

مطالعه آزمایشگاهی ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول

امین اسدی^{۱*}، میثم اسدی^۲، مجید غلامی انداراتی^۳

^۱ کارشناسی ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* Semail@stu.semnaniau.ac.ir، ۹۷۹۵۱-۳۵۱۹۶ صندوق پستی

چکیده

در این پژوهش رفتار ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول بصورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. آزمایشات در کسرهای حجمی مختلف (۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱، ۱/۵، ۲) و در دماهای ۲۳ و ۵۵ درجه سانتیگراد انجام گرفته است. نانوذره مورد استفاده در این مطالعه دارای قطر متوسط ۱۰ نانومتر می باشد. همچنین رفتار نیوتنی نانوسیال با بررسی نرخ برش آن ثابت گردید. نتایج بیانگر این موضوع هستند که با افزایش کسر حجمی، ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال نیز افزایش پیدا می کند. این افزایش در ویسکوزیته دینامیکی در دماهای پایین، در مقایسه با دماهای بالا، چشمگیرتر می باشد.

کلید واژگان

ویسکوزیته دینامیکی، دما، کسر حجمی، نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول، نانوسیال

Experimental study on dynamic viscosity of Mg(OH)₂-ethylene glycol nanofluid

Amin Asadi^{1*}, Meisam Asadi², Majid Gholami Andarati²

1-Young Researchers and Elite Club, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
* P.O.B. 97951-35196 Semnan, Iran, A.Asadi@stu.semnaniau.ac.ir

Abstract

In this paper, we aim to investigate the dynamic viscosity of the Mg(OH)₂-ethylene glycol (EG) nanofluid. The study is conducted in different solid volume fractions (0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8%, 1%, 1.5%, and 2%) at the temperatures of 23 and 55°C. It should also be mentioned that the average diameter of the nano-particle is 10 nanometer. Moreover, the Newtonian behavior of the nanofluid is evidenced by examining the shear rate of the nanofluid. The results proof that while the solid volume fraction is increased, the dynamic viscosity is increased too. This increase is more noticeable at lower temperatures in comparison with higher temperatures.

Keywords

Dynamic viscosity, Temperature, Solid concentration, Mg(OH)₂-EG nanofluid

آن‌ها نشانگر این موضوع بود که در کسرهای حجمی بالا، نانوسیال رفتار غیرنیوتنی از خود نشان می‌دهد. در تحقیق آزمایشگاهی دیگری، پاک و چو [۵]، ویسکوزیته دینامیکی نانوسیالات اکسید آلومینیم-آب و اکسید تیتانیوم-آب را در کسرهای حجمی مختلف (تا ۱۰ درصد) مورد بررسی قرار دادند و از نانوذراتی با قطرهای متوسط بترتیب ۱۳ و ۲۷ نانومتر استفاده شده است. نتایج آن‌ها نشان داد که ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال با افزایش کسر حجمی بصورت قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. همچنین در مطالعات گسترده دیگری، که توسط سایر محققین به انجام رسیده است، تاثیرات کسر حجمی و دما بر روی ویسکوزیته دینامیکی نانوسیالات مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است [۶-۱۰].

۲- آماده سازی نانوسیال

جهت آماده سازی نمونه‌های مورد آزمایش، نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول به روش دومرحله‌ای و با استفاده از فعال کننده‌های سطحی^۱ تولید شده است. همچنین از یک مخلوط کننده مکانیکی^۲ جهت پراکنده سازی^۳ نانوذرات در کسرهای حجمی مختلف از

۱- مقدمه

یک محلول از ذرات در ابعاد نانو در سیال پایه نانوسیال نامیده می‌شود. این مطلب پذیرفته شده است که نانوسیالات در مقایسه با سیالات رایج دیگر (آب و اتیلن گلیکول) از ظرفیت انتقال حرارت بالاتری برخوردار هستند. در سال‌های اخیر و باتوجه به کاربرد نانوسیالات در صنایع مختلف از قبیل سیستم‌های حرارتی (راکتورهای هسته‌ای، انرژی خورشیدی و...) محققین توجه خاصی به این زمینه داشته‌اند.

