کاربرد نانو ذرات در روان‌کارها به‌عنوان ماده افزودنی ضدسایش

عباس تقی پور[۱]*، اسماعیل ابراهیمی قلعه تکی[۱]

[۱]مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

دریافت: پاییز۹۷ پذیرش: پاییز ۹۷

چکیده

در سیستم‌های مکانیکی، اصطکاک یکی از مهم‌ترین عوامل اتلاف انرژی محسوب می‌شود. استفاده از روان‌کار مناسب یکی از راههای مؤثر برای کاهش اصطکاک می‌باشد. روغن با کیفیت بالا منجر به افزایش کارایی، کاهش خرابی قطعات، صرفه جویی در هزینه، جلوگیری از اتلاف انرژی و کاهش مصرف سوخت می‌شود. نانو ذرات به‌عنوان یک ماده‌ی افزودنی در روان‌کارها سبب بهبود خواص آن‌ها و یک عامل مهم برای صرفه‌جویی در انرژی یک سیستم مکانیکی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. هدف این پژوهش مطالعه خواص ضد سایش روغن صنعتی مهم Shell omalla SG220 حاوی نانو ذره سیلیکا در گیربکس ماشین‌آلات دوار می‌باشد. این پژوهش از دو مرحله تشکیل شده است. در مرحله‌ی اول نانو ذره‌ی اکسید سیلیسیم با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ٪۰/۴wt به روغن پایه اضافه شد. برای پراکنده کردن نانو ذرات درون سیال پایه و دستیابی به یک نانوسیال پایدار از سورفکتانت Span 80 و دستگاه اولتراسونیک پروبی استفاده شد. پایداری استاتیک نانوسیالات ساخته شده به صورت دیداری مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله‌ی دوم پژوهش، آزمون استاندارد چهار ساچمه و ضریب اصطکاک بر روی روغن پایه و نانوروان‌کارهای ساخته شده انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده از آزمون بیانگر کاهش میانگین ٪۷/۴ میزان سایش و کاهش ٪۱۰ ضریب اصطکاک در نمونه‌های حاوی نانوذره بود.

***عهده دار مکاتبات: taghipoor@iaud.ac.ir**

کلمات کلیدی: نانوذرات، روغن گیربکس، سایش، آزمون چهار ساچمه

۱- مقدمه

یکی از راه‌های مؤثر در کاهش میزان اصطکاک و گرمای ناشی از آن در سیستم‌های مکانیکی، استفاده از روان‌کار مناسب می‌باشد. روان‌کارها عمدتاً به منظور ایجاد بستری مناسب جهت درگیری سطوح در حال حرکت به منظور جلوگیری از سایش و کاهش میزان اتلاف انرژی‌های اصطکاکی و انتقال حرارت تولیدی در تجهیزات دوار ایفای نقش می‌کنند. به منظور بالابردن کیفیت روغن و کاهش خرابی‌های ناشی از عدم روانکاری مناسب و صحیح، راهکارها و روش‌های جدیدی ابداع شده است. انتخاب روغن مناسب حاوی افزودنی‌های خاص و سپس انجام پایش وضعیت مستمر منجر به افزایش طول عمر تجهیز و کاهش توقفات ماشین برای تعمیر می‌شود. در سال‌های اخیر به دلیل عدم کارایی کافی روان‌کننده‌های سنتی و متداول درکاهش اصطکاک و کیفیت پایین آن‌ها و از طرف دیگر با ظهور و گسترش روز افزون فن‌آوری نانو موجب پیدایش نسل جدیدی از نانو روان‌کار شده است. اساساً نانو روان‌کارها مخلوط همگنی از مایع-جامد می‌باشند که از ترکیب عناصر فلزی و غیر فلزی جامد با قطرحدوداً ۱۰۰ نانومتر با افزودن به روغن پایه تولید می‌شوند. بسیاری از پژوهشگران گزارش داده‌اند که این ترکیبات نانو به دلیل مساحت سطح ویژه بسیار بالا می‌توانند با بهبود خواص ضد سایش و کاهش اصطکاک قابل ملاحظه، باعث افزایش راندمان و کاهش هزینه‌ها شوند[۱].. در بررسی‌های بیشتر در خصوص روان‌کاری با افزودنی ذرات نانو نشان می‌دهد که هر نانو ذره ویژگی‌های خاصی در روان‌کار ایجاد می کند[۲و۳]. نانوذرات به دلیل اندازه، شکل و دیگر خواص منحصر به فردشان به عنوان نوع جدیدی از افزودنی‌ها پدیدار گشته‌اند. نانو روان‌کارها نوعی افزودنی روان‌کار پایه‌اند که خواص روان‌کاری و خواص انتقال حرارت بهبود یافته نسبت به روان‌کارهای متداول دارد[۴]. نانو ذرات مختلفی برای این منظور معرفی شده‌اند. استفاده از این نانو ذرات مشکلاتی همچون عدم حلالیت و یا پراکندگی مناسب در محیط روغن نیز به همراه دارند که برای رفع این معظل از پوشش‌های آلی استفاده می‌شود. گونه‌های مختلفی از نانو ذرات به روغن‌های پایه اضافه می‌شوند. این نانو ذرات می‌توانند به مواد پلیمری، فلزی یا مواد ارگانیگ یا غیر ارگانیک افزوده و یا به صورت یک لایه پوشش روی سطوح مواد اضافه شوند[۵و۶]. در تحقیقات چند سال اخیر روش‌های بسیار مختلفی را به منظور بهبود خواص روان‌کاری روغن پایه گسترش داده‌اند. استفاده از مواد افزودنی مختلف با خواص منحصر به فرد برای تقویت خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی روان‌کارهای پایه یکی از این راه‌ها می‌باشد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.1.8]

