



بررسی ضریب هدایت گرمایی نسبی نانوسیال ترکیبی نانولوله کربنی چند جداره/اکسید مس - آب

مسعود زاده خواست^۱، داوود طغرایی^{۲*}، آرش کریمی پور^۳

* نویسنده مسئول: Toghraee@iaukhsh.ac.ir

چکیده

در این بررسی آزمایشگاهی تأثیر پارامترهای کسر حجمی و دما بر ضریب هدایت گرمایی نسبی، نانولوله‌های کربنی و نانوسیال جدید و پر کاربرد اکسید مس - آب دیونیزه پرداخته می‌شود. نانوسیال با غلظت های حجمی ۰/۱، ۰/۲، ۰/۶ درصد حجمی برای بررسی تأثیر کسر حجمی بر ضریب هدایت گرمایی نسبی آماده شد. همچنین برای بررسی اثر دما، دما به محدوده -های ۳۰، ۴۰، ۵۰ درجه سلسیوس محدود شد. برای اندازه گیری ضریب هدایت گرمایی نسبی از روش سیم داغ گذرا با استفاده از دستگاه سیم داغ گذرا و پراب استفاده شد. با افزایش دما و افزایش کسر حجمی ضریب هدایت گرمایی نانوسیال در مقایسه با سیال پایه افزایش چشمگیری دارد. در کسرهای حجمی پایین افزایش ضریب هدایت گرمایی چشمگیرتر است. در نتیجه توانستیم با دماها و کسر حجمی های مختلف به افزایش ضریب هدایت گرمایی در حدود ۳۸۷ درصد دست یابیم که تا به حال در این زمینه کسی اطلاعاتی ارائه نداده است.

واژه‌های کلیدی

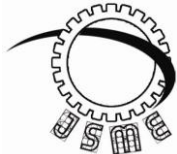
نانوسیال، کسر حجمی، دما، ضریب هدایت گرمایی، نانولوله‌های کربنی

تاریخ ارسال	۹۴/۰۹/۰۸
تاریخ بازنگری	۹۴/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش	۹۴/۱۲/۱۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۳- استادیار، گروه مکانیک، دانشکده مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.



Experimental investigation of relative thermal conductivity of MWCNTs-CuO/Water nanofluids

Masoud Zadkhast^{*1}, Davood Toghraie², Arash Karimipour³

* Corresponding Author: Toghraee@iaukhsh.ac.ir

Abstract:

In this experimental study, we investigate the effect of volume fraction and temperature parameters on the relative thermal conductivity of carbon nano- tubes and the new and useful nano- fluid of copper oxide -deionized Water. Nanofluid with volumetric concentrations of 1.0, 2.0, and 6.0 % for evaluation of the effect of the volume fraction on the thermal conductivity was prepared. As well as, to investigate the effect of temperature, the temperature was limited to 30, 40, 50 degrees Celsius. For the measurement of relative thermal conductivity, transient hot wire method is applied by using of hot wire method and probe. With increasing temperature and volume fraction of nano-fluid, thermal conductivity is significantly increased compared to the base fluid. Low volume fractions are significant increase in thermal conductivity. Hence we could obtain thermal conductivity of about 7.38 percent gain that had been left in the field that provides information.

Key words:

Nanofluid, volume fraction, Temperature, Thermal conductivity, Carbon nano tubes

1- MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, KhomeiniShahr Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

۱- مقدمه

بیشتر باشد، ضریب هدایت گرمایی هم بیشتر می‌شود [۱۴]. اندازه نانوذرات می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی تغییر نماید. از جمله این موارد می‌توان به کاربرد سورفکتانتها، استفاده از همزن الکترومغناطیسی و مرتعش کننده آلتراسونیک اشاره نمود. سورفکتانت های مختلفی بسته به نوع سطح فعال نانوذره استفاده می‌شود [۱۵]. که عدم دقت در انتخاب نوع سورفکتانت ممکن است باعث کلوخه شدن بیشتر نانوذرات بشود. نتایج تجربی نشان داد که هدایت حرارتی نانو سیالها بیشتر از هدایت حرارتی سیال پایه است. [۱۶]

