرنمونه، به‌صورت یک فایل اکسل در دسترس است.



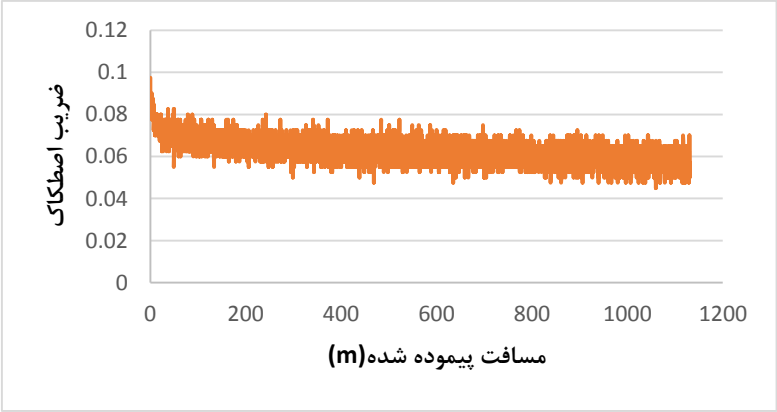
شکل ۴- شکل شماتیکی از مکانیزم کاری دستگاه اندازه‌گیری سایش پین روی دیسک

۳- نتایج و بحث

۳-۱ تحلیل نمونه‌ها در دستگاه پین روی دیسک

مرحله‌ی اول

ابتدا روغن پایه یعنی روغن سویا اپوکسی شده در دستگاه پین روی دیسک ریخته شد. تغییرات ضریب اصطکاک مشاهده شده بین ۰/۰۴۵ تا ۰/۰۹۷ بود و میانگین ضریب اصطکاک حدود ۰/۰۶۳ ثبت شد. که در شکل (۵) به خوبی این نتایج قابل مشاهده است.

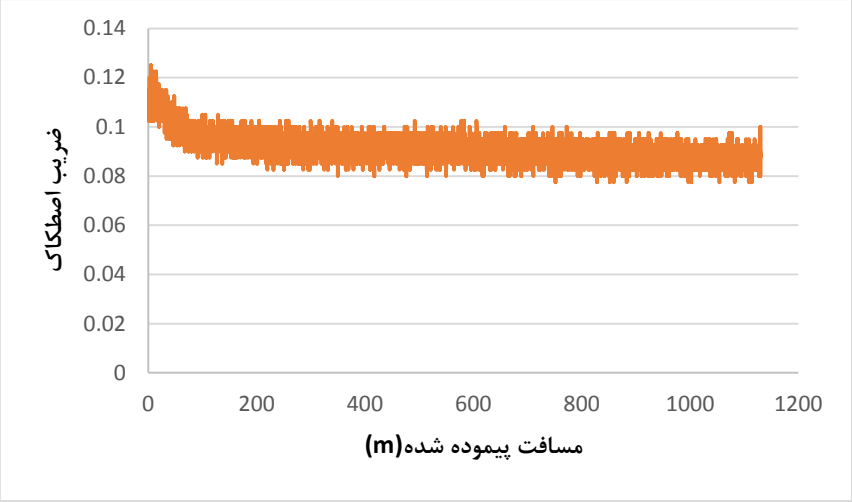


شکل ۵-تغییرات ضریب اصطکاک برای روغن پایه.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

مرحله‌ی دوم

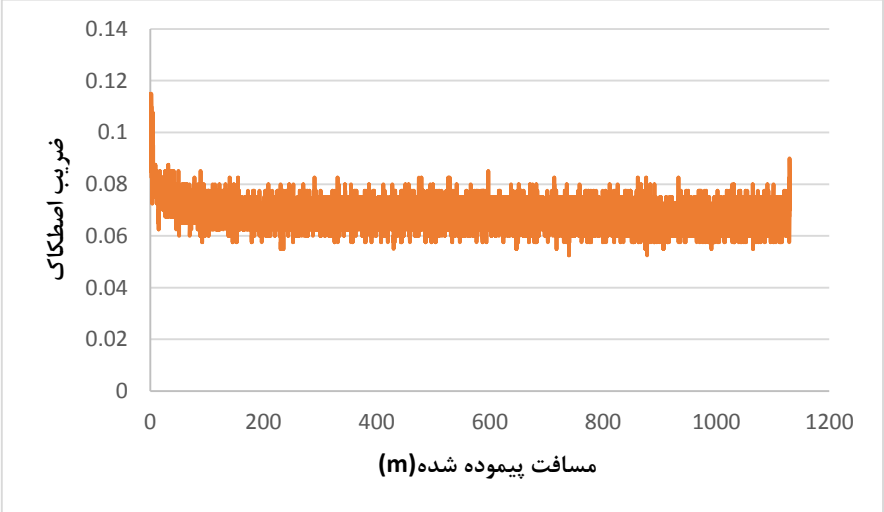
دراین مرحله، نانو مخلوط روان‌کار با غلظت ۰/۱ درصد وزنی در دستگاه آزمون قرار داده شد. تغییرات ضریب اصطکاک در محدوده‌ی ۰/۰۷۷ تا ۰/۱۲۵ بود و میانگین تغییرات ضریب اصطکاک حدود ۰/۰۹۱ ثبت شد. که نسبت به روغن پایه ٪۴۴/۴۵ افزایش را نشان داد. شکل (۶) این تغییرات را نشان می‌دهد.



شکل ۶- تغییرات ضریب اصطکاک برای نمونه با غلظت ۰/۱ درصد وزنی.

