

اندازه گیری تجربی ویسکوزیته نانوسیال اکسید سریم - اتیلن گلیکول در کسرهای حجمی و دماهای مختلف و ارائه رابطه جدید تجربی

محمد اکبری^{۱*}، امیر حسین سعیدی^۲

* نویسنده مسئول: m.akbari.g80@gmail.com

واژه‌های کلیدی

نانوسیال؛ لزجت دینامیکی؛ دی اکسید سریم؛ اتیلن گلیکول

تاریخ ارسال: ۹۴/۰۸/۲۸

تاریخ بازنگری: ۹۴/۰۹/۲۶

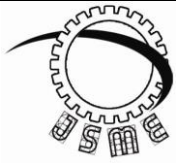
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۲۲

چکیده

نانوسیال‌ها از طریق معلق ساختن ذرات بسیار ریز در مایعات پایه تهیه می‌شوند. در نتیجه سرمایه‌گذاری عظیم کشورهای پیشرفته روی فناوری نانو، تحقیقات روی خواص حرارتی نانو سیال‌ها مورد توجه خاصی قرار گرفته است. با توجه به استفاده از فناوری نانو در کاهش اتلاف انرژی، در این پروژه اکسید سریم با اتیلن گلیکول برای تهیه نانوسیال مورد استفاده قرار گرفته شد. به منظور پایدار سازی نانوسیال از فرآیند موج دهی آلتراسونیک و برای اندازه‌گیری لزجت از لزجت سنج دیجیتال استفاده شد. در این مقاله به بررسی اثر دما و کسر حجمی روی لزجت نانوسیال پرداخته و نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که در تمامی غلظت‌ها با افزایش دما، لزجت کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش کسر حجمی نانو ذرات، لزجت افزایش می‌یابد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد تغییرات لزجت با دما در غلظت‌های بالاتر شدت بیشتری دارد. پس از بررسی خواص رئولوژیک و بدست آوردن دقیق داده‌های آزمایشگاهی، رابطه‌ای برای تخمین لزجت نانوسیال با توجه به دما و کسر حجمی بدست می‌آید که از دقت بالایی برخوردار است.

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، ایران



Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of Solid Mechanics in Engineering

<http://jsme.iaukhsh.ac.ir>



Experimental measurement of dynamic viscosity of CeO₂-EG at different concentrations and temperatures and proposing a new correlation

Mohammad akbari*¹, Amirhosein Saeedi²

* Corresponding Author: m.akbari.g80@gmail.com

Abstract:

Nanofluid is prepared through the nanoscale particles suspended in a fluid base and Nanotechnology is a new attempt to investigate the thermal sciences. As a result of huge investment in developed countries on nanotechnology, research on thermal properties of nano-fluids is of particular interest. Due to the usage of nanotechnology to reduce energy waste, in this project CeO₂ with EG is used to prepare the nanofluid. For stabilization of nanofluid ultrasonic wave is used and viscosity is measured by digital viscometer. In this paper, the effects of temperature and volume fraction on viscosity of nanofluids are considered. This study indicated that the viscosity decrease in all concentrations when temperature is increasing and it increases with adding volume fraction of nanoparticles. Also, the results show that viscosity changes related to temperature at higher concentrations. After deliberation of rheological properties and laboratory characteristics the exact formula for nanofluids viscosity obtained according to temperature and volume fraction to high accuracy.

Key words:

Nanofluid
dynamic viscosity
CeO₂
EG

- 1- Assistant Professor, Department of mechanical engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad , Iran.
- 2- MSc Student, Department of mechanical engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr, Iran.

