Journal Of Energy Conversion
Volume: 8, Issue: 1, 2021

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

بررسی تجربی اثر نانو ذرات و حجم انباره بر میزان انرژی مصرفی، درجه حرارت و نشت روغن گردشی در یک مدار بازیاب هیدرولیکی

عادل سعدونی ۱، عباس تقی پور۲*

۱- گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران adelsdn7685@gmail.com .
۲-گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران. taghipoor@iaud.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۷

چکیده

با توجه به گسترش روزافزون کاربرد سامانه‌های هیدرولیکی در بخش‌های مختلف صنعت، توجه به مقوله‌ی مصرف انرژی و ارائه راهکارهای مناسب جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و بازیابی آن در مدارهای هیدرولیکی ضروری است. در این پژوهش تأثیر نانو ذرات و حجم انباره بر میزان مصرف انرژی، تغییرات درجه حرارت روغن گردشی در مدار و میزان نشت روغن در دو حالت مدار با روغن پایه و مدار با نانو روغن تحت تأثیر بارهای مختلف وارد بر محور موتور بررسی شد. بدین منظور از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (Tio2) به‌عنوان ماده‌ی افزودنی روغن و انباره با حجم‌های ۱/۵، ۵ و ۱۰ لیتری برای بازیابی انرژی سامانه استفاده شد. جهت انجام پژوهش سامانه هیدرولیک بدون انباره و با انباره¬های مذکور طراحی، مونتاژ و نانو ذرات موردنظر با غلظت ۰/۵ درصد وزنی با روغن هیدرولیک ترکیب و مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون‌ها در دو حالت، یک بار با روغن پایه و یک بار با نانو سیال (روغن پایه در ترکیب با دی اکسید تیتانیوم) انجام شد. با توجه به نتایج حاصل مشخص شد که کاربرد نانو ذرات به‌عنوان ماده‌ی افزودنی به روغن و سیستم بازیاب انرژی با کمک انباره‌ها تأثیر چشمگیری در بهبود میزان انرژی مصرفی، کاهش درجه حرارت روغن گردشی مدار و کاهش میزان نشت روغن داشته است.

* **عهده‌دار مکاتبات:** taghipoor@iaud.ac.ir

کلمات کلیدی: نانو ذرات، بازیاب انرژی، انرژی مصرفی، سامانه هیدرولیکی.

۱- مقدمه

عوامل بسیاری همچون بحران کمبود انرژی در جهان و محدودیت منابع انرژی به دلیل تجدید ناپذیر بودن آن، استفاده از انرژی‌های فسیلی که باعث افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود، رشد بالای مصرف انرژی به دلیل الگوی ناصحیح مصرف انرژی و اتلاف آن، عدم وجود سیستم بازیافت انرژی، هزینه‌های بالای انرژی در چرخه‌ی تولید و بار منفی آن بر اقتصاد جهان، دست‌اندرکاران و سیاست‌گذاران بخش انرژی را بر آن داشته است تا چاره‌ای جهت رویارویی با چالش‌های فوق بیاندیشند. بهینه‌سازی انرژی یکی از ابزارهای اصلی و مؤثر جهت دست‌یابی به توسعه‌ی پایدار در سراسر جهان محسوب می‌گردد. منظور

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

از بهینه‌سازی انرژی، انتخاب الگوی صحیح، ایجاد و به‌کارگیری روش‌ها و سیاست‌های درست در تولید و مصرف انرژی است که علاوه بر اینکه متضمن استمرار رشد اقتصادی می‌باشند، موجب کاهش تخریب منابع انرژی و نیز کاهش اثرات سوء ناشی از استفاده ناصحیح از انرژی بر محیطزیست و جامعه می‌گردند. امروزه در بسیاری از فرآیندهای صنعتی، انتقال قدرت، آن‌هم به‌صورت کم‌هزینه و با دقت زیاد موردنظر است؛ در همین راستا به‌کارگیری سیال تحت‌فشار در انتقال و کنترل قدرت در تمام شاخه‌های صنعت رو به گسترش است. با افزایش قیمت سوخت و بحران انرژی، مصرف انرژی زیاد در سامانه‌های هیدرولیکی توجه بیشتری را می‌طلبد. آلاینده بودن انرژی‌های فسیلی و تخریب محیطزیست را نیز نباید از نظر دور داشت. در بسیاری از کاربردهای سامانه‌های هیدرولیکی افت‌های انرژی ناشی از جریان در سوپاپ‌ها و اتصالات به‌مراتب بیشتر از افت‌های انرژی در لوله‌ها می‌باشد. کاهش میزان افت‌های انرژی در سامانه‌های هیدرولیکی تا یک حد قابل قبول از اهمیت خاصی برخوردار است. برای رسیدن به این هدف نیاز به دقت در انتخاب صحیح اندازه‌ی لوله‌ها، سوپاپ‌ها، اتصالات و روغن مناسب دارد که سیستم را تشکیل می‌دهند. استفاده از روغن با کیفیت بالا منجر به افزایش کارایی، کاهش خرابی قطعات درگیر و توقف‌های ماشین ناشی از عدم روان‌کاری مناسب، صرفه‌جویی در هزینه و جلوگیری از اتلاف انرژی و کاهش مصرف سوخت می‌شود. ظهور و گسترش روزافزون فن‌آوری نانو موجب پیدایش نسل جدیدی از نانو روان‌کار شده است که با کاربرد آن در سامانه‌های هیدرولیک می‌توان با کاهش تلفات اصطکاکی تا حد زیادی از اتلاف انرژی جلوگیری کرد.

در سامانه‌های هیدرولیکی از روش‌ها و فن‌آوری‌های مختلفی برای ذخیره انرژی استفاده می‌شود. از جمله‌ی این روش‌ها استفاده از فلایویل، باتری‌ها، ابر خازن‌ها و انباره‌های هیدرولیکی می‌باشد. انباره‌های هیدرولیکی یکی از فن‌آوری‌های مناسب است که دارای چگالی، توان و انرژی بالایی هستند و در مواردی که زمان عملکرد پی‌درپی می‌باشد کاربرد آن‌ها مناسب است. مادامی‌که انباره‌های هیدرولیکی در فشار بالا کار می‌کنند این امکان فراهم می‌شود که اجزای سیستم کوچک طراحی شوند و با دبی کم امکان داشتن یک جزء کوچک برای ذخیره‌ی انرژی و رهاسازی آن در مواقع لزوم فراهم می‌شود. استفاده از روغن باکیفیت بالا منجر به افزایش کارایی، کاهش خرابی قطعات درگیر و توقف ماشین ناشی از عدم روان‌کاری مناسب، صرفه‌جویی در هزینه و جلوگیری از اتلاف انرژی و کاهش مصرف سوخت می‌شود. یکی از روش‌های بهبود کیفیت روغن، استفاده از مواد افزودنی نظیر نانو ذرات جامد در آن می‌باشد. نانو ذرات پس از ترکیب با روغن پایه باعث بهبود خواص روغن پایه از قبیل کاهش ضریب اصطکاک، بهبود ضریب هدایت حرارتی، کاهش مقدار ساییدگی در اجزای سیستم، ترمیم سطوح درگیر و بهبود خواص سطحی، افزایش بازده، کاهش مصرف سوخت در اثر کاهش اصطکاک، افزایش طول عمر قطعات و کاهش هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات می‌شوند. نانو ذرات به دلیل اندازه، شکل و دیگر خواص منحصربه‌فردشان به‌عنوان نوع جدیدی از افزودنی‌ها پدیدار گشته‌اند. نانو روان‌کارها نوعی افزودنی روان‌کار پایه‌اند که خواص روان‌کاری و خواص انتقال حرارت بهبودیافته نسبت به روان‌کارهای متداول دارند[1].