مرحله‌ی سوم

در مرحله‌ی سوم مخلوط نانو روان‌کار با غلظت ۰/۲ درصد وزنی، تحت آزمون سایش قرار گرفت. تغییرات ضریب اصطکاک مشاهده شده در محدوده‌ی ۰/۰۵۲ تا ۰/۱۱۵ بود. میانگین ضریب اصطکاک برای این نانو روان‌کار حدود ۰/۰۶۱ ثبت شد. ضریب اصطکاک در این مرحله نسبت به روان‌کار پایه ٪۳/۱۷ کاهش یافت. شکل (۷) این تغییرات را نشان می‌دهد.

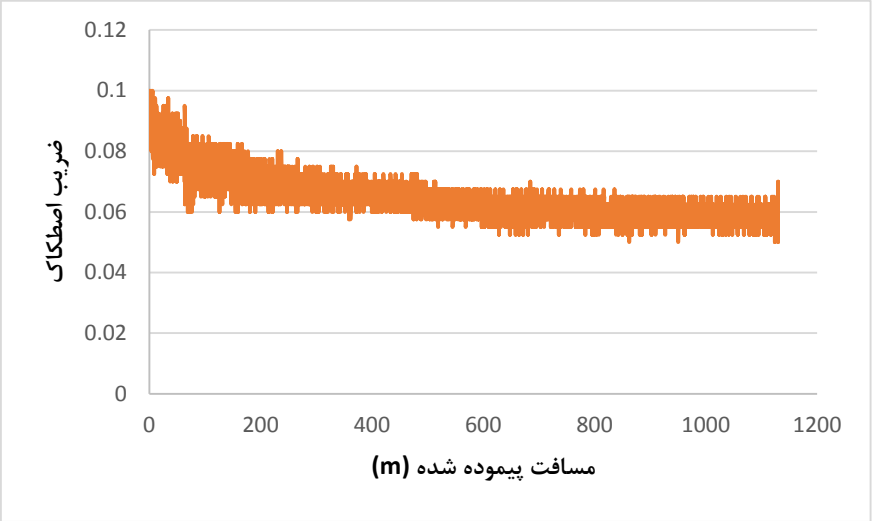


- **شکل ۷- تغییرات ضریب اصطکاک برای نمونه با غلظت ۰/۲ درصد وزنی.**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

مرحله‌ی چهارم

در مرحله‌ی چهارم نمونه با غلظت ۰/۵ درصد وزنی در دستگاه آزمون قرار داده شد. در این حالت ضریب اصطکاک مشاهده شده در محدوده ۰/۰۵ تا ۰/۱ بود و میانگین آن حدود ۰/۰۵۸ ثبت شد. در این مرحله نیز ضریب اصطکاک نسبت به روان‌کار پایه ٪۷/۹۳ کاهش یافت. نمودار شکل (۸) تغییرات ضریب اصطکاک را برحسب مسافت طی شده نشان می‌دهد.



شکل ۸- تغییرات ضریب اصطکاک برای نمونه با غلظت ۰/۵ درصد وزنی.

جدول (۴) تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به مسافت طی شده در دستگاه پین روی دیسک برای چهار نمونه، به‌طور خلاصه نمایش داده شده است.

جدول ۴- مقایسه‌ی تغییرات ضریب اصطکاک در تمام نمونه‌ها.

نمونه مورد آزمایش	تغیرات ضریب اصطکاک	میانگین ضریب اصطکاک	تغییرات نسبت به روان‌کار پایه
روان‌کار پایه	۰/۰۹۷ -۰/۰۴۵	۰/۰۶۳	----
نمونه با غلظت ۱/ ۰درصد	۰/۱۲۵-۰/۰۷۷	۰/۰۹۱	٪۴۴/۴۵ افزایش
نمونه با غلظت ۰/۲ درصد	۰/۱۱۵-۰/۰۵۲	۰/۰۶۱	٪۳/۱۷ کاهش
نمونه با غلظت ۰/۵ درصد	۰/۱-۰/۰۵	۰/۰۵۸	٪۷/۹۳ کاهش

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

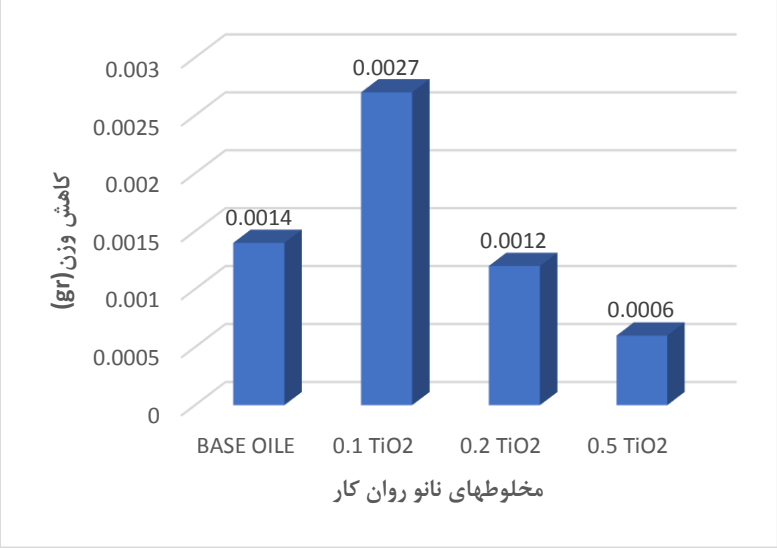
۳-۱-۱ تحلیل نمودارها و نتایج حاصل از آزمون ضریب اصطکاک