در واقع خواص روان‌کارها با اضافه کردن افزودنی‌های شیمیایی مخصوص به روغن پایه تغییر می‌کند. واو و همکارانش، در سال ۲۰۰۷ خواص روان-کاری دو نوع روغن شامل روغن موتور API-SF و روغن پایه حاوی نانوذرات CuO، TiO_2 و نانوالماس را بررسی کردند. آزمایش‌های اصطکاک و سایش به کمک یک دستگاه آزمون لغزشی رفت و برگشت انجام گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که نانوذرات افزوده شده به روغن‌ها تأثیر بسزایی در کاهش اصطکاک و سایش داشته‌است. به‌گونه‌ای که ضریب اصطکاک در روغن‌های API-SF و روغن پایه، حاوی نانوذرات بترتیب٪۱۸/۴ و ٪۵/۸ کاهش و علاوه بر این عمق شکاف‌های سایشی به ترتیب ٪۱۶/۷ و ٪۷۸/۸در مقایسه با روغن فاقد نانوذرات CuO کاهش یافت[۷]. کوو و همکارانش، در سال ۲۰۱۰ رفتارهای روان‌کاری روغن معدنی را بررسی کردند. خواص فشار نهایی و ضد سایشی آن‌ها با استفاده از دستگاه آزمون دیسک روی دیسک تحت بارهای عمودی مختلف ارزیابی شد و نتایج آن‌ها بیانگر بهبود خواص روان‌کاری نانو روغن‌ها نسبت به روغن‌های فاقد نانوذرات بود[۸].. براساس یافته‌های جیاوو در سال ۲۰۱۱ خواص ضد سایشی Al_2O_3 در مقایسه با SiO_2 کمتر است ولی خاصیت نفوذ پذیری بهتری دارد. اگرچه هر کدام از این نانو ذرات به تنهایی خواص روان‌کاری برابری دارند و انتظار می‌رود که ترکیب این دو ماده با هم خواص بهتری را ارائه دهد[۹]. یانگ در سال ۲۰۱۴ با بررسی روغن پایه سیلیکون و نانو ذرات نقره دریافت که یک فیلم سه لایه‌ای شبیه ساختار ساندویچ باعث کاهش اصطکاک و سایش می‌گردد و لایه درونی به عنوان یک بستر اولیه برای چسبیدن نانو ذرات بر روی پایه سیلیکونی عمل می‌نماید. لایه وسطی که حاوی نانو ذرات نقره است قادر به افزایش ظرفیت حمل بار و لایه بیرونی، فیلم روغن خود آرایی شده‌است که نرم بوده و می‌تواند تنش برشی را کاهش دهد[۱۰].. در این پژوهش به طور خاص گیربکس پمپP-2101 واحد اسید پتروشیمی فن‌آوران بندر ماهشهر که در آن روغن Shell Omala G220 مصرف می‌شود به عنوان ماشین مورد مطالعه انتخاب شد و پس از ترکیب نانو ذره‌ی اکسید سیلیسیم با روغن این تجهیز و انجام آزمون‌های سایش و ضریب اصطکاک جهت مقایسه با روغن بدون نانو مواد مورد بررسی قرار گرفت.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱ ساخت نانوروان‌کارها

