بررسی عوامل موثر در بهبود ضریب رسانش نانوسیالات مرسوم و نانوسیالات هیبرید شده

اشکان غفوری[۱]، بهنام برومند[۲]*

[۱]- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
*[۲]- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

دریافت: تابستان ۹۸ پذیرش: تابستان ۹۸

چکیده

در این تحقیق مطالعات آزمایشگاهی و مطالعات تئوری صورت گرفته بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیالات بررسی شده اند. بر اساس مطالعات بررسی شده فاکتورهای مختلفی بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیال موثر می باشند. از جمله فاکتورهای موثر دما، شکل نانوذره، درصد حجمی فاز جامد، حضور میدان مغناطیسی و غیره می باشد. نتایج نشان می دهند که افزایش دما و درصد حجمی نانوذره موجب بهبود ضریب رسانش حرارتی نسبت به سیال پایه می شود. علاوه بر این، طبق تحقیقات جدید نظریه های بسیار نو و جدیدی برای افزایش ضریب انتقال حرارت رسانش نانوسیال وجود دارد. از جمله این روش ها استفاده از سیال دوتایی به عنوان سیال پایه یا نانوسیالات هیبرید شده می باشد.

* **عهده‌دار مکاتبات:boromand.950323310@gmail.com**

کلمات کلیدی: نانوسیال، نانوسیالات هیبریدشده، ضریب رسانش حرارتی، درصد حجمی، شکل نانوذره

۱- مقدمه

در گذشته محققان خاصیت سیالات را در تکنولوژی‌های مورد استفاده، مورد بررسی قرار داده و حساسیت آن را در سیستم‌ها مطرح کرده‌اند. در عصر جدید کاربردهای بیشتری به ویژه پدیده‌های جابجایی که تابع قانون بقای جرم و انتقال حرارت هستند مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. سیستم‌های مورد مطالعه برای سایزها(اندازه) در مقیاس ماکرو یا نانو می‌باشند. به سیالی که دارای ذرات با ابعاد نانو می‌باشد نانو سیال گفته می‌شود. این نوع سیالات با پخش کردن نانوذرات یا نانو ورق‌ها در یک سیال پایه تهیه می‌شوند.[۱] ذرات نانو پخش شده در سیال پایه می‌توانند بر خواص ترموفیزیکی سیال پایه تاثیر بگذارند. از جمله خواص ترموفیزیکی سیال ویسکوزیته دینامیکی و ضریب رسانش حرارتی می‌باشند که سهم قابل توجه‌ای در رفتار انتقال حرارتی سیال دارند. [۲] اضافه کردن نانو ذره موجب افزایش ضریب رسانش حرارتی و ویسکوزیته نانو سیال می‌شود.[۳] ضریب انتقال حرارت رسانش بالاتر تاثیر مطلوبی بر روی انتقال حرارت همرفتی سیالات می‌گذارد در حالی که افزایش ویسکوزیته دینامیکی باعث بدتر شدن ضریب انتقال حرارت همرفتی می‌شود. از آنجایی که نسبت سطح به حجم نانوذرات نسبت به میکروذرات بالاتر می‌باشد ضریب رسانش حرارتی نانوسیال‌ها نسبت به میکروسیال‌ها و سیالات خالص بیشتر است. [۴] ضریب رسانش حرارتی بالاتر نانوسیالات این نوع سیالات را درخور استفاده در کاربردهای انتقال حرارتی کرده است. به سبب خواص حرارتی مطلوب نانوسیالات، آنها به طور گسترده در کاربردها و وسایل مختلف مانند انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی، لوله‌های پالس حرارتی، ترموسیفون‌ها و غیره برای بهبود انتقال حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرند. [۵]

فاکتورهای مختلفی بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیال‌ها تاثیر می‌گذارند. دمای نانوسیال، درصد حجمی فاز جامد، سایز نانوذرات و شکل نانوذرات پارامترهای تاثیرگذار بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیال می‌باشند. مطالعات مختلفی بر روی پارامترهای تاثیرگذار بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیالات صورت گرفته است. [۶] علاوه بر این مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی رفتار ضریب رسانش حرارتی نانوسیال و وابستگی آن به پارامترهای مختلف بررسی شده‌اند و نظریه‌های شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده‌اند. در این مقاله کارهای مختلف و موجود برای بدست آوردن ضریب رسانش حرارتی و فاکتورهای تاثیرگذار بر روی آن مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی انواع مختلف استفاده از نانوسیال که شامل فلز شامل نانوسیال، اکسید فلزات، کربونیک و نانوذرات هیبرید شده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این مطالعه شامل دو بخش است. بخش اول معرفی نانوسیالات مرسوم و بخش دوم شامل نانوسیالت هیبرید شده می‌باشد.