در نمونه‌ی اول با غلظت ۰/۱ درصد وزنی از نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید مشاهده شد که ضریب اصطکاک به جای اینکه کاهش پیدا کند، برخلاف انتظار افزایش یافته است که با یافته‌های حاصل از پژوهش‌های گذشته هم خوانی ندارد. کاویاراسو و اسانتان[1] (۲۰۱۵) در یک پژوهش بر روی نانوذرات مس و اکسیدمس با غلظت ۰/۱ درصد وزنی به این نتیجه رسیدند که ضریب اصطکاک در حضور نانوذرات مس، ۵۴٪ درصد کاهش و در حضور اکسیدمس حدود ۲۲٪ درصد کاهش می‌یابد. علت این مغایرت ممکن است در این باشد که نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به صورت یکنواخت در مخلوط سوسپانسیون پخش نشده باشد [۱۷].

بررسی نتایج به دست آمده در نمونه‌های باغلظت ۰/۲ و ۰/۵ درصد وزنی حاکی از این است که، ضریب اصطکاک به ترتیب به٪ ۳/۱۷ و ٪۷/۹۳ کاهش یافته است که با پژوهش‌های دیگران، هم‌خوانی دارد. علت کاهش ضریب اصطکاک را می‌توان به این صورت توجیه کرد که، نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در خلل و فرج سطوح دیسک لغزشی قرار گرفته و آنها را می‌پوشانند و یک لایه‌ی بسیار نازک درسطح ایجاد و از سایش بیشتر جلوگیری می‌کند. این یافته‌ها با پژوهش‌های گذشته مطابقت دارد. رشید[2] (۲۰۱۷) در یک پژوهش با نانوذرات گرافن به اندازه‌ی ۶۰ نانومتر و با غلظت ۰/۱ درصد وزنی، مشاهده کرد ضریب اصطکاک به میزان ۲۱ درصد کاهش می‌یابد [۱۸]. همچنین علی و همکاران[3] (۲۰۱۶) در یک پژوهش از Al_2O_3 و TiO_2 به عنوان افزودنی در روان‌کارها با غلظت (۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ درصد وزنی) استفاده کردند و به این نتیجه دست یافتند که ضریب اصطکاک و سایش، کاهش پیدا می‌کند و مناسب‌ترین غلظت در این پژوهش ۰/۲۵ درصد وزنی گزارش شده بود [۱۹].

۳-۱-۲ تحلیل نتایج آزمون سایش با دستگاه پین روی دیسک

در آزمون سایش پین روی دیسک، تغییرات کاهش وزن دیسک‌ها، برای روان‌کار پایه و مخلوط‌های تهیه شده با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد وزنی به صورت نمودار شکل (۹) مشاهده می‌شود.



شکل ۹-تغییرات کاهش وزن دیسک‌ها برای تمام نمونه ها.

[1] Kaviyarasu and Vasanthan,
[2] Rasheed
[3] Ali et al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

نتایج نشان داد، که کمترین میزان سایش مربوط به نانو روان‌کار با غلظت ۰/۵ درصد وزنی و بیشترین میزان سایش مربوط به مخلوط نانو روان‌کار با غلظت ۰/۱ درصد وزنی بود. همان‌طور که انتظار می‌رفت نتایج حاصل از سایش با نتایج حاصل از ضریب اصطکاک همخوانی دارد. هنگامی‌که از مخلوط ۰/۱ درصد وزنی استفاده شد، میزان سایش نسبت به روغن پایه اپوکسی شده حدود ٪۹۲/۸۶ افزایش یافت. اما هنگامی‌که از مخلوط ۰/۲ درصد وزنی استفاده شد، میزان سایش ٪۱۴/۲۸ کاهش و برای مخلوط ۰/۵ درصد وزنی میزان سایش ٪۵۷/۱۴ کاهش را نشان می‌دهد. نتایجی که در این پژوهش به دست آمده با نتایج پژوهشی دیگران مشابه می‌باشد. علی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود بر روی نانوذرات دی‌اکسید آلومینیم و دی‌اکسید تیتانیوم میزان سایش به ترتیب ٪ ۲۱ و ٪۲۹ کاهش را نسبت به روانکار پایه ثبت کردند [۱۹]. شیا و همکاران[1] (۲۰۱۷) نیز در پژوهش خود از نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در امولسیون روغن-آب استفاده کردند و کاهش ضریب اصطکاک و سایش را به ثبت رساندند؛ همچنین در این پژوهش این نتیجه حاصل شد که کاهش ضریب اصطکاک می‌تواند در نتیجه‌ی کاهش زبری سطوح باشد و اگر زبری سطوح بیش از اندازه کم شود، استفاده از نانو ذرات نمی‌تواند نقش مثبتی در روان‌کاری ایفا کند، چون‌که نانو ذرات نمی‌توانند در خلل و فرج سطوح تماس جای‌گیر شود و خود به‌عنوان جسم ساینده عمل می‌کند [۲۰].