۱- مقدمه

لزجت نانوسیال آب- دی اکسید تیتانیوم با قطر نانوذرات ۲۷ نانومتر توسط ماسودا^۱ و همکاران [۲] اندازه‌گیری شد و در کسر حجمی ۴/۳ درصد افزایش لزجت ۶۰ درصدی نسبت به سیال پایه گزارش شد. لزجت دو نوع نانو ذرات آلومینا و اکسید مس که در سیالات پایه آب، روغن موتور، سیال پمپ تخلیه و اتیلن گلیکول حل شده بودند توسط وانگ و همکاران [۳] آزمایش شد. داده‌ها نشان دادند که نانو سیال آب- آلومینا در کسر حجمی ۳ درصد افزایش لزجت ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به سیال پایه را به همراه دارد. همچنین پس از مقایسه لزجت نانوسیال اتیلن گلیکول- آلومینا مشاهده شد که افزایش لزجت این نانوسیال مشابه با نانو سیال آب-آلومینا است. در یک پژوهش آزمایشگاهی نامبورا^۲ و همکاران [۴] به بررسی خواص جریان‌ی نانو سیال آب و اتیلن گلیکول (۶۰-۴۰) اکسید مس پرداختند. در این آزمایش رابطه لزجت برای کسر حجمی نانو ذرات تا ۶/۱۲٪ و دامنه دمایی ۳۵- تا ۵۰ درجه سانتیگراد بیان شد. قطرانانوذرات مورد استفاده در این آزمایش ۲۹ نانو متر بود. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که لزجت بصورت نمایی با افزایش دما کاهش یافته و افزایش غلظت نانوذرات افزایش لزجت را در برداشت. یامساوا^۳ و همکاران [۵] کار خود را روی لزجت نانوذرات آلومینا و دی اکسید تیتانیوم با کسر حجمی تا ۴٪ معلق در اتیلن گلیکول و آب (۸۰:۲۰) و در دمای ۱۵-۶۰ درجه سانتیگراد انجام دادند. پس از استخراج رابطه از نتایج آزمایش و مقایسه با روابط نظری دیگر محققین مشخص شد که روابط نظری جهت محاسبه لزجت نانوسیال‌ها مناسب نیستند. رابطه پیشنهاد شده تابعی از لزجت سیال پایه، دما و کسر حجمی نانوذرات بود. همت و سعدالدین^۴ [۶] در یک کار آزمایشگاهی به بررسی اثر دو پارامتر دما و کسر حجمی بر لزجت نانو سیال اتیلن گلیکول-اکسیدروی پرداختند. پس از اتمام آزمایش با استفاده از پردازش داده‌ها در کسر حجمی و دماهای

در انتقال حرارت سیالات رایج، عواملی چون اختلاف دما، سطح مقطع و ضریب انتقال حرارت پارامترهای تاثیر گذار بر میزان تبادل گرما در مبدل‌های حرارتی هستند. چنانچه افزایش نرخ انتقال گرما مد نظر باشد، می‌توان با افزایش ضریب انتقال حرارت سیال این امر را محقق نمود. یکی از عوامل تاثیر گذار بر ضریب انتقال گرما لزجت است که نقش چشمگیری در روابط حاکم بر انتقال حرارت دارد. در برخی از کاربردها برای افزایش خاصیت انتقال حرارت سیال از نانوسیال استفاده می‌شود. واژه نانوسیال اولین بار توسط چوی [۱] برای معرفی ذرات بسیارکوچک (نانوذرات با اندازه قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر) که داخل سیال معلق گشته‌اند معرفی شد. در نانوسیال‌ها یک یا چند فاز جامد به سیال اضافه شده که موجب افزایش نرخ انتقال حرارت و تغییر در ویسکوزیته می‌شود. برخی از نانوذرات‌ها به صورت اکسیدی هستند و در پراکندگی و معلق سازی در مایعات نقش بسزایی برعهده دارند و برخی نیز به صورت ذرات غیر اکسید فلزی بوده که موجب افزایش چشمگیری در انتقال حرارت نسبت به نانوذرات اکسیدی خواهند شد. سیالات مختلفی مانند آب، اتیلن گلیکول و انواع روغن‌ها در سال‌های گذشته به عنوان سیال عامل در صنعت و طراحی مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است که مشکل عمده این سیالات رسانش حرارتی کم آن‌ها بوده و کاهش نرخ انتقال حرارت را به همراه دارد. یکی از روش‌های جدید که برای افزایش رسانش حرارتی این سیالات معرفی شده است افزودن نانوذرات باخواص ترموفیزیکی حرارتی بالا به سیال عامل است. میزان لزجت در طراحی نانو سیال برای جریان سیال بسیار حیاتی و مهم می‌باشد. در پروژه‌های کاربردی در صنعت به دلیل افت فشار در پمپ، غلظت سیال امری مهم شناخته می‌شود. آزمایشات و پژوهش‌های متعددی پیرامون میزان لزجت و انتقال حرارت نانو سیال انجام شده است.

