

بررسی تأثیر افزودن نانوذره‌های نقره بر ضریب انتقال گرما و گرانشی سیال پلی‌الفالفین

حمید رضا قربانی^{۱*} و سید کمیل حسینی اسفندانی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران
۲- کارشناس ارشد گروه مهندسی شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۶، بازنگری: مرداد ۱۳۹۶، پذیرش: شهریور ۱۳۹۶

چکیده: در این پژوهش، تأثیر افزودن نانوذره‌های نقره در ویژگی فیزیکی سیال پایه پلی‌الفالفین شامل گرانشی و رسانایی گرمایی مورد بررسی قرار گرفت. نانوذره‌های نقره در اندازه‌ها و غلظت‌های متفاوت در سیال پایه پلی‌الفالفین پخش شده و ضریب رسانایی گرمایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین، در شرایط دمایی متفاوت، ضریب رسانایی گرمایی مخلوط سیال و نانوذره‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین، تأثیر نانوذره‌ها بر گرانشی سیال در غلظت‌های متفاوت نیز بررسی شد. ضریب رسانایی گرمایی و گرانشی نانوسیال‌ها با افزایش غلظت حجمی نانوذره‌های نقره افزایش یافت. همچنین، با افزایش دما ضریب رسانایی گرمایی افزایش و گرانشی نانوسیال پلی‌الفالفین-نقره کاهش یافت. افزون بر آن، با افزایش اندازه نانوذره‌ها ضریب رسانایی گرمایی کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: نانوذره‌های نقره، ضریب رسانایی گرمایی، گرانشی، ویژگی فیزیکی، سیال

مقدمه

افزودن ذره‌هایی با اندازه‌های میلی‌متری و میکرومتری به سیال‌ها از قبیل نبود پایداری، ته‌نشینی، ساییدگی و فرسایش مجاری، کلوخه‌شدگی و انسداد لوله‌ها، افت فشار و کاهش عمر قطعاتی مانند پمپ‌ها و یاتاقان‌ها و ... مانع از دستیابی به یک فراورده تجاری است. پیشرفت‌های اخیر در دانش نانو فناوری از یک دهه پیش امکان ایجاد نوع بسیار جدیدی از سیال‌ها به نام نانوسیال‌ها را فراهم کرده است [۱ و ۲]. نانوسیال به‌عنوان یک کلویید مهندسی ترکیب دو فازی است که از افزودن مقدار بسیار کمی در حد چند درصد حجمی (کمتر از ۵ درصد حجمی) انواع متنوعی از نانوذره‌های فلزها، اکسید فلزها، بسپارها (پلی نانوسیال‌ها)، کاربرد شبه فلزها و غیرفلزها با اندازه کمتر از صد نانومتر به سیال‌های

بیشتر سیال‌های رایج در سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی همانند آب، اتیلن گلیکول، پروپیلن گلیکول، روغن موتور، استون، روغن‌های معدنی و ... به دلیل داشتن محدودیت در ظرفیت و ویژگی‌های گرمایی موانع زیادی را به‌منظور کاربرد آن‌ها در انتقال گرما ایجاد کرده‌اند. با وجود پژوهش‌ها و تلاش‌های به‌عمل آمده در بهبود این سامانه‌ها نیاز ضروری و آشکار به‌منظور اصلاح رفتار گرمایی این سیال‌ها احساس می‌شود. با توجه به این که جامدهای فلزی و اکسیدهای آن‌ها رسانش بالاتری نسبت به سیال‌ها دارند، بنابراین، می‌توان انتظار داشت که سیال‌های دارای ذره‌های جامد دارای رسانایی گرمایی بالاتری باشند. اما مشکل‌های ناشی از