همت اسفه و همکاران [۱۷] همچنین چنین گزارش کرده‌اند که انتخاب سورفکتانت هم به سیال پایه و هم به جنس نانوذرات وابسته است. استفاده از مرتعش کننده‌ی آلتراسونیک نیز روشی برای گسستن کلوخه‌های نانوذرات تشکیل شده در نانو سیالات است. البته مدت زمان استفاده از ارتعاش آلتراسونیک برای هر نانو سیال مقدار بهینه‌ای دارد که به وسیله‌ی آزمایش مشخص می‌شود [۱۵]، [۱۸].

۲- آماده سازی نانو سیال

نانو سیال ترکیبی مورد استفاده، از روش ساخت دو مرحله‌ای و با فرایند تعلیق مکانیکی، شیمیایی در کسر حجمی‌های مورد نظر تهیه شده است. در این روش ابتدا مقادیر مورد نیاز نانوذرات برای دستیابی به کسر حجمی مورد نظر، به صورت دقیق وزن شده و پس از آن درون سیال آب ریخته می‌شود. پس از آن در یک فرایند خاص و با استفاده از دستگاه‌های همزن مکانیکی و آلتراسونیک، فرآیند تعلیق انجام شده و نانو سیال پایدار می‌شود. در این آزمایش از نانولوله‌های کربنی دارای خواص گرمایی، الکتریکی و مکانیکی منحصر بفردی استفاده شد و می‌تواند به عنوان مواد امید بخشی برای کاربردهای گوناگون ایفای نقش کنند و در بالا بردن ضریب هدایت گرمایی و نیز انتقال حرارت بسیاری از مواد بسیار موثر هستند. از جمله کاربردهای اصلی نانولوله‌های کربنی ساخت کامپوزیت‌ها، سنسورها و پیل‌های سوختی را می‌توان نام برد و همچنین از نانوذرات کروی اکسیدمس با اندازه یکسان نانومتری استفاده شده است. به منظور بررسی دقیق پایداری، نانو سیال به مدت حداکثر یک روز پس از تعلیق نگهداری شده و میزان پایداری آن ارزیابی می‌گردد. در این ارزیابی آزمایشگاهی، نانو سیال در کسرهای حجمی ۰/۱،

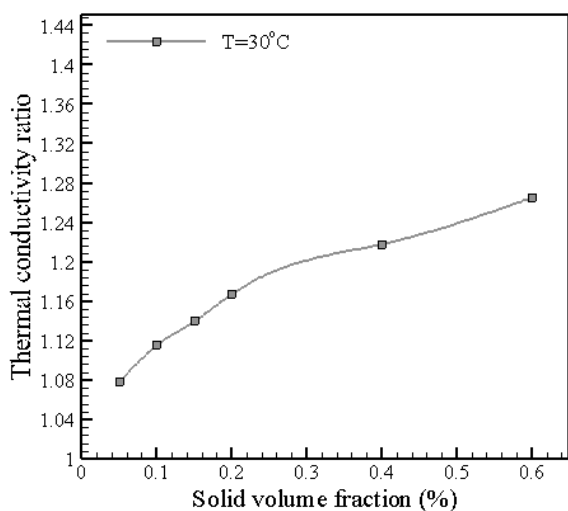
روشهای گوناگونی برای افزایش انتقال حرارت از یک جسم پیشنهاد شده است. یکی از این روشها استفاده از سیالی با خواص انتقال گرمایی بهتر است. نانو سیالات به طور نسبی نسل جدیدی از سیالات محسوب می‌شوند که خواص گرمایی بهتری نسبت به سیالات مرسوم دارند. این سیالات شامل یک سیال پایه به همراه ذرات با اندازه‌ی نانومتری درون آن هستند. این ذرات به طور کلی فلز یا اکسید فلز و یا نانولوله‌ها هستند که ضریب هدایت و جابجایی و انتقال حرارت از خنک کارها را افزایش می‌دهد. ضریب هدایت گرمایی، خاصیتی است که بیشتر مورد توجه محققان و نویسندگان قرار گرفته است و آنها اعتقاد دارند که عمده کارایی نانو سیالات، به جهش بسیار مطلوب و قابلیت کنترل ضریب هدایت گرمایی باز می‌گردد. محققان نیز در آزمایشهای خود با تغییر پارامترهای مختلف، ضریب هدایت گرمایی را اندازه گیری می‌کنند. از جمله پارامترهایی که در آزمایشها تغییر میکند، دما است [۳]-[۱]. نتایج تحقیقاتی متعددی نشان داده است که در کسر حجمی‌های پایین (نانوذرات ۵-۱٪ درصد حجمی) نیز هدایت گرمایی می‌تواند تا بیشتر از ۲۰٪ نیز افزایش یابد. [۴-۵-۶].