در یک مطالعه آزمایشگاهی نامبورا و همکاران [۱] به بررسی ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال اکسید مس-اتیلن گلیکول/آب پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که در کسرهای حجمی تا ۰/۰۶ درصد نانوسیال رفتار نیوتنی از خود نشان می‌دهد. پراشر و همکاران [۲] در یک پژوهش آزمایشگاهی تاثیرات نرخ برش، دما، اندازه نانوذرات و کسر حجمی بر روی ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال اکسید آلومینیم مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها اظهار داشتند که ویسکوزیته نانوسیال مستقل از نرخ برش است. در مطالعه آزمایشگاهی دیگری، کولکارنی و همکاران [۳] ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال اکسید مس-آب را در کسرهای حجمی مختلف (بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ درصد) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر این موضوع است که در دماهای مختلف (از ۵ تا ۵۰ درجه سانتیگراد) نانوسیال رفتاری غیرنیوتنی از خود نشان می‌دهد. پوچ و همکاران [۴] تاثیرات کسر حجمی و نرخ برش بر روی ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال اکسید آهن-آب را بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج

¹ surfactant

² Mechanical mixture

³ Disperse

آزمایشگاهی بر روی ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال اکسیدتیتانیوم-آب رفتار نیوتنی را برای این نانوسیال گزارش نموده است.



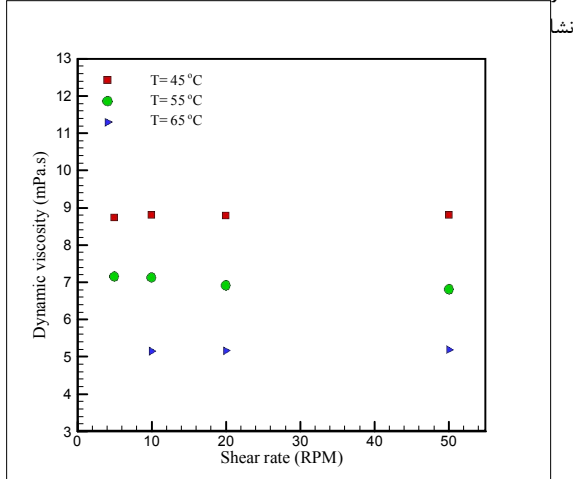
شکل ۲ ویسکومتر بروکفیلد

در تحقیق حاضر رفتار رئولوژیکی نانوسیال هیدروکسیدمنیزیم-اتیلن گلیکول مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. معادله حاکم برای رفتار نیوتنی یک نانوسیال بدینگونه تعریف می‌شود:

$$\tau = \mu\dot{\gamma} \quad (1)$$

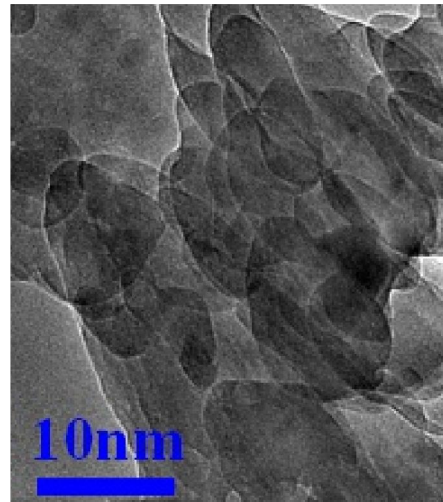
که در معادله فوق τ ، μ و $\dot{\gamma}$ به ترتیب معرف تنش برشی، نرخ برش و ویسکوزیته دینامیکی می‌باشند.

همانطور که قبلاً گفته شد، ویسکوزیته دینامیکی این نانوسیال با استفاده از دستگاه ویسکومتر بروکفیلد اسپیندلی^۵ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان دهنده این موضوع هستند که در نرخ‌های برش مختلف، ویسکوزیته دینامیکی رفتاری تقریباً خطی از خود نشان می‌دهد. بنابراین، این موضوع تصدیق کننده رفتار نیوتنی برای نانوسیال مورد مطالعه در محدوده کسرهای حجمی بین ۰ تا ۲ درصد می‌باشد. در شکل ۳ ویسکوزیته دینامیکی این نانوسیال در کسر حجمی ۰/۸ درصد در نرخ‌های برش و دماهای مختلف



شکل ۳ ویسکوزیته دینامیکی با توجه به نرخ برش در کسر حجمی ۰/۸ درصد و در دماهای مختلف

قبیل ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد استفاده شده است. با استفاده از روش بکار رفته در این پژوهش، نمونه‌های آماده شده بصورت کاملاً پایدار برای مدت زمان طولانی (حداقل ۷ روز) تولید شدند که هیچگونه ته‌نشینی با چشم غیرمسلح قابل گزارش نبود. شکل ۱ نمونه‌های آماده شده با روش دومرحله و همچنین تصویر TEM نانوذره هیدروکسیدمنیزیم (که توسط شرکت تولید کننده ارائه شده است) را نشان می‌دهد.



شکل ۱ الف) نانوسیال تولید شده با روش دومرحله ای ب) تصویر TEM نانوذره هیدروکسیدمنیزیم با قطر ۱۰ نانومتر

۳- دستگاه اندازه‌گیری

ویسکوزیته نانوسیال مورد مطالعه در این پژوهش بوسیله دستگاه ویسکومتر بروکفیلد^۱، ساخت شرکت تجهیزات آزمایشگاهی مهندسی بروکفیلد آمریکا^۲، مدل (LVDV-I PRIME) و با استفاده از یو ال آداپتور^۳ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. تصویر دستگاه مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است.

