



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

مینیم سازی آنتروپی مبدل حرارتی پوسته و لوله با کامپوزیت‌های اکسید آلومینا و اکسید زیرکونیوم با بررسی تحلیل اگزرژی سیستم

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک - گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو:

حامد کلبعلی

استاد راهنمای اول:

دکتر سید ایمان واصفی

استاد راهنمای دوم:

دکتر حیدر مداح

مهر ماه ۱۳۹۹



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

مینیم سازی آنتروپی مبدل حرارتی پوسته و لوله با کامپوزیت‌های اکسید آلومینا و اکسید زیرکونیوم با بررسی تحلیل انرژی سیستم

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک - گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

حامد کلبعلی

استاد راهنمای اول:

دکتر سید ایمان واصفی

استاد راهنمای دوم:

دکتر حیدرمداح

مهر ماه ۱۳۹۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب حامد کلبعلی به شماره دانشجویی ۹۷۱۳۵۲۸۰۰۵ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک – گرایش تبدیل انرژی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: حامد کلبعلی

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: دکتر سید ایمان واصفی - دکتر حیدر مداح

تاریخ:

امضا:

چکیده

نانوسیالات یک راه امیدوار کننده برای بهبود قابلیت انتقال حرارت سیالات در نظر گرفته می شوند. آب رایج ترین سیال مورد استفاده برای انتقال حرارت است. تحقیقات انجام شده در جهت بهبود انتقال حرارت با استفاده از نانوسیالات، نانوسیالات یونی و دستگاه های کمکی، به دلیل دارا بودن خواص قابل ملاحظه، از دهه گذشته مورد توجه جهانی قرار گرفته است؛ با این وجود تولید یک نانوسیال پایدار و ادغام آن برای کاربردهای عملی جهت افزایش اتلاف گرما از هر سیستم حرارتی سختی های زیادی به همراه دارد. گرچه بررسی های جداگانه ای راجع به نانوسیالات و دستگاه های انتقال حرارت به کمک نانوسیالات موجود است؛ تلاش شده است تا آخرین تحقیقات مربوط به نانوسیالات و نانوسیالات یونی که منجر به بحث مهمی در تقویت عملکرد حرارتی سیستم می شود، مورد بررسی قرار گیرند. در این پژوهش ما، آماده سازی، خواص ترموفیزیکی، ساز و کارها، عوامل مسئول در فراهم آمدن خواص ترموفیزیکی پایدار و ارتقا یافته و علاوه بر این ها مزایایی که در ادغام با برنامه های انتقال حرارت به دست می آید تحقیق و پژوهش نمودهایم. نتایج نشان داد که استفاده از نانو سیال به طور چشمگیری ضریب انتقال حرارت و ضریب اصطکاک بیشتری از ضرایب سیال پایه خالص به دست می دهد. هم چنین با افزایش نسبت گام و نسبت تصاعد طول گام سبب کاهش انتقال حرارت و کاهش ضریب اصطکاک می گردد. این پژوهش اثر وجود نانوذرات بر انتقال حرارت و افت فشار مورد بررسی قرار داد و نتایج نشان می دهد که افزودن نانوپودر به سیال پایه، سبب افزایش قابل ملاحظه انتقال حرارت در می شود.

واژه های کلیدی: نانو سیالات، ضریب انتقال حرارت، خواص ترموفیزیکی، ضریب اصطکاک، سیال پایه

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه.....	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- هدف	۲
۳-۱- نانو مواد و سیالات پایه	۳
۴-۱- آماده سازی نانوسیالات	۴
۱-۴-۱- آماده سازی	۴
۲-۴-۱- روش تک مرحله‌ای	۶
۳-۴-۱- روش دو مرحله‌ای	۷
فصل ۲: مروری بر منابع	۱۰
۱-۲- مقدمه	۱۱
۲-۲- مروری بر چالش‌های نانوسیالات	۱۲
۱-۲-۲- تشکیل کف	۱۳
۲-۲-۲- پایداری	۱۳
۳-۲-۲- مسائل ایمنی و زیست محیطی	۱۳
۴-۲-۲- هزینه زیاد	۱۴
۵-۲-۲- از بین رفتن خواص اصلی	۱۴
۳-۲- پایداری نانوسیالات	۱۴
۱-۳-۲- دلایل ناپایداری	۱۷
۲-۳-۲- روشهای افزایش پایداری	۱۸
۳-۳-۲- اضافه نمودن سورفاکتانت	۱۸
۴-۲- خصوصیات ترمودینامیک نانوسیالات	۱۹
۱-۴-۲- هدایت گرمایی	۲۰
۲-۴-۲- ویسکوزیته	۲۱
۳-۴-۲- دانسیته	۲۲
۴-۴-۲- ظرفیت گرمایی ویژه	۲۳
۵-۲- ویژگی‌های هیدروترمال	۲۳
۱-۵-۲- ضریب اصطکاک	۲۴
۲-۵-۲- افت فشار	۲۵
۳-۵-۲- توان پمپینگ	۲۵
فصل ۳: روش تحقیق	۲۹
۱-۳- مقدمه	۳۰
۲-۳- آماده‌سازی نانوسیال مورد استفاده	۳۰
۳-۳- دستگاه انجام آزمایشات	۳۱
۴-۳- تحلیل داده ها	۳۳

