



## بررسی آزمایشگاهی اثر جرمی نانوذرات اکسیدروی، اکسید نیکل، اکسید آهن و اکسید کادمیوم در نسبت دمپینگ نانو سیال های پایه گلیسرین

علی کامل<sup>1</sup>، مسعود پور<sup>2\*</sup>، حسن کریمی مله<sup>3</sup>، احسان جمشیدی<sup>4</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان

3- استادیار، مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان

4- استادیار، مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان

\* قوچان، صندوق پستی 94771-67335، m.pour@qiet.ac.ir

### چکیده

### اطلاعات مقاله

در سال های اخیر استفاده از نانوذرات در سیال های پایه به منظور افزایش خاصیت جذب انرژی و بهبود ویسکوزیته سیال مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این راستا، در این مقاله به بررسی تأثیر اضافه شدن نانو ذرات فلزی شامل ZnO و Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>، NiO، CdO با درصد های جرمی متفاوت، در نسبت دمپینگ و ویسکوزیته سیال پایه گلیسرین پرداخته شده است. انتخاب این سیال پایه به دلیل کاربرد آن در برخی روانسازها است، که می تواند سبب بهبود جذب انرژی همچنین بهبود ضریب اصطکاک در محل تماس دو سطح شود. نانو ذرات فلزی مورد استفاده، به روش رسوب دهی شیمیایی تولید شده اند و با استفاده از تحریک اولتراسونیک در گلیسرین معلق شده اند. سپس با استفاده از آزمایشات ویسکومتریک و آنالیز تحریک محیطی مقادیر ویسکوزیته و دمپینگ نانو سیال ها تعیین شده است. به منظور کاهش احتمال رسوب نانو ذرات از جرم های 0/2gr، 0/4gr و 0/6gr نانو ذرات استفاده شده است. نتایج نشان می دهند که در حالت 0/2gr، در تمامی نانو ذرات، ویسکوزیته کاهش یافته و در 0/6gr نانو ذرات ZnO، CdO و Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ویسکوزیته افزایش قابل ملاحظه ای دارد. از سوی دیگر با وجود آنکه، تمامی نانوذرات سبب افزایش نسبت دمپینگ نسبت به سیال پایه شده اند، اما روند تغییرات آنها به ازای نوع و مقدار جرم نانو ذرات مختلف متفاوت است، بطوریکه روند تغییرات به ازای افزایش جرم در نانوذرات NiO و ZnO افزایشی و در نانوذرات CdO و Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> کاهش می یابد.

مقاله پژوهشی کامل  
دریافت: 13 دی 1397  
پذیرش: 3 مرداد 1398  
ارائه در سایت: اردیبهشت 1399

### کلیدواژه ها:

نانو سیال  
ویسکوزیته  
نسبت دمپینگ  
روش تجزیه حوزه فرکانس

## Experimental evaluation of the effect of the mass of ZnO, NiO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CdO nanoparticles on the damping ratio of Nano-fluid with glycerin base

Ali Kamel<sup>1</sup>, Masoud Pour<sup>2\*</sup>, Hassan Karimi Male<sup>2</sup>, Ehsan Jamshidi<sup>3</sup>

1- Mechanical Engineering Department, Quchan University of Technology, Quchan, Iran

2- Chemical Engineering Department, Quchan University of Technology, Quchan, Iran

3- Mechanical Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

\*P.O.B. 94771-67335, Quchan, Iran, m.pour@qiet.ac.ir

### Article Information

Original Research Paper  
Received 3 January 2019  
Accepted 25 July 2019  
Available May 2020

### Keywords:

Nano fluid  
Viscosity  
Damping ratio  
Frequency domain decomposition method

### Abstract

In recent years, the addition of the nanoparticles in base oils has been considered in order to improve the energy absorption and viscosity of oils by researchers. In this regard, in this paper, the effects of the addition of metal oxide nanoparticles, including CdO, NiO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, and ZnO with different weight percentages, on the damping ratio and the viscosity of the glycerin as base fluid has been investigated. The choice of this base fluid is due to its application in some lubricants, which can enhance the energy absorption and also improve the friction coefficient in the contact area of the two surfaces. The metal oxide nanoparticles are synthesized by chemically deposited and they are suspended in glycerin by ultrasonic stimulation. After that, viscosity experiments and OMA method are carried on for measuring viscosity and damping ratio, respectively. To reduce the probability of precipitating nanoparticles, mass fraction of nanoparticles include 0.2, 0.4 and 0.6 grams were chosen. Although, the results show that, the viscosity decrease in different nanoparticles with 0.2 gr mass, it enhance with 0.6 gr mass of the ZnO, CdO and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. On the other hand, despite the fact that all of the nanoparticles have enhanced the damping ratio, the results indicate that trend of variations of the NiO and ZnO nanoparticles are positive and CdO and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles are negative.

شده اند، که این موضوع در بخش های مختلف تولید مورد توجه

### 1- مقدمه

امروزه نانوسیال ها به عنوان موادی با شرایط مختلف کاری، مطرح قرار گرفته است. به عنوان مثال در برخی شرایط از نانوسیال برای

### Please cite this article using:

A. Kamel, M. Pour, H. Karimi Male, E. Jamshidi, Experimental evaluation of the effect of the mass of ZnO, NiO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CdO nanoparticles on the damping ratio of Nano-fluid with glycerin base, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 8- 16, 2020 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

بالای جرمی نانو ذرات بصورت رفتار سیال غیرنیوتنی بررسی شده است. بدین ترتیب مشخص گردیده است افزایش  $Fe_3O_4$  سبب افزایش نسبت دمپینگ اتیلن گلايکول خواهد شد. اتیلن گلايکول در فرکانس‌های مختلف با ترکیب در درصد‌های جرمی مختلف دارای خاصیت جذب انرژی بیشتری می‌شود،  $Fe_3O_4$  هرچند حداکثر مقدار آن تقریباً 0/005% می‌باشد اما می‌تواند برای جلوگیری از ایجاد آشفستگی در یک سیستم مد نظر قرار بگیرد [4]. در این ترکیب افزایش جرمی آهن سبب افزایش خاصیت جذب انرژی نانو سیال خواهد شد. در برخی مقالات نظیر [6] نشان داده شده است که در زمان عدم حضور میدان مغناطیسی ویسکوزیته روغن به صورت تابعی از عوامل معلق کننده و درصد حجمی ذرات می‌باشند.