۴- رفتار نیوتنی نانوسیال

همواره بحث‌های متناقضی در زمینه رفتار رئولوژیکی نانوسیالات (نیوتنی یا غیرنیوتنی بودن) وجود داشته است. بعنوان مثال کبالک و کوهنک [۱۱] کاهش در ویسکوزیته نانوسیال اکسیدمس را در نرخ‌های برش مختلف گزارش نموده‌اند. این در حالی است که فدل [۱۲] در یک پژوهش

¹ Brookfield viscometer

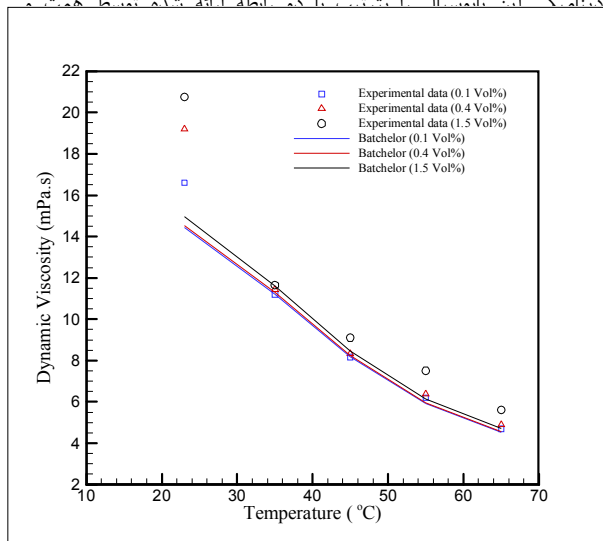
² Brookfield engineering laboratories, USA

³ UL adaptor

⁴ Rheological behavior

⁵ Spindle type viscometer

شکل ۵ و ۶ مقایسه‌ای بین نتایج آزمایشگاهی حاصل برای ویسکوزیته



شکل ۶ مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از رابطه بتچلور [۱۵]

۷- ارائه نتایج

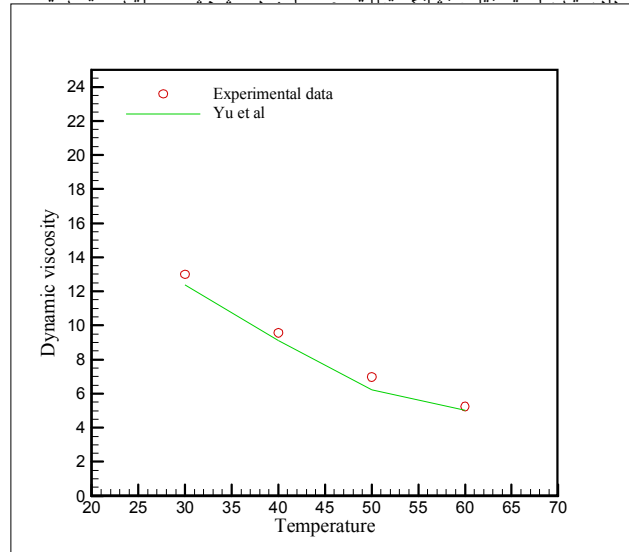
در این پژوهش، ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول در دو دمای ۲۳ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد و در کسرهای حجمی مختلف (۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱، ۱/۵، ۲ درصد) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از این موضوع است که رابطه‌ای مستقیم بین کسر حجمی نانوذرات و ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال در دماهای پایین وجود دارد. به بیانی دیگر، ویسکوزیته دینامیکی در دماهای پایین مستقیماً متأثر از کسر حجمی نانوذرات می‌باشد. اما این تاثیر در دماهای بالاتر محدودتر می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که ویسکوزیته نانوسیال مستقیماً متأثر از دما است.