۲. نانوسیالات مرسوم

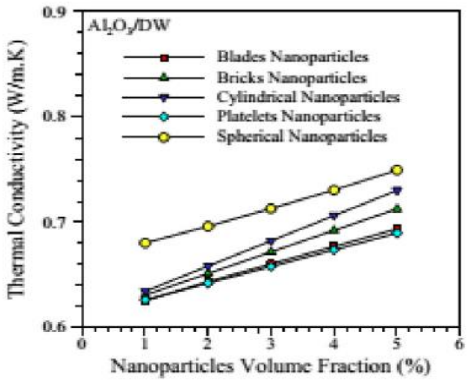
انواع مختلف نانوذرات وجود دارد که در نانوسیالات مورد استفاده قرار می‌گیرند. نانوذرات اکسید فلز بیشترین نانوذراتی هستند که در

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

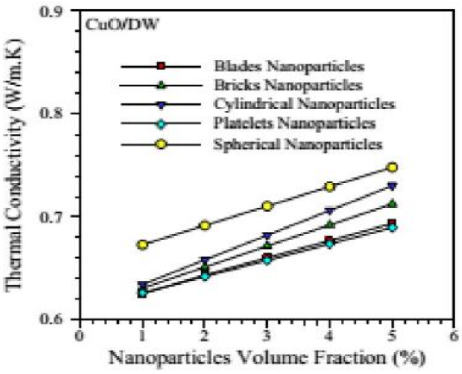
[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.2.8]

انواع سیال پایه مورد استفاده قرار می‌گیرند. آبرومند[۱] و همکاران به صورت آزمایشگاهی ضریب رسانش حرارتی Cuo/نانوسیال روغن موتور را بررسی کردند و تاثیر دما و درصد حجمی نانوسیال را بر روی ضریب رسانش حرارتی این نانوسیال را مورد ارزیابی قرار دادند. [۷] درصد حجمی نانوذره مورد بررسی در این پژوهش ٪۰٫۲، ٪۰٫۵ و ٪۱ می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان داد که ضریب رسانش حرارتی نانوسیال در درصد حجمی ٪۱ به میزان ٪۴۹ نسبت به سیال پایه بهبود یافت.

اندازه و سایز نانوذره می‌تواند بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیال تاثیر بگذارد. اندازه نانوذرات همانند دما بر روی برخورد آنها به یکدیگر تاثیر می‌گذارد و به همین دلیل فاکتور موثر بر ضریب رسانش حرارتی نانوسیال می‌باشد. شریف پور و همکاران [۸] تاثیر اندازه نانوذره، دما و درصد حجمی را بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیال α-Al_2O_3/ گلیسرول را مورد بررسی قرار دادند. سایزهای نانوذره‌ی مورد بررسی در این پژوهش ۱۳، ۵۵ و ۱۳۴ نانومتر می‌باشد. بعلاوه دما در رنج بین ۲۰ تا ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و درصد حجمی نانوذره بین ٪۰٫۵ تا ٪۴ متغیر بودند. نتایج نشان داد که افزایش در سایز نانوذره موجب کاهش ضریب رسانش حرارتی در نانوسیال می‌شود.



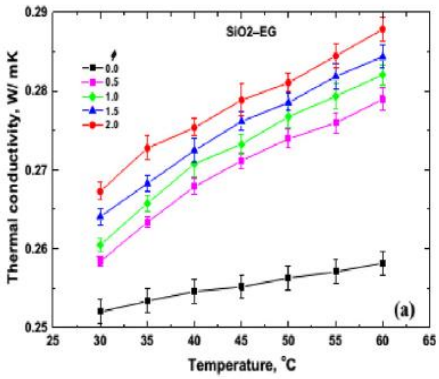
شکل1a: تاثیر شکل نانوذره بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیال



شکل1b: تاثیر شکل نانوذره بر روی ضریب رسانش حرارتی نانوسیال[9]

اسف[۲] و همکاران تاثیر اندازه نانوذره و درصد حجمی نانوسیال MgO/آب را بر روی ضریب رسانش آن مورد ارزیابی قرار دادند. کسر حجمی مورد استفاده در این تحقیق ٪۰٫۵، ٪۱، ٪۱٫۵ و ٪۲ می‌باشد. بعلاوه قطر نانوذرات ۲۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ نانومتر بود. نتایج نشان داد که افزایش در کسر حجمی نانوذره و کاهش سایز و اندازه نانوذره موجب بهبود ضریب رسانش حرارتی نانوسیال می‌شود.