- هسته، نانوالیازهای مکانیکی مس و آلومینیم یا آلومینیم و نقره و یا ترکیبی از نانوذره‌های بالا به سیال‌ها، افزون بر بهبود ویژگی گرمایی سیال‌ها منجر به بهبود ویژگی موئینگی، ویژگی الکتریکی، ویژگی مغناطیسی در کاربردهای پیشرفته انتقال گرما شده‌اند [۷]. دلیل اصلی افزایش ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال، افزایش حرکت اتفاقی نانوذره‌ها است. به دلیل این که جزء حجمی نانوذره‌ها آن قدر کوچک است که در هیچ نوع میانگینی چه میانگین وزنی یا حجمی چنین تأثیرهایی مشاهده نمی‌شود. با کوچک شدن ذره، سطح ویژه ذره افزایش یافته و انتقال گرما بین سیال و ذره در فصل مشترک آن دو انجام می‌شود. بنابراین، انتظار است که کاهش اندازه ذره به دلیل داشتن سطح مشترک بالا، موجب افزایش شدید ضریب رسانایی گرمایی شود [۸]. از این رو، اثر اندازه ذره‌ها بر رسانایی گرمایی نانوذره‌های کروی مورد بررسی قرار گرفته است. لی و همکارانش [۹]، وانگ و همکارانش [۱۰] و ژی و همکارانش [۱۱] همگی مقدار افزایش رسانایی گرمایی نانوسیال‌ها را با استفاده از پراکنده کردن نانوذره‌های Al_2O_3 با اندازه‌های ۲۸، ۳۸ و ۶۰ نانومتر در آب اندازه‌گیری کردند. نسبت افزایش ضریب رسانایی گرمایی، با افزایش غلظت حجمی نانوذره‌ها افزایش یافت. ذره‌های بزرگ ۶۰ نانومتری بیشترین افزایش را نشان دادند. ذره‌های ۳۸ نانومتری جذاب‌ترین بودند که کمترین افزایش را نشان دادند. در حالی که ذره‌های ۲۸ نانومتری کمترین ضریب رسانایی گرمایی را نشان ندادند. به همین دلیل، هیچ نتیجه روشنی از این نتایج به دست نیامد. در این زمان ذره‌هایی با اندازه متوسط ۲۸ نانومتر بهترین افزایش را نشان دادند. در حالی که دو اندازه دیگر (۱۵ و ۶۰ نانومتر) نتایج به‌طور تقریب یکسان نشان دادند. غلظت حجمی نانوسیال‌ها روی افزایش رسانایی گرمایی، عاملی است که به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. بیشتر گروه‌های پژوهشی انواع ویژه‌ای از نانوذره‌ها با غلظت‌های متفاوت تا ۵٪ را برای ساختن نانوسیال و اندازه‌گیری رسانایی گرمایی استفاده کردند. با وجود متفاوت بودن اندازه ذره‌ها یا مواد سیال روند کلی روشن است. ضریب رسانایی گرمایی با افزایش غلظت حجمی یا کسر وزنی ذره‌ها افزایش می‌یابد. بررسی اثر جنس