در این پژوهش، از یک روغن صنعتی مهم و پرکاربرد در گیربکس ماشین‌آلات دوار به نام Shell Omalla SG220 که یک روغن پایه سنتتیکی است به‌عنوان روغن پایه استفاده شد. مشخصات فیزیکی این روغن در جدول (۱) ذکر گردیده است. این روغن جزء روغن‌های پر مصرف و گران‌قیمت در صنعت پتروشیمی می‌باشد و با توجه به نیاز به افزایش طول عمر و همچنین بهبود خواص روان‌کاری آن، مدنظر قرار گرفت.

جدول ۱: مشخصات فنی روغنShell Omalla SG220 [۱۱]

ویژگی‌ها	روش	Omalla SG 220
شاخص ویسکوزیته بر اساس استاندارد ایزو	ISO3448	۲۲۰
ویسکوزیته سینماتیکی در ۴۰درجه سانتی‌گراد (مترمربع بر ثانیه)	ISO3104	۲۲۰
ویسکوزیته سینماتیکی در ۱۰۰درجه سانتی‌گراد (مترمربع بر ثانیه)	ISO3104	۱۹/۴
شاخص ویسکوزیته	ISO2909	۱۰۰
چگالی (kg/m^3) در ۱۵ سانتی‌گراد	ISO12185	۸۹۹
نقطه اشتعال (سانتی‌گراد)	ISO2595	۲۴۰
نقطه ریزش (سانتی‌گراد)	ISO3016	-۸

نانو ذره‌ی انتخابی در این پژوهش شامل نانو ذره‌ی اکسید سیلیسیم به‌صورت ذرات کروی با حداکثر قطر ۲۰ نانومتر و خلوص ۹۹٪ می‌باشد. این نانوذره به دلیل ارزانی و در دسترس بودن و قابلیت توزیع و پراکندگی مناسب و تشکیل نانو سیال پایدار و همچنین ساختار کروی آن در این پژوهش استفاده شد. مشخصات فنی این نانو ذره در جدول (۲) ذکر گردیده است.

جدول ۲: مشخصات فنی نانو ذره اکسید سیلیسیم

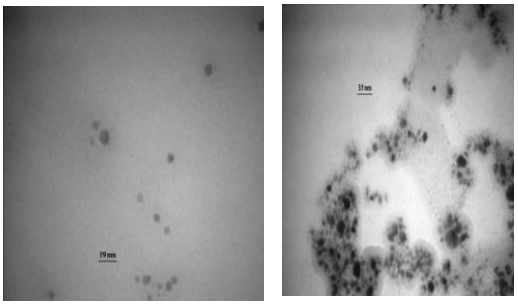
مشخصات فنی	سیلیسیم
اندازه قطر (نانومتر)	۱۳-۱۱
سطح ویژه(m^2/gr)	۲۰۰
شکل هندسی پودر	کروی
رنگ	سفید
ظرفیت حرارتی ویژه (J/kg.k)	۷۳۰
چگالی (kg/m^3)	۲۴۰۰

شکل ۱ تصویر TEM نانو ذره‌ی اکسید سیلیسیم مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد که دارای قطر میانگین ۱۹ نانومتر می‌باشد. مهمترین ویژگی برای انتخاب این نانو مواد ساختار کروی بودن آن‌ها می‌باشد زیرا نانو ذرات با ساختار کروی خواص تربیولوژیکی بهتری از خود نشان می‌دهند و با نفوذ به خلل و فرج سطوح و پر کردن ناهمواری‌ها به دلیل کوچکی و سطح ویژه زیاد به سادگی روی هم می‌لغزند و باعث کاهش سایش و اصطکاک و کاهش انرژی مصرفی و تولید دما می‌شوند. غلظت نانو ذرات تأثیر زیادی در عملکرد نانو روان‌کارها دارد، به‌گونه‌ای که غلظت‌های بالا (< ٪۰/۵wt) 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 (< ٪۰/۵wt) 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

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.1.8]

۰/۱ تا ۰/۵wt٪به‌عنوان غلظت بهینه نانو ذرات بیان شده است[۱۲و۱۳].