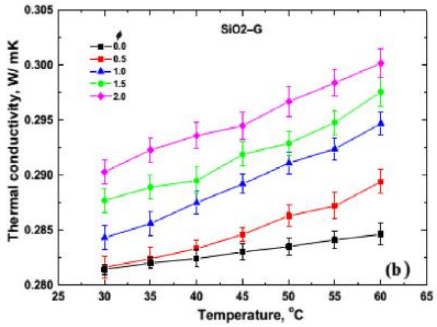
شکل نانوذره فاکتور دیگری است که بر روی ضریب رسانش نانوسیال تاثیر گذار است. علوی[۳] [9] و همکاران ضریب رسانش حرارتی نانوسیالات اکسیدهای فلزات مختلف از جمله Al_2O_3/ آب، CuO/آب، ZnO/آب و SiO_2/آب را اندازه‌گیری کردند. آنها دریافتند که بهترین شکل نانوذره برای بهبود ضریب رسانش حرارتی به نوع نانوذره بستگی دارد و در شکل۱ نشان داده شده است. مشواری[۴] [10] و همکاران تاثیر دما، درصد حجمی و سایز نانوذره را بر روی ضریب رسانش نانوسیال TiO_2/آب را بررسی کردند. درصد وزنی نانوذره در رنج ٪۰٫۵ تا ٪۲٫۵ و با گام ۰٫۵ تغییر کرد. بعلاوه دما در رنج ۳۰۳ تا ۳۵۳ کلوین متغیر بود. هم‌چنین شکل نانوذرات مورد بررسی مکعبی، استوانه‌ای و کروی بودند. نتایج نشان داد برای این نانوسیال در شکل نانوذره مکعبی بالاترین ضریب رسانش حرارتی بدست آمد. علاوه بر این نانوذرات با شکل استوانه‌ای موثرتر از نانوذرات با شکل کروی بر روی ضریب رسانش حرارتی می‌باشند. نتایج بدست آمده در این پژوهش با نتایج بدست آمده توسط مرشد [۵] و همکاران هماهنگی لازم را داشتند. افزایش در دمای نانوسیال موجب بالاتر رفتن ضریب رسانش حرارتی نانوسیال نسبت به انواع سیال پایه‌ها می‌شود.



شکل۲a: ضریب رسانش حرارتی بر اساس دما برای SiO2/EG [11]

[۱] Aberoumand
[۲] Asfe
[۳] Alawi
[۴] Meshwary
[۵] Murshed

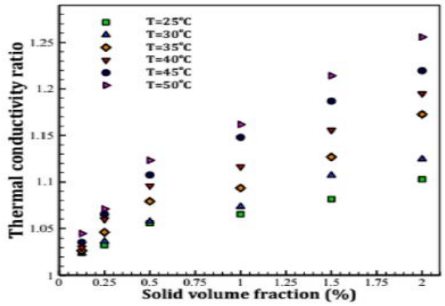
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.2.8]



شکل۲b: ضریب رسانش حرارتی بر اساس دما برای SiO2/G [11]

اکیلو[۱] و همکاران[۱۱] ضریب رسانش حرارتی SiO_2/EG و SiO_2/G (گلیسرول) را مورد بررسی قرار دادند. درصد حجمی فاز جامد بین ٪۰,۵ تا ٪۲ متغیر بود. بعلاوه ضریب رسانش حرارتی بین دماهای ۳۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. نتایج نشان داد که ضریب رسانش حرارتی SiO_2/EG نسبت به SiO_2/G بهبود بالاتری دارد. علاوه بر این ضریب رسانش حرارتی با افزایش دما نسبت به هر دو سیال پایه افزایش می‌یابد. نتایج برای هر دو نانوسیال در شکل ۲ نشان داده شده است. در مطالعه دیگر[12] نانوذرات مس در ان-تترادکان به عنوان سیال عامل پخش شده‌اند و ضریب رسانش حرارتی نانوسیال مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش درصدهای حجمی مختلف آزمایش شدند. نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش درصد حجمی نانوذره موجب افزایش ضریب رسانش حرارتی و افزایش دما موجب کاهش در ضریب رسانش حرارتی به دلیل افزایش مقاومت حرارتی لایه‌ای می‌شود.

وجود میدان مغناطیسی و نیروهای آن می‌تواند بر ضریب رسانش حرارتی انواع مختلف نانوسیال تاثیر بگذارد. ابراهیمی [13] و همکاران تاثیر میدان مغناطیسی را بر روی نانوسیال Cu/آب و Fe_3O_4/آب را بررسی کردند. وجود میدان مغناطیسی باعث بهبود در ضریب رسانش حرارتی نانوسیال می‌شود.