۳-۵-آنالیزور دستگاه ضریب هدایت حرارتی سنج و ویسکومتر.....	۳۶
۳-۵-۱- هدایت حرارتی.....	۳۶
۳-۵-۲- ویسکوزیته.....	۳۸
۳-۵-۲-۱- ویسکومترهای U شکل (ویسکومتر استوالد).....	۳۹
فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها.....	۴۱
۴-۱- مقدمه.....	۴۲
۴-۲- خواص ترموفیزیکی نانوسیال.....	۴۲
فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادها.....	۵۰
۵-۱- مقدمه.....	۵۱
۵-۲- جمع‌بندی.....	۵۱
۵-۳- پیشنهادات.....	۵۲
مراجع.....	۵۴

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) ویژگی های برجسته یک نانوسیال	۵
شکل (۲-۱) مزایا و معایب تک مرحله ای	۷
شکل (۳-۱) مزایا و معایب دو مرحله ای	۸
شکل (۱-۲) فاکتورهای مؤثر بر خصوصیات ترموفیزیکی نانوسیالات	۲۰
شکل (۱-۳) طرحواره سیستم آزمایشگاهی	۳۳
شکل (۲-۳) گرادیان دما در گازها	۳۷
شکل (۳-۳) تغییرات ضریب هدایت گرمایی با غلظت	۳۸
شکل (۴-۳) ویسکومتر	۴۰
شکل (۱-۴) بررسی و مقایسه عدد ناسلت نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از معادله DITTUS	۴۴
شکل (۲-۴) بررسی و مقایسه اصطکاک نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از معادله BLASIUS	۴۵
شکل (۳-۴) بررسی و مقایسه عدد ناسلت سیستم دارای نوار مارپیچی با معادله MANGLIK & BERGELS	۴۶
شکل (۴-۴) بررسی و مقایسه اصطکاک سیستم دارای نوار مارپیچی با معادله MANGLIK & BERGELS	۴۷
شکل (۵-۴) تغییرات اکسرژی در طول لوله در اعداد رینولدز و غلظت های متفاوت	۴۸

فهرست جداول

جدول (۱-۱) سایر روش‌های فرمول کردن نانو سیالات.....	۹
جدول (۱-۲) جدول (۲-۱) مشاهدات مشترک در مطالعات نانوسیالات.....	۲۶
جدول (۱-۳) نتایج آزمایشگاهی تغییرات ضریب هدایت گرمایی به تأثیر غلظت.....	۳۷
جدول (۱-۴) ضریب هدایت حرارتی نانو سیال.....	۴۳
جدول (۲-۴) ویسکوزیته نانو سیال.....	۴۳

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

نقش بسیار مهم اتلاف گرما از یک سیستم حرارتی در بهبود بازده انتقال حرارت، واقعیتی شناخته شده‌است. انتقال حرارت همرفتی بسیار موثرتر از روش هدایت حرارتی می باشد، این در حالی است که آهسته ترین و کم اثرترین روش انتقال حرارت از طریق تابش می باشد. انتقال حرارت همرفتی می تواند از طریق روش فعال نیز همانند روشهای غیرفعال تقویت شود. اگرچه روشهای پیشین معمولاً پیشرفت و بهبود بهتری را نمایان می کنند، اما نیازمند اعمال نیروهای درونی می باشند که این خود موجب پیچیدگی و افزایش هزینه های مربوط به سرمایه گذاری سیستم می گردد. در نقطه مقابل این موضوع، می توان با تغییر پارامترهای طراحی مربوط به میزان جریان یا با عوض کردن ویژگیهای ترموفیزیکی و گرمایی مربوط به سیال کاری بهبودی رضایتبخش در انتقال حرارت منفعل می تواند حاصل گردد. بنابراین این نتیجه بسیار مطلوبتر از روش غیرمنفعل می باشد. افزودن نانو ذرات و مواد یونی به سیال پایه رویکرد بهبود غیرمنفعل است که بسیار مورد توجه می باشد. به دلیل مقدار افزایش مشاهده شده در هدایت گرمایی و بازده های انتقال حرارت، به کار بردن مایعات پراکنده بر روی نانو ذرات به عنوان گزینه ای امیدوار کننده برای انواع مختلف انتقال حرارت تلقی می شود. بر خلاف مزیت های نانو سیال، نکته کلیدی در مورد آن، پایداری می باشد که در این مقاله مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. علاوه بر موارد مذکور، خصوصیات ترموفیزیکی و گرمایی نیز تحت تاثیر نوع نانوذره، بار ذرات، اندازه ذرات، شکل ذرات، دما و نوع سیال پایه، سطح PH و افزودنی ها می باشد.