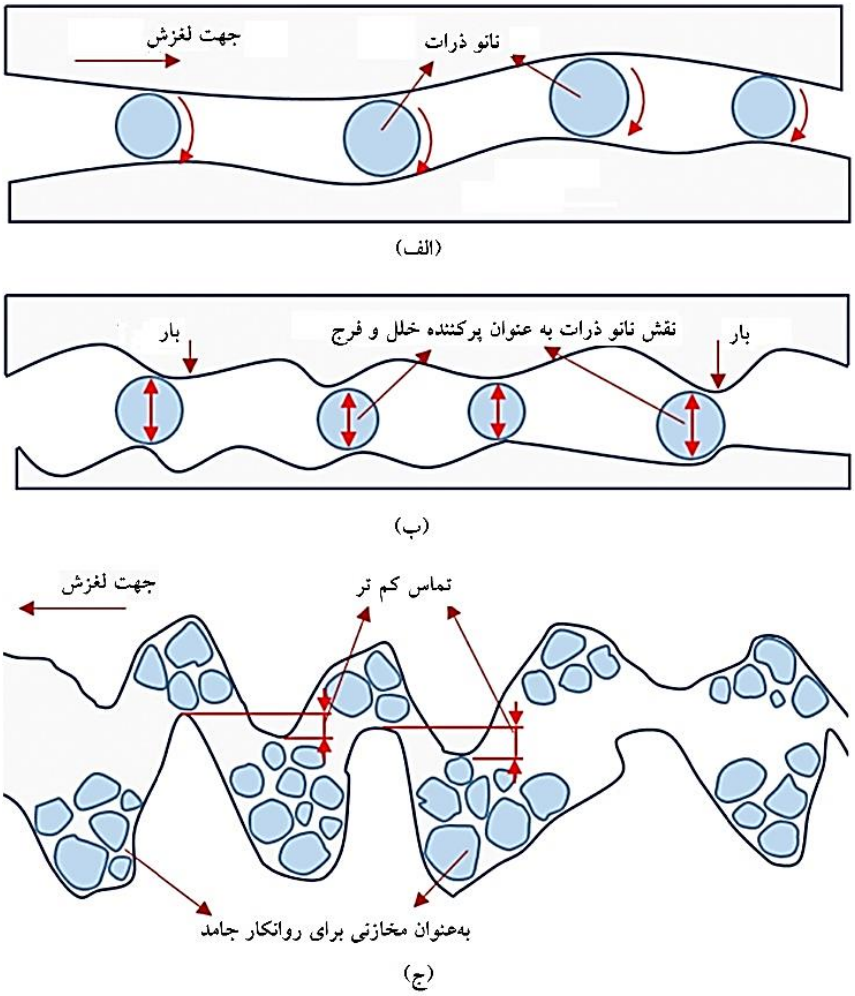
نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، به‌کارگیری نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در روان‌کارهای پایه‌ی زیستی می‌تواند خاصیت ضد سایشی این روان‌کارها را بهبود ببخشند. در این پژوهش غلظت بهینه، ۰/۵ درصد وزنی از نانوذرات در روان‌کار می‌باشد که توانست ضریب اصطکاک را به اندازه‌ی ٪۷/۹۳ و میزان سایش را به اندازه ٪۵۷/۱۴ نسبت به روغن پایه کاهش دهد. از آنجایی که نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید از نوع آناتاس، کروی شکل هستند، بهبود خواص فشار پذیری و ضد سایشی نانو روان‌کارها ناشی از سه اثر نانو ذرات می‌باشد که عبارت‌اند از:

- همانند غلتک‌هایی بین سطوح قرار گرفته و سطح تماس کاهش می‌یابد.
- لایه‌ی بسیار نازکی بین سطوح ایجاد می‌کنند تا حرکت سطوح روی هم روان‌تر شود.
- نانوذرات قادر هستند خلل و فرج و خراشیدگی‌ها را پر کنند و نقش مرمّتی داشته باشند تا زبری سطوح کاهش یابد.

این موارد به‌صورت نمادین در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است [۲۱].

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[1] Xia et al



الف: تأثیر غلتشی، ب:نقش نانو ذرات به‌عنوان پرکننده خلل و فرج، ج: تأثیر اصلاحی(ترمیمی)

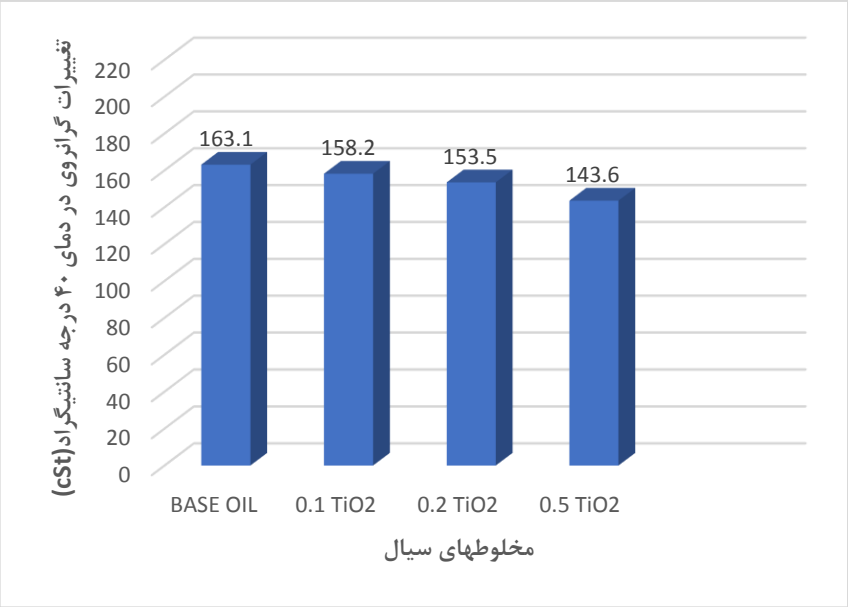
شکل ۱۰- ساز وکار عملکرد نانو روان کارها بر روی سطوح اصطکاکی[۲۱]