¹.Masuda

².Namburu

³.Yiamsawas

⁴.Hemmat, Saedodin

جدول (۲) مشخصات نانوذرات اکسید سریم [۹]	
خلوص (%)	REO) %۹۹/۹۷
رنگ	زرد روشن
اندازه (nm)	۱۰-۳۰
سطح ویژه (m ² /g)	۳۰-۵۰
چگالی (g/cm ³)	۷,۱۳۲

نیاز برای کسر حجمی های متفاوت با استفاده از رابطه زیر مشخص می شود [۱۰].

$$\phi\% = \frac{\left(\frac{W}{\rho}\right)_{CeO}}{\left(\frac{W}{\rho}\right)_{CeO} + \left(\frac{W}{\rho}\right)_{EG}} \quad (1)$$

که ϕ درصد کسر حجمی، ρ چگالی و W وزن می باشد. آماده سازی نانوذرات با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۱ میلی گرم انجام شده است. ظروف محتوی نانوسیال که شامل پودر اکسید سریم و اتیلن گلیکول است را داخل بشر ۶۰۰ میلی لیتر ریخته و بر روی دستگاه هم زن مافوق صوت به مدت ۷ ساعت جهت شکستن ذرات کلوخه شده و حل شدن کامل نانو ذرات در سیال پایه قرار گرفته تا نانوسیال به صورت پایدار به دست آید. ضمناً قبل از انجام آزمایش نانوسیال موجود به مدت ۱۵ دقیقه موج دهی شده است.

۳- روش انجام آزمایش

در این تحقیق، برای اندازه گیری لزجت دینامیکی نانوسیال اکسید سریم- اتیلن گلیکول از لزجت سنج نوع دورانی، مدل لزجت سنج برو کفیلد استفاده شده است. نمای کلی دستگاه برو کفیلد در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) دستگاه اندازه گیری لزجت برو کفیلد

مختلف رابطه‌ای با میانگین انحراف ۲ درصد بدست آمد. آن‌ها بامقایسه‌ای که بین اعداد بدست آمده و مدل‌های پیشنهادی انجام دادند، مشاهده کردند که سازگاری خوبی بین اعداد اندازه‌گیری شده و مدل‌های پیشنهادی وجود دارد. همچنین نتایج آن‌ها نشان دادند که لزجت دینامیکی نسبی به صورت غیر خطی با افزایش کسر حجمی افزایش یافته و مقدار ماکزیمم لزجت متعلق به بیشترین کسر حجمی است. همت و همکاران [۷] به بررسی خواص انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال آب- نانولوله کربنی چند جداره عاملدار هیدروکربنی در جریان مغشوش و کسر حجمی متعدد نانوذرات پرداختند. براساس نتایج آزمایش مشاهده شد مدل‌های تئوری لزجت پاسخگوی تخمین لزجت نانو سیال نیستند.

همانطور که ملاحظه شد تا کنون بر روی اندازه گیری لزجت دینامیکی نانو سیال اکسید سریم- اتیلن گلیکول در کسرهای حجمی مختلف و دماهای متفاوت کار خاصی انجام نشده است. در این مقاله لزجت دینامیکی نانو سیال اکسید سریم- اتیلن گلیکول در کسرهای حجمی مختلف و دماهای متفاوت اندازه گیری شده و نتایج ارائه می شوند.