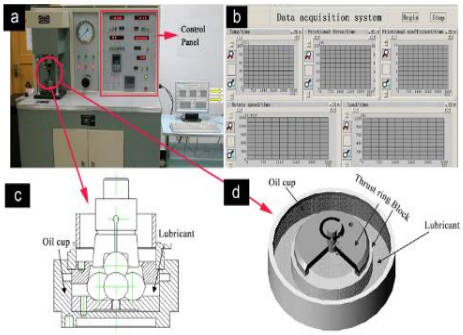
شکل۱: تصویر TEM نانو سیلیکا

در این پژوهش به‌منظور پیشگیری از مشکلات ناشی از رسوب نانوذرات بر روی اجزای گیربکس و نیز دست‌یابی به نمونه‌های پایدار از غلظت ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴wt٪ برای ساخت نانو روان‌کارها استفاده شد. برای پراکنده کردن نانو ذرات درون سیال پایه و دستیابی به یک نانوسیال پایدار از سورفکتانت Span 80 و دستگاه اولتراسونیک پروبی استفاده شد. این نوع همزن اولتراسونیک که تصویر آن در شکل(۲) نشان داده شده‌است به علت تماس مستقیم پروب با سیال توزیع بسیار بهتری حاصل می‌شود. همچنین سورفکتانت و نانوذرات با نسبت ۱:۱ به روغن پایه افزوده شدند. سپس نمونه‌ها برای مدت زمان ۳۰ دقیقه تحت امواج اولتراسونیک با توان ۴۰۰ وات قرار گرفتند. پایداری استاتیک نانوسیالات ساخته شده به صورت دیداری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور همهٔ نمونه‌های ساخته شده درون ظروف شیشه‌ای کاملاً شفاف ریخته شده و برای مدت زمان ۶ ماه در یک محیط کاملاً ساکن نگهداری شدند و روند تغییرات ایجاد شده در آن‌ها به صورت دوره‌ای و پیوسته مشاهده و ثبت گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که افزودن نانو ذره‌ی اکسید سیلیسیم 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.

شکل ۲: دستگاه اولتراسونیک پروبی مورد استفاده در پژوهش

۲-۲آزمون سایش توسط دستگاه چهار ساچمه

به منظور بررسی تأثیر نانو مواد برخواص سایشی روغن، نمونه‌ها شامل روغن پایه و روغن حاوی نانو مواد تهیه و آزمون سایش مطابق استاندارد ASTM D2266 توسط دستگاه نشان‌داده‌شده در شکل(۳) انجام شد. در آزمون مورد نظر سه نمونه روغن دارای ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴wt٪ نانو سیال حاوی اکسید سیلیسیم و یک نمونه فاقد نانو سیال برای مدت زمان مشابه ۶۰ دقیقه و تحت بار ۴۰ کیلوگرم و دور ۱۵۰۰rpm قرار گرفتند و پس از انجام آزمون میزان خراش متوسط ساچمه‌ها اندازه‌گیری و اعلام شد.