۳-۲ نتایج آزمون تعیین خواص فیزیکی

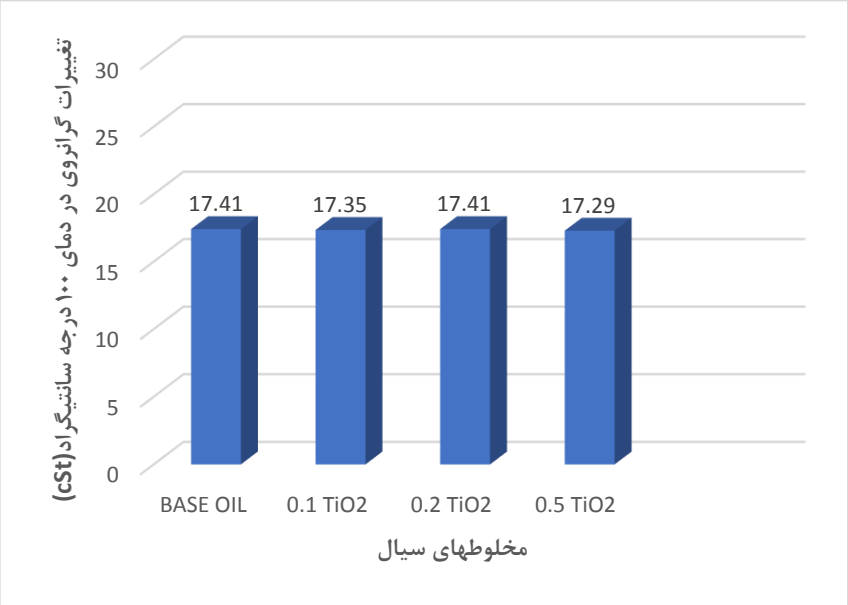
۳-۲-۱ نتایج آزمون گران‌روی

برای تعیین میزان گران‌روی نمونه‌های تهیه شده، ابتدا به مقدار کافی از هر نمونه در لوله‌های مویین دستگاه قرار داده شد و سپس گران‌روی آنها در دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمون‌ها در نمودارهای شکل های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. نتایج آزمون گران‌روی در دمای ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نشان داد، با افزایش غلظت نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید، مقدار گران‌روی مخلوط نانو روان‌کار کاهش می‌یابد. در غلظت ۰/۵ درصد وزنی بیشترین کاهش گران‌روی به میزان ۱۱/۹۵ ٪ مشاهده شد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۱۱- تغییرات گرانروی نمونه‌ها، در دمای ۴۰ درجه‌ی‌سانتیگراد.



شکل ۱۲- تغییرات گرانروی نمونه‌ها، در دمای ۱۰۰ درجه‌ی‌سانتیگراد.

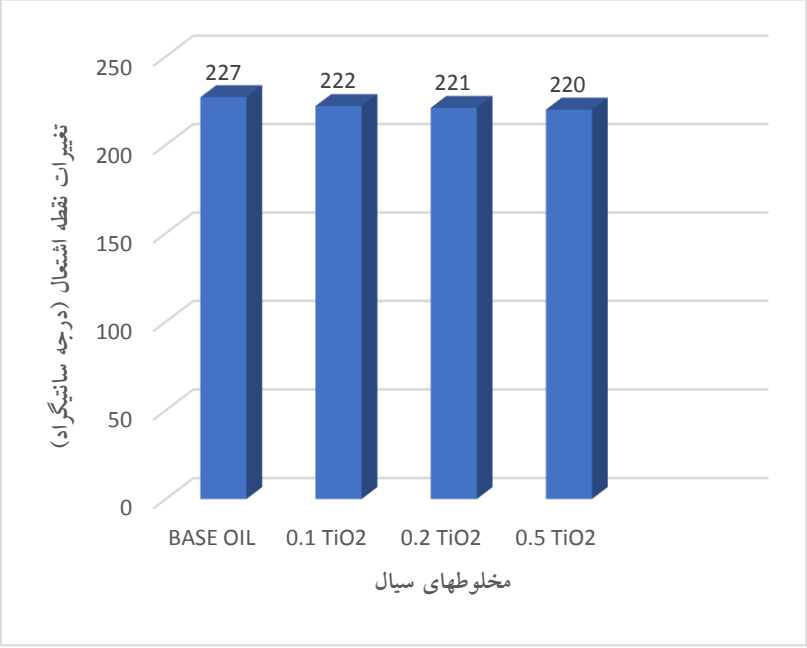
طبق نمودار شکل (۱۲) نتایج اندازه‌گیری گران‌روی در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نشان می‌دهد با تغییر غلظت نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید، گران‌روی نانو روان‌کار تغییر محسوسی نمی‌کند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید توانسته است، گران‌روی روغن سویای اپوکسی شده را در دمای ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بهبود ببخشد. به طوری‌که در دمای ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد باعث کاهش گران‌روی شد، اما در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تأثیر بسیار کمی بر گران‌روی داشت. عوامل مختلفی از جمله نوع نانو ذرات، نوع سیال پایه، درصد ترکیب نانو ذرات با سیال پایه، روش مورداستفاده برای پراکنده‌سازی نانو ذرات درون سیال پایه و همچنین میزان پراکندگی نانو ذرات بر میزان تغییرات گران‌روی نانو سیالات، تأثیرگذار