ذرات معلق فوق ریز، خواص انتقالی و عملکرد انتقال حرارت نانو سیال ها را تغییر می‌دهد، به طوریکه پتانسیل بالایی در بهبود انتقال حرارت نشان می‌دهند. [۷] مهمترین کاربرد نانو سیالها به عنوان خنک کننده است. سه فاکتوری که باعث میشود تا نانو سیالها خنک کننده های مناسبی باشند عبارتند از: بالا بودن هدایت حرارتی، بالا بودن انتقال حرارت در یک فاز و بالا بودن شار حرارتی بحرانی. [۸]

همت اسفه و سعدالدین [۹] گزارش کرده‌اند که در کسر حجمی‌های بالاتر اثر دما بر ضریب هدایت گرمایی بیشتر است. پارامتر دیگری که حین آزمایش به آن توجه می‌شود، اندازه‌ی ذرات است [۱۰]-[۱۲]. تنگ و همکاران [۱۳] در تحقیقی اثر دما، اندازه‌ی ذرات و کسر حجمی را بر ضریب هدایت گرمایی بررسی کرده‌اند و گزارش کرده‌اند که کاهش اندازه‌ی نانوذرات باعث افزایش ضریب هدایت گرمایی می‌شود و در کسرهای حجمی بالاتر اثر دما بر ضریب هدایت گرمایی چشمگیرتر است. آنچه مسلم است این است که هر چه سطح مشترک جامد با سیال