من و همکاران در سال ۲۰۱۵ پژوهشی تحت عنوان مطالعه‌ی یک سیستم بازیاب انرژی با انباره برای تجهیزات آزمون ضربه هیدرولیک انجام دادند. نتایج مدل‌سازی و شبیه‌سازی نشان داد که سیستم آزمون ضربه هیدرولیکی به کمک انباره می‌تواند سبب کاهش مصرف انرژی تا ۱۵٪ در مقایسه با سیستم بدون انباره شود. علاوه بر این با کاربرد انباره بازده انرژی سیستم آزمون ضربه هیدرولیکی از٪۶۲/۸ به ٪۷۵/۷۱ افزایش یافت. همچنین نتایج شبیه‌سازی و آزمایش‌های تجربی نشان داد که کنترل عملکرد تجهیزات آزمون ضربه هیدرولیکی به همراه انباره نسبت به تجهیزات بدون انباره بهتر است و سرعت پاسخ سریع‌تر و محدوده فشار بالاتری دارد[2]. هیکیلا و لینجاما در سال ۲۰۱۶ در پژوهش خود تحت عنوان بازیابی انرژی هیدرولیکی در سامانه‌ی هیدرولیک دیجیتال کنترل موقعیت به این نتیجه رسیدند که کاربرد انباره می‌تواند سبب ذخیره‌ی انرژی و کاهش بیشینه توان مصرفی سیستم شود[3]. پارمن و زین‌الدین در سال ۲۰۱۶ در پژوهش خود تحت عنوان طراحی و تحلیل سیستم بازیاب انرژی کامیون هنگام ترمز، به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیستم بازیاب انرژی ترمز می‌تواند تا ٪۴۰ از توان هدر رفت موتور را ذخیره و مجدداً استفاده کند. هرچند نمی‌توان تمام انرژی هدررفته را بازیابی کرد، ولی این تکنولوژی می‌تواند کاهش مصرف سوخت، کاهش آلودگی، کاهش سایش سیستم ترمز و بهبود حرکت کامیون را به همراه

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

داشته باشد[4]. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ با کاربرد انباره‌ها در یک سامانه‌ی هیدرولیکی احیاکننده، راهکاری ارائه نمود که عملکرد سامانه و توان قابل بازگشت آن‌را می‌توان بهینه کرد. با تغییر مقاومت بار و ظرفیت انباره‌ها می‌توان توان مصرفی و مقدار حرارت ایجادشده را تغییر داد. قدرت خروجی این مدار توسعه‌یافته، تقریباً ۲۶۰ وات با قدرت بهره‌وری ۴۰٪ نسبت به مدارهای ساده بود[5]. مانر و همکاران در سال ۲۰۱۶، پژوهشی تحت عنوان ارزیابی یک سیستم بازیاب انرژی جک بالابر هیدرولیکی برای پیش‌برها انجام دادند. مکانیزم آن‌ها به‌گونه‌ای بود که از یک جک دوم در میله جک اصلی استفاده شده بود و برای ذخیره انرژی پتانسیل هنگام پایین آمدن بوم به شکل روغن تحت‌فشار در یک انباره استفاده می‌شد و از این انرژی ذخیره‌شده برای بالا رفتن بوم بعدی استفاده می‌شد. نتایج، کاهش ٪۹/۴ انرژی مصرفی در طول حرکت روبه بالای بوم را نشان داد[6]. با توجه به اهمین سامانه‌های هیدرولیکی در صنعت و ضرورت توجه به موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی و بازیابی آن در مدارهای هیدرولیکی در این پژوهش در نظراست به ارزیابی و تحلیل عملکرد در یک مدار هیدرولیکی که از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم(Tio2) به‌عنوان ماده‌ی افزودنی روغن و انباره جهت بازیابی انرژی سامانه استفاده شده است، پرداخته شود.

۲- مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش بررسی تأثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در ترکیب با روغن هیدرولیک بر انرژی مصرفی یک مدار هیدرولیکی که از انباره جهت بازیابی انرژی سامانه استفاده‌شده است می‌باشد. بدین منظور تأثیر نانو ذرات و حجم انباره بر میزان مصرف انرژی، تغییرات درجه حرارت روغن گردشی در مدار و میزان نشت روغن در دو حالت روغن پایه و روغن به همراه نانو ذرات در بارهای وارد مختلف بر محور موتور انجام شد. جهت انجام پژوهش مدار مورد نظر طراحی و نانو ذرات با غلظت ۰/۵ درصد وزنی با روغن هیدرولیک ترکیب و مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بخش تجهیزات و نحوه‌ی انجام آزمون‌های موردنیاز در پژوهش ذکرشده است. در ابتدا مشخصات مواد ازجمله روغن و نانو ذرات موردنیاز، نحوه‌ی ترکیب و تهیه‌ی نانو روغن و آزمون‌های پایداری اشاره‌شده است. سپس شرح آزمون‌های موردنیاز جهت مقایسه‌ی عملکرد سیال پایه با نانو سیال ارائه شده است.

۲-۱- مشخصات روغن‌پایه

در این پژوهش، از روغن بهران هیدرولیک 32HP که یک روغن هیدرولیک مهم و پرکاربرد می‌باشد به‌عنوان روغن‌پایه استفاده شد. این روغن برای روان‌کاری انواع سیستم‌های هیدرولیک مناسب است. این محصول از نوع بدون خاکستر و عاری از فلز روی(Zn) است و به همین دلیل برای استفاده در سامانه‌های هیدرولیکی که دارای آلیاژهای نرم و رنگی هستند پیشنهاد می‌شود. از دیگر مزایای آن می‌توان به پایداری حرارتی، مقاوم به اکسیداسیون، محافظت بسیار خوب در برابر خوردگی و زنگ زدگی، قدرت روان‌کاری عالی و خواص ضد کف مناسب اشاره کرد. مشخصات فیزیکی این روغن در جدول (۱) ذکر گردیده است.

جدول(۱): مشخصات فنی[1] روغن مورداستفاده در پژوهش[۷]

مشخصه	مقدار	واحد
گران‌روی در دمای ۴۰درجه سانتی‌گراد	32	cSt
گران‌روی در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد	5.5	cSt
چگالی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد	874	kg/m^3
شاخص گران‌روی	100	-
نقطه‌ی ریزش	-30	°C
نقطه‌ی اشتعال	204	°C

[1]-Data Sheet

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

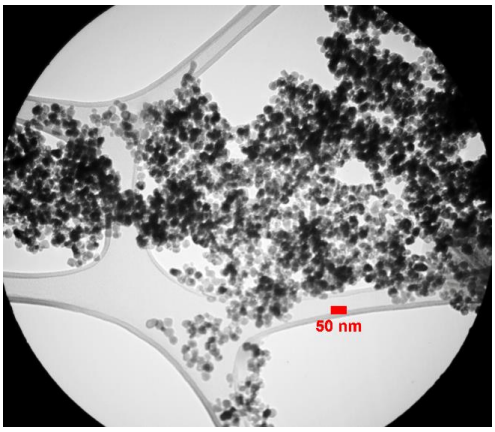
الف) مشخصات نانو مواد

نانو ذرات انتخابی در این پژوهش دی اکسید تیتانیوم(TiO_2) از نوع آناتاس بود. دی اکسید تیتانیوم به‌صورت ذرات کروی با قطر ۲۵ -۱۰ نانومتر و با خلوص ۹۹٪ بود که مشخصات آن در جدول (۲) ذکر شده است.