شکل ۳: تصویر شماتیک دستگاه چهار ساچمه مورد استفاده در پژوهش[2]

۲-۳ آزمون اندازه‌گیری ضریب اصطکاک

برای اندازه‌گیری تأثیر نانو مواد در روغن روان‌کار بر میزان اصطکاک، آزمون ضریب اصطکاک ایستایی (μ_s) و ضریب اصطکاک جنبشی (μ_k) انجام شد. این آزمون مشابه تست چهار ساچمه از چهارنمونه روغن حاوی ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴wt٪ نانو سیال و یک نمونه روغن پایه استفاده شد. روش آزمون مطابق استاندارد ASTM G115 می‌باشد که دستگاه به‌کار گرفته شده در این آزمون از دو صفحه لغزنده ساخته شده که روی هم قرار گرفته‌اند. صفحه بالایی دارای ابعاد ۴۹×۵۲ میلیمتر و وزن معادل ۳۹۰۷/۴ گرم می‌باشد. صفحه پایینی ثابت و صفحه بالایی قابلیت حرکت و لغزش دارد. با اعمال نیروی افقی به صفحه رویی نیروی لازم جهت لغزش به آرامی افزایش می‌یابد تا زمانی‌که صفحه‌ی بالایی شروع به حرکت نماید و اصطلاحاً در آستانه حرکت قرار گیرد در این لحظه بیشینه نیروی لازم ثبت می‌شود. با تقسیم بیشینه نیروی ثبت شده بر نیروی ایجاد شده توسط وزن صفحه، ضریب اصطکاک ایستایی به‌دست می‌آید. برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جنبشی میزان نیرو برای لغزش صفحه در فاصله ۳۰ میلیمتری اندازه‌گیری و ثبت شد و با تقسیم میانگین نیروهای ثبت شده بر نیروی ایجاد شده توسط نیروی وزن صفحه بالایی، ضریب اصطکاک جنبشی بدست آمد. این آزمون یک‌بار بدون حضور روغن، یک‌بار با حضور روغن بدون افزودنی نانو و یک‌بار با حضور روغن حاوی نانو و تزریق آن بین صفحات انجام شد و مقدار ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی در هر آزمون ثبت شد. مشخصات فنی دستگاه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک در جدول(۳) ذکر شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.1.8]

جدول ۳: مشخصات فنی دستگاه اندازه‌گیری و ثبت ضریب اصطکاک[11]

مشخصات فنی دستگاه		پارامترهای قابل اندازه‌گیری و ثبت
رنج اعمال نیرو	۰/۱ تا ۱۰۰ نیوتن	سرعت خطی برحسب میلیمتر بر دقیقه
سرعت	۱۰۰-۲۰۰ میلیمتر بر دقیقه	نیروی اصطکاک بر حسب نیوتن
دما	محیط	ضریب اصطکاک (μ)
سایز	۴۴۰ میلیمتر طول، ۳۰۰ میلیمتر عرض و ۵۵۰ میلیمتر ارتفاع	اطلاعات سیستم
وزن دستگاه	۲۵ کیلوگرم	
نیروی محرکه دستگاه	۲۲۰ AC، تک فاز	XP ویندوز
قابلیت استفاده برای مواد فلزی، پلاستیکی، لاستیکی، سرامیکی،کاغذ، و...		کاربری ساده و آسان
قابلیت استفاده هم به صورت تر و هم خشک		قابلیت ثبت و رکورد متوسط دامنه
نیروی اصطکاک/ ضریب اصطکاک		قابلیت ثبت زمان واقعی و فضای ذخیره اطلاعات

۳- نتایج و بحث

۳-۱بررسی و نتایج حاصل از آزمون چهار ساچمه

به منظور بررسی عملکرد روغن حاوی نانو بر میزان سایش بین سطوح از چهار نمونه شامل روغن پایه و روغن حاوی ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴wt٪نانو سیال برای تست سایش استفاده شد. نتایج با اندازه‌گیری متوسط قطر سایش ساچمه‌های نمونه‌ها با هم، در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴ : مقایسه آزمون چهار ساچمه روغن پایه و روغن حاوی۰/۱، ۰/۲، ۰/۴wt٪ نانوذره

روغن پایه	نانوروغن ۰/۴٪	نانوروغن ۰/۲٪	نانوروغن ۰/۱٪	نام آزمون
۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	آزمون چهار ساچمه