در علم مکانیک یکی از روش‌های جذب انرژی سیستم‌های دینامیکی از استفاده از دمپ‌های ویسکوز است. محدودیت ویسکوزیته تولید شده توسط روغن‌های پایه سبب شده است که محققان با استفاده از اضافه کردن افزودنی‌های مختلف به محدوده‌های ویسکوزیته مورد نظر خود دست یابند. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری نسبت دمپینگ سیال وجود دارد. در این مقاله برای اندازه‌گیری دمپینگ نانو سیال‌های ساخته شده از روش FDD به عنوان یکی از روش‌های تحلیل مودال محیطی، OMA استفاده شده است. اساس این روش بر مبنای استفاده از تحریک تصادفی می‌باشد و قابلیت جداسازی نویز و فرکانس‌های اصلی سیگنال در حالتی که فرکانس‌های تولید شده به یکدیگر نزدیک هستند را دارد. این روش در سال 2000 توسط برینکر در [7] ارائه شده است.

در این مقاله ابتدا به سنتز نانو ذرات اکسید روی، اکسید نیکل، اکسید کادمیوم و اکسید آهن پرداخته شده و سپس با انجام تست‌های XRD صحت ایجاد این نانوذرات ارزیابی شده است. سپس بررسی تغییرات ویسکوزیته و نسبت دمپینگ آنها به ازای تغییر مقدار جرمی نانوذرات مختلف انجام شده است. برای تشریح نتایج بدست آمده از آزمایشات SEM و DLS نانو سیال‌های تولید شده استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند به جز نانوسیال ساخته شده با ZnO در سایر نانوسیال‌های ساخته شده، ارتباط ویسکوزیته و نسبت دمپینگ به صورت مستقیم نیست و در برخی مواقع رفتار این دو پارامتر مخالف انتظار اولیه می‌باشد.

## 2- سنتز نانو ذرات

در این پژوهش برای سنتز نانو ذرات از روش رسوبی استفاده

افزایش انتقال حرارت از بخش‌های درونی یک سیستم حرارتی استفاده می‌شود. در بخش‌هایی از آن برای روانکاری حرکت اجسام استفاده شده و در بخش‌هایی برای کاهش دادن انرژی حرکتی قطعات استفاده می‌شود. بدین ترتیب امکان بکارگیری آن در شرایط مختلف فراهم شده است و اصلاح هریک از این شرایط به گونه‌ای که هدف مورد نظر را تأمین نماید، با استفاده از نانو ذرات اضافه شده به سیال پایه امکان‌پذیر است. مجدوب و همکاران در [1] نشان دادند که گلیسرین در روغن‌کاری محل اتصال سطوح فولادی شرایط بهتری را نسبت به 150NS و POA4 می‌تواند ایجاد نماید. اسیدهای چرب غیر اشباع مانند اولئیک و لینولنیک به صورت گسترده جهت اصلاح اصطکاک در سوخت‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند [2]. در اکثر سیستم‌های مکانیکی ارتعاشات به صورت غیرخطی است بدین ترتیب ایجاد نسبت دمپینگ‌های بالاتر می‌تواند در کاهش ارتعاشات و نویز در سیستم مفید واقع شود [3]. این موضوع در کنترل ارتعاشات ماهواره‌های فضایی که دارای محدودیت‌های وزن و متغیر بودن شرایط کاری هستند، بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

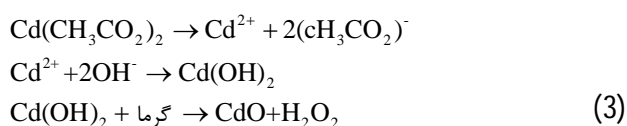
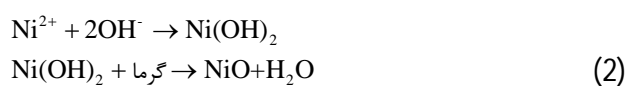
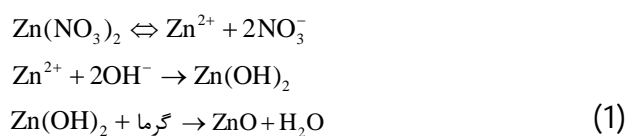
از حدود دو دهه قبل تلاش‌های گسترده‌ای برای بررسی‌های آزمایشگاهی بهبود ضریب انتقال حرارت و بهبود ویسکوزیته نانو سیال‌ها انجام شده است. برای این منظور استفاده از Cnt، Sci،  $Al_2O_3$ ،  $TiO_2$ ،  $ZrO_2$ ،  $Fe_3O_4$  و برخی نانو کامپوزیت‌ها مدنظر محققان قرار گرفته‌اند. یک خاصیت مهم نانو سیال‌ها خاصیت جذب انرژی یا میرایی آنها می‌باشد. از آنجایی که استفاده از نانو سیال‌ها در روغن‌های موتور و روغن‌های سیستم‌های تعلیق کاربرد دارد، لذا حالت بهینه نسبت دمپینگ چنین موادی حائز اهمیت می‌باشد. انتقال مناسب حرارت در کنار ویسکوزیته بهینه و همچنین خاصیت جذب انرژی بالا می‌تواند شرایط ایده‌آل یک نانو سیال در شرایط کاربردی ذکر شده باشد.

در تحقیقات گذشته [4] بررسی اثر نسبت دمپینگ در روغن SAE40 در اثر اضافه کردن نانوذره اکسید آهن در میدان‌های مغناطیسی مختلف بررسی شده است. همچنین در [5] به بررسی اثر درصد حجمی نانو ذره ZnO در ایجاد شرایط نسبت دمپینگ در اتیلن گلايکول براساس درصد‌های جرمی مختلف پرداخته شده است. برای این منظور از آزمایش‌هایی با دمای  $20^{\circ}C$  در یک بستر تست مکانیکی به همراه تجهیزات شتاب‌سنج استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که افزایش جرمی می‌تواند سبب افزایش نسبت دمپینگ این سیال شود.