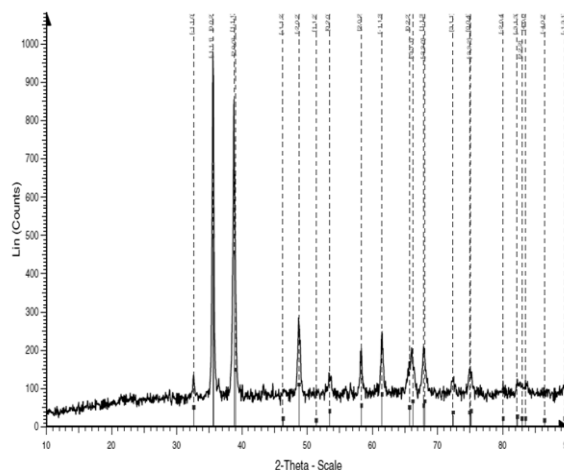
۴- تحلیل و بررسی نتایج

نانوسیال ترکیبی نانولوله کربنی/اکسید مس-آب در کسرهای حجمی ۰/۱ تا ۰/۶ درصد و در بازه دمایی بین ۲۵ تا ۵۰ درجه سلسیوس مورد آزمایش قرار گرفت و ضریب هدایت گرمایی نسبی آن به دقت اندازه گیری و ثبت گردید. نتایج حاصل از آزمایش این نانوسیال در شکل ۳ تا ۵ آمده است. همانگونه که مشاهده می شود در کسرهای حجمی کمتر از ۰/۲، اختلاف دما، تاثیر اساسی و محسوسی بر روی نسبت ضریب هدایت گرمایی ندارد و اختلاف ها اندک است اما با افزایش کسر حجمی، تاثیر دما بر روی ضریب هدایت گرمایی افزایش یافته و در کسر حجمی ۰/۶ به اوج خود می رسد. علت این موضوع را می توان در افزایش برخورد های میان ملکول های سیال و ذرات معلق با افزایش دما، دانست. با افزایش کسر حجمی تعداد ذرات موجود در سیال پایه افزایش یافته و بالا بودن دما نیز سرعت برخورد ملکول ها و حرکت براونی را افزایش می دهد. نتیجه می گیریم که افزایش کسر حجمی نانوذره موجب افزایش ضریب هدایت گرمایی نسبی خواهد شد، البته افزایش کسر حجمی نانوذره تا جایی می تواند ادامه پیدا کند که موجب ته نشینی نانوذرات و رسوب آنها نشود. باید در نظر داشت که بالا بردن دما بیشتر از ۶۰ یا ۵۵ درجه سلسیوس سبب از بین رفتن و شکستن پیوندهای بین مولکولی و از بین رفتن خاصیت ماده فعال کننده سطحی می شود. لذا محدودیت دمایی را باید در نظر داشته باشیم. در این آزمایش بالاترین دما را ۵۰ درجه سلسیوس در نظر گرفتیم.

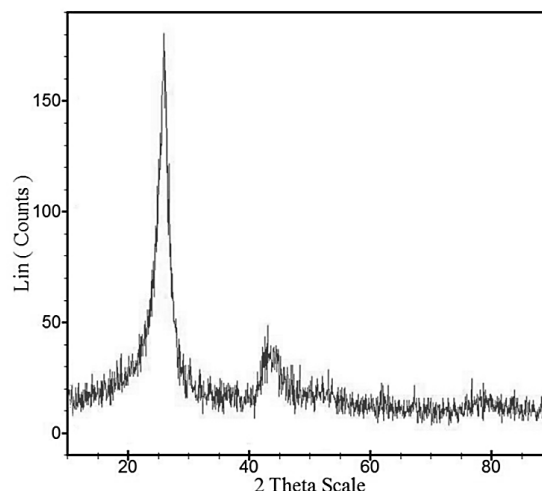


شکل ۳: تغییرات ضریب هدایت گرمایی نسبی در کسر حجمی در دمای ۳۰ درجه سلسیوس

۰/۶ و ۰/۲ تولید و مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور اطمینان از اندازه ذرات، تصویر پراش پرتو ایکس مربوط به نانوذرات و همچنین تصویر پراش نانولوله های کربنی چند جداره در آزمایشگاه تهیه شده و مورد استفاده قرار گرفته است که در شکل ۱ و شکل ۲ نمایش داده شده است.