شکل ۴: مقدار کاهش قطر ساچمه‌ها در اثر سایش در چهار نمونه روغن

کاهش قطر نشانگر کاهش سایش در قطعه به دلیل وجود نانو سیال می‌باشد. به خاطر این مسئله است که در مقیاس میکروسکوپی که سطوح مجاور و در تماس با هم صاف و صیقلی نیستند مقدار زیادی قله و فرو رفتگی در سطح فلز وجود دارد. با حضور نانو سیال این خلل و فرج پر می‌شوند و اصولاً سطوح زبر از بین می‌روند. در نتیجه امکان بر هم کنش سطوح تیز بر یکدیگر از بین می‌رود و مقدار سایش کم می‌شود. لازم به توضیح است در صورتی‌که از درصد نانوی زیادی استفاده شود، اولاً امکان کلوخه شدن و چسبیدن نانو ذرات به یکدیگر فراهم می‌شود. از طرفی با پر شدن خلل و فرج سطوح این سطوح به صورت یک جسم اضافه فلزی بین سطوح در حرکت ایجاد مزاحمت می‌کنند. در این پژوهش انتظار می‌رفت در غلظت ٪۰/۴ سایش کمتری حاصل شود که این‌گونه نشد و اثر آن با غلظت ٪۰/۲ یکسان شد. علت آن می‌تواند توزیع غیر یکنواخت نانو ذرات در این ترکیب باشد. نتایج در جدول (۴) و شکل(۴) ذکرشده است.

۳-۲ بررسی نتایج حاصل از آزمون ضریب اصطکاک

هدف از انجام آزمون فوق، بررسی و مقایسه عملکرد سیال روان‌کار حاوی نانو سیال با سیال پایه در برابر اصطکاک می‌باشد. برای این منظور دونمونه روغن شامل روغن پایه و دیگری ترکیب روغن حاوی نانو با غلظت‌های وزنی ٪۰/۱wt ٪۰/۲wtو٪ ۰/۴Wt تهیه و آزمون انجام شد. در گام نخست دو صفحه بدون تزریق مایع روان‌کار و به صورت خشک روی هم می‌لغزند. در تست دوم بین صفحات روغن حاوی نانو سیال و در تست سوم روغن پایه بین صفحات لغزان قرار می‌گیرد. نتایج در جدول(۵) ذکر گردیده است.

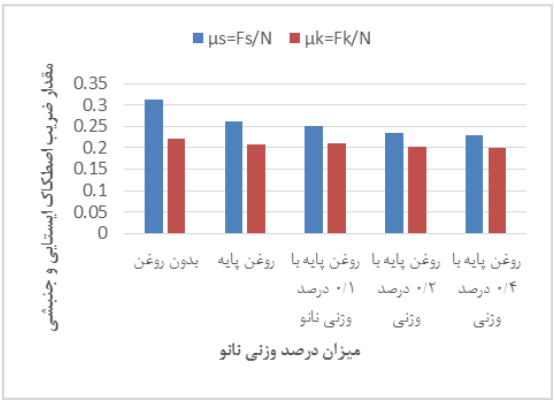
جدول ۵: نتایج حاصل از آزمون ضریب اصطکاک

نمونه	ضریب اصطکاک ایستایی	ضریب اصطکاک جنبشی
بدون روغن	۰/۳۱۳	۰/۲۲۱
نانوروان‌کار (۰/۱٪)	۰/۲۵	۰/۲۱
نانوروان‌کار (۰/۲٪)	۰/۲۳۵	۰/۲۰۱

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.1.8]

نانوروان‌کار (۰/۴٪)	۰/۲۳	۰/۲
روغن پایه	۰/۲۶۱	۰/۲۰۸



شکل ۵ : مقایسه ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی روغن پایه و روغن حاوی نانو سیال

همان‌طور که از شکل (۵) مشخص است با افزودن نانو ذره‌ی اکسید سیلیسیم به روغن پایه ضریب اصطکاک ایستایی تقریباً ۱۰ درصد کم شد و همچنین ضریب اصطکاک جنبشی حدود ۳/۶ درصد کاهش یافته‌است. در توجیه علمی می‌توان به این مسئله اشاره کرد که نانوذرات ریز کروی با نفوذ بین خلل و فرج سطوح درگیر یک لایه محافظ مرمتی تشکیل می‌دهند و سطوح زبر را می‌پوشانند و این ذرات کروی با کاهش سطوح درگیر به نقاط تماس همانند بلبرینگ‌های غلتشی، ماهیت لغزش را به غلتش تبدیل می‌کنند و باعث کاهش چشمگیر اصطکاک می‌شوند. چون نیروی راه اندازی و حرکت اولیه برای شروع حرکت بیشتر است در نتیجه نیروی اصطکاک ایستایی هم بیشتر است و با گذشت زمان و حرکت سطوح نیروی کمتری برای حرکت نیاز است.

