

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

	واژههای کلیدی
دینامیکی؛ دی اکسید	نانوسـيال؛ لزجـت
	سريم؛ اتيلن گليكول
٩۴/۰۸/۲۸	تاريخ ارسال:
٩۴/٠٩/٢۶	تاريخ بازنگري:
90/ · V/ Y Y	تاريخ پذيرش:

0.	چکید
ها از طریق معلق ساختن ذرات بسیار ریز در مقیاس نانو در سیال پایه تهیه می شوند. در	نانوسيال
مرمایه گذاری عظیم کشورهای پیشرفته روی فناوری نانو، تحقیقات روی خواص حرارتی	نتيجه س
ل ها مورد توجه خاصی قرار گرفته است. با توجه به استفاده از فناوری نانو در کاهش	نانو سيا
انرژی، در این پروژه اکسید سریم با اتیلن گلیکول برای تهیه نانوسیال مورد استفاده قرار	اتلاف
شد. به منظور پایدار سازی نانوسیال از فرآیند موج دهی آلتراسونیک و برای اندازه گیری	گرفته ا
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 می دهد که در تمامی غلظت ها با افزایش	لزجت
جت کاهش مییابد. همچنین با افزایش کسر حجمی نانو ذرات، لزجت افزایش مییابد.	دما، لز.
ر که نتایج نشان میدهد تغییرات لزجت با دما در غلظتهای بالاتر شدت بیشتری دارد.	همانطو
بررسی خواص رئولوژیک و بدست آوردن دقیق داده های آزمایشگاهی، رابطهای برای	پس از
لزجت نانوسیال با توجه به دما و کسر حجمی بدست می آید که از دقت بالایی برخوردار	تخمين
	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

www.SID.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:	Key words:
Nanofluid is prepared through the nanoscale particles suspended	Nanofluid
in a fluid base and Nanotechnology is a new attempt to	dynamic viscosity
investigate the thermal sciences. As a result of huge investment in	CeO ₂
developed countries on nanotechnology, research on thermal	EG
properties of nano-fluids is of particular interest. Due to the usage	
of nanotechnology to reduce energy waste, in this project CeO ₂	
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 additioning	
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.	

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

در انتقالحرارت سیالات رایج، عواملی چون اختلاف دما، سطح مقطع و ضریب انتقال حرارت پارامترهای تاثیر گذار بر میزان تبادل گرما در مبدلهای حرارتیهستند. چنانچه افزایش نرخ انتقال گرما مد نظر باشد، می توان 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 سيال از نانوسيال استفاده مي شود. واژه نانوسيال اولين بارتوسط 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 وتغییر در ویسکوزیته میشود. برخی از نانوذرات ها 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 روغن ها درسال های گذشته به عنوان سیال عامل در صنعت وطراحی مهندسی مورد استفاده قرارگرفته است که مشکل عمده این سیالات رسانش حرارتی کم آنها بوده و کاهش نرخ انتقال حرارت را به همراه دارد. یکی از روش های جدید که برای افزایش رسانش حرارتی این سیالات معرفی شده است افزودن نانوذرات باخواص ترموفيزيكي حرارتي بالابه سيال 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 پژوهش های متعددی ييرامون ميزان لزجت و انتقال حرارت نانو سيال انجام شده است.

لزجت نانوسيال آب- دى اكسيد تيتانيونم با قطر نانوذرات ۲۷ نانومتر توسط ماسودا و همکاران [۲] اندازه گیری 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، سيال يمپ تخليه و اتيلن گليکول حل شده بودند توسط وانگ و همکاران [۳] آزمایش شد. دادهها نشان دادند که نانو سیال آب- آلومینا در کسر حجمی۳ 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 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 دمایی۳۵- تا ۵۰ درجه سانتیگراد بیان شد. قطرنانو ذرات 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^۳و همکاران [۵] کار خود را روی لزجت نانوذرات آلومیناو دی اکسید تیتانیوم با کسر حجمی تا ۴٪ معلق در اتیلن گلیکول و آب (۸۰:۲۰) ودر 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 نانوسيالها مناسب نيستند. رابطه پيشنهاد شده تابعي از لزجت سيال پايه، دما و كسر حجمي نانوذرات بود. همت و سعدالدین^۴ [۶] در یک کار آزمایشگاهی به بررسی اثر دو پارامتر دما وکسر حجمی بر لزجت نانو سیال اتیلن گلیکول-اکسیدروی پرداختند. پس از اتمام آزمایش با استفاده از پردازش دادهها در کسر حجمی و دماهای

¹.Masuda

².Namburu

³.Yiamsawas

⁴ .Hemmat, Saedodin

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 اندازه گیری 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 است. همت و همکاران [۷] به بررسی خواص انتقال حرارت عاملدار هیدروکربنی در جریان مغشوش و کسر حجمی متعدد نانوذرات پرداختند. براساس نتایج آزمایش مشاهده شد مدل های 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، ۲/۰، ۴/۰، ۸/۰ و ۱/۲ درصد به روش دو مرحله ای تهیه شده است. مقدار اکسید سریم مورد