۸- مراجع

- [1] P. K. Namburu, D. P. Kulkarni, D. Misra, and D. K. Das, "Viscosity of copper oxide nanoparticles dispersed in ethylene glycol and water mixture," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 32, pp. 397-402, 2007.
- [2] R. Prasher, D. Song, J. Wang, and P. Phelan, "Measurements of nanofluid viscosity and its implications for thermal applications," *Applied Physics Letters*, vol. 89, p. 133108, 2006.
- [3] D. P. Kulkarni, D. K. Das, and G. A. Chukwu, "Temperature dependent rheological property of copper oxide nanoparticles suspension (nanofluid)," *Journal of nanoscience and nanotechnology*, vol. 6, pp. 1150-1154, 2006.
- [4] T. X. Phuoc and M. Massoudi, "Experimental observations of the effects of shear rates and particle concentration on the viscosity of Fe 2 O 3-deionized water nanofluids," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 48, pp. 1294-1301, 2009.
- [5] B. C. Pak and Y. I. Cho, "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles," *Experimental Heat Transfer an International Journal*, vol. 11, pp. 151-170, 1998.
- [6] M. H. Esfe, M. Afrand, S. Wongwises, A. Naderi, A. Asadi, S. Rostami, et al., "Applications of feedforward multilayer perceptron artificial neural networks and empirical correlation for prediction of thermal conductivity of Mg (OH) 2-EG using experimental data," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 67, pp. 46-50, 2015.
- [7] M. H. ESFE, S. SAEDODIN, and A. ASADI, "An empirical investigation on the dynamic viscosity of Mg (OH) 2-ethylene glycol in different solid concentrations and proposing new correlation based on experimental data," *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, vol. 8, pp. 29-34, 2014.

۵- اعتبارسنجی

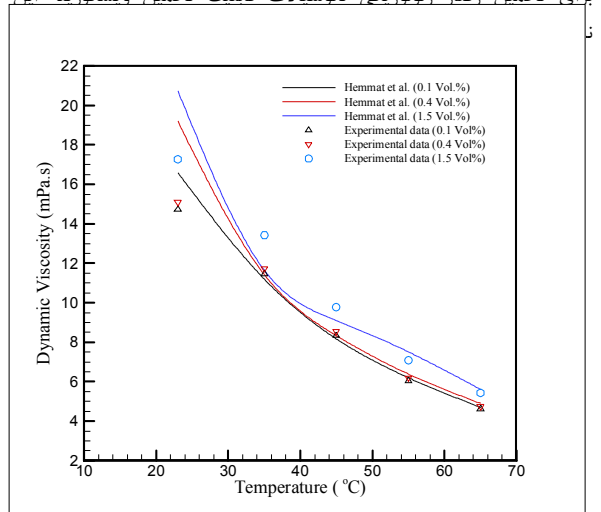
به منظور اعتبار سنجی نتایج حاصل از آزمایشات، مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از تست ویسکوزیته سیال پایه اتیلن گلیکول، که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، با نتایج حاصل از تحقیق یو و همکاران [۱۳] انجام شده است. در شکل ۴ مقایسه بین این نتایج به روشن‌ترین صورت نمایش



شکل ۴ ویسکوزیته اتیلن گلیکول بعنوان تابعی از دما و مقایسه نتایج با تحقیق یو و همکاران [۱۳]

۶- مقایسه نتایج

با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و معادلات تئوری، ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول در شکل ۵ نمایش داده شده است. باتوجه به این شکل، این نکته قابل استنتاج است که معادلات ارائه شده برای تخمین رفتار رئولوژیکی نانوسیالات قابلیت تخمین ویسکوزیته این



شکل ۵ مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از رابطه همت و همکاران [۱۴]

- [8] M. H. Esfe, S. Saedodin, A. Asadi, and A. Karimipour, "Thermal conductivity and viscosity of Mg (OH) 2-ethylene glycol nanofluids," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 120, pp. 1145-1149, 2015.
- [9] M. H. Esfe, S. Wongwises, A. Naderi, A. Asadi, M. R. Safaei, H. Rostamian, et al., "Thermal conductivity of Cu/TiO 2-water/EG hybrid nanofluid: Experimental data and modeling using artificial neural network and correlation," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2015.
- [10] M. H. Esfe and S. Saedodin, "An experimental investigation and new correlation of viscosity of ZnO-EG nanofluid at various temperatures and different solid volume fractions," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 55, pp. 1-5, 2014.
- [11] K. Kwak and C. Kim, "Viscosity and thermal conductivity of copper oxide nanofluid dispersed in ethylene glycol," *Korea-Australia Rheology Journal*, vol. 17, pp. 35-40, 2005.
- [12] L. Fedele, L. Colla, and S. Bobbo, "Viscosity and thermal conductivity measurements of water-based nanofluids containing titanium oxide nanoparticles," *international journal of refrigeration*, vol. 35, pp. 1359-1366, 2012.
- [13] W. Yu, H. Xie, Y. Li, L. Chen, and Q. Wang, "Experimental investigation on the thermal transport properties of ethylene glycol based nanofluids containing low volume concentration diamond nanoparticles," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 380, pp. 1-5, 2011.
- [14] M. H. Esfe, S. Saedodin, and M. Mahmoodi, "Experimental studies on the convective heat transfer performance and thermophysical properties of MgO-water nanofluid under turbulent flow," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 52, pp. 68-78, 2014.
- [15] G. K. Batchelor, "The effect of Brownian motion on the bulk stress in a suspension of spherical particles," *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 83, pp. 97-117, 1977.