۴- نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر نانو ذرات بر روی خاصیت ضدسایشی روغن گیربکس بود. برای این منظور نانو ذره‌ی اکسید سیلیسیم با درصدهای وزنی ۰/۱٪wt و ۰/۲٪wt و۰/۴٪wt به روغن صنعتی مهم و پرکاربرد در گیربکس ماشین‌آلات دوار به نام Shell Omalla SG220 افزوده شد. ابتدا برای پراکنده کردن نانو ذرات درون سیال پایه و دستیابی به یک نانوسیال پایدار از سورفکتانت Span 80 و دستگاه اولتراسونیک پروبی استفاده شد. سپس آزمون استاندارد چهار ساچه و ضریب اصطکاک بر روی نانو روان‌کارهای ساخته‌شده و روغن پایه انجام گرفت که نتیجه‌ی آن کاهش میانگین ٪۷/۴ میزان سایش و کاهش ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی به ترتیب به میزان ۱۰ و ٪۳/۶ در نمونه‌های حاوی نانو ذره‌ی اکسید سیلیسیم نسبت به روغن پایه بود.

مراجع

[1] A.Akinci, S. Sen, U. Sen, Friction and wear behavior of zirconium oxide reinforced PMMA Composites, 2013 Elsevier Part B 56 (2014) 42–47.

[2] T. Luo, X. Wei, X. Huang, Tribological properties of Al_2O_3 nanoparticles as lubricating oil additives, *Elsevier*, Vol. 40, No. 5, (2013)7143-7149.

[3] D.X. Peng, Y. Kang, R.M. Hwang, S.S. Shyr, Y.P. Chang, Tribological properties of diamond and SiO2 nanoparticles added in paraffin, Tribol. Int. 42 (2009) 911–917.

[4] G.L.X. Liu, B. Qin, D. Xing, Y. Guo, R. Fan, Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface, Tribology Letters, Vol. 17, No. 4, pp. 961-966, 2004.

[5] میری مقدم، سید هادی؛ زینالی هریس، سعید (۱۳۹۱)،"بررسی تجربی اثر افزودنی های نانو ذرات بر روی عملکرد حرارتی روغن ترانسفورماتور"، پایان نامه کارشناسی ارشد فنی مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد.

[6] اتفاقی،احسان الله؛ محتسبی، سید سعید (۱۳۹۰)، بررسی تاثیرات نانو ذرات بر روی خواص روغن موتور و عملکرد آن میزان کاهش سایش، فصل نامه علمی، پژوهشی تحقیقات موتور، سال هفتم، شماره ۲۴.

[7] Y. Wu, W. Tsuia, T. Liub, Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives, Wear, Vol. 262, Nos. 7-8, (2007) 819-825.

[8] B.C Ku, et al., Tribological Effects of Fullerene (C60) Nanoparticles Added in Mineral Lubricants According to Its Viscosity, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 11,(2010) 607-611.

[9] D. Jiao, S. Zheng, The tribology properties of alumina/silica composite nanoparticles as lubricant additives, Available online 26 January 2011 Elsevier Applied Surface Science 257 (2011) 5720–5725.

[10] Gu. Yang et al, Preparation of sandwich-like self-assembled n-octanethiol film containing doped silver nanoparticles on silicon wafer and evaluation of its tribological properties, Materials Research Bulletin, 55, (2014) 88–94.

[11] Http://www.irannano.org

[12] J. Lee, S. Cho, Y. Hwang, C. Lee, S. Kim, Enhancement of lubrication properties of nano-oil by controlling the amount of fullerene nanoparticle additives, Tribology Letters, Vol.28, No.2,(2007) 203-208.

[13] W.Li, S.Zheng, B. Cao, S. Ma, Friction and wear properties of Zro_2/Sio_2 composite nanoparticles, J. Nanopart Res, 13 (2011) 2129-2137.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.1.8]

.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.1.8]