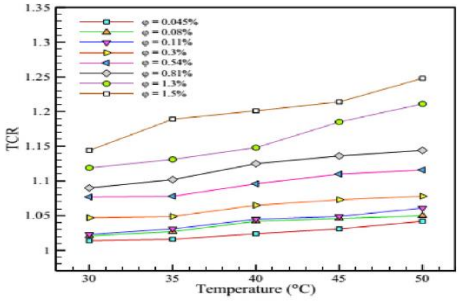


شکل۳: نسبت ضریب رسانش حرارتی بر اساس درصد حجمی فاز جامد برای [20] ZnO-Ag (50%:50%)/water

[۱] Akilu
[۲] Esfe
[۳] Selvam
[۴] Chai

بعلاوه استفاده از سیال دوتایی (مخلوطی از دو سیال پایه) به عنوان سیال پایه می‌تواند به عنوان نانوسیال استفاده شود. در یک مطالعه [14] ضریب رسانش حرارتی Al_2O_3/ آب-EG با درصد وزنی EG و آب (۲۰:٪۸۰ و ۴۰ : ٪۶۰ و ۶۰ : ٪۴۰) با تغییرات دما و درصد حجمی بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده با افزایش دما و درصد حجمی موجب بهبود ضریب رسانش حرارتی نانوسیال می‌شود.

بعلاوه نانوذرات فلزی و اکسید فلز بر پایه کربن پخش شده در سیال پایه موجب افزایش ضریب رسانش حرارتی می‌شود. اسف[۲] و همکاران [15] ضریب رسانش حرارتی نانوسیال، نانولوله با دیواره کربنی در EG به عنوان سیال عامل مورد بررسی قرار دادند. درصدهای حجمی فاز جامد ٪۰,۰۲، ٪۰,۰۵، ٪۰,۰۷۵، ٪۰,۱، ٪۰,۲۵، ٪۰,۵ و ٪۰,۷۵ بود. هم‌چنین دما بین ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد تغییر کرد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین ضریب رسانش حرارتی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و درصد حجمی ٪۰,۷۵ بدست می‌آید که تقریبا ٪۴۵ بهبود یافته است. در مطالعه‌ای دیگر سلوم[۳] [16]و همکاران نمودارهای ضریب رسانش حرارتی نانوصفحه/EG و نانوصفحه/آب را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش در درصد حجمی موجب افزایش ضریب رسانش حرارتی می‌شود. ماکزیمم بهبود ضریب انتقال حرارت رسانش برای درصد حجمی ٪۰,۵ می‌باشد که مقدار این بهبود٪۲۱ برای EG و ٪۱۶ برای آب می‌باشد. چای[۴] و همکاران از MWCNTs در روغن هیدروژن شده به عنوان سیال پایه استفاده کردند. آنها مشاهده کردند که اضافه کردن MWCNTs موجب بهبود ضریب رسانش حرارتی سیال پایه می‌شود.



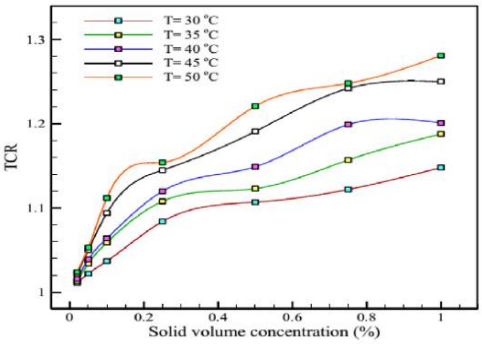
شکل۴: نسبت ضریب رسانش حرارتی بر اساس درصد حجمی ZnO-DWCNT (90:10)/EG [23]

خواص سیال پایه یکی از فاکتورهای موثر در بهبود ضریب رسانش حرارتی نانوسیال می‌باشد. چن[۵] و همکاران[۱۷] ضریب رسانش حرارتی نانوسیال SiC/آب شور اندازه‌گیری کردند. نتایج حاصل نشان داد که سیال با درجه‌ی شوری کمتر با اضافه کردن نانوذرات بهبود ضریب رسانش بهتری دارد. در پژوهش دیگری ضریب رسانش

[۵] Chen

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.2.8]

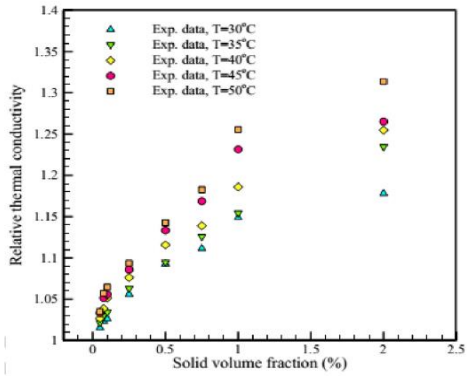
حرارتی نانو سیال EG/SiC توسط لی[1] و همکاران [۱۸] مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که افزایش دما و درصد حجمی نانوذره موجب بهبود ضریب رسانش حرارتی نانوسیال می-شود. بهبود ضریب رسانش حرارتی بالاتر از ٪۱۶,۲۱ با اضافه کردن نانوذرات در سیال پایه می‌شود.