جدول(۲): مشخصات فنی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم[۸]

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

شکل (۱) تصویر TEM[۲] نانوذرات دی اکسید تیتانیوم مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. مهم‌ترین ویژگی برای انتخاب این نانو مواد ساختار کروی بودن آن‌ها می‌باشد زیرا نانو ذرات با ساختار کروی خواص تریبولوژیکی بهتری از خود نشان می‌دهند و با نفوذ به خلل و فرج سطوح و پرکردن ناهمواری‌ها به دلیل کوچکی و سطح ویژه زیاد به سادگی روی‌هم می‌لغزند و باعث کاهش سایش، اصطکاک و کاهش انرژی مصرفی و تولید دما می‌شوند. در پژوهشی که وفایی زاده و تقی پور تحت عنوان بررسی تجربی تأثیر نانو ذرات بر خواص تریبولوژیکی روان‌کننده‌های زیستی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۵ درصد وزنی از نظر خواص تریبولوژیکی و ضریب هدایت حرارتی بهترین نتیجه را داشت. به همین خاطر در این پژوهش از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۵ درصد وزنی استفاده شد[۹].



شکل(۱) : تصویر TEM نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم[۸]

۲-۲- روش ساخت نانو سیال و بررسی پایداری آن

به دلیل اهمیت موضوع پراکندگی و پایداری نانو ذرات در سیال پایه برای روغن‌های روان کار، ساخت و دستیابی به یک نانو سیال پایدار و مناسب برای کاربردهای صنعتی بزرگ‌ترین چالش است. برای پراکنده کردن نانو ذرات درون سیال پایه و دستیابی به یک نانو سیال پایدار از سورفکتانت Span 80 و حمام آلتراسونیک استفاده شد. نمونه‌ها برای مدت زمان ۳۰ دقیقه تحت امواج آلتراسونیک قرار گرفتند. این امواج می‌توانند پیوندهای بین تکه‌های کلوخه شده را بشکنند و باعث افزایش کیفیت محلول شوند. حمام آلتراسونیک در این پژوهش ساخت شرکت Rocker از کشور تایوان، در مرکز تحقیقات مواد و انرژی

[2]- Transmission electron microscopy

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول استفاده شد. همچنین سورفکتانت و نانو ذرات با نسبت ۱:۱ به روغن پایه افزوده شدند. برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده شد. پایداری استاتیک نانو سیالات ساخته‌شده به‌صورت دیداری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور نمونه‌ی ساخته‌شده درون ظروف شیشه‌ای کاملاً شفاف ریخته شد و برای مدت زمان ۳ ماه در یک محیط کاملاً ساکن نگهداری شدند و روند تغییرات ایجادشده در آن‌ها به‌صورت دوره‌ای و پیوسته مشاهده و ثبت گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که افزودن نانوذرات به روغن 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.

۲-۳- سامانه هیدرولیک مورداستفاده در پژوهش

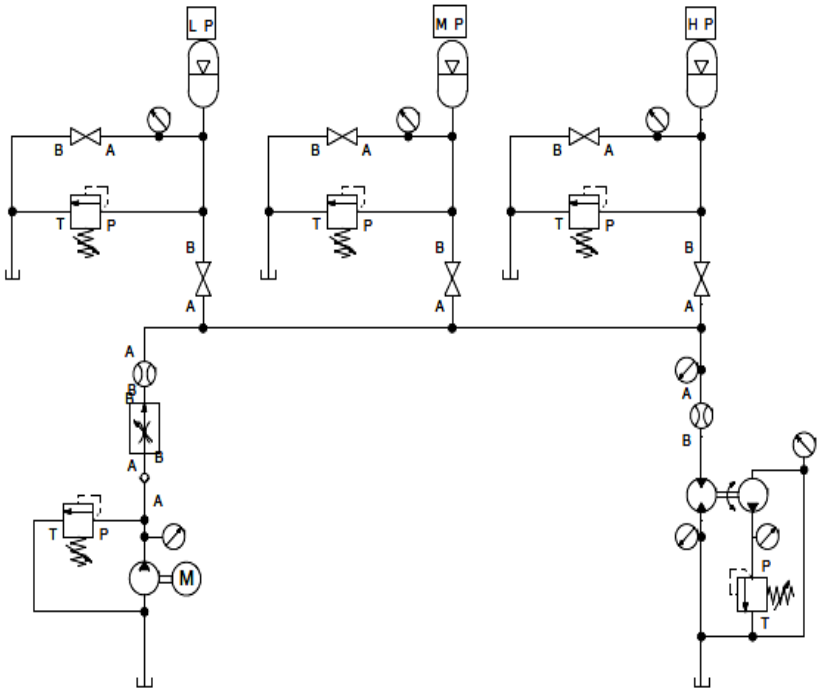
برای انجام آزمون‌های موردنظر از سامانه‌ی هیدرولیک شامل واحد توان[۳] که دربرگیرنده‌ی پمپ دبی ثابت از نوع دنده خارجی با (حجم جابه‌جایی ۲۰ cm^3/rev و حداکثر فشار قابل‌تحمل ۱۰۰ bar)، الکتروموتور سه فاز با (توان۱/۵kw، سرعت ۱۴۱۰rpm) ساخت شرکت تکو[۴] از کشور EU(مشترک فرانسه، آلمان و بریتانیا)، سوپاپ اطمینان از نوع ساده، سوپاپ قفل از نوع یک‌طرفه پایلوت دوبل ساخت شرکت اتوس[۵] از کشور ایتالیا، به همراه فیلتر ۱ میکرون و مخزن با ظرفیت ۶۰Lit هست. سوپاپ کنترل جهت مورد استفاده قرقره‌ای[۶] ۳/۴ (سه وضعیته، چهار دهانه) با مکانیزم تحریک دستی و برگشت از نوع فنری ساخت شرکت اتوس از کشور ایتالیا بود(شکل ۲). انباره‌های مورد استفاده شامل سه انباره از نوع دیافراگمی، ساخت شرکت هیداک[۷] از کشور آلمان که انباره کوچک با حجم ۱/۵Lit ، فشار شارژ اولیه ۱۰bar، فشار ماکزیمم ۲۱۶bar، انباره متوسط با حجم ۵Lit ، فشار شارژ اولیه ۱۵bar، فشار ماکزیمم ۲۱۶bar و انباره بزرگ با حجم ۱۰Lit، فشار شارژ اولیه ۳۰bar، فشار ماکزیمم ۲۱۶bar می‌باشد. هیدرو موتور نیز از نوع جابه‌جایی ثابت مدل دنده‌ای با (حجم جابه‌جایی ۵۰ cm^3/rev و حداکثر فشار کاری ۴۰۰bar) ساخت شرکت دانفوس[۸] از کشور دانمارک می‌باشد. مدار هیدرولیک سامانه مورد استفاده در پژوهش در شکل(۳) نشان داده شده است. در این مدار جهت اعمال بار مقاوم از پمپ واحد بارگذاری استفاده شد. مطابق شکل در این مجموعه از یک سوپاپ فشار شکن ساده استفاده شده است که با تغییر فشار شکست، بار مقاوم اعمال شده در برابر هیدروموتور تغییر داده شد.