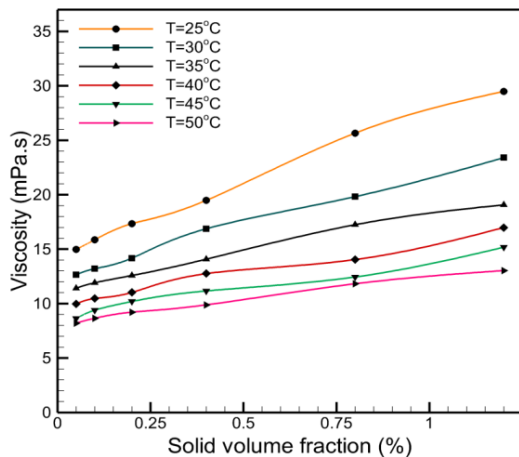
۲- آماده سازی نانوسیال

اولین قدم در آماده سازی نانوسیال تعلیق و پایداری نانوذرات در سیال پایه است. در این مقاله اتیلن گلیکول به عنوان سیال پایه مورد استفاده قرار گرفته است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اتیلن گلیکول و اکسید سریم در جداول ۱ و ۲ آمده است. نانوسیال اکسید سریم- اتیلن گلیکول در کسر حجمی های ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ درصد به روش دو مرحله ای تهیه شده است. مقدار اکسید سریم مورد

جدول (۱) مشخصات اتیلن گلیکول [۸]

پارامتر	مقدار
مقدار pH	۶-۷/۵
چگالی	۱/۱۱ (g/cm ³)
نقطه جوش	(°C) -۱۳
جرم مولی	۶۲/۰۷ (g/mol)

کسر حجمی ۰/۴ و ۱/۲ درصد لزجت نانوسیال به ترتیب ۰/۱۹۵ و ۰/۲۹۵ پواز افزایش می یابد. در کسرهای حجمی ذکر شده افزایش در صد لزجت نانو سیال نسبت به سیال پایه به ترتیب ۲۰، ۳۵ و ۱۰۴ درصد است. علت این امر را این گونه می توان تشریح نمود که حرکت تصادفی نانوذرات در سیال پایه و برخورد پیوسته بین نانوذرات و ملکولهای سیال پایه یکی از عوامل تاثیر گذار بر لزجت است. به علاوه وقتی نانوذرات به سیال پایه اضافه می شوند، این نانومواد در سیال پایه پراکنده شده و در اثر نیروی واندروالس بین نانوذرات و سیال پایه، نانوخوشه های متقارن و بزرگتر تشکیل می شوند. این نانوخوشه ها باعث ممانعت از حرکت اتیلن گلیکول روی یکدیگر شده و در نتیجه لزجت افزایش می یابد. شکل (۳) تاثیر دما بر لزجت نانو سیال در کسرهای حجمی متفاوت را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می شود، در کسر حجمی ۰/۸ درصد در دمای ۳۰، ۴۰ و ۵۰°C لزجت نانوسیال به ترتیب ۰/۱۹۸، ۰/۱۴۰ و ۰/۱۱۸ پواز است. از نتایج مشخص است که با افزایش دما در یک کسر حجمی ثابت لزجت نانو سیال کاهش می یابد. دلیل این امر این است که در مایعات مولکولها در دماهای بالاتر تحت تاثیر انرژی قرار گرفته و نیروهای چسبندگی بین ملکولی کاهش پیدا می کنند. در نتیجه ملکولهای انرژی دار راحت تر حرکت می کنند. کاهش نیروهای بین مولکولی در اثر افزایش دما سبب کاهش مقاومت در برابر جریان می شود. در نتیجه لزجت نانوسیال با افزایش دما کاهش می یابد. به علاوه تاثیر حرکت

