

مطالعه تجربی و آزمایشگاهی ضریب هدایت حرارتی نانوسیال هیدروکسیدمنیزیم-اتیلن گلیکول در دماها و کسرهای حجمی مختلف

امین اسدی^{۱*}، میثم اسدی^۲، مجید غلامی اندراتی^۲، علی سامان^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

۳- کارشناس ارشد پایش وضعیت، شرکت پتروشیمی خراسان

* سمنان، صندوق پستی ۹۷۹۵۱-۳۵۱۹۶، M.Asadi@stu.semnaniau.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر به مطالعه آزمایشگاهی و تجربی ضریب هدایت حرارتی نانوسیال هیدروکسیدمنیزیم-اتیلن گلیکول پرداخته شده است. آزمایشات در محدوده دمایی بین ۲۴ تا ۵۵ درجه سانتیگراد و در هفت کسر حجمی مختلف (۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱، ۱/۵، ۲٪) درصدا انجام شده است. نتایج حاکی از این موضوع است که تغییرات در ضریب هدایت حرارتی نانوسیال هیدروکسیدمنیزیم-اتیلن گلیکول با دما، در کسرهای حجمی پایین تر از ۰/۴٪، در مقایسه با کسرهای حجمی بالاتر، بسیار ناچیز میباشد. همچنین بیشترین و کمترین درصد افزایش در ضریب هدایت حرارتی در کسرهای ۲٪ بترتیب برابر با ۲۲٪ در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد و ۱۳٪ در دمای ۲۴ درجه سانتیگراد اتفاق میافتد.

کلید واژگان

ضریب هدایت حرارتی، نانوسیال هیدروکسیدمنیزیم-اتیلن گلیکول، دما، کسر حجمی

An Experimental investigation on thermal conductivity of Mg(OH)₂-EG nanofluid at different solid volume fractions and temperatures

Amin Asadi^{1*}, Meisam Asadi², Majid Gholami Andarati², Ali Saman³

1-Master of mechanical engineering, Young Researchers and Elite Club, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

2- Master student, Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

3- Master of condition monitoring, Khorasan Petrochemical company

* P.O.B. 97951-35196 Semnan, Iran, M.Asadi@stu.semnaniau.ac.ir

Abstract

In the present study, the thermal conductivity of Mg(OH)₂-EG nanofluid has been experimentally investigated. All the experiments have been carried out at the temperatures ranging from 24 to 55 °C and different solid concentrations (0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1, 1.5, and 2%). The results declared that the variations of thermal conductivity of Mg(OH)₂-EG nanofluid with respect to temperature at the solid volume fractions less than 0.4 %, compared to the higher solid volume fractions, is negligible. Furthermore, the maximum and minimum percentage of increasing the thermal conductivity at solid concentration of 2% is 22% at 55°C and 13% at 24°C, respectively.

Keywords

Mg(OH)₂-EG nanofluid, solid volume fraction, temperature, experimental study

۱- مقدمه

ضریب هدایت حرارتی که با k نشان داده می‌شود، خاصیتی است که توانایی ماده برای هدایت گرما را نشان می‌دهد. انتقال حرارت در موادی که دارای ضریب هدایت حرارت بالاتری هستند، نسبت به موادی که دارای ضریب هدایت حرارت پایین‌تری هستند، با نرخ بیشتری رخ می‌دهد. بنابراین موادی که دارای ضریب هدایت حرارت بالاتری هستند، در کاربردهایی استفاده می‌شوند که هدفشان جذب حرارت باشد و موادی که دارای ضریب هدایت حرارت پایین‌تری هستند، در عایق‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دانگ سون ساک و ونگویز[۱] رفتار حرارتی نانوسیال آب-TiO₂ را بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق در محدوده کسرهای حجمی بین ۰/۲٪ تا ۲٪ و در دماهای مختلف (بین ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد) به انجام رسید. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش کسر حجمی نانوذرات و دما، ضریب هدایت حرارتی نانوسیال افزایش پیدا می‌کند. همچنین آن‌ها نتایج حاصل از آزمایشات خود را با نتایج حاصل از چند رابطه معروف در زمینه تخمین ضریب هدایت حرارتی مقایسه نمودند.