شکل (۲): واحد توان مورد استفاده در پژوهش به همراه سوپاپ کنترل جهت۳/۴

[3]-Power Pack
[4]-TECO
[5]-atos
[6]-Spool Valve
[7]-Hydac
[8]-Danfoos

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]



شکل(۳) : مدار هیدرولیک سامانه‌ی مورد استفاده

۲-۴- ابزار اندازه‌گیری دقیق

اندازه‌گیری جریان سیال به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری در صنایع مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جریان‌سنج مورد استفاده در این پژوهش از نوع مکانیزم توربینی می‌باشد. این جریان‌سنج ساخت شرکت پارکر[۹] از کشور آلمان است. ظرفیت این حسگر ۳-۶۰lit/min و حداکثر فشار قابل تحمل ۴۲۰bar می‌باشد. حسگر فشار مورد استفاده در این پژوهش نیز ساخت شرکت جمز[۱۰] کشور آلمان می‌باشد و قابلیت اندازه‌گیری محدوده‌ی ۰-۴۰۰bar را دارد. با توجه به اهمیت پایش دمای روغن در سامانه‌های هیدرولیکی در این پژوهش از حسگر نوع ترموکوپلی استفاده شد. این حسگر ساخت شرکت آرمفیلد[۱۱] کشور انگلستان می‌باشد و قابلیت اندازه‌گیری دما در محدوده‌ی ۴۰- تا ۱۱۰+ درجه‌ی سانتی‌گراد را دارد.

۳. نتایج و بحث

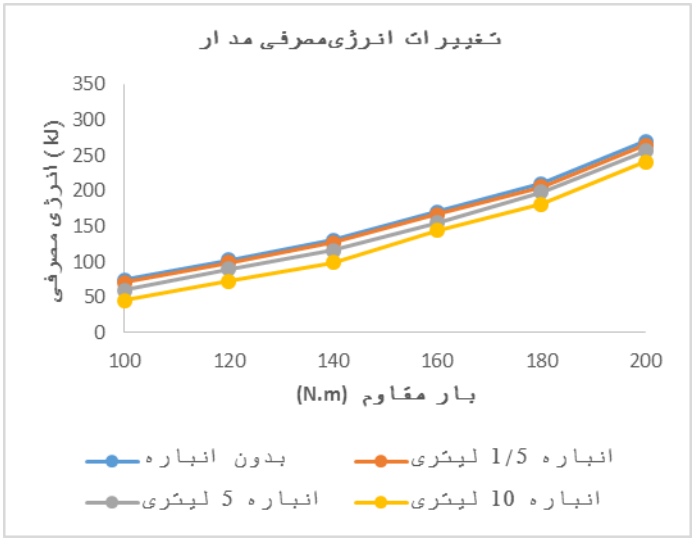
۳-۱- نتایج مربوط به آزمون میزان انرژی مصرفی

میزان انرژی مصرفی مدار مربوطه در این آزمون در دو حالت، یک‌بار با روغن پایه و یک‌بار با نانو سیال (روغن پایه در ترکیب با دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۵ درصد وزنی) با سه تکرار تعیین شد(شکل‌های ۴ و ۵). همچنین در هر حالت اثر حجم انباره‌های مختلف (۱/۵، ۵ و ۱۰ لیتری) بر میزان انرژی مصرفی مدار اندازه‌گیری شد(شکل‌های ۶ و۷). با توجه به نتایج آزمون با افزایش بار مقاوم به هیدرو موتور میزان انرژی مصرفی آن نیز زیاد شد. در این آزمون‌ها هم با سیال پایه و هم با نانو سیال افزایش حجم انباره تأثیر مثبتی در کاهش انرژی مصرفی مدار داشت. با کاربرد انباره‌ها می‌توان انرژی را ذخیره نمود. به‌طور خلاصه در سامانه‌های هیدرولیکی که نیاز به مقدار زیادی از روغن در طول مراحل کاری کوتاه می‌باشند، کاربرد انباره-

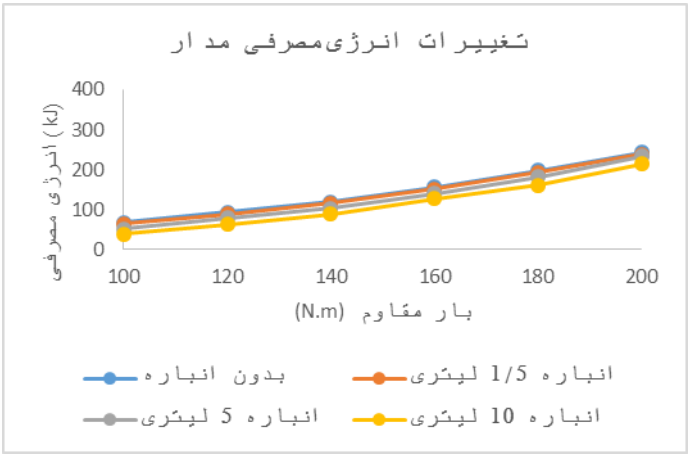
[9]-Parker
[10]-Gems
[11]-Armfield

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

های هیدرولیکی می‌تواند یک راه حل اقتصادی باشد. با توجه به شکل(۶) در حداکثر بار مقاوم اعمال‌شده (۲۲۰N.m) برای مدار با سیال پایه میزان کاهش انرژی مصرفی با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری در مقایسه با حالت بدون انباره به ترتیب ٪۷/۸۳، ٪۴/۱۹ و ٪۱/۱۴ بود. همچنین با توجه به شکل(۷) در حداکثر بار مقاوم اعمال‌شده(۲۲۰N.m) برای مدار با نانو سیال میزان کاهش انرژی مصرفی با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری در مقایسه با حالت بدون انباره به ترتیب ٪۱۱/۸۲، ٪۴/۱۷ و ٪۲/۱۹ بود. به عبارتی کاربرد انباره‌ها با حجم‌های مختلف در هر دو حالت سبب کاهش انرژی مصرفی مدار شد. بنابراین انباره-های هیدرولیکی یکی از فن‌آوری‌های مناسب است که دارای چگالی، توان و انرژی بالایی هستند و در مواردی که زمان عملکرد پی‌درپی می‌باشد کاربرد آن‌ها مناسب است. مادامی‌که انباره‌های هیدرولیکی در فشار بالا کار می‌کنند این امکان فراهم می‌شود که اجزای سیستم کوچک طراحی شوند و با دبی کم امکان داشتن یک جزء کوچک برای ذخیره‌ی انرژی و رهاسازی آن در مواقع لزوم فراهم می‌شود. انباره‌های هیدرولیکی بدون محدودیت در تعداد دفعات می‌توانند بارگیری و تخلیه شوند.