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

است. معمولاً با افزایش غلظت نانو ذرات میزان گران‌روی هم افزایش می‌یابد ولی عمدتاً در غلظت‌های پایین این تغییرات چندان محسوس نیست. نتایج حاصل در این پژوهش با یافته‌های بسیاری از محققین دیگر مطابقت ندارد. ماسودا[1] و همکاران که در پژوهش خود از نانو ذرات دی‌اکسید آلومینیم، دی‌اکسید تیتانیوم و دی‌اکسید سیلیسیم استفاده کردند، در نتایج خود گزارش نمودند که افزایش غلظت نانو ذرات در ترکیب روان کار سبب افزایش گران‌روی آن شده است [۲۲]. در پژوهش‌های دیگری مطابق با این یافته گزارش‌شده است. به‌طور مثال آزمن و همکاران[2] که در پژوهش خود از مس و اکسید مس استفاده کردند، گزارش نمودند افزایش غلظت نانو ذرات سبب کاهش اندکی در میزان گران‌روی نانو روان‌کار شده است. آن‌ها علت کاهش گران‌روی در پژوهش خود را تضعیف نیروهای بین‌مولکولی گزارش کردند که سبب می‌شود لایه‌های نانو ذرات به آسانی جابه‌جا شوند و مقاومت به برش آن‌ها کم شود [۲۳]. همچنین احمد علی[3] و همکاران نیز کاهش گران‌روی را در نتیجه‌ی ضعیف شدن نیروهای بین‌مولکولی گزارش کردند؛ در پژوهش آن‌ها از اکسید آلومینیم و اکسید تیتانیوم در ترکیب با روان‌کار استفاده شد [۲۴].

۳-۲-۲ نتایج آزمون نقطه‌ی اشتعال و نقطه ریزش

نقطه‌ی ریزش و نقطه‌ی اشتعال دو پارامتر مهم برای بیان محدوده‌ی عملکرد دمایی روغن می‌باشند که برای ارزیابی کیفیت عملکرد روغن استفاده می‌شوند. نقطه‌ی ریزش کمترین دمایی است که در آن روغن می‌تواند جریان داشته باشد و نقطه‌ی اشتعال بالاترین دمایی است که روغن به‌اندازه کافی به بخار تبدیل‌شده و با هوا، مخلوط قابل اشتعال به وجود می‌آورد. در این پژوهش برای تعیین نقطه ریزش از استاندارد ASTM D97 و برای نقطه اشتعال از استاندارد ASTM D92 استفاده شد. نتایج نقطه‌ی اشتعال و ریزش نمونه‌های تهیه شده در نمودار شکل ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۳-تغییرات نقطه‌ی اشتعال نمونه‌ها.

[1]- Masuda et al
[2]- Azman et al
[3]- Ahmed Ali et al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

با توجه به نتایج، با افزودن نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید به روغن سویای اپوکسی شده، نقطه‌ی اشتعال نسبت به روان‌کار پایه به میزان ۳ درصد کاهش پیدا کرد. از این‌رو می‌توان گفت افزودن نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید تأثیر مثبتی بر روی نقطه‌ی اشتعال روغن سویای اپوکسی شده نداشت. به عبارت دیگر از این نانو روان‌کارها نمی‌توان در دماهای بالاتر از ۲۲۰ درجه‌ی‌سانتی‌گراد استفاده کرد. نقطه‌ی اشتعال به‌عنوان یکی از مشخصه‌های کیفی روغن‌های روان‌کار است و هرچه نقطه‌ی اشتعال بالاتر باشد امکان کارکرد روغن در دماهای بالاتر میسر می‌شود. در حالت عادی روغن‌های با نقطه‌ی اشتعال بالا به دلیل دارا بودن هیدروکربن-هایی با وزن مولکولی زیاد، دارای گران‌روی بالایی نیز می‌باشند، بالا بودن گران‌روی روان‌کار در حالت عادی به‌عنوان یک عیب محسوب شده و سبب بروز مشکلاتی برای سامانه‌ی روان‌کاری می‌شود. این یافته با نتایج حاصل از پژوهش اتفاقی[1] و همکاران مطابقت ندارد. آن‌ها در پژوهش خود گزارش نمودند، با افزایش غلظت نانو ذرات اکسید مس نقطه‌ی اشتعال نانو روان‌کارها افزایش می‌یابد [۲۵].

یک روغن خوب باید بتواند در دماهای پایین به‌اندازه‌ی کافی روان و قابل جریان باشد و به راحتی و با سرعت به همه‌ی نقاط برسد تا از تماس قطعات با یکدیگر و مشکل سایش و اثرات منفی آن جلوگیری کند. این خاصیت روغن با مشخصه‌ی نقطه‌ی ریزش ارزیابی می‌شود. در این پژوهش اثر نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید بر تغییرات ایجاد شده در میزان نقطه‌ی ریزش بررسی شد. نمودار شکل ۱۴ نقطه‌ی ریزش روان‌کار پایه یعنی روغن سویا اپوکسی شده و نانو روان‌کارهای تهیه شده با غلظت‌های مختلف ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد وزنی از تیتانیوم دی‌اکسید را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- تغییرات نقطه‌ی ریزش نمونه‌ها.