در تحقیقی دیگر، همت و همکاران[۲] خواص ترموفیزیکی نانوسیال آب-اکسیدمنیزیم را بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. آنها آزمایشات خود را در کسرهای حجمی تا ۱٪ و در محدوده دمایی بین ۲۴،۷ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام دادند. آنها دریافتند که ضریب هدایت حرارتی در این نانوسیالات بیشتر از ۱ می‌باشد و با افزایش کسر حجمی، ضریب هدایت حرارتی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دما، ضریب هدایت حرارتی در تمامی کسرهای حجمی افزایش پیدا می‌کند. در سال ۲۰۱۱، یو و همکاران[۳] تحقیقی آزمایشگاهی بر روی ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات اتیلن گلیکول-AIN و پروپیلن گلیکول-AIN انجام دادند. آنها دریافتند که تقریباً یک رابطه خطی بین نرخ افزایش ضریب هدایت حرارتی و کسر حجمی نانوذرات وجود دارد. در تحقیق آزمایشگاهی دیگری، خواص ترموفیزیکی نانوسیال آب-DWCNT بصورت تجربی توسط همت و همکاران[۴] مورد مطالعه قرار گرفت. آنها آزمایشات خود را در کسرهای حجمی تا ۰/۴٪ و در محدوده دمایی بین ۳۰۰ تا ۳۴۰ کلین به انجام رساندند. نتایج آنها حاکی از این موضوع است که مدل‌های ارائه شده تاکنون قادر به تخمین دقیق ضریب

۳- آماده سازی نانوسیال

در تحقیق حاضر، نانوسیال اتیلن گلیکول-هیدروکسیدمنیزیم، با استفاده از روش دو مرحله‌ای^۱ بدون استفاده از هیچگونه پایداری کننده، به عنوان نمونه آزمایشگاهی تولید شد. در خلال مراحل تولید و به منظور توزیع کردن^۲ نانوذرات در کسرهای حجمی^۳ مختلف، از قبیل ۰/۱٪، ۰/۲٪، ۰/۴٪، ۰/۸٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪، از یک همزن مکانیکی^۴ استفاده شد. در مرحله بعدی، برای هر کسر حجمی مقداری معین از نانوذره هیدروکسیدمنیزیم به سیال پایه اتیلن گلیکول افزوده شد. همچنین به منظور مخلوط کردن نانوذرات در سیال پایه، از یک همزن مغناطیسی^۵ به مدت دو ساعت استفاده شد. در مرحله نهایی، از یک پردازشگر اوتراسونیک^۶، با قدرتی برابر با ۱۲۰۰ وات و فرکانس ۲۴ کیلوهرتز، به منظور از بین بردن پدیده کلوخه شدن^۷ بین نانوذرات و همچنین جلوگیری از مشکل ته نشین شدن به مدت پنج ساعت استفاده شد. این روش باعث پایدار شدن نمونه برای مدت زمانی طولانی (حداقل یک هفته) می شود و هیچگونه اثر ته نشین شدن با چشم غیر مسلح مشاهده نمی شود.

۴- دستگاه های اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی

در این تحقیق، به منظور اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی نانوسیال، از دستگاه اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی KD2 ساخت شرکت دکاگون^۸ امریکا، استفاده شده است. شکل ۱، شمایی کلی از دستگاه اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی KD2 را نشان می دهد.

۵- تنظیم دما

یکی از پارامترهای بسیار مهم در تغییر ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات، دما می باشد. از این رو کنترل صحیح و یکنواخت دمای محفظه حاوی نانوسیال از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. به این منظور و با توجه به نحوه عملکرد و ملاحظات سنسور TS1 دستگاه KD2-Pro، برای انجام این پروژه، از یک بشر خاص با قابلیت حجم مشخصی سیال به صورت داخلی و یک مجرای بیرونی به منظور گذر آب با دمایی خاص استفاده شده است. با گذر آب با دمایی خاص از جداره خارجی ظرف، دمای سیال درون ظرف کنترل شده و در محدوده معینی ثابت می شود. به منظور تنظیم دمای دقیق نانوسیال درون ظرف داخلی از حسگرهای اندازه گیری مقاومتی (RTD) و برای گرمایش و جریان سیال خارجی (آب گرم)، از حمام دما استفاده گردید.

۶- اطمینان از صحت عملکرد دستگاه

به منظور اطمینان از صحت عملکرد دستگاه تحلیل حرارتی KD2-Pro می توان از اندازه گیری ضریب هدایت سیالات پایه ای مانند آب و یا مایع کالیبراسیون این دستگاه، استفاده نمود. با استفاده از مایع کالیبراسیون (گلیسیرین) موجود در کیف دستگاه، می توان ضمن اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی به صحت و دقت عملکرد دستگاه پی برد. بدین منظور پیش از انجام آزمایشات، در ابتدا با استفاده از دستگاه KD2-Pro ضریب هدایت