معمولی انتقال گرما به دست می‌آید که دارای ضریب رسانایی گرمایی بسیار بالایی (به‌طور معمول افزایش ۱۵ تا ۴۰ درصدی و بیش از آن در موارد خاص) هستند. این ویژگی با نظریه‌های ماکروسکوپیک نیز پیش‌بینی شده و مبنایی برای نوآوری در انتقال گرما پیشرفته است [۳ و ۴]. شیوه تهیه و فراوری نانوسیال یا به عبارت دیگر چگونگی معلق‌سازی ذره‌های جامد در سیال پایه و افزودن نانوذره به سیال پایه نیز یکی از زمینه‌های پژوهشی مهم در زمینه نانوسیال‌ها است. انتظار می‌رود که در آینده نانوسیال‌ها به نوع جدیدی از سیال‌های مورد استفاده در انتقال گرما پیشرفته برای کاربردهای مهندسی تبدیل شوند. استفاده از آن‌ها در صنعت حمل‌ونقل با کوچک کردن رادیاتور ماشین‌ها با کاهش مقدار انرژی مصرفی همراه است. طراحی مبدل‌های گرمایی با اندازه و وزن کمتر در صنایع هوا و فضا با نانوسیال‌ها ممکن خواهد شد. امروزه پژوهش در زمینه نانوسیال‌ها ابعاد گسترده‌ای پیدا کرده است. از یک سو، پژوهشگران در رابطه با افزایش رسانایی گرمایی سیال‌ها و افزایش انتقال گرما، پیگیر ساخت و تهیه نانوسیال‌هایی با انواع نانوذره‌ها و نانولوله‌ها با توزیع اندازه‌های متفاوت هستند. در حالی که، برخی از پژوهشگران به بررسی مسئله پایداری و عدم ته‌نشینی نانوذره‌ها در مدت فرایند انتقال گرما و عدم کلوخه شدن یا مهاجرت آن‌ها پرداخته‌اند [۵]. همچنین، ایجاد تغییر در ویژگی شارش‌شناختی سیال پایه با افزودن نانوذره‌ها و تهیه نانوسیال‌های هیبریدی پیشرفته، شامل پلی‌نانوسیال‌ها و نانوسیال‌های کاهش‌دهنده اصطکاک، از کارهای پژوهشی سایر پژوهشگران است [۶]. امروزه با افزودن تنها چند درصد حجمی از انواع متفاوت نانوذره‌های فلزی (مس، طلا، آهن و ...)، غیر فلزی، اکسید فلزها (آلومینا، مس اکسید، تیتانیم دی‌اکسید)، اکسید فلزهای روکش‌شده، سرامیک‌های نیتریدی (آلومینیم نیترید و سیلیکون نیترید)، سرامیک‌های کاربیدی (سیلیکون کاربید و تیتانیم کاربید)، نانوفیبرها، بسپارها (پلی‌نانوسیال‌ها) و مواد چندسازه مانند چندسازه‌هایی که هسته آن‌ها نانوذره‌ها و پوسته آن‌ها بسپار است، پیشرفت چشمگیری در زمینه نانوسیال انجام شده است. نانومواد با ساختارهای جدید متخلخل و پوسته

از نانوذره‌ها به‌طور آزمایشگاهی اندازه‌گیری و چهار مدل نظری جدید برای پیش‌بینی ضریب رسانایی گرمایی این نانوسیال توسط همت و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت [۲۱]. در پژوهش دیگری، کاربردها و روش‌های اندازه‌گیری ضریب رسانایی گرمایی و سازوکارهای آن‌ها بررسی شد [۲۲]. در این پژوهش، تأثیر نانوذره‌های نقره در سیال پایه پلی‌الفالفین بر گرانشی و رسانایی گرمایی مورد بررسی قرار گرفت. نانوذره‌های نقره در اندازه‌ها و غلظت‌های متفاوت در سیال پایه پلی‌الفالفین پخش شده و ضریب رسانایی گرمایی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، در شرایط دمایی متفاوت، ضریب رسانایی گرمایی اندازه‌گیری و تأثیر نانوذره‌ها روی گرانشی سیال در غلظت‌های متفاوت بررسی شد.