[1]- Ettefaghi et al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

نتایج این تحقیق نشان داد، افزودن نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید تأثیر بسیار کمی بر نقطه‌ی ریزش روان‌کار پایه ایجاد کرد. نتایج این تحقیق با پژوهش حاصل از تحقیق مهمان‌نوازآسیابر (۱۳۹۸) همخوانی دارد. ایشان در پژوهشی که بر روی روغن موتور W405 با سطح کیفیت SM انجام داد از نانوذرات MnO_2، MoS_2، ZnO و Fe_2O_3 استفاده کرد. نتایج نشان داد، MnO_2 نسبت به دیگر نانوذرات کارایی بهتری دارد به طوری که با افزایش غلظت نانوذرات، نقطه‌ی اشتعال مخلوط‌های نانو روان‌کار نسبت به روغن پایه افزایش یافته ولی تأثیری بر نقطه‌ی ریزش نداشت [۲۶]. معمولاً وجود نانو ذرات به‌عنوان مواد افزودنی در ترکیب با روغن سبب می‌شود ذرات پارافین موجود در روغن را در دمای پایین به‌صورت معلق نگه دارد و از بسته شدن روغن(جامد شدن) جلوگیری کند [۲۷]. در پژوهش برخی محققین دیگر نیز گزارش‌شده است، افزایش غلظت نانو ذرات تغییری در میزان نقطه‌ی ریزش ایجاد نکرده است [۲۸].

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج آزمون‌های انجام شده (شامل ضریب اصطکاک، میزان سایش و خواص فیزیکی) و نتایج حاصل برای چهار نمونه روغن، مشخص شد، بکارگیری نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در روان‌کار روغن سویا اپوکسی شده نتیجه مثبتی در بهبود خواص ضد سایشی، ضریب اصطکاک و گران‌روی دارد. بهینه‌ترین غلظت نانو ذرات، ۰/۵ درصد وزنی بود که توانسته است ضریب اصطکاک، سایش و گرانروی را به ترتیب به میزان ٪۷/۹۳ و ٪۵۷/۱۴ و ٪۱۱/۹۵ نسبت به روغن پایه کاهش دهد. در حالی‌که این افزایش غلظت تأثیر مثبتی در افزایش نقطه‌ی اشتعال روان‌کار نداشته است و آن را در حدود ۳ درصد کاهش داد. همچنین با افزایش غلظت نانودرات، تغییر محسوسی در نقطه‌ی ریزش مخلوط‌های نانو روان‌کار مشاهده نشد.

۵- مراجع

[1] Bas, H., & Karabacak, Y. E., (2014), Investigation of the effects of boron additives on the performance of engine oil, Tribology Transactions, 57(4), 740-748.

[۲] بهار، نسترن، (۱۳۹۲)، تهیه بیولوبرکانت (روان کننده زیستی) از اسید چرب اولئیک اسید به عنوان اسید چرب روغن‌های گیاهی، سومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی.

[3] Mobarak, H. M., Mohamad, E. N., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Al Mahmud, K. A. H., Habibullah, M., & Ashraful, A. M., (2014, The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications. Renewable and sustainable energy reviews, 33, 34-43.

[4] Negi, P., Singh, Y., & Tiwari, K., (2021), A review on the production and characterization methods of bio-based lubricants, Materials Today, Proceedings, 46, 10503-10506.

[5] Hosseini, M. S., Rostami, M., & Mohammadi, A, (2013), Effects of Nano-diamond as an oil additive on engine oil properties and wear rate of the internal parts of agricultural tractors engines, Mechanical Engineering, 14443-14447

[6] Goncalves, F. A., Santos, M., Cernadas, T., Ferreira, P., & Alves, P., (2022), Advances in the development of biobased epoxy resins: Insight into more sustainable materials and future applications, International Materials Reviews, 67(2), 119-149.

[7] Trajano, M. F., Moura, E. I. F., Ribeiro, K. S. B., & Alves, S. M., (2014), Study of oxide nanoparticles as additives for vegetable lubricants, Materials Research, 17, 1124-1128.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[8] Bloch, H. P., & Bannister, K. E., (2020, Practical lubrication for industrial facilities, River Publishers.

[9] Waara, P., Hannu, J., Norrby, T., & Byheden, Å., (2001), Additive influence on wear and friction performance of environmentally adapted lubricants. Tribology international, 34(8), 547-556.

[10] Battez, A. H., Rico, J. F., Arias, A. N., Rodriguez, J. V., Rodriguez, R. C., & Fernandez, J. D., (2006), The tribological behaviour of ZnO nanoparticles as an additive to PAO6. Wear, 261(3-4), 256-263.

[11] Farzin, F., Heris, S. Z., & Rahimi, S., (2013), Laminar convective heat transfer and pressure drop of TiO2 turbine oil nanofluid, Journal of thermophysics and heat transfer, 27(1), 127-133.

[12] Baskar, S., Sriram, G., & Arumugam, S., (2015), Experimental analysis on tribological behavior of nano-based bio-lubricants using four ball tribometer, Tribology in Industry, 37(4), 449.

[13] Gertz, C., Klostermeyer, H., & Matthäus, B., (2000), Fatty acid patterns of vegetable oils with special emphasis on rapeseed oil and olive oil. Fett/Lipid, 102(12), 438-445.

[14] Li, Hongbo; Wang, Mingxia; Yin, Shu; Liu, Xuetong; Wang, Xiuli. (2019), Anatase TiO2: Rational Synthesis Methods and Properties for Energy and Environmental Applications." Small Methods. 3(8): 1900019. DOI: 10.1002/smtd.201900019.