هدایت حرارتی این نانوسیال نمی باشند بطوریکه در کسر حجمی ۰/۴٪، میزان ۴۰٪ خطا مشاهده می گردد. همچنین آنها دریافتند که در کسرهای حجمی پایین، دما تاثیر چشمگیری در ضریب هدایت حرارتی ندارد. این در حالی است که تاثیر دما در کسرهای حجمی بالاتر قابل توجه می باشد. سعیدی نیا و همکاران [۵] رفتار حرارتی و رئولوژیکی نانوسیال روغن-اکسید مس را بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. آنها آزمایشات خود را در کسرهای حجمی و دماهای مختلف طراحی نمودند. یافته های آنها حاکی از این موضوع است که با افزایش کسر حجمی نانوذرات، ضریب هدایت حرارتی بصورت غیرخطی افزایش پیدا می کند همچنین آنها دریافتند که ضریب هدایت حرارتی مطلق با افزایش دما، افزایش پیدا می کند در حالیکه نرخ افزایش ضریب هدایت حرارتی تقریباً در دماهای مختلف برای این نانوسیال ثابت باقی می ماند. در سال ۲۰۱۴ همت و همکاران [۶] در مطالعه ای تجربی تاثیر اندازه ذرات، دما و کسر حجمی را بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال اتیلن گلیکول-آهن را مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق در کسرهای حجمی تا ۳٪ و در محدوده دمایی بین ۲۶ تا ۵۵ درجه سانتی گراد و با نانوذراتی به قطرهای ۴۰،۷۰، ۱۰۰ نانومتر انجام گرفته است. آنها دریافتند که با افزایش قطر نانوذرات، ضریب هدایت حرارتی کاهش پیدا می کند. همچنین نتایج آنها تاثیر دما را بر ضریب هدایت حرارتی در اندازه های مختلف ذرات به وضوح نشان می دهد. همچنین تحقیقات گسترده دیگری نیز در این راستا توسط سایر محققان به انجام رسیده است [۷-۱۰]

۲- مفهوم ضریب هدایت حرارتی

می دانیم رسانایی حرارتی به انتقال حرارت ناشی از شیب دما گفته می شود. اما آنچه برای ما مهم است محاسبه نرخ انتقال حرارت ناشی از رسانش است. نرخ انتقال حرارت علاوه بر شیب دما به نوع، جنس و خواص فیزیکی ماده ای که انتقال حرارت در آن انجام می شود نیز بستگی دارد. فوری به انجام آزمایشهای بسیاری بر روی مواد با جنسهای مختلف و در نظر گرفتن شیب دماهای مختلف به این نتیجه رسید که نرخ انتقال حرارت متناسب با شیب دما، سطح انتقال حرارت و نوع جنس ماده است و رابطه زیر را که به نام قانون انتقال حرارت فوری است، بدست آورد.

$$Q_x = -K_x A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

مقدار شار گرمایی عبوری از سطح برابر خواهد بود با:

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = -K_x \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

بنابراین رسانایی حرارتی را می توان بصورت زیر تعریف نمود: نرخ انتقال حرارت عبوری از ماده ای با ضخامت واحد که دارای اختلاف دمای واحد در دو طرف سطح واحد است، می باشد و برابر است با:

$$K = K_x = K_y = K_z = -\frac{Q}{A \frac{dT}{dx}} \quad (3)$$

در مواد ایزوتروپیک، رسانایی حرارتی K مستقل از جهت است، یعنی $K_x = K_y = K_z$ است. قانون فوری به که شکل روابط فوق نوشته شده است، بیانگر این است که شار حرارتی یک کمیت برداری است و راستای شار همیشه بر سطحی با دمای ثابت بنام سطح همدمای عمود است و سطوح همدمای صفحات عمود بر راستای انتقال حرارت و در جهت کاهش دما هستند همچنین از روابط فوق می توان نتیجه گرفت که برای یک شیب دمای معین، مقدار شار حرارتی رسانشی با افزایش مقدار رسانندگی گرمایی K افزایش می یابد.

¹ Two-step method

² Disperse

³ Solid volume fractions

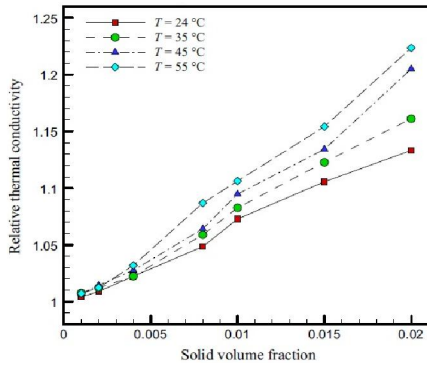
⁴ Mechanical mixture

⁵ Magnetic stirrer

⁶ Ultrasonic processor

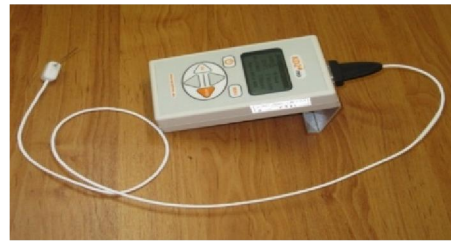
⁷ Agglomeration

⁸ Decagon Devices, Inc.