رفتارهای اتیلن گلايکول در برخی مقاله‌ها در درصد‌های

گردیده است. سنتز اکسید نانو ذرات نیکل، روی و کادمیوم در 2 مرحله صورت گرفته است به این معنا که ابتدا محلول حاوی نمک‌های مورد نیاز ساخته شده و برای تشکیل بلور مناسب، از خشک کردن نانو ذرات استفاده شده است. باید توجه داشت که خشک کردن نانو ذرات خود به 2 بخش مجزا تقسیم می‌شود. در مرحله اول پس از ساخت محلول و تشکیل رسوبات حاصل آنها را در آون قرار داده تا رطوبت مواد خارج شود. در مرحله بعد رسوبات را در کوره قرار داده تا مواد اکسید شوند. در این مرحله رنگ رسوبات تغییر خواهد کرد. روش رسوبی با توجه به کم هزینه بودن آن یکی از روش‌های پرکاربرد در زمینه سنتز نانو ذرات بشمار می‌آید. این روش به صورت تجربی می‌باشد و استفاده از نمک‌های نیترات یا نمک سولفات در تهیه نانو ذرات مختلف بدین دلیل است که به تجربه ثابت گردیده که استفاده از هر کدام از این نمک‌ها رسوبات بهتر با اندازه بیشتری برجا می‌گذارند. از آنجاکه روش سنتز رسوبی برای اکسید نانو ذرات نیکل، روی یکسان است و تنها مواد و دما و زمان‌های انجام بخش‌های مختلف پروسه با یکدیگر متفاوت می‌باشند، در اینجا تنها سنتز اکسید روی تشریح می‌شود. در شکل‌های 1 و 2 به صورت شماتیک روش سنتز انجام شده برای هر یک از مواد نشان داده شده است.

در مرحله نخست محلول 50 میلی لیتر محلول روی نیترات از صافی عبور داده



به آرامی ترکیب کرده و 20 دقیقه هم زده شود

CdO (نیترات کادمیوم 5/91 گرم)  
NiO (سولفات نیکل 4/86 گرم)  
ZnO (روی نیترات 3/71 گرم)

+ 2 گرم هیدرواکساید سدیم

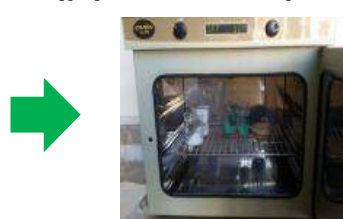
= به آرامی ترکیب کرده و 20 دقیقه هم زده شود

از صافی عبور داده



به مدت 12 ساعت در دمای 120 در آون  
به مدت 18 ساعت در دمای 80 در آون  
به مدت 18 ساعت در دمای 80 در آون

در دمای 500 درجه به مدت 3 ساعت در کوره  
در دمای 450 درجه به مدت 3 ساعت در کوره  
در دمای 300 درجه به مدت 3 ساعت در کوره



شکل 1 روند سنتز اکسید روی، اکسید نیکل، اکسید کادمیوم

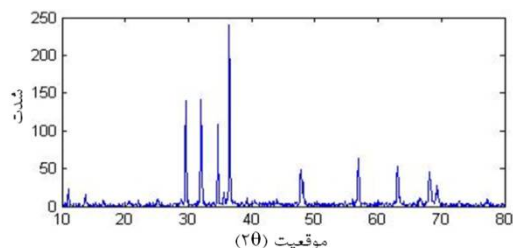
Fig. 1 The synthesis procedure of ZnO, NiO, CdO



شکل 2 روند سنتز اکسید آهن

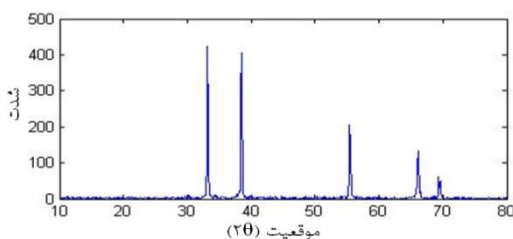
Fig. 2 Synthesis procedure of the  $Fe_3O_4$

اکسید آهن به ترتیب مشابه نتایج ارائه شده در مراجع [8-11] می‌باشند که تأییدی بر صحت تولید نانو ذرات مورد نظر است.



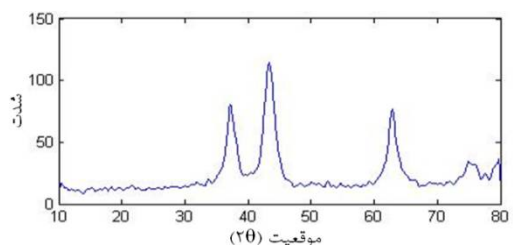
شکل 3 XRD اکسید روی

Fig. 3 The XRD of ZnO



شکل 4 XRD اکسید کادمیوم

Fig.4 The XRD of CdO



شکل 5 XRD اکسید نیکل

Fig. 5 The XRD of NiO

### 3- ساخت نانو سیال

به منظور ساخت نانو سیال با جرم‌های مختلف 0/2 gr، 0/4gr و

برای سنتز اکسید آهن ابتدا محلول‌های 0/1 مولار از سولفات آهن 7 آبه (A)، 0/2 مولار از کلراید آهن 6 آبه (B)، 0/1 مولار از اسید هیدروکلریک (C) و 2 مولار از هیدروکسید پتاسیم (D) تهیه شد. تمام این محلول‌ها در حجم 100 میلی‌لیتر تهیه شد. ابتدا 100 میلی‌لیتر از محلول A را با 100 میلی‌لیتر از محلول B و 100 میلی‌لیتر از محلول C ترکیب کرده و تحت گاز نیتروژن به مدت 10 دقیقه در دمای محیط هم‌زده شد. سپس 70 میلی‌لیتر از محلول سود 2 مولار قطره قطره در شرایط هم زدن شدید به مدت 40 دقیقه در دمای اتاق اضافه شد. با اضافه شدن سود محلول سیاه رنگی تشکیل شد. بعد از اتمام مقطر شستشو داده شد. بعد از شستشو این رسوب در آون با دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار داده شد تا آب آن خارج و خشک شود. بعد از اتمام واکنش با استفاده از یک آهن‌ریا رسوب تشکیل شده (نانوذرات سنتز شده) از آب جدا شد. رسوب حاصل چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد. بعد از شستشو این رسوب در آون با دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار داده شد تا آب آن خارج و خشک شود. در شکل 2 روند سنتز  $Fe_3O_4$  نشان داده شده است.