بخش تجربی

مواد، دستگاه‌ها و روش‌ها

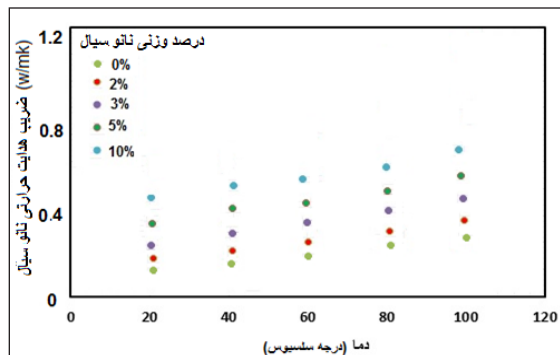
در این پژوهش، نانوذره‌های نقره با چگالی 10.5 g/cm^3 و خلوص ۹۹.۹۹٪ در اندازه‌های ۲۰ تا ۳۰، ۵۰ تا ۶۰ و ۱۰۰ تا ۱۱۰ نانومتر از شرکت NANO SILVERAL و پلی‌الفالفین (POA) از شرکت مرک خریداری شدند. پلی‌الفالفین بسیاری است که با استفاده از بسپارش یک الفالفین که یک آلکن است و در آن پیوند دوگانه کربن-کربن با یک اتم α -carbon شروع شده، تشکیل شده است. نانوسیال پلی‌الفالفین-نقره در غلظت‌های ۲، ۳، ۵ و ۱۰ درصد وزنی با اندازه‌های داده‌شده با دستگاه سونیک تهیه شدند. یکی از روش‌های مهم و پرکاربرد در مخلوط‌سازی مواد متفاوت، استفاده از امواج فراصوت برای مخلوط‌سازی مواد با یکدیگر است. امکان استفاده برای ترکیب یکنواخت انواع مایع‌ها در یکدیگر و نیز ترکیب انواع نانومواد در بسترهای سیال از کاربردهای مهم این نوع هم‌زدن بشمار می‌آید. ضرایب رسانایی گرمایی برای نمونه‌های تهیه شده با استفاده از دستگاه TPS 2500 ساخت شرکت Hot Disk اندازه‌گیری شدند. عملکرد این دستگاه بر اساس روش TPS بوده که شامل استفاده از حسگر صفحه‌ای و مدل ریاضی برای توصیف ضریب رسانایی گرمایی است. این دو عامل در ترکیب با تجهیزهای الکترونیکی، دستگاه

ذره‌ها برافزایش ضریب رسانایی گرمایی سخت است زیرا برای پی بردن به آن گروه‌هایی از پژوهشگران از اندازه‌های متفاوت نانوذره‌ها استفاده کرده و آزمایش‌ها را تحت شرایط متفاوت انجام دادند [۱۲ و ۱۳]. به‌طور کلی، رسانایی گرمایی نانوسیال‌ها به دما نسبت به سیال پایه حساس‌تر است. داس و همکارانش با پراکنده کردن نانوذره‌های 38 nm Al_2O_3 تهیه شده در آب را برای اندازه‌گیری ضریب رسانایی گرمایی در سه دمای متفاوت 21°C ، 36°C و 15°C به عنوان نانوسیال استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش دما، ضریب رسانایی گرمایی افزایش یافته است. این روند توسط سایر گروه‌های پژوهشی [۱۴] به جزء ماسودا و همکارانش [۱۵] تأیید شد. ماسودا و همکارانش به این نتیجه رسیدند که ضریب رسانایی گرمایی با افزایش دما کاهش یافته است. همچنین، این روند برای برنامه‌های مهندسی که در آن بیشتر سیال‌ها در دمای بالا کار می‌کنند، اهمیت دارد. در نهایت، نانوسیال‌های بر پایه روغن PAO بهترین افزایش رسانایی گرمایی را نشان دادند. مارکوئز، یانگ و همکارانش، هر دو از نانوسیال‌های روغن PAO/ نانولوله‌های کربنی استفاده و به ترتیب افزایش رسانایی گرمایی ۱۸۳٪ و ۱۶۷٪ را مشاهده کردند [۱۶ و ۱۷]. در سال ۲۰۰۸ مروری بر ویژگی نانوسیال‌ها، روش تهیه، بررسی تأثیر اندازه نانوذره‌ها در انتقال گرما و رسانایی گرمایی نانوسیال‌ها توسط سینگ صورت گرفت. در این پژوهش، مدل‌های نظری به‌منظور محاسبه ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال‌ها مورد بررسی قرار گرفت [۱۸]. بررسی آزمایشگاهی ویژگی شارش‌شناختی نانوسیال‌های غیرنیوتنی توسط تاجیک و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام شد. آن‌ها پس از افزودن سه نانوذره Al_2O_3 ، CuO ، TiO_2 به سیال پایه روغن، به اندازه‌گیری گرانشی نانوسیال پرداخته و عامل‌های مدل توانی را محاسبه کردند [۱۹]. در کار دیگری، انتقال گرما در مبدل گرمایی دو لوله‌ای برای سیال پایه آب و نانوسیال آب- Al_2O_3 به‌صورت عددی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد ضریب کلی انتقال گرما کلی، عدد ناسلت و کشش سطحی نانوسیال نسبت به سیال پایه افزایش یافته است [۲۰]. ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال آب-نقره در درصدهای متفاوت