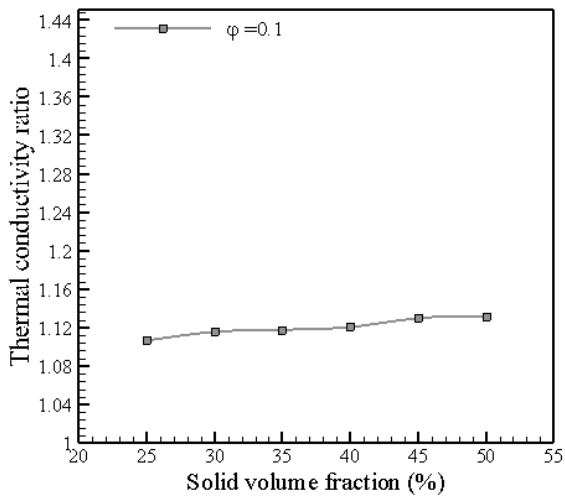
شکل ۱: عکس XRD از نانوذره اکسید مس



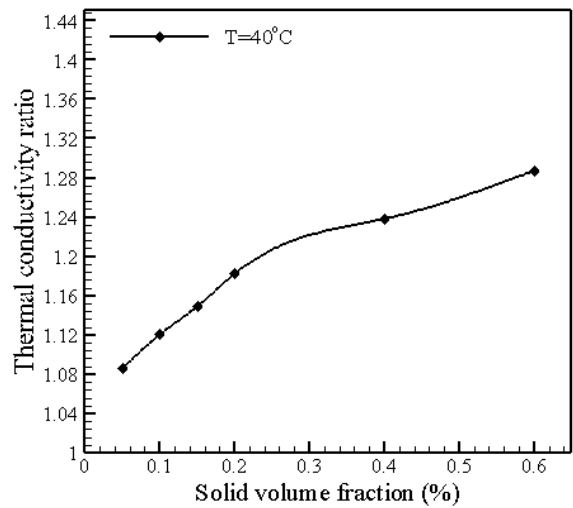
شکل ۲: عکس XRD از نانولوله های کربنی چند جداره

۳- روش آزمایش ضریب هدایت گرمایی

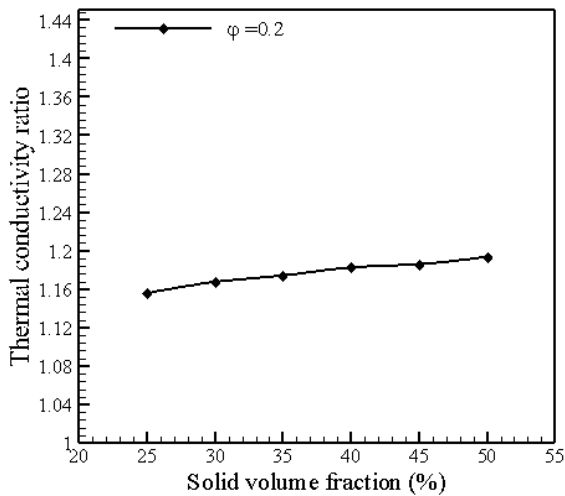
به دلیل دقت زیاد و سرعت بالای روش سیم داغ گذرا، از این روش استفاده می شود. نانوسیال در کسرهای حجمی مختلف، با استفاده از سنسور و دستگاه آنالیزور حرارتی مورد آزمایش قرار می گیرد. لازم به ذکر است که شرایط دمایی این تحقیق، به دقت و با استفاده از یک کنترلر دما و سنسور^۷ تامین شده است.



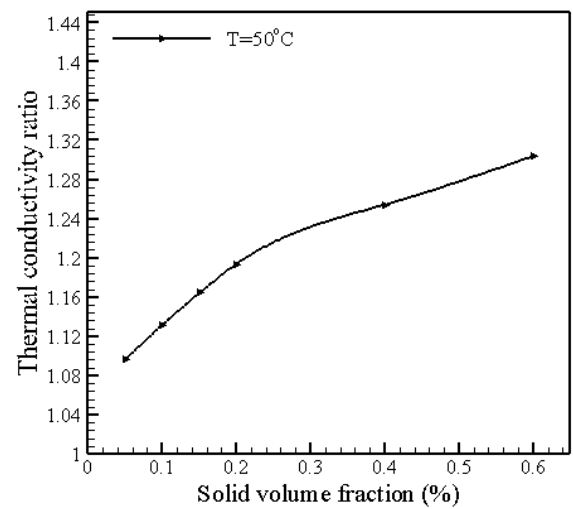
شکل ۶: تغییرات ضریب هدایت گرمایی نسبی در دما و کسر حجمی ۰/۱ درصد