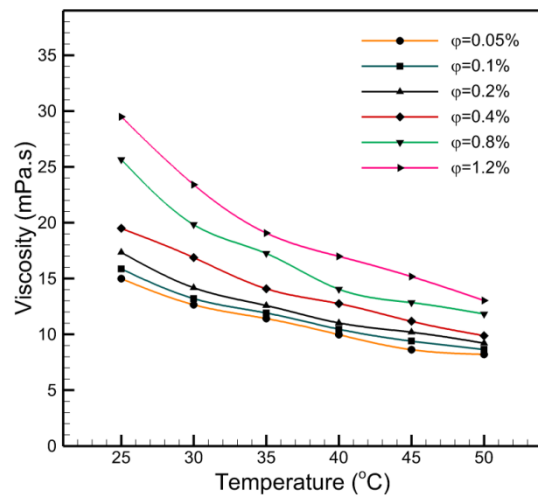


شکل (۳) تغییرات لزجت با کسر حجمی در دماهای متفاوت

محدوده دقت و تکرار پذیری لزجت سنج بروکفیلد به ترتیب $\pm 1.0\%$ و $\pm 0.2\%$ است. برای اندازه گیری لزجت با حجم مایعات کم در دستگاه UL Adaptor دماهای مختلف و تنظیم دما، نیاز به حمام آب گرم است. دماهای مورد استفاده در این تحقیق ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سانتی گراد است. آب درون حمام آب را به 50°C رسانده و سپس آب به دستگاه UL Adaptor به صورت رفت و برگشت پمپاژ می شود. برای دماهای پایین تر دمای آب داخل حمام به دمای دلخواه رسانده می شود. بعد از رسیدن آب به دمای مورد نیاز آزمایش، نانوسیال را داخل دستگاه UL Adaptor ریخته و با استفاده از دستگاه اندازه گیری لزجت بروکفیلد، آزمایش در دماهای مختلف انجام می شود. در بررسی رفتار رئولوژیک نانوسیال هر آزمایش به منظور دقت بیشتر ۳ بار تکرار می شود. پس از داده برداری از نتایج آزمایش با میانگین گیری از ۳ تکرار هر آزمایش مقدار لزجت ثبت می شود.

۳- نتایج و بحث بر روی نتایج

شکل (۲) تغییرات لزجت دینامیکی با دما را در کسر حجمی های متفاوت نشان می دهد. ملاحظه می شود که با افزایش کسر حجمی نانوذرات در یک دمای ثابت لزجت نانو سیال افزایش می یابد. در دمای 25°C لزجت سیال پایه ۰/۱۴۴ پواز است که با اضافه کردن نانوذرات و رسیدن به کسر حجمی ۰/۲ درصد لزجت نانوسیال به ۰/۱۷۳ پواز و در



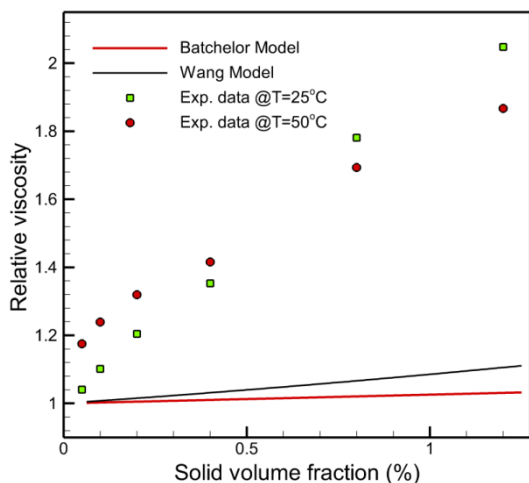
شکل (۲) تغییرات لزجت با دما در کسرهای حجمی متفاوت