با توجه به فرایند بیان شده فوق، جرم خالص هریک از اکسیدهای حاصل شده براساس اکسید روی، اکسید نیکل، اکسید کادمیوم و اکسید آهن به ترتیب 0/72gr، 1/62gr، 1/18gr و 1/83 gr می‌باشد. در ادامه با انجام آزمایش‌های XRD در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد، تأیید صحت مواد ایجاد شده انجام شده است. در شکل‌های 3 تا 6 نتایج XRD اکسیدهای حاصله نشان داده شده است. زاویه تابش بین 10 تا 80 می‌باشد ( $10 < 2\theta < 80$ ).

نتایج XRD اکسید روی، اکسید کادمیوم، اکسید نیکل و

است، و از روش‌های تحریک محیطی (OMA) می‌باشد. این روش به سادگی استفاده می‌شود زیرا تمرکز آن بر روی اطلاعات هر مود ترسیم شده به صورت مجزا می‌باشد.

پایه اساسی این روش بر مبنای روش SVD است و در صورتیکه تحریک با استفاده از یک نویز سفید انجام شود و ساختار دارای دمپینگ کمی باشد، این روش برای تعیین مشخصات مودال مناسب است [7]. در صورتیکه این شرایط برآورده نشوند، نتایج حاصل شده به صورت تقریبی هستند.

ارتباط بین ورودی  $x(t)$  و خروجی  $y(t)$  با استفاده از رابطه بیان شده توسط بندهات و پی یرسول [12] به صورت معادله (4) در نظر گرفته شده است.

$$G_{yy}(j\omega) = \overline{H}(j\omega)G_{xx}(j\omega)H(j\omega)^T \quad (4)$$

در اینجا  $G_{xx}(j\omega)$  ماتریس چگالی طیف توانی ورودی است که به صورت  $r \times r$  می‌باشد و  $G_{yy}(j\omega)$  ماتریس چگالی طیف توانی پاسخ و  $H(j\omega)$  تابع پاسخ فرکانسی سیستم است.  $H(j\omega)$  می‌تواند بر حسب بردار شکل مود و بردار مشارکت مودها به صورت معادله 5 بازنویسی شود [7]. از ترسیم  $H(j\omega)$  می‌توان شکل مودهای پایدار سیستم را شناسایی کرد و دمپینگ هر یک را به صورت جداگانه مشخص نمود.

$$H(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{\phi_k \gamma_k^T}{j\omega - \lambda_k} + \overline{\frac{\phi_k \gamma_k^T}{j\omega - \lambda_k}} \quad (5)$$

در اینجا  $\lambda_k$  قطب و  $R_k$  باقی مانده مود  $k$  ام می‌باشند. اگر ورودی نویز سفید یا همان تحریک محیطی باشد و بر اساس تئوری کسر جزئی هویساید و انجام برخی تغییرات ریاضی، تابع خروجی می‌تواند به صورت رابطه (6) بیان شود.

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{j\omega - \lambda_k} + \overline{\frac{A_k}{j\omega - \lambda_k}} + \frac{B_k}{-j\omega - \lambda_k} + \overline{\frac{B_k}{-j\omega - \lambda_k}} \quad (6)$$

که در این رابطه  $A_k$  به صورت رابطه (7) در نظر گرفته شده است. در این رابطه  $\alpha_k$  بخش حقیقی قطب  $\lambda_k = -\alpha_k + j\omega_k$  است.

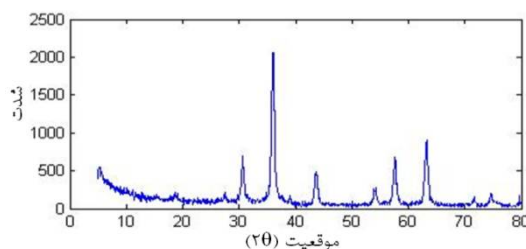
$$A_k = \frac{R_k G_{xx}(j\omega) \overline{R_k^T}}{2\alpha_k} \quad (7)$$

## 5- بحث و نتایج

### 5-1- تعیین ویسکوزیته

نانو سیال‌های تولید شده به منظور تعیین ویسکوزیته در سرعت  $0/1 \text{ m/s}$  در دستگاه ویسکوزمتر DV III Ultra-LV ساخت شرکت بروکفلید آمریکا، که برای اندازه‌گیری ویسکوزیته در موادی با ویسکوزیته پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد

gr 0/6 از 50ml گلیسرین استفاده شده است. مطابق با شکل 7، اکسیدهای مورد نظر در دستگاه اولتراسونیک نشان داده شده با شرایط 400Hz به مدت 20 دقیقه به صورت 10 ثانیه تحریک و 3 ثانیه توقف، با گلیسرین ترکیب شده‌اند. با توجه به بالا رفتن دمای سیال در زمان تحریک آن، از یک حمام آب سرد 25 درجه سانتی‌گرادی در خارج بشر سیال استفاده شده است. در شکل 8 نمونه‌های آماده شده نانو سیال‌ها نمایش داده شده‌اند.



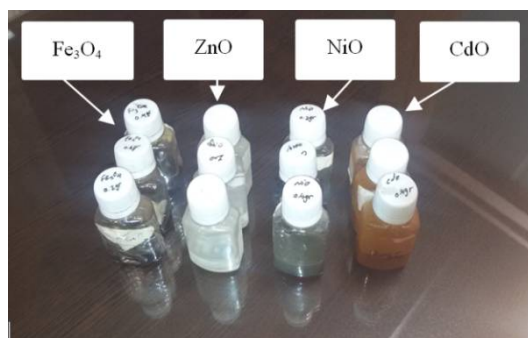
شکل 6 XRD اکسید آهن

Fig. 6 The XRD of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$



شکل 7 دستگاه اولتراسونیک استفاده شده برای تهیه نانو سیال (نمونه نشان داده شده نانو سیال تولید شده با گلیسرین و اکسید روی می‌باشد).