شکل ۱ مشخص است، افزایش دما سبب افزایش ضریب رسانایی گرمایی می‌شود. دلیل این امر افزایش حرکت نانوذره‌ها در سیال و به دنبال آن افزایش برخورد ذره‌ها با یکدیگر است. افزایش برخورد ذره‌ها با یکدیگر سبب افزایش انتقال گرما میان ذره‌های سیال شده و در نتیجه ضریب رسانایی سیال افزایش می‌یابد.

جدول ۱ ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال برحسب درصد وزنی نانوذره‌های نقره در دماهای متفاوت

درصد وزنی نانوسیال	ضریب رسانایی گرمایی در دماهای متفاوت (k: w/m.k)				
	۲۰ °C	۴۰ °C	۶۰ °C	۸۰ °C	۱۰۰ °C
۰	۰٫۱	۰٫۱۲	۰٫۱۷	۰٫۲۰	۰٫۲۴
۲	۰٫۱۷	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۳۰	۰٫۳۲
۳	۰٫۲۱	۰٫۳۰	۰٫۳۲	۰٫۳۸	۰٫۴۰
۵	۰٫۳۵	۰٫۴۰	۰٫۴۲	۰٫۴۶	۰٫۵۰
۱۰	۰٫۴۸	۰٫۵۰	۰٫۵۲	۰٫۵۵	۰٫۶۱



شکل ۱ تأثیر غلظت نانوذره‌های نقره بر ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال پلی‌الفالفین-نقره

تأثیر اندازه ذره‌ها بر مقدار ضریب رسانایی گرمایی

یکی دیگر از عامل‌های مهم، اندازه نانوذره‌های نقره است. برای بررسی تأثیر اندازه نانوذره‌های بر ضریب رسانایی گرمایی، از ۳ نوع نانوذره با اندازه‌های ۲۰ تا ۳۰، ۵۰ تا ۶۰ و ۱۰۰ تا ۱۱۰ نانومتر استفاده شد. برای تمام نمونه‌ها دما ۲۰ درجه سلسیوس ثابت در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، افزایش

را قادر می‌سازند تا ویژگی‌های انتقال گرما ماده را اندازه‌گیری کند. حسگر مورد اشاره، از یک فلز مارپیچی نازک که در میان دو لایه پلاستیک کپتون قرار داده شده بود در تماس با ماده مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، ضریب انتقال رسانایی گرمایی در پنج دمای ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس در غلظت‌های متفاوت اندازه‌گیری شدند. همچنین، گرانیوی نانوسیال پلی‌الفالفین-نقره در غلظت‌های ۲، ۳، ۵ و ۱۰ درصد وزنی به‌وسیله دستگاه گرانیوی سنج Brookfield DV II اندازه‌گیری شد. این دستگاه به‌صورت چرخشی عمل کرده به‌صورتی که قسمت دوار گرانیوی سنج در داخل سیال قرار گرفته و گرانیوی را در دماها و نرخ برش متفاوت ارائه می‌کند. این دستگاه توانایی اندازه‌گیری گرانیوی سیال‌های نیوتنی-غیرنیوتنی (۱ تا ۶۰۰ cp) را دارد. با قراردادن دستگاه در سرعت‌های متفاوت، نرخ‌های برش متفاوتی به سیال وارد و گرانیوی اندازه گرفته شد. ریخت‌شناسی نمونه‌ها با میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM) و عبوری (TEM) انجام شد.