شکل۵: نسبت ضریب رسانش حرارتی بر اساس درصد حجمی برای ZnO- [26] MWCNT/EG-water

۳. نانوسیال هیبریدشده

نانوسیالات هیبرید شده نشان دادند که خصوصیات رسانش به نانوسیالات مرسوم بهبود بیشتری دارند. اضافه کردن نانوذرات هیبریدی موجب بهبود قابل توجه‌ای در ضریب انتقال حرارت رسانش در سیال پایه می‌شود. امیری و همکاران [۱۹] ضریب رسانش حرارتی SiO_2/آب و EG/SiO_2 را اندازه‌گیری کردند و با ضریب رسانش SiO_2-Cu/آب و EG/SiO_2-Cu مقایسه کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که اضافه کردن مقدار کمی نانوذرات SiO_2 موجب بهبود کمتر از ٪۲ در ضریب رسانش حرارتی می‌شود. اگرچه اضافه‌کردن Cu به SiO_2 به ترتیب موجب بهبود ضریب رسانش حرارتی بالاتر از ٪۱۱ و ٪۱۱,۵ برای آب و EG می‌شود.



شکل۶: ضریب رسانش حرارتی نسبی بر اساس درصد حجمی برای SWCNT- [27] MgO/EG

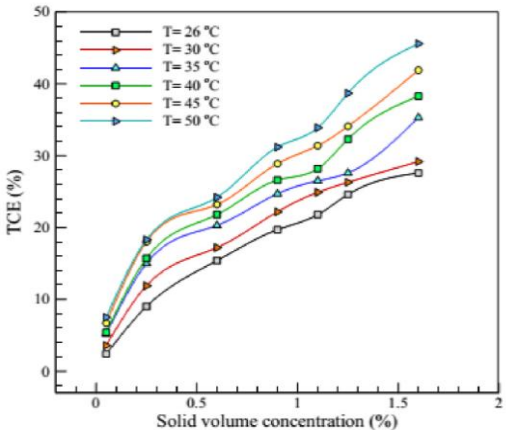
اصفهانی و همکاران [۲۰]، ضریب رسانش حرارتی ZnO-Ag/ آب برای دماهای متفاوت بین ۲۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد و درصدهای حجمی مختلف بین ٪۰,۱۲۵ تا ٪۲ را اندازه‌گیری کردند. بالاترین ضریب رسانش حرارتی برای دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و درصد حجمی ٪۲ بدست آمد. نسبت ضریب رسانش حرارتی برای شرایط مختلف بدست آمد و در شکل ۳ نشان داده شده است.

از سیال پایه متفاوت برای نانوذرات هیبرید شده می‌توان استفاده کرد. آبرومند و همکاران[۲۱] ضریب رسانش حرارتی نانوسیال WO_3-Ag/ روغن تبدیل کننده را مورد مطالعه قرار دادند. سه درصد وزنی ٪۱، ٪۲ و ٪۴ مورد بررسی قرار گرفت. دما بین ۴۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تغییر کرد. نتایج نشان داد که ضریب رسانش حرارتی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به سیال پایه به میزان ٪۴۱ افزایش یافت. در مطالعه دیگر نانوذرات Cu-Zn در سیال پایه-های متفاوت از جمله روغن گیاهی، روغن SAE و روغن پارافین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب رسانش حرارتی نانوسیالات Cu-Zn- روغن گیاهی در مقایسه با نانو سیالات بررسی شده و سیال پایه بالاتر است.