Fig. 7 The Ultrasonic device are used for providing Nano-Fluid( The sample is shown a Nano-fluid with ZnO particles in glycerin)



شکل 8 نانو سیال‌های آماده شده جهت انجام آزمایش‌ها

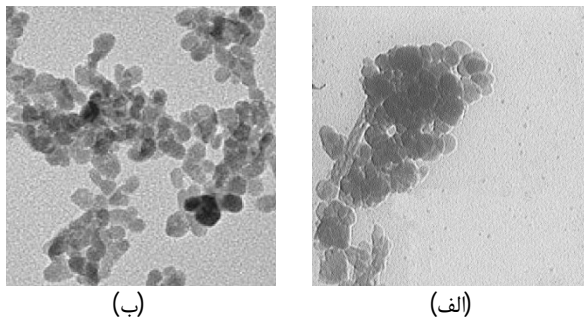
Fig. 8 Nano-Fluids that are provided for Tests

### 4- روش تجزیه حوزه فرکانس (FDD)

یک روش کلاسیک برای تعیین مشخصات دینامیکی اجسام، روش تجزیه در حوزه فرکانس است که به نام FDD مشهور

صورت خطی نیست. در این شرایط در برخی نانوذرات، ذرات اضافه شده در فضای مولکولی قرار گرفته و سبب کاهش ویسکوزیته می‌شوند. این حالت در نانوسیال‌های تولید شده با ZnO، NiO و Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> در حالت‌های 0/2gr مشاهده می‌شود. اما با افزایش جرم نانو ذره، شبکه‌ای از نانو ذرات تشکیل شده که سبب ایجاد مقاومت در مقابل حرکت سیال می‌شوند و ویسکوزیته افزایش می‌یابد. برای درک بهتر این موضوع به عنوان نمونه، تصویر SEM از نانوسیال ایجاد شده با نانوذرات ZnO شکل 10 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت 0/2gr نانو ذرات به صورت پراکنده هستند و در حالت 0/6gr نانوذرات به صورت شبکه درآمده‌اند. در جدول 1 درصد تغییر ویسکوزیته به ازاء مقادیر مختلف جرمی نانو ذره اضافه شده ارائه شده است.

در شکل 11 تغییر تنش برشی نانو سیال‌ها به ازای تغییر ویسکوزیته در مقادیر جرمی مختلف نانو ذرات نشان داده شده است. این شکل حاکی از ایجاد رفتاری نیوتنی در سیال است که با افزایش تنش برشی، میزان ویسکوزیته به صورت خطی افزایش یافته است. بدین ترتیب اضافه شدن نانوذرات سبب تغییر مدل رفتار نانوسیال‌ها نشده است.



شکل 10 توزیع نانوذرات ZnO در سیال پایه در حالت‌های الف) 0/2gr و ب) 0/6gr

Fig. 10 The distribution of ZnO nanoparticles in glycerin in cases A) 0.2 gr B) 0.6 gr

جدول 1 درصد تغییر ویسکوزیته به ازاء جرم‌های مختلف نانو ذرات

Table 1 The variation of viscosity of Nano-fluid per the variation of mass of Nano particles

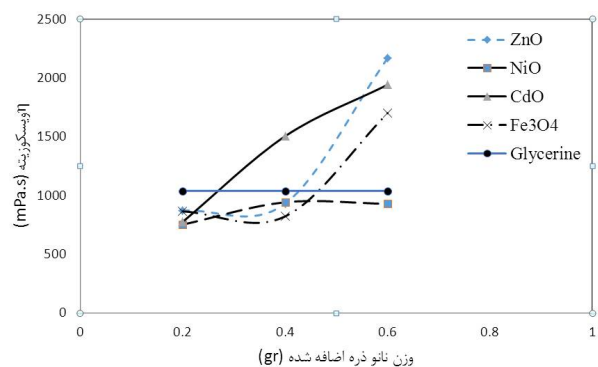
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	CdO	NiO	ZnO	جرم نانو ذره (gr)
-17	-25	-28	-16	0/2
-21	45	-9	-10	0/4
64	87	-11	109	0/6

تنش برشی نانو سیال تولید شده با اکسیدروی در 0/6gr، اکسید کادمیوم در 0/6gr و 0/4gr و اکسید آهن در 0/6gr از

ارزیابی قرار گرفته‌اند. دستگاه دارای محدوده کاری از 250rpm-0/01 می‌باشد. اما به دلیل پایین بودن سرعت نانوسیال در زمان کار به عنوان روان کننده، در محدوده 0/1m/s، تنظیمات ابعاد بخش دوران کننده به گونه‌ای تعیین شده است که سرعت مدنظر فراهم گردد. دمای در نظر گرفته شده برای تمامی آزمایش 25 درجه سانتیگراد است.

در شکل‌های 9 و 11 روند تغییر گشتاور برشی و ویسکوزیته نانوسیال‌های تولید شده مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در شکل 9 مشاهده می‌شود اضافه کردن نانو ذرات اکسید روی، اکسید کادمیوم و اکسید آهن سبب افزایش ویسکوزیته سیال می‌شود و از طرف دیگر اضافه کردن اکسید نیکل سبب کاهش ویسکوزیته نانوسیال می‌شود. میزان تغییر ویسکوزیته به ازای افزایش مقدار جرمی نانو ذرات بایکدیگر متفاوت می‌باشد. افزایش ویسکوزیته مقاومتی در مقابل جریان یافتن سیال ایجاد می‌کند که در نتیجه آن سیال یا به آرامی حرکت می‌کند و یا از حرکت متوقف می‌شود [13].

همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی نانوسیال‌ها با جرم نانو ذره 0/2gr ویسکوزیته نانو سیال کمتر از سیال پایه شده است. این موضوع در جرم نانو ذره 0/4gr نیز برای تمامی نانو ذرات بجز اکسید کادمیوم برقرار است. همچنین می‌توان مشاهده کرد که با افزایش جرم نانو ذرات به 0/6gr تمامی نانو سیال‌ها بجز اکسید نیکل دارای ویسکوزیته‌ای بیشتر از ویسکوزیته سیال پایه هستند.