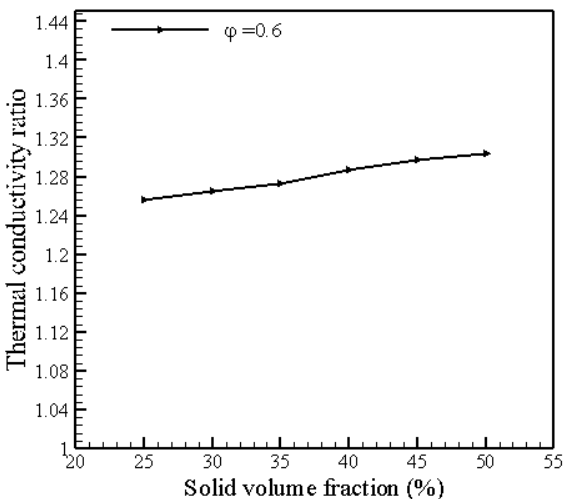
شکل ۴: تغییرات ضریب هدایت گرمایی نسبی در کسر حجمی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس



شکل ۷: تغییرات ضریب هدایت گرمایی نسبی در دما و کسر حجمی ۰/۲ درصد



شکل ۵: تغییرات ضریب هدایت گرمایی نسبی در کسر حجمی در دمای ۵۰ درجه سلسیوس



شکل ۸: تغییرات ضریب هدایت گرمایی نسبی در دما و کسر حجمی ۰/۶ درصد

به منظور درک بهتر تغییرات ضریب هدایت گرمایی با دو پارامتر اساسی کسر حجمی و دمای نانوسیال، شکل ۶ تا ۸ ارائه شده است. افزایش ضریب هدایت گرمایی نانوسیال در حالت های گوناگون بر حسب درصد، مشخص و نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود در کسر حجمی ۰/۰۶، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، افزایش بیش از ۳۷/۸ درصد، در ضریب هدایت گرمایی نانوسیال بوجود آمده است. تشکیل رسوب و خارج شدن ذرات از حالت پایدار در غلظت های بالا معمولاً بدیهی بوده و کاهش ضریب هدایت گرمایی را به دنبال دارد.

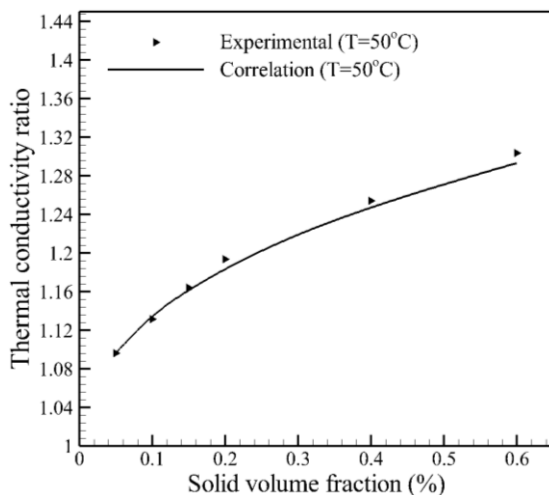
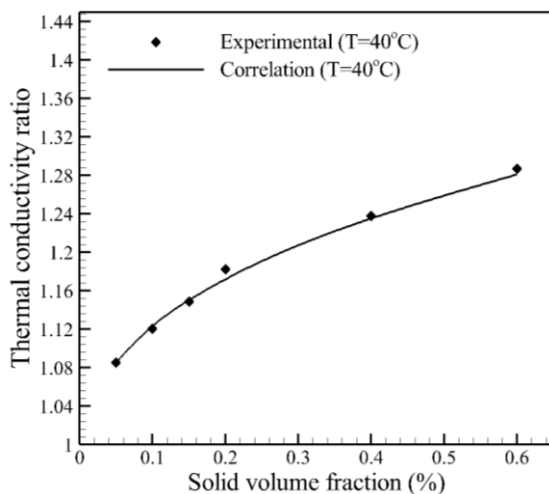
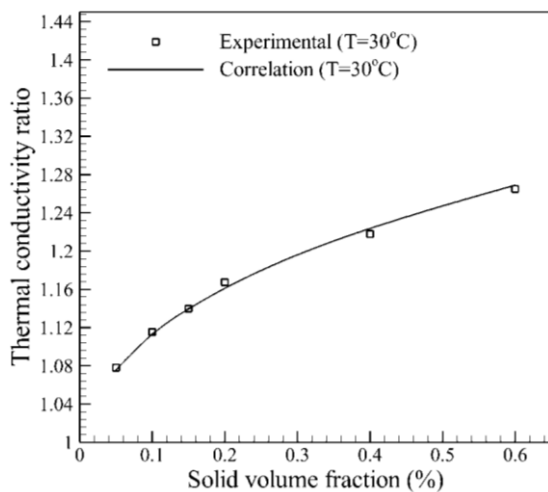
۵- مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی مربوط به تخمین ضریب هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله کربنی/اکسید مس-آب ذیل آمده است. نهایت تلاش نویسندگان در ارائه این مدل، بر سادگی روابط و در عین حال کارآمدی آن، تمرکز یافته است. با مشاهده این رابطه و استفاده از آن، می توان دریافت که این رابطه در عین سادگی، بسیار کارآمد بوده و رفتار ضریب هدایت گرمایی نانوسیال در کسر حجمی و دماهای مختلف را به خوبی پیش بینی می کند و محدوده انحراف این رابطه کمتر از یک درصد است.