نتیجه‌ها و بحث

تأثیر غلظت نانوذره‌ها بر ضریب رسانایی گرمایی

به منظور بررسی تأثیر غلظت نانوذره‌های نقره روی ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال‌هایی با غلظت‌های ۲، ۳، ۵ و ۱۰ درصد وزنی تهیه و ضریب رسانایی آن‌ها ثبت شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، افزودن نانوذره‌های نقره باعث افزایش ضریب رسانایی گرمایی سیال شده است. نتایج در جدول ۱ آورده شده است. دلیل این امر بالا بودن ضریب رسانایی نانوذره‌ها نسبت به سیال پایه است. افزودن نانوذره‌ها به سیال پایه، بسته به مقدار افزوده شده، سبب افزایش ضریب رسانایی می‌شود.

تأثیر دما بر ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال

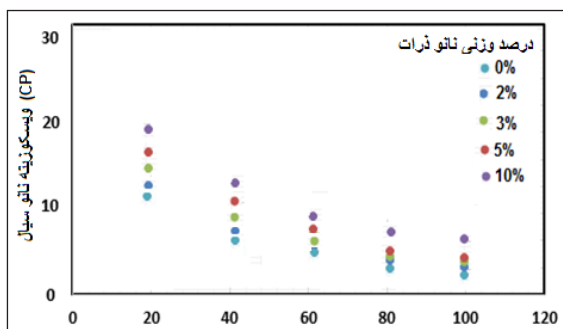
ضریب رسانایی گرمایی در پنج دمای ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس در غلظت‌های متفاوت بررسی شدند. همان‌طور که در

تأثیر غلظت نانوذره‌ها بر گرانبوی سیال

در شکل ۴ تأثیر افزودن غلظت نانوذره در گرانبوی سیال مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که از نمودار مشخص است، افزایش نانوذره‌ها بر سیال پایه سبب افزایش گرانبوی سیال می‌شود. نتایج در جدول ۳ آورده شده است. دلیل این افزایش وجود ذره‌های جامد در سیال است. این ذره‌های جامد با حضور خود سبب افزایش برخورد ذره‌ها با یکدیگر شده و در نتیجه گرانبوی سیال افزایش می‌یابد. با توجه به شکل، افزایش غلظت نانوذره‌ها سبب افزایش گرانبوی سیال شده است. حضور بیشتر نانوذره‌ها در سیال، برخورد ذره‌ها را با یکدیگر بیشتر کرده و در نتیجه گرانبوی سیال بیشتر می‌شود.

جدول ۳ گرانبوی نانوسیال بر حسب درصدوزنی نانوذره‌های نقره در دماهای متفاوت

درصد وزنی نانوذره	گرانبوی (بر حسب سانتی‌پوایز) در دماهای متفاوت				
	۲۰ °C	۴۰ °C	۶۰ °C	۸۰ °C	۱۰۰ °C
۰	۱۰٫۰	۵٫۵۰	۳٫۰	۲٫۰	۱٫۵
۲	۱۲٫۵۰	۶٫۵۰	۳٫۵	۲٫۵	۲٫۰
۳	۱۴٫۰	۸٫۰	۵٫۰	۳٫۰	۲٫۵
۵	۱۶٫۰	۱۰٫۰	۶٫۵	۳٫۵	۳٫۰
۱۰	۱۸٫۵۰	۱۲٫۵	۸٫۰	۶٫۰	۴٫۰