روابط مختلفی توسط محققین برای محاسبه لزجت نانوسیال به صورت تحلیلی ارائه شده است که در اینجا دو رابطه بررسی می گردد. روابط (۲) و (۳) به ترتیب توسط بچلر [۱۱] و وانگ [۱۲] برای پیشگویی لزجت نانوسیال های مختلف استفاده می شود.

$$\mu_r = 1 + 2.5\phi \quad (2)$$

$$\mu_r = 1 + 7.3\phi + 123\phi^2 \quad (3)$$

در شکل ۶ مقایسه بین نتایج آزمایش با مدل های تئوری ارائه شده توسط محققین نشان داده شده است. با مقایسه روابط تحلیلی با نتایج آزمایش می توان نتیجه گرفت که مدل های تئوری ارائه شده توسط محققین قادر به پیشگویی و بیان دقیق لزجت نانوسیال در دماهای مختلف نمی باشد. علت را این گونه می توان توضیح داد که در روابط تحلیلی دما مورد استفاده قرار نگرفته است.



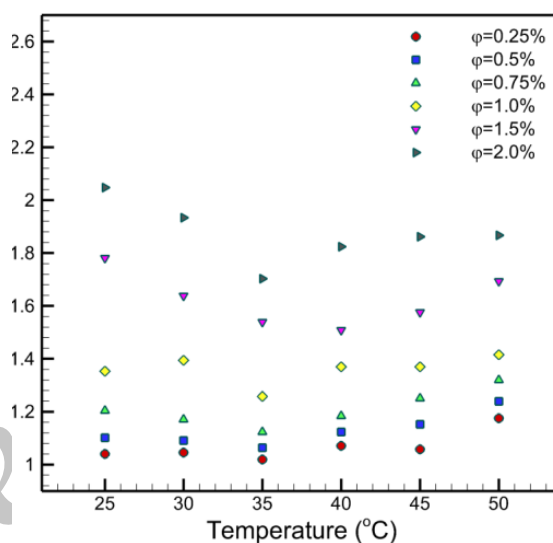
شکل (۶) مقایسه روابط تحلیلی با نتایج آزمایش

۵- رابطه پیشنهادی

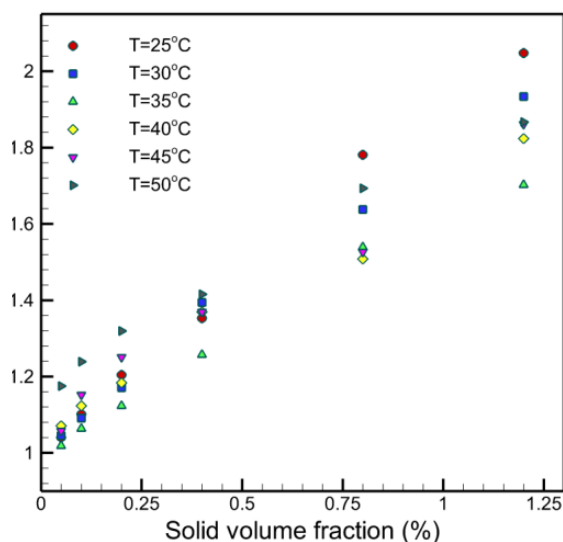
همانطور که در بخش ۴ ذکر شد، روابط تحلیلی جوابگوی محاسبه لزجت نانو سیال مورد نظر در دماها و کسرهای حجمی مختلف نیست. از این رو به منظور تسهیل در محاسبه لزجت نانوسیال اکسید سریم- اتیلن گلیکول در دما و کسرهای حجمی متفاوت، معادله (۴) استخراج گردید. این رابطه با برازش منحنی نمودار در نرم افزار SigmaPlot 12.3 بدست آمده است.

براونی نانوذرات با افزایش دما برلزجت نانوسیال نیز قابل توجه است. وقتی دما افزایش یابد، حرکت مولکولی نانوذرات و سیال پایه آزادانه بوده و مولکول های نانوذرات کمتر به هم برخورد کرده و در نتیجه لزجت کاهش پیدا می کند.