$$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = 0.907 \exp(0.36\phi^{0.3111} + 0.000956T) \quad (1)$$

۶- مقایسه بین نتایج و رابطه در قالب نمودار

با توجه به عدم وجود رابطه ای ثابت و مشخص به منظور تخمین و پیش بینی ضریب هدایت گرمایی نانوسیالات، در این تحقیق چندین مدل مختلف به منظور تخمین این خاصیت اساسی، برای دماهای مختلف ارائه شده است. طبق بررسی های صورت گرفته و اطلاعات نویسندگان، تا کنون رابطه قابل قبول و جامعی برای پیش بینی رفتار این نانوسیال خاص در تحقیقات داخلی و خارجی ارائه نشده است. هدف از ارائه رابطه برای هر دمای خاص، افزایش دقت و حساسیت تخمین ضریب هدایت گرمایی نانوسیال می باشد. نمودار مقایسه ای میان مدل های پیشنهادی و یافته های تجربی آورده شده است. همانگونه که در تصاویر مشخص است، این رابطه محدوده انحراف بسیار اندکی داشته و ضریب هدایت گرمایی نسبی این نانوسیال را با تقریب بالا در یک دمای معین و مشخص، پیش بینی می کنند که نمودار آنها در دماهای مختلف به طور کامل بیان شده است.



شکل ۹: تغییرات ضریب هدایت گرمایی نسبی با کسر حجمی در دماهای مختلف

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق آزمایشگاهی، ضریب هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله کربنی / اکسید مس-آب در دماهای بین ۲۵ تا ۵۰ درجه سلسیوس و کسرهای حجمی ۰/۰۵ تا ۰/۶ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور تهیه نانوسیال از روش دو مرحله‌ای و به منظور بررسی ضریب هدایت گرمایی از روش سیم داغ گذرا استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که هر دو پارامتر کسر حجمی نانوذرات و دمای نانوسیال تاثیر بسیار زیادی بر روی ضریب هدایت گرمایی نانوسیال دارند. از سوی دیگر بر مبنای یافته‌های آزمایشگاهی، مدل جدید و مفیدی به منظور تخمین ضریب هدایت گرمایی نانوسیال ارائه گردید. این مدل قابلیت تخمین ضریب هدایت گرمایی نانوسیال را با محدوده انحراف بسیار کم داراست.