شکل ۳ تغییرات نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال اتیلن گلیکول - اکسیدمنیزیم در کسرهای حجمی و دماهای مختلف

حرارتی مایع کالیبراسیون اندازه‌گیری شده و با مقدار گزارش شده بر روی آن مقایسه می‌شود. در صورت انطباق این مقادیر، انجام آزمایش، آغاز می‌شود.

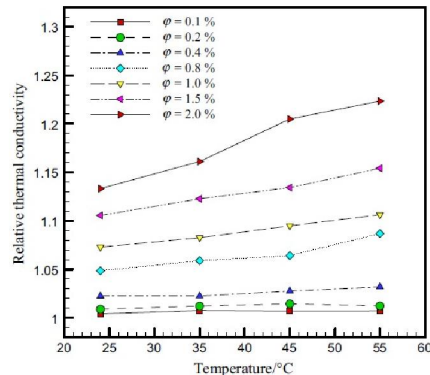


شکل ۴ دستگاه اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی KD2

۷- تحلیل و بررسی نتایج

در این پژوهش، ضریب هدایت حرارتی نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول در کسرهای حجمی و دماهای مختلف، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

شکل ۳ روند افزایش در نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال را در کسرهای حجمی و دماهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، حساسیت نسبت ضریب هدایت حرارتی به دما، با افزایش کسرجمعی نانوذرات، افزایش پیدا می‌کند. به بیانی دیگر، در کسرهای حجمی بالاتر از ۰/۴٪، روند افزایش در نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال، به طور چشمگیری افزایش می‌یابد.



شکل ۵ ضریب هدایت حرارتی نانوسیال اتیلن گلیکول - هیدروکسید منیزیم در کسرهای حجمی و دماهای مختلف

شکل ۴ تغییرات نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال را با افزایش کسرجمعی در دماهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، در دماهای پایین، تغییرات نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال تقریباً ثابت می‌باشد. در کسرجمعی ۰/۲٪، افزایش ضریب هدایت حرارتی حدود ۰/۲۲٪ در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد است، در حالیکه در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد، درصد افزایش در ضریب هدایت حرارتی در حدود ۰/۱۳٪ می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد که نقش نانوذرات در افزایش ضریب هدایت حرارتی در دماهای بالا، بسیار مهم و حائز اهمیت می‌باشد.

۸- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ضریب هدایت حرارتی نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول در محدوده دمایی بین ۲۴ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد، به صورت تجربی و آزمایشگاهی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. با استفاده از روش دو مرحله‌ای، نانوسیال مورد نظر در هفت کسرجمعی مختلف (۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۵، ۲/۱) به‌عنوان نمونه آزمایشگاهی، تولید شد. بر مبنای تحقیق فوق‌الذکر نتایج زیر حاصل گردید:

- ۱- تغییرات در ضریب هدایت حرارتی نانوسیال هیدروکسید منیزیم-اتیلن گلیکول با دما، در کسرهای حجمی پایین تر از ۰/۴٪، بسیار ناچیز می‌باشد.
- ۲- در دماهای پایین، تغییرات نسبت ضریب هدایت حرارتی، با تغییر کسرجمعی نانوذرات، تقریباً بصورت ثابت می‌باشد.
- ۳- در کسرهای حجمی بالاتر از ۰/۴٪، نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال تغییر بیشتری از خود نشان می‌دهد به طوری‌که در کسرجمعی ۰/۲٪ و در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد، افزایش نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال در حدود ۰/۲۲٪ می‌باشد در حالیکه در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد، درصد افزایش در نسبت ضریب هدایت حرارتی در حدود ۰/۱۳٪ است.

۹- مراجع

- [1] W. Duangthongsuk and S. Wongwises, "Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂-water nanofluids," *Experimental thermal and fluid science*, vol. 33, pp. 706-714, 2009.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] M. H. Esfe, S. Saedodin, O. Mahian, and S. Wongwises, "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*, vol. 73, pp. 186-194, 2014.
- [5] M. Saeedinia, M. A. Akhavan-Behabadi, and P. Razi, "Thermal and rheological characteristics of CuO-Base oil nanofluid flow inside a circular tube," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 39, pp. 152-159, 2012.
- [6] M. H. Esfe, S. Saedodin, O. Mahian, and S. Wongwises, "Efficiency of ferromagnetic nanoparticles suspended in ethylene glycol for applications in energy devices: Effects of particle size, temperature, and concentration," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 58, pp. 138-146, 2014.
- [7] 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.
- [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, 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.