شکل های (۴) و (۵) تغییرات لزجت نسبی را در دماها و کسرهای حجمی متفاوت نشان می دهد. شکل ها گویای این است که حداکثر افزایش لزجت نانوسیال نسبت به سیال پایه در دمای ۲۵°C و کسر حجمی ۱/۲ درصد است.

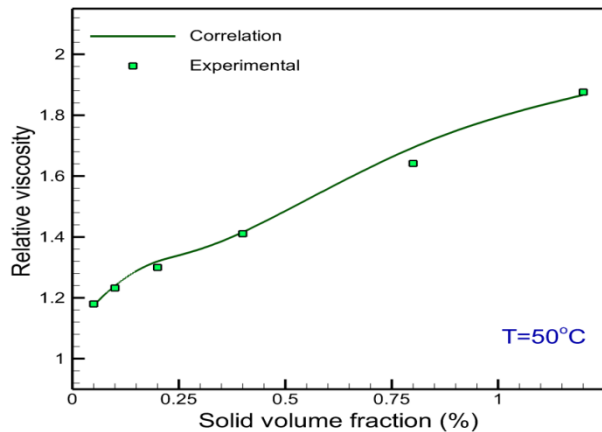


شکل (۴) رابطه لزجت نسبی با دما در کسرهای حجمی متفاوت



شکل (۵) رابطه لزجت نسبی با کسر حجمی در دماهای متفاوت

۴- مقایسه داده های حاصل از آزمایش با روابط تحلیلی ارائه شده توسط محققین



شکل (۹) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با رابطه ریاضی استخراج شده در دمای ۵۰°C

۷- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش تجربی آزمایشگاهی، لزجت نانوسیال اکسید سریم- اتیلن گلیکول در کسر حجمی ها و دماهای مختلف اندازه گیری شد. همانطور که مشاهده گردید لزجت نانوسیال ها به دما و کسر حجمی نانوذرات بستگی دارد. مشاهده شد که نرخ تغییرات لزجت در دمای کم با افزایش کسر حجمی نسبت به دماهای بالا بیشتر است. با توجه به اینکه مدل‌های تئوری ارائه شده در زمینه لزجت نانوسیال پاسخگوی پیش بینی رفتار رئولوژیک نانوسیال ها نیست، رابطه ریاضی حاصل از برازش منحنی جهت تخمین لزجت نانوسیال ارائه شد. از مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و مدل ریاضی مشخص است که مدل ریاضی به خوبی قادر به پیش بینی لزجت دینامیکی نانوسیال است.

مراجع:

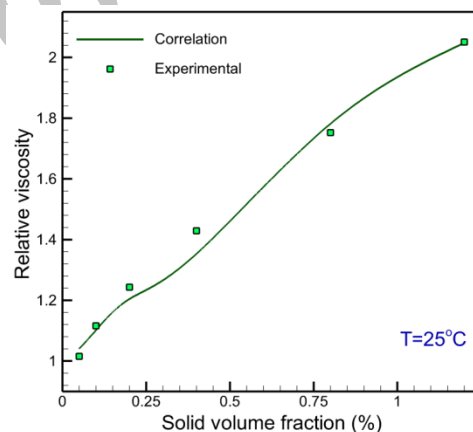
- [1] Choi S. U. S., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *Developments Applications of Non-Newtonian Flows*, 66, 1995, pp. 99-105.
- [2] Masuda A. E, Teramae H, Hishinuma K. N., Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of c-Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra fine particles), *Netsu Bussei (japan)*, 4, 1993, pp. 227-233.
- [3] Wang X, Choi, S. U. S., Thermal conductivity of nanoparticlefluid mixture, *Thermophys. Heat Transfer*, 13, 1999, pp. 474-480.
- [4] Praveen D. P. K, Namburu K, Debasmita M. D. K, Das S. K, Choi S. U.S, Pradeep W.,