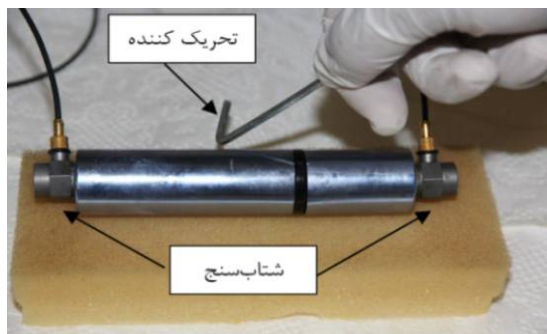
شکل 9 تغییر ویسکوزیته در نانوسیال‌ها به ازای تغییر جرم نانو ذره  
 Fig. 9 The variation of viscosity of Nano-fluids per the different mass of the Nano particles

دلیل روند تغییرات ایجاد شده را می‌توان در نیروی بین مولکولی و شبکه نانوذرات شکل گرفته در سیال پایه، چگالی توزیع و قطر نانوذرات جستجو کرد. در [14] اشاره شده است که ویسکوزیته نانوسیال‌ها با افزایش جرمی نانوذرات اضافه شده به

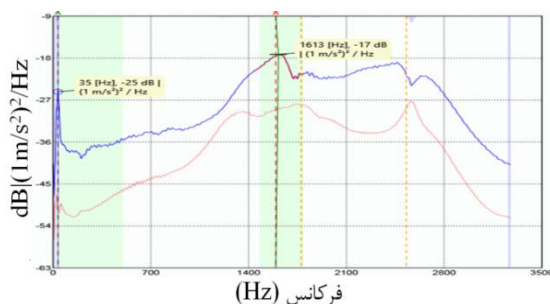
در شکل 14 دیاگرام منحصر به فرد چگالی طیفی که در روش FDD مورد استفاده قرار گرفته است، نشان داده شده است. در این شکل، نتایج آزمایش نانوسیال ایجاد شده با 0/6gr اکسید نیکل نشان داده شده است. در شکل 15 روند تغییرات نسبت دمپینگ در نانو سیال‌های مختلف در جرم‌های مختلف نانو ذرات اضافه شده نشان داده شده است.



شکل 12 تجهیزات مودال و نمونه‌های نانو سیال‌های آماده سازی شده  
Fig. 12 The modal equipment and Nano-Fluids



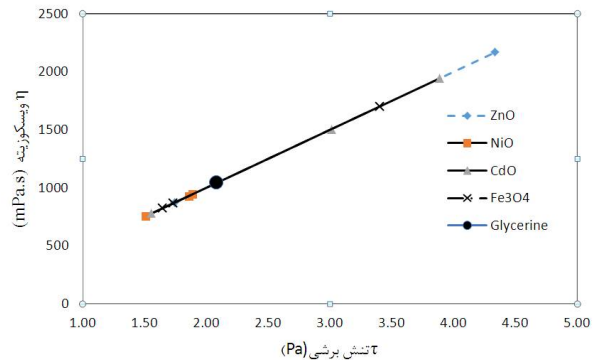
شکل 13 تحریک استوانه جدار نازک حاوی نانوسیال در حالت آزاد-آزاد و نحوه نصب شتاب‌سنج‌ها  
Fig. 13 Exciting the thin-wall cylinder-containing Nano-Fluids in free-free mode and Accelerometers setup



شکل 14 دیاگرام SVD در روش FDD در نانوسیال با 0/2gr اکسید نیکل  
Fig. 14 The SVD diagram in FDD method for Nano-Fluid containing 0.2 gr of NiO

نتایج نشان می‌دهد که در اکسیدروی و اکسید نیکل روند تغییر نسبت دمپینگ به ازای اضافه شدن جرم نانو ذره افزایشی بوده، که مشابه روند تغییر ویسکوزیته به ازای افزایش جرم نانو

تنش برشی سیال پایه گلیسرین بیشتر شده است و در سایر نانوسیال‌ها این تنش برشی به همراه ویسکوزیته در سطح پایین‌تری از سیال پایه قرار دارند. این موضوع ارتباط مستقیم ویسکوزیته و تنش برشی نانو سیال‌های تولید شده را نشان می‌دهد.



شکل 11 تغییرات تنش برشی به ازای تغییر ویسکوزیته نانو سیال‌ها و جرم‌های مختلف نانو ذرات

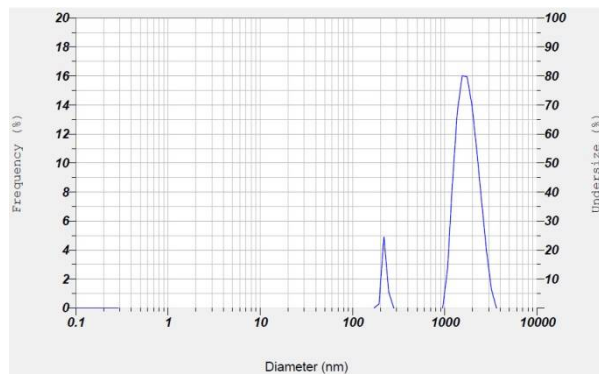
Fig. 11 The variation of shear stress of Nano-fluids per the different viscosity of Nano-fluid in the Nano particles

از آنجا که ایجاد برش در لایه‌های سیال وابسته به نیروهای بین مولکولی سیال و نانوذره است، لذا می‌توان نتیجه گرفت شبکه شکل گرفته از نانوذرات در حالت‌های ذکر شده، پیوند بین مولکولی قوی‌تری را از سیال پایه ایجاد کرده‌اند.

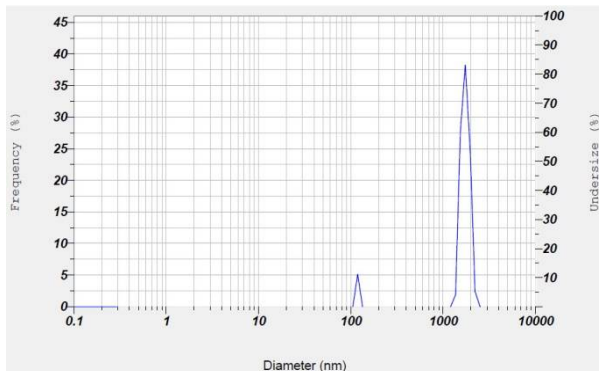
با توجه به روند تغییرات خطی ویسکوزیته به ازای تنش برشی و رابطه خطی بین ویسکوزیته و نسبت دمپینگ در سیال‌های نیوتنی، انتظار می‌رود روند تغییر ویسکوزیته به ازای تغییر جرم نانوذرات اضافه شده، در تغییر نسبت دمپینگ به ازای جرم نانوذرات اضافه شده نیز مشاهده شود. در ادامه به بررسی و تعیین این روند تغییرات در نسبت دمپینگ پرداخته شده است.