۸- فهرست علائم

T (K)	دما
k (W/mK)	ضریب هدایت گرمایی
ϕ	نسبت حجمی ذرات نانو به سیال
زیر نویس ها	
nf	نانو سیال
bf	سیال پایه
مراجع	

- [5] Lee. S, Choi. S.U.-S, Li. S, Eastman. J.A, *Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles*, *J. of Heat Transfer*, Vol. 121, 1999, pp. 280- 289.
- [6] Masuda. H, Ebata. A, Teramae. K, Hishinuma. N, *Alternation of Thermal Conductivity and Viscosity of Liquid by Dispersing Ultra-Fine Particles (dispersion of Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles)*, *Netsu Bussei*, Vol. 4, 1993, pp. 227- 233.
- [7] Xuan. Y, Roetzel. W, *Conceptions for Heat Transfer Correlation of Nanofluids*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 43, 2000, pp. 3701,3707.
- [8] Singh. A. K, *Thermal Conductivity of Nanofluids*, *Defence Science Journal*, Vol. 58, 2008. ,pp. 600-607
- [9] Esfe. M. H and Saedodin. S, "Experimental investigation and proposed correlations for temperature- dependent thermal conductivity enhancement of ethylene glycol based nanofluid containing ZnO nanoparticles," *J.Heat Mass Transf. Res.*, vol. 1, no. 2013, pp. 47-54, 2014
- [10] Paul. G, Sarkar. S, Pal. T, Das. P. K, and Manna. I, "Concentration and size dependence of nano-silver dispersed water based nanofluids," *J. Colloid Interface Sci.*, vol.317 ,no. 1, pp. 20-27, 2012.
- [11] Pastoriza-Gallego. M. J, Casanova. C, Legido. J. L, and Piñeiro. M. M, "CuO in water nanofluid: Influence of particle size and polydispersity on volumetric behaviour and viscosity," *Fluid Phase Equilib.*, vol. 300, no.1-2 , pp. 188-196, Jan. 2011.
- [12] Abbaspoursani. K, "An Improved Model for Prediction of the Effective Thermal Conductivity of Nanofluids." p. 4, 2011.
- [13] Teng T.-P, Hung. Y.-H, Teng T.-C, Mo. H.-E, and Hsu. H.G, "The effect of alumina/water nanofluid particle size on thermal conductivity," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 30, no. 14-15, pp. 2213-2218, Oct. 2010.
- [14] Michaelides. E. E. (Stathis), *Nanofluidics Thermodynamic and Transport Properties*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2014.
- [15] Ghadimi. A and Metselaar I. H, "The influence of surfactant and ultrasonic processing on improvement of stability, thermal conductivity and viscosity of titania nanofluid," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 51, pp. 1-9, Nov. 2013.
- [16] Xiang-Qi Wang, Mujumdar. Arun S, *Heat Transfer Characteristics of Nanofluids: a review* , *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 46, 2007, pp. 1-19.
- [17] Hemmat Esfe. M, Saedodin. S, "An experimental investigation and new correlations of viscosity of ZnO-EG nanofluid at various temperatures and different solid volume fractions," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 55, pp. 1-5, 2014.
- [18] Dmtfb. S, "ADVANCED CLAMP-ON TRANSIT-TIME ULTRASONIC FLOW METER FOR ACCURATE FLOW MEASUREMENT Features : Applications: □ Measurement Principle:," no. 01, pp. 1-5.

- [1] Halelfadl. S, Estellé. P, Aladag. B, Doner. N, and Maré. T, "Viscosity of carbon nanotubes water-based nano fluids : Influence of concentration and temperature," Vol. 71, pp.111-117, 2013.
- [2] Hosseini. M and Ghader. S, "A model for temperature and particle volume fraction effect on nanofluid viscosity," *J. Mol. Liq.*, Vol. 153, no. 2-3, pp. 139-145, May 2010.
- [3] Liu. J, Wang. F, Zhang. L, Fang. X, and Zhang. Z, "Thermodynamic properties and thermal stability of ionic liquid-based nanofluids containing graphene as advanced heat transfer fluids for medium-to-high temperature applications," *Renew. Energy*, Vol. 63, pp. 519-523, Mar. 2014.
- [4] Xuan. Y, Li. Q, *Heat Transfer Enhancement of Nanofluids*, *Int. J. Heat Fluid Flow*, Vol. 21 , 2000, pp. 158-64.