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = 781.4 \times T^{-2.117} \times \phi^{0.2722} + \frac{0.05776}{T^{-0.7819} \times \phi^{-0.04009}} + 0.511 \times \phi^2 - 0.1779 \times \phi^3 \quad (4)$$

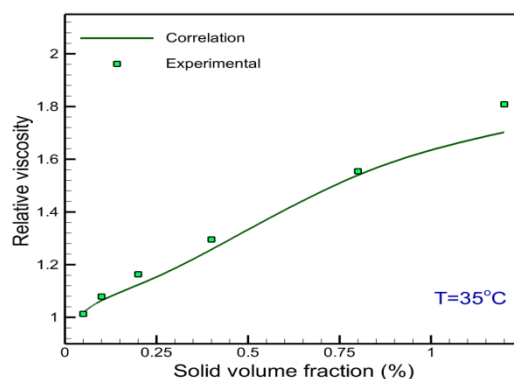
با استفاده از معادله (۴) لزجت نسبی نانوسیال در محدوده دمایی ۲۵ تا ۵۰°C و کسر حجمی ۰/۰۵ تا ۱/۲ درصد قابل دستیابی است.

۶- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و داده‌های به دست آمده از رابطه استخراج شده

شکل های (۷) تا (۹) نشان دهنده انطباق کامل اعداد به دست آمده از رابطه ریاضی استخراج شده با نتایج آزمایشگاهی است. می توان استنباط کرد که رابطه ریاضی به دست آمده پیشگویی مناسبی برای تخمین لزجت نانوسیال مورد نظر انجام می دهد که در دامنه کسرهای حجمی و دماهای تعیین شده منطبق با نتایج آزمایشگاهی است.



شکل (۷) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با رابطه ریاضی استخراج شده در دمای ۲۵°C



شکل (۸) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با رابطه ریاضی استخراج شده در دمای ۳۵°C

Viscosity of copper oxide nanoparticles dispersed in ethylene glycol and water mixture, *Therm. Fluid Sci*, 32, 2007, pp. 397-402.

- [5] Yiamsawas O. M. T, Selim Dalkilic A, Kaewnai S, Wongwises S., Experimental studies on the viscosity of TiO_2 and Al_2O_3 nanoparticles suspended in a mixture of ethylene glycol and water for high temperature applications, *Appl. Energy*, 111, 2013, pp. 40-45.
- [6] Saedodin S, Hemmat Esfe M., An experimental investigation and new correlation of viscosity of ZnO-EG nanofluid at various temperatures and different solid volume fractions, *Thermal and Fluid science*, 55, 2014, pp. 82-98.
- [7] Hemmat Esfe M, Saedodin S, Mahian O, Wongwises S., Heat transfer characteristics and pressure drop of COOH-functionalized DWCNTs/water nanofluid in turbulent flow at low concentrations, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 73, 2014, pp. 186-194.
- [8] S. S. M. Chandrasekar, A. Chandra Bose, "Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al_2O_3 /water nanofluid," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 34 (2), pp. 210-216, 2010.
- [9] A H, T Y, Y S, T A, Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by a vacuum evaporation on running oil substrate, *Journal of Crystal Growth*, 45, 1978, pp. 495-500.
- [10] Syam Sundar L, Hashim Farooky M, Naga Sarada S, Singh M.K., Experimental thermal conductivity of ethylene glycol and water mixture based low volume concentration of Al_2O_3 and CuO nanofluids, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 41, 2013, pp. 41-46.
- [11] Long G.J, Hautot D, Pankhurst Q.A, Vandormael D, Grandjean F., Mössbauer-effect and X-Ray Absorption Spectral Study of Sonochemically Prepared Amorphous Iron, *Physics Review*, 57, 1998, pp. 10716-22.
- [12] HC B, The viscosity of concentrated suspensions and solution, *Journal of Chemical Physics*, 20, 1952, pp. 571-81.

Archive of SID