## 2-5- تعیین نسبت دمپینگ

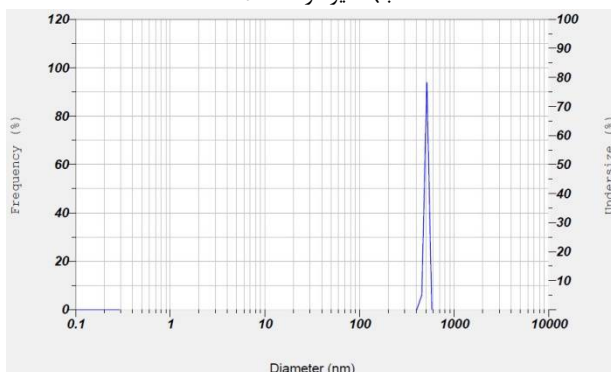
به منظور تعیین نسبت دمپینگ هر یک از نانوسیال‌های ایجاد شده از آنالایزر مدل Lan xi 3160 و شتاب‌سنج‌های مدل 4533B و نرم‌افزار Pulse Labshop 21 محصول شرکت B&K و روش OMA استفاده شده است. در شکل‌های 12 و 13 به ترتیب بستر آزمایش و نحوه تحریک سیستم نشان داده شده است. توجه شود که به منظور کاهش خطا در محاسبه نسبت دمپینگ سیال، استوانه‌ای با حجم 50mL با ضخامت دیواره 0/2mm بکار گرفته شده است و برای تعیین نسبت دمپینگ فرکانس اول نانو سیال‌ها از روش FDD استفاده شده است.



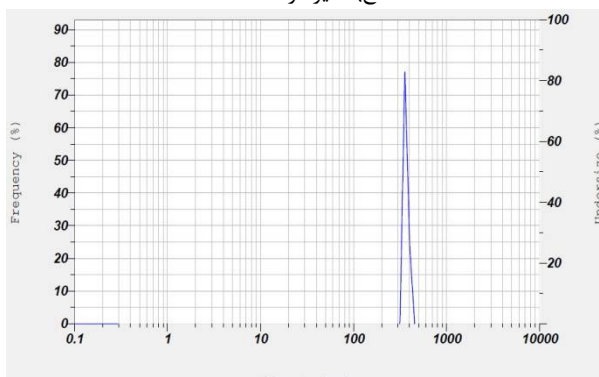
الف) سایز نانو ذرات CdO



ب) سایز نانو ذرات Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



ج) سایز نانو ذرات NiO



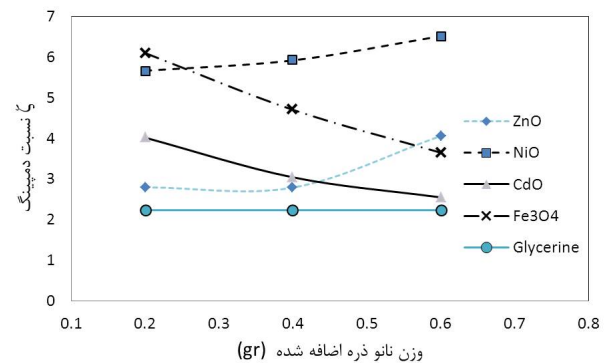
د) سایز نانو ذرات ZnO

شکل 16 سایز نانو ذرات سنتز شده با روش DLS

Fig. 16 Nanoparticle size by DLS tests

از طرف دیگر مشاهده می‌شود که نانو ذرات ZnO و NiO که دارای قطر کوچکتری هستند و دارای افزایش دمپینگ می‌باشند.

ذره اضافه شده است. اما اکسیدهای کادمیوم و آهن روندی کاهشی دارند. توجه شود که در تمامی موارد نسبت دمپینگ ایجاد شده از نسبت دمپینگ سیال پایه بالاتر می‌باشد. در جدول 2 درصد تغییرات نسبت دمپینگ به ازای مقادیر مختلف جرم نانوذره اضافه شده در هر یک از نانو سیال‌ها ارائه شده است. دلیل تغییرات نسبت دمپینگ در نانوسیال‌های تولید شده را می‌توان در تأثیر دما، قطر نانو ذره، سرعت درونی نانوذرات، چگالی توزیع و پیوند اتمی بین نانوذرات و سیال پایه جستجو کرد که در [15] به آن پرداخته شده است. قطر نانو ذره بیشترین تأثیر را در کاهش نسبت دمپینگ ایجاد می‌کند. بدین ترتیب اندازه‌گیری قطر نانوذرات سنتز شده انجام شده است که برای تشریح دلیل تغییرات نسبت دمپینگ مورد استفاده قرار خواهد گرفت. نتایج آزمایشات اندازه‌گیری قطر نانوذرات با روش DLS در شکل 16 ارائه شده است.



شکل 15 روند تغییر نسبت دمپینگ نانوسیال‌های مختلف به ازاء تغییر جرم نانو ذره اضافه شده

Fig. 15 The variation of damping ratio of different Nano-Fluids with different mass of Nano particles

جدول 2 درصد تغییر نسبت دمپینگ به ازاء جرم‌های مختلف نانو ذرات

Table 2 The variation of the damping ratio per the variation of mass of Nano particles

Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	CdO	NiO	ZnO	جرم نانو
173/83	80/25	154/26	25/09	0/2
111/00	36/40	165/71	25/44	0/4
63/69	14/23	192/50	82/18	0/6

همان‌طور که در شکل‌های 16 نشان داده شده است، نانوذرات NiO و ZnO دارای سایز بزرگتری از نانو ذرات CdO و Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> هستند. بدین ترتیب با بررسی شکل 15 و مقایسه قطر نانوذرات فوق، مشخص می‌شود روند کاهش دمپینگ نانو سیال ساخته شده احتمالاً به دلیل افزایش شبکه تشکیل شده آنها در جرم‌های 0/4gr و 0/6gr است.