۱-۲- هدف

عملکرد حرارتی، الکتریکی دستگاه های الکترونیکی در دماهای عملیاتی بالا، کم شده است که این خود باعث بالا بردن چالش در خنک کنندگی، نیاز به سیستم خنک کنندگی با بالاترین میزان توانایی در تخلیه بدون لرزش، کنترل دقیق دما و فشردگی می گردد. به کار بردن نانوسیالات در ماژولهای حرارتی (TEM)، مانند کولرهای حرارتی الکتریکی، با این ویژگیها امیدوارکننده به نظر می رسد. ماژولهای حرارتی نیز مانند نانوسیالها و سیالهای یونی، به عنوان دستگاه های دینامیکی برای انتقال کارآمد گرما ترجیح داده می شوند. راه حلی کارآمد برای حذف گرما از سیستم های حرارتی ضروری است. یک سیستم حرارتی، به دلیل

مزایایی بی شمار از قبیل اندازه‌ی کوچک آن، سازگاری با محیط زیست و دارا بودن ظرفیت کنترل دمایی به عنوان یکی از بهترین تکنیک‌ها در نظر گرفته می‌شود.

یک دستگاه حالت جامد که گرما را با مصرف انرژی الکتریکی از طرفی به طرف دیگر منتقل می‌کند، متشکل از مجموعه‌ای از ترموکوپل‌ها است که مدل الکتریکی آن به صورت سری و نوع حرارتی به صورت موازی متصل شده‌اند به ماژول‌های ترموالکتریک معروف هستند. دو المنت گرمایی شبه هادی و مجزا عناصر تشکیل دهنده یک ترموکوپل هستند که یک اثر سردسازی ترموالکتریکی را زمانی که ولتاژ در مسیر مربوطه با به کار بردن اتصال ارتباطی تامین گردید، ایجاد می‌کند. TEM به طور معمول با دو سینک گرما در هر دو طرف سرد و گرمش کار می‌کند، که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش عملکرد سیستم می‌گردد. قیمت بالا و راندمان ضعیف معایب اولیه خنک‌کنندگی گرمایی الکتریکی هستند که باعث کاهش کارایی آن نسبت به زمانی می‌شوند که هزینه‌های دستگاه و بازده دارای اهمیت کمتری نسبت به در دسترس بودن انرژی، قابلیت اطمینان و عملکرد خاموش دارند. با پیدایش اثر خنک‌کنندگی ترموالکتریکی در قرن نوزدهم پیشرفت‌چندانی تا دهه ۱۹۵۰ در آن مشاهده نمی‌شد، تا اینکه با میان آمدن دانش پایه مواد ترموالکتریک، مورد پذیرش عموم قرار گرفت.

آماده سازی نانوسیالات، ویژگیها، هدایت حرارتی، ویسکوزیته، بررسیهای انتقال حرارت و همرفت در حال حاضر صورت پذیرفته‌اند. بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته در زمینه اثر نانوسیالات بر روی مایعات یونی، خواص حرارتی، جنبه‌های پایداری و کاربرد نانوسیالات در مورد TEM محدود می‌باشد.

در این مطالعه سعی ما براین است که اثر پارامترهای مختلف بر روی خواص ترموفیزیکی نانوسیالات با همبستگی‌های حاضرنیج آزمایشگاهی را بررسی نماییم.

هدف اصلی این مطالعه خلاصه کردن تحقیقات اخیر بر روی هیدروترمال تنش سطحی، ضریب اصطکاک، افت فشار (قدرت پمپاژ)، پایداری، خواص ترموفیزیکی نانوسیالات (تئوری و آزمایشگاهی) و همچنین بررسی اثر نانو سیالات یونی روی رفتار انتقال حرارت آنها می‌باشد. این مطالعه همچنین بهبود عملکردهای گرمایی و انتقال حرارت را توسط ماژول‌های ترموالکتریکی و نانوسیالات برای مبدلهای حرارتی و دستگاه‌های الکترونیکی بهینه می‌نماید.