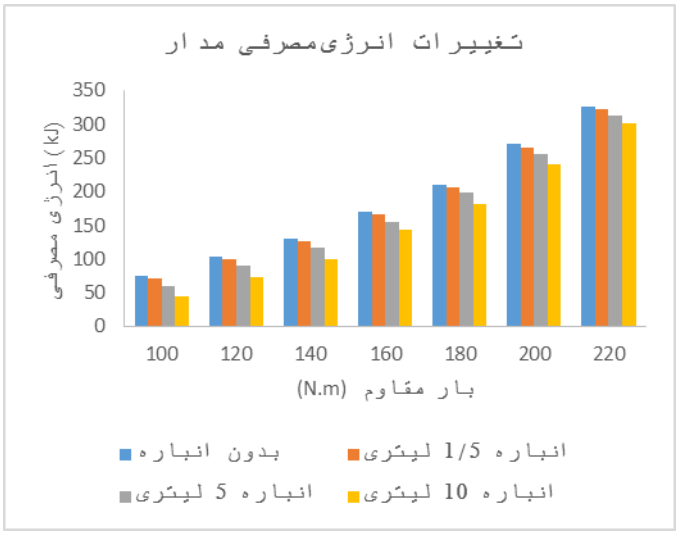
شکل(۴): تأثیر انباره با حجم‌های مختلف بر میزان انرژی مصرفی مدار شامل روغن پایه



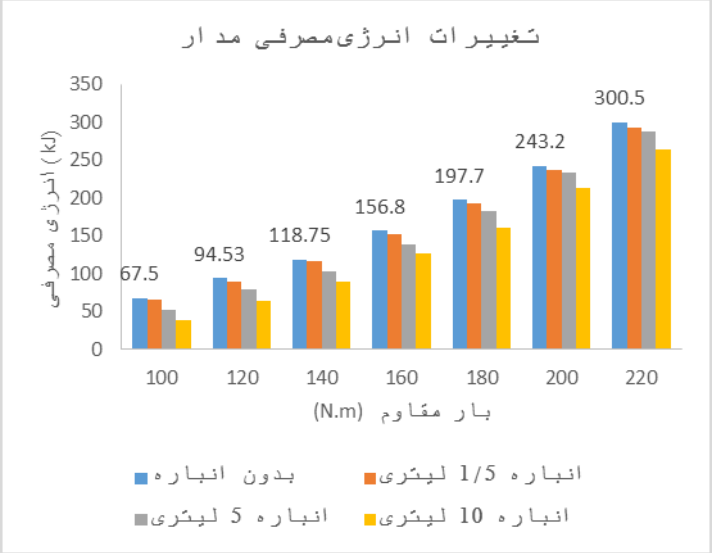
شکل (۵) : تأثیر انباره با حجم‌های مختلف بر میزان انرژی مصرفی مدار شامل نانو سیال

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]



شکل (۶) : مقایسه انرژی مصرفی مدار با روغن پایه تحت تأثیر انباره با حجم‌های مختلف



شکل (۷) : مقایسه انرژی مصرفی مدار با نانو سیال تحت تأثیر انباره با حجم‌های مختلف

در تمامی موارد انرژی مصرفی مدار حاوی نانو سیال نسبت به مدار حاوی سیال پایه در بارهای مقاوم مختلف کاهش داشته است. به‌طور مثال در بار مقاوم حداکثر (۲۲۰N.m) کاهش انرژی مصرفی مدار در حالت بدون انباره، با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری به ترتیب ۹/۹٪، ۱۱٪، ۸/۹۶٪ و ۱۰٪ بود. این نتایج نشان‌دهنده‌ی نقش مثبت نانو ذرات در بهبود عملکرد مدار و کاهش انرژی مصرفی مدار می‌باشد. طبق نظر لی[۱۲] و همکاران بهبود خواص فشار پذیری و ضد سایشی نانو روان کارها ناشی از سه اثر نانو ذرات می‌باشد که عبارت‌اند از:

- ذرات نانو همانند غلتک‌هایی بین دو سطح اصطکاکی عمل نموده و تماس بین دو سطح را کاهش می‌دهد.
- ذرات نانو با پوشاندن سطوح زبر، لایه‌ی محافظی بین سطوح ایجاد می‌کند.

[12]-Lee et al

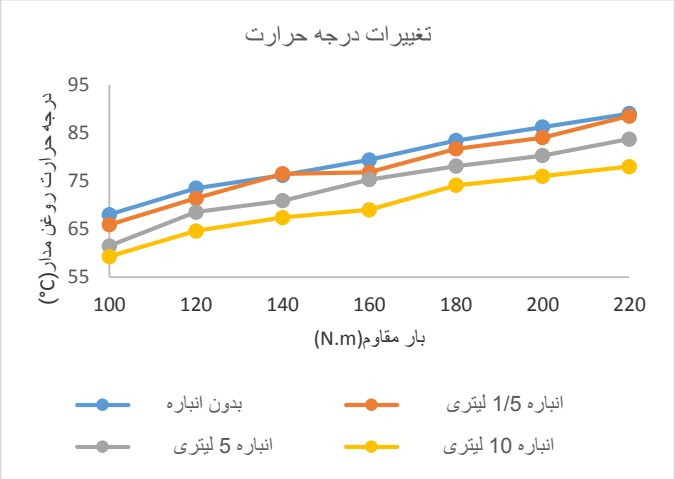
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

ذرات نانو اضافه‌شده به روغن اثر مرمتی دارد، به‌گونه‌ای که با پر کردن خلل و فرج و خراشیدگی‌ها جرم ازدست‌رفته را جبران می‌کند و زبری سطوح را کاهش می‌دهد[10]. ژیا[13] و همکاران در سال ۲۰۱۷ نیز در پژوهش خود که از نانوذرات اکسید تیتانیوم در ترکیب با امولسیون آب-روغن استفاده کردند، کاهش ضریب اصطکاک گزارش شد؛ 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 روان کاری ایفا کند، چون‌که ذرات نانو نمی‌تواند در خلل و فرج سطوح تماس جای‌گیر شود و خود به‌عنوان جسم ساینده عمل می‌کند[11].

۳-۲- نتایج مربوط به تغییرات درجه حرارت روغن گردشی در مدار

در این بخش تغییرات درجه حرارت روغن گردشی مدار در دو حالت، یک‌بار با روغن پایه و یک‌بار با نانو سیال تعیین شد. در شکل‌های (۸ و ۹) تغییرات درجه حرارت روغن گردشی مدار به ترتیب با روغن پایه و نانو سیال در حالت بدون انباره و با انباره با حجم‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمون‌ها افزایش حجم انباره‌ها هم در مدار با روغن پایه و هم در مدار با نانو سیال، سبب کاهش درجه حرارت روغن گردشی مدار شد.



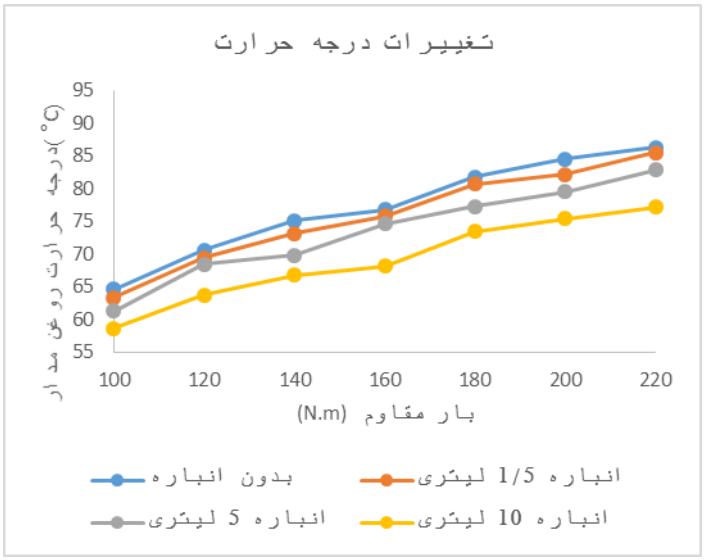
شکل (۸): تأثیر انباره با حجم‌های مختلف بر تغییرات درجه حرارت روغن گردشی مدار شامل روغن پایه

بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌ها مطابق شکل(۱۰) در حداکثر بار مقاوم اعمال‌شده(۲۲۰N.m) برای مدار با سیال پایه میزان کاهش درجه حرارت روغن گردشی مدار با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری در مقایسه با حالت بدون انباره به ترتیب ۱۲/۳٪، ۵/۹٪ و ۰/۵۶٪ بود. همچنین با توجه به شکل (۱۱) در حداکثر بار مقاوم اعمال شده(۲۲۰N.m) برای مدار با نانو سیال میزان کاهش درجه حرارت روغن گردشی مدار با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری در مقایسه با حالت بدون انباره به ترتیب ۱۰/۵۴٪، ۳/۹۳٪ و ۰/۹۲٪ بود. البته با توجه به نتایج، انباره ۱/۵ لیتری تأثیر معنی داری نداشت. این یافته با نتایج پورموحد[14] و همکاران مطابقت دارد. آن‌ها در پژوهش خود تحت عنوان ارزیابی تجربی راندمان انباره هیدرولیکی با و بدون لاستیک کشسان به این نتیجه رسیدند که انباره‌های هیدرولیکی تأثیر مثبتی در دفع حرارت روغن دارند و با افزایش حجم انباره رابطه

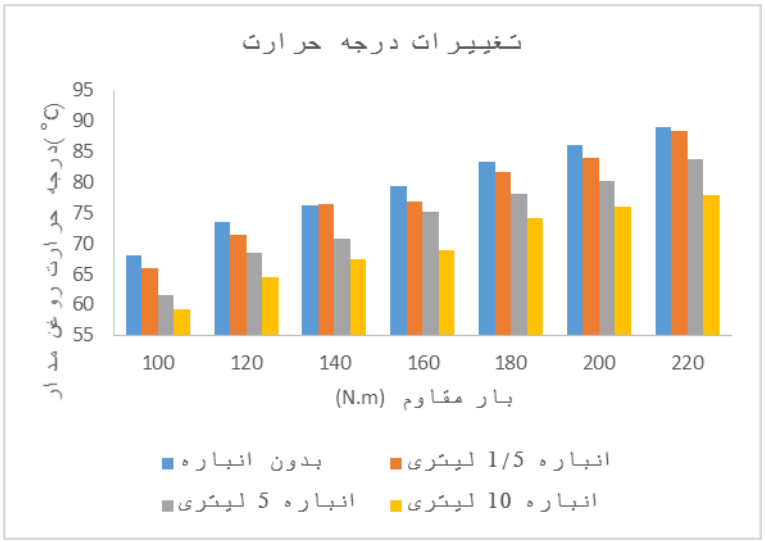
[13]- Xia et al
[14]- Pourmovahed et al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

مستقیم دارد[۱۲]. هنری هانینه[۱۵] و همکاران نیز در سال ۲۰۱۶ در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از انباره‌ها جهت بازیابی انرژی نقش مثبتی در کاهش حرارت سامانه‌های هیدرولیکی دارد[13]. بر اساس نتایج در تمامی موارد درجه حرارت روغن گردشی مدار حاوی نانو سیال نسبت به مدار حاوی سیال پایه در بارهای مقاوم مختلف کاهش داشته است.



شکل (۹): تأثیر انباره با حجم‌های مختلف بر تغییرات درجه حرارت روغن گردشی مدار شامل نانو سیال

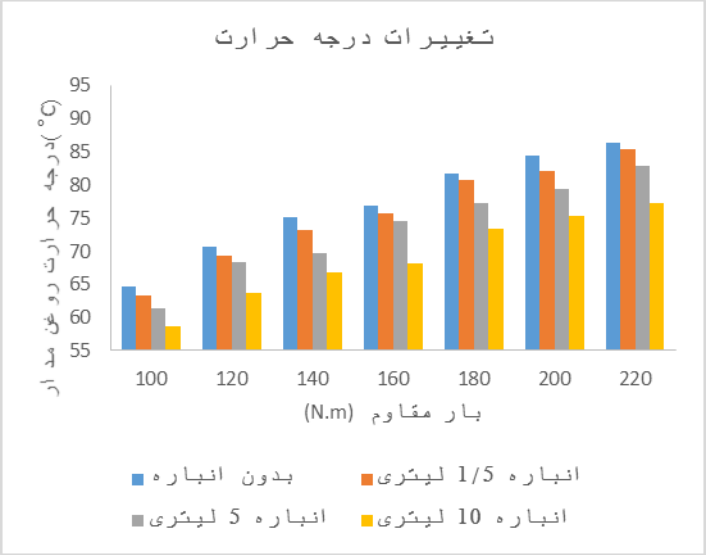


شکل (۱۰) : مقایسه تغییرات درجه حرارت روغن گردشی مدار با روغن پایه تحت تأثیر انباره با حجم‌های مختلف

[15]- Henri Hänninen et al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]



شکل (۱۱) : مقایسه تغییرات درجه حرارت روغن گردشی مدار با نانو سیال تحت تأثیر انباره با حجم‌های مختلف

به‌طور مثال در بار مقاوم حداکثر (۲۲۰N.m) کاهش درجه حرارت مدار در حالت بدون انباره، با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری به ترتیب ٪۵/۹۵، ٪۱/۰۲، ٪۰/۹۵ و ٪۱/۱۳ بود. نتایج آزمون‌ها نشان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت نانو ذرات ترکیب با روغن در کاهش درجه حرارت روغن گردشی مدار در بارهای مقاوم اعمال شده می‌باشد. البته در پژوهشی که وفایی و تقی‌پور در سال ۱۳۹۷ تحت عنوان بررسی تجربی تأثیر نانو ذرات بر خواص تریبولوژیکی روان کننده‌های زیستی انجام دادند، دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۵ درصد وزنی بهترین نتایج را از نظر افزایش ضریب هدایت حرارتی داشت، به همین خاطر در این پژوهش نیز این انتظار می‌رفت که نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم مورد استفاده با غلظت ۰/۵ درصد وزنی نقش مثبتی در کاهش درجه حرارت روغن داشته باشد. افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی با افزایش میزان نانو ذرات در سیال، مربوط به افزایش سطح ویژه نانو ذرات می‌باشد که فاصله‌ی 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 روان کار مثل پوسته تبادل حرارت می‌کنند و یا به نحوی دیگر ضریب انتقال حرارت را افزایش می‌دهد[۹]. یکی از فواید کاربرد نانو ذرات در سیال کمک به بهبود ضریب هدایت حرارتی آن می‌باشد. با توجه به اینکه جامدات فلزی و اکسیدهای آن‌ها، رسانش بالاتری نسبت به سیالات دارند، ایده پراکنده‌سازی ذرات جامد درون سیال، برای بالا بردن رسانش سیال موردتوجه قرارگرفته است. ژوان[۱۶] و لی دو دلیل برای افزایش انتقال حرارت در نانو سیالات ارائه کرده‌اند:

- توزیع حرارتی افزایش‌یافته به دلیل حرکات بی‌نظم نانو ذرات که تبادل انرژی در سیال را شتاب می‌دهند و
- افزایش هدایت حرارتی نانو سیال در مقایسه با سیال پایه [14].