[۱۵] ابراهیمی قلعه تکی اسماعیل. و تقی پور عباس، (۱۳۹۶)، انجام پایش وضعیت بر اساس آنالیز روغن و مقایسه تجربی و آزمایشگاهی آن با افزودنی نانو ذرات SiO_2 & Al_2O_3 و کاربرد آن در ماشین‌آلات دوار حساس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

[16] Jun ZHAO, Yiyao HUANG, Yongyong HE, Yijun SHI. (2020). Nano lubricant additives: A review. Friction, https://doi.org/10.1007/s40544-020-0450-8.

[17] Kaviyarasu, T., & Vasanthan, B., (2015), Improvement of tribological and thermal properties of engine lubricant by using nanomaterials. J Chem Pharm Sci, JCHPS, 7, 208-211.

[18] Rasheed, A. K., (2017), Heat transfer, tribology and performance of graphene nanolubricants in an IC engine, Doctoral dissertation, University of Nottingham.

[19] Ali, M. K. A., Xianjun, H., Mai, L., Qingping, C., Turkson, R. F., & Bicheng, C., (2016), Improving the tribological characteristics of the piston ring assembly in automotive engines using Al2O3 and TiO2 nanomaterials as nano-lubricant additives, Tribology International, 103, 540-554.

[20] Xia, W., Zhao, J., Cheng, X., Sun, J., Wu, H., Yan, Y., Jiao, S., & Jiang, Z., (2017), Study on the growth behavior of the oxide scale and its effects on the tribological property of nano-TiO2 additive oil-in-water lubricant, Wear, 376, 792-802.

[۲۱] خرم‌شاهی بیات، نادیا. تقی پور، عباس، (۱۴۰۱)، بهبود خواص تریبولوژیکی روان‌کارها با افزودنی نانو ذرات اکسید مس. نشریه علمی -تخصصی تبدیل انرژی(JEED). دوره ۹، شماره ۳، ۱۱۴-۱۰۱.

[22] Masuda , H., Ebata , A. and Teramae , K. ,(1993), Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. Netsu Bussei 7 (4). Pp. 227–233.

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

[24] Ahmed Ali , M.k., Xianjun , H., Mai , L., Qingping , C., FiifiTurkson , R. and 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.

[25] Ettefaghi, E., Ahmadi , H., Rashidi , A., Mohtasebi , S.S. and Alaei , M. ,(2013), Experimental evaluation of engine oil properties containing copper oxide nanoparticles as a nanoadditive, Springer,International Journal of Industrial Chemistry.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[۲۶] مهمان‌نواز آسیابر، ماندانا،(۱۳۹۸)، بررسی بهبود تربیولوزیکی روغن موتور با استفاده از نانو اکسیدهای فلزی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

[۲۷] طاهری، رمضانعلی، (۱۳۸۴)، نقش نانو روان کارها در افزایش راندمان و کاهش هزینه‌های نت موتور، سومین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران.

[۲۸] اتفاقی، احسان الله، محتسبی، سید سعید، (۱۳۹۰)، بررسی تأثیرات نانو ذرات بر روی خواص روغن موتور و میزان عملکرد آن در کاهش سایش، فصل‌نامه علمی - پژوهشی تحقیقات موتور، سال هفتم، شماره ۲۴، ۱۲-۳.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

چکیده انگلیسی:

Investigating the effect of titanium dioxide nanoparticles in improving the properties of bio-based engine lubricating oils

Rahim Moinzadeh [1], Reza Samsami [2,*], Abbas Taqipour [3]
1- Student, Department of Chemistry, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran. rahimmoein48@gmail.com
*2 - Assistant Professor, Department of Chemistry, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran. reza.samsami@gmail.com
3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran. taghipoor@iaud.ac.ir.

Received: December 2023 Accepted: April 2024

Abstract
In this research, the effect of titanium dioxide nanoparticles was investigated, in improving the anti-wear, friction and physical properties of epoxied soybean oil. This research consists of four stages. In the first step, to prepare nano-lubricant mixtures, titanium dioxide nanoparticles with concentrations of 0.1, 0.2 and 0.5 wt% were combined with epoxidized soybean oil. In the second step, an ultrasonic bath was used to disperse the nanoparticles in the lubricant, and span80 surfactant was used to stabilize the fluid and prevent solid nanoparticles from settling. In the third stage, the experimental tests were performed, including the wear test using the pin-on-disk device and the physical properties of nano-lubricants, including pour point, flash point, and viscosity, by relevant devices and based on international standards. In the fourth stage, the results of the analysis and the performance of nano-lubricants mixtures were compared with the base fluid. Based on the results of the tests, it was determined that the best performance is related to the nano-lubricant mixture with a concentration of 0.5 wt% of titanium dioxide nanoparticles, which reduced the coefficient of friction and wear by 7.93% and 57.14%, respectively. Also, the viscosity decreased by 11.95% and the flash point decreased by 3% compared to the base oil, but with increasing concentration, no significant change was observed in the pour point of nano-lubricants.

Keywords: Micropump, Thixotropic fluid, Two dimentional simulation, Transient flow
*corresponding author: reza.samsami@gmail.com

Cite this article as Rahim Moinzadeh, Reza Samsami, Abbas Taqipour. Investigating the effect of titanium dioxide nanoparticles in improving the properties of bio-based engine lubricating oils. Journal of Energy Conversion, 2024, 11(1), 1-20.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]