جدول (۱) مشخصات اتیلن گلیکول [۸]

مقدار	پارامتر
$early - V/\Delta$	مقدار pH
$1/11(g/cm^3)$	چگالی
-1 ° (°C)	نقطه جوش
۶۲/۰۷(g/mol)	جرم مولى

جدول (۲) مشخصات نانوذرات اکسید سریم [۹]

خلوص(٪)	(REO) /.44/4V
رنگ	زرد روشن
اندازه(nm)	۱۰-۳۰
سطح ويژه(m²/g)	۳۰-۵۰
چگالی (g/cm ³)	٧,١٣٢

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

$$\phi\% = \left[\frac{(\frac{w}{\rho})_{Ceo}}{(\frac{w}{\rho})_{Ceo} + (\frac{w}{\rho})_{EG}}\right]$$
(1)

که ϕ درصد کسر حجمی، ρ چگالی و W وزن می باشد. آماده سازی نانوذرات با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی 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. ضمنا 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 لزجتسنج نوع دورانی، مدل لزجتسنج بروکفیلد استفاده شده است. نمای کلی دستگاه بروکفیلد در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) دستگاه اندازه گیری لزجت برو کفیلد

محدوده دقت و تکرار پذیری لزجت سنج بروکفیلد به ترتیب 1.0% و 0.2% است. برای اندازه گیری لزجت با حجم مایعات کم در دستگاه UL Adaptor در 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 ۵۰°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 میشود. بعد از رسیدن آب به دمای مورد نیاز آزمایش، نانوسیال را داخل دستگاه UL Adaptor ریخته و با استفاده از دستگاه اندازه-گیری لزجت برو کفیلد، 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 درکسر حجمی های متفاوت نشان می دهد. ملاحظه میشود که با افزایش کسر حجمی نانوذرات در یک دمای ثابت لزجت نانو سیال افزایش مییابد. در دمای۲۵°۲ لزجت سیال پایه ۱۴۴۰-پواز است که با اضافه کردن نانوذرات ورسیدن به کسر حجمی ۲/۰درصد لزجت نانوسیال به ۱۷۳۳ پواز و در



کسر حجمی ۰/۴ و ۱/۲ درصد لزجت نانوسیال به ترتیب ۰/۱۹۵ و ۱/۲۹۵ 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 یایه و برخورد پیوسته بین نانوذرات و ملکول های سیال پایه یکی از عوامل تاثیر گذار بر لزجت است. به علاوه وقتى نانوذرات به سيال پايه اضافه مي 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 ودر نتیجه لزجت افزایش می یابد. شکل (۳) تاثیر دما بر لزجت نانو سیال در کسرهای حجمی متفاوت را نشان میدهد. همانطور که در شکل(۳) مشاهده می شود، در کسر حجمی ۰/۸ درصد در دمای ۳۰، ۴۰ و C۰°C لزجت نانوسیال به ترتیب ۰/۱۹۸، ۱۴۰، ۱۴۰ و ۱۱۸۰ پواز است. از نتایج مشخص است که با افزایش دما در یک کسر حجمی ثابت لزجت نانو سیال کاهش مییابد. 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 انرژیدار راحت تر حرکت میکنند. 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



براونی نانوذرات با افزایش دما برلزجت نانوسیال نیز قابل توجیه 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 میکند.

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 ۱/۲درصد است.



٤- مقایسه دادههای حاصل از آزمایش با روابط تحلیلی ارائه شده توسط محققین

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 نانوسیالهای مختلف استفاده می شود.

$$\mu_r = 1 + 2.5\phi \tag{(Y)}$$

$$\mu_r = 1 + 7.3\phi + 123\phi^2 \tag{(r)}$$

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 مدلهای 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 اسنفاده قرار نگرفته است.



٥- 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.



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 باافزایش 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. ازمقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و مدل ریاضی مشخص است که مدل ریاضی به خوبی قادر به پیش بینی لزجت دینامیکی نانوسیال است.

مراجع:

- 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.,

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = 781.4 \times T^{-2.117} \times \varphi^{0.2722} +$$

$$\frac{0.05776}{T^{-0.7819} \times \varphi^{-0.04009}} + 0.511 \times \varphi^2 - 0.1779 \times \varphi^3$$
(F)

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

۲- 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. میتوان استنباط کرد که رابطه ریاضی به دست آمده پیشگویی مناسبی برای تخمین لزجت نانوسیال مورد نظرانجام می دهد که در دامنه کسرهای حجمی و دماهای تعیین شده منطبق با نتایج آزمایشگاهی است.



rch

291

- [5] Yiamsawas O. M. T, Selim Dalkilic A, Kaewnai S, Wongwises S., Experimental studies on the viscosity of TiO₂ and Al₂O₃ 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 viscositybof 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 Al2O3/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 Al2O3 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.