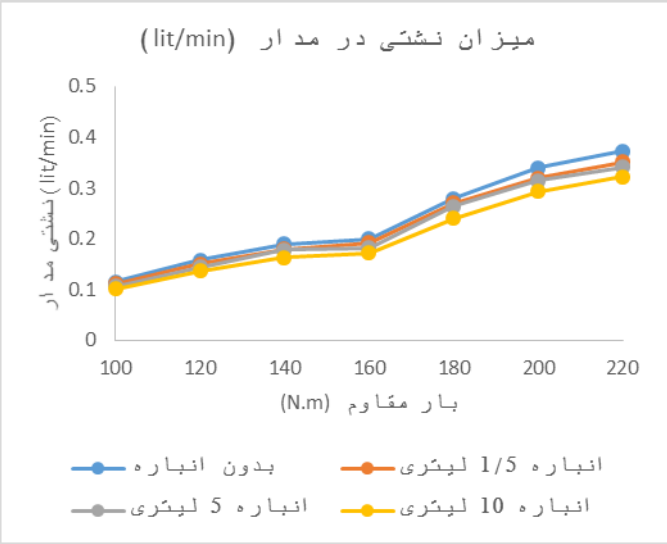
این یافته با نتایج کاویاراسو[۱۷] و واسانتان مطابقت داشت. آن‌ها در پژوهش خود از نانو ذرات مس و اکسید مس با غلظت-های ۰/۱ و ۰/۰۵ درصد وزنی در ترکیب با روغن پایه SAE20W40 استفاده نمودند، گزارش آن‌ها حاکی از افزایش ضریب هدایت حرارتی نانو سیال‌ها به میزان ٪۴/۲ و ٪۲/۱ به ترتیب برای مس و اکسید مس دارد[15]. وانگ[۱۸] و ژو نیز در پژوهشی از نانو ذرات آلومینا(AL_2O_3) و اکسید مس(CuO) به‌عنوان افزودنی در ترکیب با روغن‌موتور، آب، اتیلن گلیکول و سیال پمپ خلأ استفاده نمودند. نتایج افزایش ضریب هدایت حرارتی هرکدام از نانو سیال‌ها در مقایسه با سیال پایه را نشان داد[16].

16 - Xuan and Li
17- Kaviyarasu and Vasanthan
18 - Wang and Xu

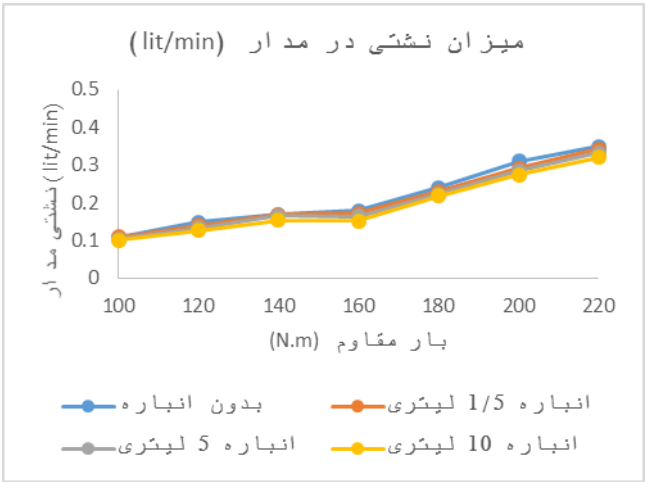
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

۳-۳- نتایج مربوط به میزان نشت روغن

در این بخش تغییرات میزان نشت روغن گردشی مدار در دو حالت، یک‌بار با روغن پایه و یک‌بار با نانو سیال تعیین شد. در شکل‌های(۱۲ و ۱۳) تغییرات میزان نشت روغن گردشی مدار به ترتیب با روغن پایه و نانو سیال در حالت بدون انباره و با انباره با حجم‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمون‌ها افزایش حجم انباره‌ها هم در مدار با روغن پایه و هم در مدار با نانو سیال، سبب کاهش میزان نشت روغن گردشی مدار شده است.



شکل (۱۲): تأثیر انباره با حجم‌های مختلف بر میزان نشتی مدار شامل روغن پایه

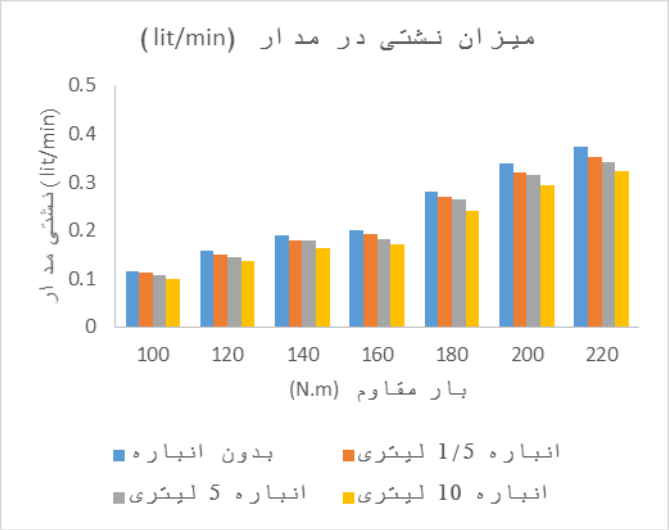


شکل (۱۳): تأثیر انباره با حجم‌های مختلف بر میزان نشتی مدار شامل نانو روغن

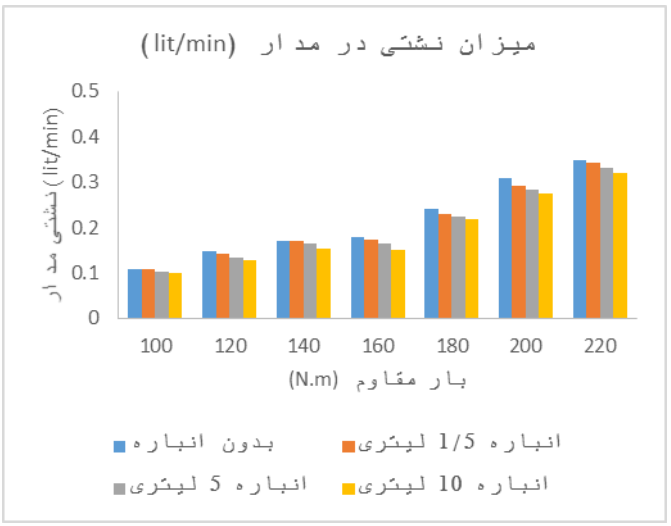
با توجه به نتایج آزمون‌ها مطابق شکل(۱۴) در حداکثر بار مقاوم اعمال‌شده(۲۲۰N.m) برای مدار با سیال پایه میزان کاهش نشت روغن گردشی مدار با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری در مقایسه با حالت بدون انباره به ترتیب ٪۱۳/۴، ٪۸/۳۱ و ٪۵/۶۳ بود. همچنین با توجه به شکل (۱۵) در حداکثر بار مقاوم اعمال‌شده(۲۲۰N.m) برای مدار با نانو سیال میزان کاهش نشت روغن گردشی مدار با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری در مقایسه با حالت بدون انباره به ترتیب ٪۸/۲۸، ٪۵/۱۴ و ٪۲/۲۸ بود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]



شکل (۱۴) : مقایسه تغییرات میزان نشتی مدار با روغن پایه تحت تأثیر انباره با حجم‌های مختلف



شکل (۱۵) : مقایسه تغییرات میزان نشتی مدار با نانو روغن تحت تأثیر انباره با حجم‌های مختلف