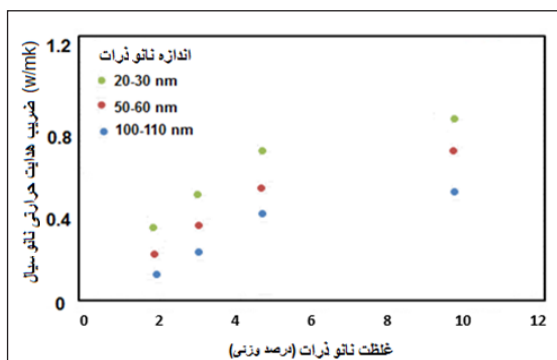
شکل ۴ تأثیر درصد وزنی نانوذره‌های نقره بر گرانبوی پلی‌الفالین-نقره

با توجه به قیمت نانوذره‌های نقره و افزودن آن به سیال پلی‌الفالین، هزینه نانوسیال تولیدی وابسته به درصد نانوذره‌ها افزایش قابل توجهی خواهد یافت. هرچند افزایش ضریب انتقال

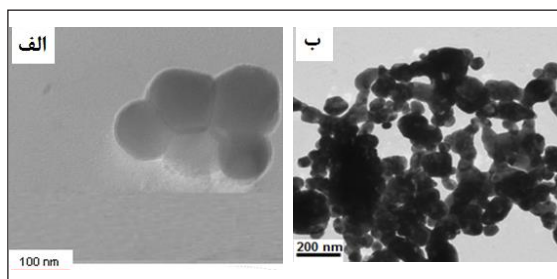
اندازه ذره‌ها سبب کاهش مقدار ضریب رسانایی گرمایی سیال شده که به علت کاهش سطح ویژه نانوذره‌هاست. داده‌های آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. همچنین، به علت به هم چسبیدن نانوذره‌ها در اندازه ۱۰۰ تا ۱۱۰ نانومتر، روند افزایشی ضریب رسانایی گرمایی کاهش یافته است. این موضوع با تصویرهای SEM و TEM این نمونه (شکل ۳) تأیید شد.

جدول ۲ ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال بر حسب اندازه نانوذره‌های نقره در درصدهای وزنی متفاوت

گستره اندازه نانوذره‌ها (nm)	ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال‌ها (k: w/m.k)			
	۲	۳	۵	۱۰
۲۰-۳۰	۰٫۳۶	۰٫۵۰	۰٫۷۱	۰٫۸۶
۵۰-۶۰	۰٫۲۱	۰٫۳۷	۰٫۵۵	۰٫۷۱
۱۰۰-۱۱۰	۰٫۱۲	۰٫۲۲	۰٫۴۰	۰٫۵۰



شکل ۲ تأثیر اندازه نانوذره‌ها بر ضریب رسانایی گرمایی نانوسیال پلی‌الفالین-نقره



شکل ۳ میکروسکوپ الکترونی عبوری (الف) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (ب) نانوسیال پلی‌الفالین-نقره در غلظت ۱۰٪ درصد وزنی برای نانوذره‌های ۱۰۰ تا ۱۱۰ نانومتر

بسیار زیاد در صنعت ایجاد کرده‌اند. با افزودن نانوذره‌ها به سیال پایه چهار ویژگی ترموفیزیکی موجود در سیال که شامل چگالی، گرانروی، ضریب رسانایی گرمایی و گرمای ویژه است، تغییر می‌کند. در این پژوهش، ضریب رسانایی گرمایی و گرانروی نانوسیال پلی‌الفالفین-نقره در غلظت‌ها و اندازه‌های متفاوت از نانوذره نقره و در شرایط دمایی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. ضریب رسانایی گرمایی و گرانروی نانوسیال‌ها با افزایش غلظت حجمی نانوذره‌های نقره افزایش یافت، ولی با افزایش اندازه نانوذره‌ها، ضریب رسانایی گرمایی کاهش یافت. همچنین، با افزایش دما ضریب رسانایی گرمایی افزایش و گرانروی نانوسیال پلی‌الفالفین-نقره کاهش یافت.