اسف و همکاران [۲۲] ضریب رسانش حرارتی نانوسیال هیبریدشده DWCNT-SiO2/EG را مورد بررسی قرار دادند. درصدهای حجمی فاز جامد ۰,۰۳، ۰,۰۶، ۰,۱۲، ۰,۲۵، ۰,۳۸، ۰,۶۵، ۱,۱۵ و ٪۱,۷۱ بودند. هم‌چنین دما بین ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد با گام-های ۵ درجه سانتی‌گراد تغییر کرد. ضریب رسانش حرارتی با افزایش دما و درصد حجمی نانوذره بهبود یافت. آنها به این دست یافتند که ضریب رسانش حرارتی نانوسیال به میزان ٪۳۸ نسبت به سیال پایه EG در دماهای مختلف بهبود یافت. انواع دیگری از نانوذرات به همراه DWCNTبرای بالاتر بردن ضریب رسانش حرارتی نانوسیال هیبرید شده نسبت به سیال پایه می‌توان استفاده کرد. در مطالعه دیگر،[23] ضریب رسانش حرارتی نانوسیال EG/ZnO-DWCNT تحت شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت. درصدهای حجمی بین ٪۰,۰۴۵ و ٪۱,۹ بود. بعلاوه دما بین ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. نتایج نشان داد که بالاترین ضریب رسانش حرارتی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و درصد حجمی ۱,۹۵ بدست آمد. شکل ۴ نتایج بدست آمده در شرایط مختلف را نشان می‌دهد. در مطالعه دیگر [24] ضریب رسانش حرارتی EG/ZnO-DWCNT آب بین ۲۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد بررسی کردند. ماکزیمم درصد حجمی مورد مطالعه در این پژوهش ٪۱ می‌باشد. نشان داده شد که با اضافه‌کردن نانوسیال امکان بهبود ضریب رسانش سیال وجود دارد. نتایج نشان دادند که بیشترین بهبود ضریب رسانش حرارتی ٪۳۲ در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و درصد حجمی ٪۱ می‌باشد.

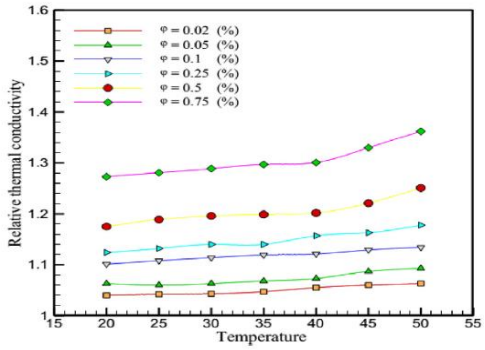
[1] Li

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.2.8]



شکل۷: بهبود ضریب انتقال حرارت رسانش بر اساس درصد شوری برای نانوسیال هیبرید شده SWCNT-ZNO/EG-water [28]

بعلاوه ضریب رسانش حرارتی نانوسیالات هیبرید شده شامل DWCNTs و انواع مختلف نانوسیالات شامل نانولوله‌های کربنی مورد بررسی قرار گرفتند. در یک مطالعه [25] MWCNTMgO(20:80)/water-EG (50:50) مورد بررسی قرار گرفت. رنج دمایی مورد بررسی در این مطالعه بین ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد است. درصدهای حجمی ٪۰٫۰۱۵ و ٪۰٫۹۵ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بالاترین ضریب رسانش حرارتی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در درصد حجمی ٪۰٫۹۵ بدست می‌آید و نسبت به سیال پایه به میزان ٪۲۲ بهبود یافته است. در مطالعه دیگر [26] ZnO-MWCNT/EG-water (50:50) مورد بررسی قرار گرفت. دما و درصد حجمی نانوسیال بین ٪۰٫۰۲ تا ٪۱ و ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. نتایج این پژوهش در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل۸: ضریب رسانش حرارتی نسبی بر اساس دما برای نانوسیال CuO-SWCNT/EG-water [30]

ضریب رسانش حرارتی نانوسیال هیبرید شده SWCNTs در پژوهش‌های بسیاری انجام شده است. برای مثال ضریب رسانش حرارتی نانوسیال SWCNT-MgO/EG در دماها و درصدهای حجمی مختلف اندازه‌گیری شد.[27] درصد حجمی نانوسیال بین٪۰٫۰۵ تا ٪۰٫۲ و دما بین ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری مشابه پژوهش‌های قبلی می‌باشد. ضریب رسانش حرارتی با افزایش دما و درصد حجمی بهبود می‌یابد. نتایج این آزمایش در شکل ۶ نشان داده شده است.

در مطالعه‌ای دیگر [28] ضریب رسانش حرارتی SWCNT-ZnO (60%–40%)/EG-water (30%–70%) در دماها و درصدهای حجمی متفاوت اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد اضافه کردن نانوسیال باعث بهبود ضریب رسانش حرارتی به میزان ٪۴۰ نسبت به سیال پایه می‌باشد. نتایج در شکل۷ نشان داده شده است. در مطالعه‌ای دیگر[29] ضریب رسانش حرارتی SWCNT-Al2O3/EG در دماها و درصدهای حجمی مختلف اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصله نشان داد که ضریب رسانش حرارتی به میزان ٪۴۱٫۲ برای دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و ٪۲٫۵ درصد حجمی فاز جامد نانوذره نسبت به سیال خالص بهبود یافت. رستمیان و همکاران[30] پژوهشی برای بررسی تاثیر پارامترهای جریان بر روی ضریب رسانش حرارتی CuO-SWCNT/EG-water آماده کردند. نتایج حاصل در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