با توجه به نتایج آزمون، در تمامی موارد میزان نشت روغن گردشی مدار حاوی نانو سیال نسبت به مدار حاوی سیال پایه در بارهای مقاوم مختلف کاهش داشته است. به‌طور مثال در بار مقاوم حداکثر (۲۲۰N.m) کاهش میزان نشت روغن در حالت بدون انباره و با انباره‌های ۱۰، ۵ و ۱/۵ لیتری به ترتیب ٪۶/۱۶، ٪۰/۶۲، ٪۲/۹۲ و ٪۲/۸۴ بود. نتایج آزمون‌ها نشان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت نانو ذرات ترکیب با روغن در کاهش میزان نشتی روغن گردشی مدار در بارهای مقاوم اعمال‌شده می‌باشد. کاهش نشت روغن در مدارهای هیدرولیکی می‌تواند تأثیر بسیار زیادی در جلوگیری از هدر رفت روغن داشته باشد که نتیجه آن کاهش هزینه‌های مصرفی می‌باشد. به‌طورکلی از تأثیر نشتی در مدارهای هیدرولیکی می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- مصرف زیاد روغن
- راندمان پایین ماشین
- آسیب‌های زیست‌محیطی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمون‌ها مشخص شد در سامانه هیدرولیکی مورد استفاده، هم با سیال پایه و هم با نانو سیال افزایش حجم انباره و نانو ذرات ترکیب با روغن تأثیر مثبتی در کاهش انرژی مصرفی، کاهش درجه حرارت روغن گردشی مدار و کاهش میزان نشت روغن گردشی مدار داشت. بنابراین در کاربردهایی که زمان عملکرد پی‌درپی می‌باشد استفاده از انباره‌ها مناسب است. به‌خصوص در مواردی که سامانه در فشار بالا کار می‌کند، امکان طراحی و کاربرد اجزای کوچک‌تر برای سامانه فراهم می‌شود و نتیجه‌ی آن ذخیره‌ی انرژی و رهاسازی آن در مواقع لزوم می‌باشد. نانو ذرات موجود در روغن اثر مرمتی دارد، نانو ذرات با پر کردن خلل و فرج و خراشیدگی‌ها جرم ازدست‌رفته را جبران می‌کند و با کاهش زبری سطوح تماسی میزان اصطکاک را نیز کاهش می‌دهد.

مراجع

[1] Liu, G., Li, X., Qin, B., Xing, D., Guo, Y., Fan, R. " *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.

[2] Man, Z., Ding, F., Ding, C., Liu, S., "*Study of an Energy Regeneration System with Accumulator for Hydraulic Impulse Testing Equipment*", Journal of Mechanical Engineering, Vol. 61, No. 3, pp. 196-206, 2015.

[3] Heikkilä, M., Linjama, M., "*Hydraulic Energy Recovery in Displacement Controlled Digital Hydraulic System*", the 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Linköping, Sweden, 2016.

[4] Parman, S., Zainuddin, E., "*Design and Analysis of Hudraulic in a Heavy Commercial Vehicle by Recovering Energy During Braking*", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences,Vol. 11, No. 20, pp. 11999-12004 , 2016.

[5] Wang, Xi., Xu, Xi., "*Thermal Conductivity of Nanoparticle–Fluid Mixture*", JOURNAL OF THERMOPHYSICS AND HEAT TRANSFER, Vol. 13, No. 4, pp. 474-480, 1999.

[6] Manner, J., Lindroos, O., Arvidsson, H., Nordfjell, T., "*Evaluation of a New Energy Recycling Hydraulic Lift Cylinder for Forwarders*", Croat. j. for. eng. Vol. 37, No. 2, pp. 219-231, 2016.

[7] *Technicall Data Sheet Behran oil*, www. behranoil.com, 2019.

[8] *Iranain Nanomaterils Pioneers Company*, Third unit. No51.Sadaf No.5.Vakil Abad Blv. Mashhad City, Khorasan Province, Iran. Website: iraNanotech.com, 2018.

[9] Vafaeizadeh, M., Taghipour, A., *Experimental Study of the Influence of Nanoparticles on the Tribological Properties of Biological Lubricants*", Master Thesis, Dezful Branch, Islamic Azad University, 2018.

[10] Lee, C.G., Hwang, Y.J., Choi, Y.M., Lee, J.K., Choi, C., Oh, J.M., "*A study on the tribological characteristics of graphite nano lubricants*", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. Vol. 10, No. 1, pp. 85-90, 2009.

[11] Xia, W., Zhao, J., Cheng, X., Sun, J., Wu, H., Yana, Y., Jiao, S., Jiang, Zh., "*Study on growth behaviour of oxide scale and its effects on tribological property of nano-TiO_2 additive oil-in-water lubricant*", Wear, Vol. 376, No. 377, pp. 792–802, 2017.

[12] Pourmovahed, A., Baum, S.A., Fronczak, F.J., Beachley, N.H., "*Experimental evaluation of hydraulic accumulator efficiency with and without elastomeric foam*", J. Propul. Pow.; (United States) , Vol. 4, 1988.

[13] Hänninen, H., Juhala, J., Kajaste, J., Pietola, M., "*Hydraulic Energy Recovery System Utilizing a Thermally Regenerative Hydraulic Accumulator Implemented to a Reach Truck*", 10th International Fluid Power Conference Dresden. Group L - Mobile Hydraulics | Paper L-2, pp. 547-558, 2016.

[14] Xuan, Y., Li, Q., "*Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids*", Journal of Heat Transfer, Vol. 125, No. 1, pp. 151-155, 2003.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

[15] Kaviyarasu, T., Vasanthan, B., "*IMPROVEMENT OF TRIBOLOGICAL AND THERMAL PROPERTIES OF ENGINE LUBRICANT BY USING NANO-MATERIALS*", Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, Vol. 7, No. 1-, pp. 208-211, 2015.

[16] Wang, R., Gu, F., Cattley, R., Ball, A. D., "*Modelling, Testing and Analysis of a Regenerative Hydraulic Shock Absorber System*", Energies, Vol

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]

چکیده انگلیسی:

Experimental Investigation of the Effect of Nanoparticles and Accumulator Volume on the Energy Consumption, Temperature and Circulating Oil Leakage in a Hydraulic Recovery Circuit

Adel Saadoni [1], Abbas Taghipoor[2*]

1- Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran. adelsdn7685@gmail.com

2*- Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran. taghipoor@iaud.ac.ir

Received: May 2021, Accepted: May 2021

Abstract

Due to the increasing use of hydraulic systems in different sectors of the industry, it is necessary to pay attention to the concept of energy consumption and to provide appropriate solutions to optimize energy consumption and recovery in hydraulic circuits. In this study, the effect of load on motor, effect of nano particles and capacity of accumulators were investigated on energy consumption, circulation oil temperature variations in the circuit and oil leakage in both circuit with base oil and nano-oil circuit. For this purpose, titanium dioxide nanoparticles (Tio2) as oil additives and accumulators with volumes of 1.5, 5 and 10 liters were used for energy recovery of the system. A hydraulic system was designed and assembled to conduct the research. The desired nano particles With concentration of 0.5 wt.% were mixed with a hydraulic oil and Was tested. The tests were performed in two modes, once with base oil and once with nano fluid (base oil in combination with titanium dioxide). The results showed that the application of nano particles as an additive to oil and energy recovery system with the help of accumulators had a significant effect on improving energy consumption, reducing circulation oil temperature and reducing oil leakage.

Key words: Nano particles, energy recovery, energy consumption, hydraulic system.

*corresponding author: **taghipoor@iaud.ac.ir**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.1.2.6]