گرما و به دنبال آن افزایش ضریب انتقال گرما موجب کاهش اندازه مبدل‌های گرمایی و در نتیجه کاهش هزینه می‌شود. از طرفی با افزایش نانوذره‌ها، گرانروی سیال بهبود یافته در دماهای پایین افزایش چشمگیری یافته که باعث افزایش هزینه پمپ‌زنی سیال است. البته به منظور بررسی دقیق اقتصادی باید یک بهینه‌سازی بین افزایش هزینه ناشی از افزودن نانوذره‌ها به سیال پایه، افزایش گرانروی و کاهش اندازه مبدل گرمایی به دلیل بهبود عملکرد انتقال گرما ایجاد کرد.

نتیجه‌گیری

نانوسیال‌ها که از افزودن ذره‌هایی با ابعاد نانو در سیال‌های معمولی به دست می‌آیند نسل جدیدی از سیال‌ها را با پتانسیل

مراجع

- [1] Wang, X.Q.; Mujumdar, A.S.; Brazilian Journal of Chemical Engineering 25, 631-636, 2008.
- [2] Akoh, T.; Tsukasaki, Y.; Yatsuya, S.; Tasaki, A.; Journal of Crystal Growth 45, 595-501, 1978.
- [3] Li, Y.; Zhou, J.; Schneider, E.; Xi, S.; Powder Technology 196, 89-95, 2009.
- [4] Hwang, Y.; Lee, J.K.; Lee, C.H.; Jung, Y.M.; Cheong, S.I.; Lee, C.G.; Ku, B.C.; Jang, S.P.; Thermochem Acta 455, 70-76, 2007.
- [5] Wang, X.J.; Li, X.F.; Chinese Physics Letters 26(5), 056601(1-4), 2009.
- [6] Xie, H.; Lee, H.; Youn, W.; Choi, M.; Journal of Applied Physics 94, 4967-4974, 2003.
- [7] Babita, S.K.; Gupta, S.M.; Experimental Thermal and Fluid Science 79, 202-208, 2016.
- [8] Fedele, L.; Colla, F.; Bobbo, S.; International Journal of Refrigeration 35, 1359-1365, 2012.
- [9] Li, C.H.; Peterson, G.P.; Journal of Applied Physics 99(8), 084314, 2006.
- [10] Wang, X.Q.; Mujumdar, A.S.; International Journal of Thermal Sciences 46, 1-19, 2007.
- [11] Jiang, W.; Ding, G.; Peng, H.; Int. International Journal of Thermal Sciences 48, 1108-1115, 2009.
- [12] Jang, S.P.; Choi, S.U.S.; Journal of Heat Transfer 129, 617-623, 2007.
- [13] Bucak, S.; Journal of Chemical Engineering & Process Technology 2, 112-119, 2011.
- [14] Wang, X.Q.; Mujumdar, A.S.; International Journal of Thermal Sciences 46, 101-109, 2007.
- [15] Masuda, H.; Ebata, A.; Teramae, K.; Hishinuma, N.; Netsu Bussei 7, 227-233, 1993.
- [16] Marquis, F.D.S.; Chibante, L.P.F.; Journal of the Minerals, Metals, and Materials Society 57, 32-43, 2005.
- [17] Yang, Y.; Grulke, E.A.; Journal of Applied Physics 99, 114307-114316, 2006.
- [18] Singh, A.K.; Defence Science Journal 58,

600-607, 2008.

- [19] Tajik, M.; Dehghan, M.; Saedodin, S.; Valipour, M.S.; Zamzamian, A.; Journal of Heat and Mass Transfer Research 1, 17-23, 2014.
- [20] Mahrooghi, M.; Moghiman, M.; Ciência

eNatura 37, 199-206, 2015.

- [۲۱] اسفه، محمد همت؛ سعدالدین، سیف الله؛ دومین کنفرانس انتقال گرما [۲۱]
و جرم ایران، آبان ماه ۱۳۹۳
- [۲۲] دلیل، مرجان؛ زارع، نسیم؛ سایت ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، [۲۲]
مقالات و گزارش‌ها، ۱۳۸۸