۴- بحث و نتیجه گیری

دراین مقاله، بررسی‌های آزمایشگاهی و تئوری انجام شده درباره ضریب رسانش حرارتی نانوسیالات مرسوم و نانوسیالات هیبرید شده مرور شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیقات بررسی شده مشخص شد که پارامترهای مختلفی بر روی ضریب رسانش نانوسیال تاثیر دارد. دما، درصد حجمی فاز جامد، اندازه نانوذره و شکل هندسی آن بیشترین تاثیر را بر روی ضریب رسانش نانوسیال دارند. افزایش دما موجب افزایش ضریب رسانش حرارتی به موجب بالارفتن حرکت براونی می‌شود. بعلاوه افزایش درصد حجمی فاز جامد موجب بهبود ضریب انتقال حرارت رسانش می‌شود. برخی نظریه‌های جدید از جمله به کارگیری نانوسیالات هیبرید شده، نظریه‌های موثری در جهت بهبود خواص ترموفیزیکی نانوسیالات هستند.

پژوهش‌هایی که در آینده مورد بررسی قرار می‌گیرند می‌توانند تاثیر شکل نانوذره بر روی ضریب رسانش انواع نانوسیال تمرکز کنند. هم-چنین مطالعات بعدی می‌بایست دیدگاه روشن‌تری نسبت به نانوسیالات هیبرید شده و فاکتورهای موثر بر ضریب رسانش آنها ارائه دهند.

۵. منابع

[1] W. Guo, G. Li, Y. Zheng, C. Dong, Measurement of the thermal conductivity of SiO2 nanofluids with an optimized transient hot wire method, Thermochim. Acta (2018)

[2] N. Kumar, S.S. Sonawane, Experimental study of thermal conductivity and convective heat transfer enhancement using CuO and TiO2 nanoparticles, Int. Commun. Heat Mass Transfer 76 (2016) 98–107

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.2.8]

[3] B.Wei, C. Zou, X. Li, Experimental investigation on stability and thermal conductivity of diathermic oil based TiO2 nanofluids, Int. J. Heat Mass Transf. 104 (2017) 537–543

[4] M. Vakili, M. Karami, S. Delfani, S. Khosrojerdi, K. Kalhor, Experimental investigation and modeling of thermal conductivity of CuO–water/EG nanofluid by FFBPANN and multiple regressions, J. Therm. Anal. Calorim. 129 (2017) 629–637,

[5] M. Chandrasekar, S. Suresh, A. Chandra Bose, Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al2O3/water nanofluid, Exp. Thermal Fluid Sci. 34 (2010)

[6] S. Lee, S.U.-S. Choi, S. Li, J.A. Eastman, Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, J. Heat Transf. 121 (1999)

[7] S. Aberoumand, A. Jafarimoghaddam, Experimental study on synthesis, stability, thermal conductivity and viscosity of Cu–engine oil nanofluid, J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 71 (2017) 315–322,

[8] M. Sharifpur, N. Tshimanga, J.P. Meyer, O. Manca, Experimental investigation and model development for thermal conductivity of α-Al2O3-glycerol nanofluids, Int. Commun. Heat Mass Transfer 85 (2017) 12–2

[9] O.A. Alawi, N.A.C. Sidik, H.W. Xian, T.H. Kean, S.N. Kazi, Thermal conductivity and viscosity models of metallic oxides nanofluids, Int. J. Heat Mass Transf. 116 (2018) 1314–1325,

[10] P.B. Maheshwary, C.C. Handa, K.R. Nemade, A comprehensive study of effect of concentration, particle size and particle shape on thermal conductivity of titania/ water based nanofluid, Appl. Therm. Eng. 119 (2017) 79–88,

[11] S. Akilu, A.T. Baheta, A.A. Minea, K.V. Sharma, Rheology and thermal conductivity of non-porous silica (SiO2) in viscous glycerol and ethylene glycol based nanofluids, Int. Commun. Heat Mass Transfer 88 (2017) 245–253,

[12] H. Jiang, Q. Xu, C. Huang, L. Shi, Effect of temperature on the effective thermal conductivity of n-tetradecane-based nanofluids containing copper nanoparticles, Particuology 22 (2015) 95–99,

[13] S. Ebrahimi, S.F. Saghravani, Influence of magnetic field on the thermal conductivity of the water based mixed Fe3O4/CuO nanofluid, J. Magn. Magn. Mater. 441 (2017) 366–373,