- Steel/Steel Systems With or Without Fatty Acids Additives Using an Oscillating Dynamic Tribometer, *Tribol Lett*, Vol 54, pp. 171–181, 2014.
- [2] S.M. Lundmen, K. Persson, G. Mueller, B. Kronberg, J. Clarke, M. Chtaib, P.M. Claesson, Unsaturated fatty acids in alkane solution: adsorption to steel surfaces. *Langmuir*, Vol 23, No.21, pp. 10598–10602, 2007.
- [3] Z. Wu, H. Liu, L. Liu, D.Yuan, Identification of nonlinear viscous damping and Coulomb friction from the free response data. *J. Sound Vib.*, Vol 304, No.1–2, pp. 407–414, 2007.
- [4] M. Madhu, X. Mervyn, A. Anagha, S R. Ajay, "A Study on the Damping Characteristics of SAE Oil Containing Suspended Nano Ferrous Oxide (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Particles. *Recent Innovations in Science and Engineering*, 2016.
- [5] M. Jose, P.Gallego, L. Lugo, J. Legido, M.M. Piñeiro., Rheological non-Newtonian behaviour of ethylene glycol-based Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids, *Nanoscale Research Letters*, Vol 6, No. 560, pp. 1-7, 2011.
- [6] J.D. Carlson, M.R. Jolly, MR fluid, foam and elastomer devices, *Mechatronics*, Vol. 10, pp. 555–569, 2000.
- [7] R. Brincker, L. Zhang, P. Andersen, Modal identification from ambient responses using frequency domain decomposition, *International modal analysis conference (IMAC) USA*, 2000.
- [8] Z. M. Khoshhesab, M. Sarfaraz, M. A. Asadabad, "Preparation of ZnO Nanostructures by Chemical Precipitation Method, *Taylor & Francis*, Vol. 41, No. 7, pp. 814-819, 2011.
- [9] H. Karimi male, A. Pahlevan, R. Sadeghi, S. K. Shirdel, Synthesis of CdO nanoparticle by chemical precipitation method and its effect on reduction of charge transfer resistant in electron transfer systems, *journal of applied chemistry*, Vol. 7, No. 22, pp. 49-55, 2012, (in Persian)
- [10] B. M. Mahaleh, S. K. Sadrnezhaad, D. Hosseini, NiO Nanoparticles Synthesis by Chemical Precipitation and Effect of Applied Surfactant on Distribution of Particle Size, *Journal of Nanomaterials*, pp. 1-4, 2008.
- [11] P. L. Hariani, M. Faizal, Ridwan, Marsi, D. Setiabudidaya, Synthesis and Properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles by Co-precipitation Method to Removal Procion Dye, *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 4, No. 3, pp. 336-340, 2013.
- [12] S.J. Bendat, P.G. Allan, Random data, Analysis and Measurement Procedures, pp. 282-322, John Wiley & Sons, 1986.
- [13] M. Ashtiani, S.H. Hashemabadi., A. Ghaffari, A review on the magnetorheological fluid preparation and stabilization, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, No. 374, pp. 716–730, 2015.
- [14] H. beiki, M Nasr Esfahany, N Etesami, Turbulent mass transfer of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> electrolyte nanofluids in circular tube, *Microfluid Nanofluid*, 15, 4, pp. 501-508, 2013.
- [15] Z Hong, D. Qing-tian, L. Shao-Hua, Vibration of a single-walled carbon nanotube embedded in an elastic medium under a moving internal nanoparticle, *Applied mathematical modeling*, 37, 6940-6951, 2013.

نکته قابل تامل در این موضوع عدم رفتار مشابه با ویسکوزیته در نسبت دمپینگ است که می‌توان آنرا شدیداً وابسته به قطر نانو ذره دانست.

## 6- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی تغییر ویسکوزیته، تنش برشی و نسبت دمپینگ نانو سیال پایه گلیسیرین در اثر اضافه شدن نانو ذرات اکسید روی، اکسید نیکل، اکسید کادمیوم و اکسید آهن پرداخته شده است. پس از انجام سنتز، تأیید وجود نانو ذرات مورد نظر در آزمایشات انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که اضافه شدن نانو ذره اکسید نیکل سبب کاهش ویسکوزیته گلیسیرین در تمامی جرم‌های افزوده شده خواهد شد و همچنین مشاهده شد که به جز نانوسیال تولید شده با اکسید کادمیوم، در تمامی نانو سیال‌ها تا مقدار 0/4gr نانوذرات، کاهش ویسکوزیته سیال بوجود آمده است. این در حالی است که در 0/6gr نانو ذره، بجز نانوسیال با اکسید نیکل، تمامی نانوذرات سبب افزایش ویسکوزیته خواهند شد. نتایج نشان می‌دهد که نانو ذرات اکسید روی، اکسید کادمیوم و اکسید آهن به ترتیب بیشترین دمایی 25 درجه سانتی‌گراد از 1/5 تا 2 برابر افزایش می‌دهند. در طرف مقابل، نانوسیال‌های دارای اکسید نیکل و اکسید روی با اضافه شدن جرم نانو ذرات، افزایش نسبت دمپینگ به ترتیب به میزان‌های 3/3 و 2 برابر سیال پایه را ایجاد می‌کنند. این در حالی است که اکسیدهای آهن و کادمیوم، افزایش نسبت دمپینگ را به ترتیب به میزان 3/2 و 2 در 0/2gr ایجاد کرده‌اند و با افزایش جرم نانوذرات ذکر شده، نسبت دمپینگ نانوسیال کاهش می‌یابد.

به عنوان یک نتیجه می‌توان عنوان کرد که استفاده از نانوسیال با ذرات اکسیدروی در مقدار 0/6gr سبب جذب بهتر انرژی حرکتی و همچنین کاهش سیالیت سیال در محل استفاده خواهد شد. در صورتی که تنها هدف کاهش نشت نانوسیال در محل استفاده باشد و تغییر دمپینگ مدنظر نباشد، استفاده از 0/6gr اکسید کادمیوم پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه بسیار مهم این مقاله در عدم تشابه رفتار ویسکوزیته و نسبت دمپینگ یک نانو سیال ساخته شده براساس اکسیدهای فلزی، بغیر از نانو ذره ZnO است.

## 7- مراجع

- [1] F. Majdoub, J. Perret-Liaudet, J. M. Martin, R. Iovine, M. Belin, Effect of Temperature on Lubricated