[14] L. Syam Sundar, E. Venkata Ramana, M.K. Singh, A.C.M. Sousa, Thermal conductivity and viscosity of stabilized ethylene glycol and water mixture Al2O3 nanofluids for heat transfer applications: an experimental study, Int. Commun. Heat Mass Transfer 56 (2014) 86–95,

[15] M. Hemmat Esfe, M. Firouzi,M. Afrand, Experimental and theoretical investigation of thermal conductivity of ethylene glycol containing functionalized single walled carbon nanotubes, Physica E Low Dimens. Syst. Nanostruct. 95 (2018) 71–77,

[16] C. Selvam, D.M. Lal, S. Harish, Thermal conductivity enhancement of ethylene glycol and water with graphene nanoplatelets, Thermochim. Acta 642 (2016) 32–38,

[17] W. Chen, C. Zou, X. Li, L. Li, Experimental investigation of SiC nanofluids for solar distillation system: stability, optical properties and thermal conductivity with saline water-based fluid, Int. J. Heat Mass Transf. 107 (2017) 264–270

[18] X. Li, C. Zou, X. Lei,W. Li, Stability and enhanced thermal conductivity of ethylene glycol-based SiC nanofluids, Int. J. Heat Mass Transf. 89 (2015) 613–619

[19] M. Amiri, S. Movahedirad, F.Manteghi, Thermal conductivity ofwater and ethylene glycol nanofluids containing new modified surface SiO2-Cu nanoparticles: experimental and modeling, Appl. Therm. Eng. 108 (2016) 48–53,

[20] N.N. Esfahani, D. Toghraie, M. Afrand, A new correlation for predicting the thermal conductivity of ZnO–Ag (50%–50%)/water hybrid nanofluid: an experimental study, Powder Technol. 323 (2018) 367–373,

[21] S. Aberoumand, A. Jafarimoghaddam, Tungsten (III) oxide (WO3) – Silver/ transformer oil hybrid nanofluid: preparation, stability, thermal conductivity and dielectric strength. Alexandria, Engl. J. (2016)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.2.8]

[22] M. Hemmat Esfe, A.A. Abbasian Arani, R. Shafiei Badi, M. Rejvani, ANN modeling, cost performance and sensitivity analyzing of thermal conductivity of DWCNT– SiO2/EG hybrid nanofluid for higher heat transfer, J. Therm. Anal. Calorim. (2017) 1–13

[23] M.H. Esfe, S. Esfande, S.H. Rostamian, Experimental evaluation, new correlation proposing and ANN modeling of thermal conductivity of ZnO-DWCNT/EG hybrid nanofluid for internal combustion engines applications, Appl. Therm. Eng. (2017)

[24] M. Hemmat Esfe, W.-M. Yan, M. Akbari, A. Karimipour, M. Hassani, Experimental study on thermal conductivity of DWCNT ZnO/water-EG nanofluids, Int. Commun. Heat Mass Transfer 68 (2015) 248–251,

[25] M. Hemmat Esfe,M. Kiannejad Amiri, A. Alirezaie, Thermal conductivity of a hybrid nanofluid, J. Therm. Anal. Calorim. (2018)

[26] M. Hemmat Esfe, S. Esfandeh, S. Saedodin, H. Rostamian, Experimental evaluation, sensitivity analyzation and ANN modeling of thermal conductivity of ZnOMWCNT/ EG-water hybrid nanofluid for engineering applications, Appl. Therm. Eng. 125 (2017) 673–685, .

[27] M. Hemmat Esfe, A. Alirezaie, M. Rejvani, An applicable study on the thermal conductivity of SWCNT-MgO hybrid nanofluid and price-performance analysis for energy management, Appl. Therm. Eng. 111 (2017) 1202–1210,

[28] M. Hemmat Esfe, A.A. Abbasian Arani, M. Firouzi, Empirical study and model development of thermal conductivity improvement and assessment of cost and sensitivity of EG-water based SWCNT-ZnO (30%:70%) hybrid nanofluid, J. Mol. Liq. 244 (2017) 252–261,

[29] M.H. Esfe, M. Rejvani, R. Karimpour, A.A. Abbasian Arani, Estimation of thermal conductivity of ethylene glycol-based nanofluid with hybrid suspensions of SWCNT–Al2O3 nanoparticles by correlation and ANN methods using experimental data, J. Therm. Anal. Calorim. 128 (2017) 1359–1371,

[30] S.H. Rostamian, M. Biglari, S. Saedodin, M. Hemmat Esfe, An inspection of thermal conductivity of CuO-SWCNTs hybrid nanofluid versus temperature and concentration using experimental data, ANN modeling and new correlation, J. Mol. Liq. 231 (2017) 364–369

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-09-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.2.8]