۱-۳- نانو مواد و سیالات پایه

نانو موادهای نوعی از مواد ابتکاری هستند که حداقل سائزی به ابعاد ۱ نانومتر دارند که می‌توانند از نوع پلیمر،

سرامیک، فلز یا کامپوزیت باشند. در مقایسه با مواد حجیم، نانو مواد ها دارای خواص فیزیکی، شیمیایی، گرمایی و مکانیکی متمایزی می باشند.

به طور کلی برتری مواد نانو فاز به دلیل دارا بودن نسبت سطح به حجم زیاد آن است که به دلیل حجم بالای اتم های موجود در مرز بین ذرات این مواد می باشد. در اشکال هندسی مختلف، مواد نانوساختار نانویی ممکن است به شکل میله ها، لوله ها، سوراخها و سیمها ظاهر شوند. بر اساس ابعاد مواد با ساختار نانو به چهار دسته به نامهای D⁰ (نانومواد دسته ای)، D¹ (چند لایه ای)، D² (نانوذرات لایه ای) و D³ (مواد جامد حجیم) تقسیمبندی شده اند. از طرف دیگر مواد با ساختار نانو با در نظر گرفتن اشکال بلوری خود به سه نوع طبقه بندی میگردند. این سه نوع شامل، اشکال میله ای، لایه ای و بلوری نانومتری هم اندازه می باشد. از آنجایی که توانایی فنی برای تطبیق و تعدیل اندازه گیری های نانویی به طور چشمگیری بهبود پیدا کرده است، خواص جذاب مواد با ساختار نانویی نیز آشکار شده است.

به غیر از مواد فلزی-غیر فلزی و سایر مواد برای نانوذرات، به طور کلی مواد و ساختارهای جدید نیز ممکن است ویژگیهای مطلوبی مانند مواد داپ شده با به کار بردن مولکولهایی در ساختار جامد-مایع داشته باشند. انواع مختلفی از مایعات مانند مایعات غیر دی الکتریک (آب، اتیلن گلیکول، روغن ها) و مایعات دی الکتریک (مایعات آلیفاتیک، مایعات سیلیکون، فلوروکربن ها) به عنوان مایعات پایه برای ترکیب با نانو ذرات جهت افزایش انتقال حرارت مورد استفاده قرار گرفته اند. مایعاتی مانند آب، گلیکول و روغن سیالات بسیار خوبی از نظر انتقال حرارتی هستند اما از نظر میزان هدایت حرارتی که مقدار رسانایی حرارت را تعیین می کند در سطح پایینی قرار دارند. یکی از بهترین روش ها برای افزایش هدایت حرارتی این سیالات، اضافه کردن نانو ذرات به آنها می باشد.

۱-۴- آماده سازی نانوسیالات

۱-۴-۱- آماده سازی

نانوسیالات برعکس سیالات به دلیل دارا بودن خاصیت ترمو فیزیکی تقویت شده همانند، هدایت حرارتی، نفوذ حرارتی، ضریب انتقال حرارت همرفتی و ویسکوزیته شناخته شده هستند. این مواد پتانسیلهای فوق العاده ای در زمینه های مختلف از خود بروز داده اند. نانوسیالات ترکیباتی سوسپانسیونی شامل کربن، فلز، اکسید، نانوذرات سرامیکی، در ترکیب با سیالات پایه همانند آب، اتیلن، روغن موتور، گلیکول، استون و... می

باشند. متداولترین روشها برای تجزیه و تحلیل نانوذرات، میکروسکوپ عبوری الکترونی، طیف سنجی، پرتونگاری، طیف سنجی مادون قرمز و رامان می باشند.

شورفاکتانهای مانند صمغ عربی، CMC، NADDBS، SDS، CTAB و مایعات متفاوت یونی به همراه نانوسیالات به کار برده می شوند که این خود باعث افزایش پایداری پراکندگی و خواص ترموفیزیکی آنها می گردد. ویژگیهای بسیار مهم نانوسیالات در شکل (۱-۱) ارائه شده است.

آماده سازی نانوسیالات عملی بسیار مهم برای رسیدن به نانوسیالی پایدار که در دمای بالا یا پس از دوره زمانی خاص تجمع نمی یابد، می باشد. دو فرایند اصلی جهت آماده سازی نانوسیالات عبارتند از روش یک مرحله ای یا رویکرد پایین به بالا و روش دو مرحله ای یا رویکرد بالا به پایین می باشد.

تجمع نانوذرات مشکل اصلی در تمام تکنولوژیهای نانوپودری برای هر دو روش جهت تولید سوسپانسیونهای مطلوب نانوذرات می باشد. بهبود قابل توجه در خصوصیات انتقال حرارت نانوسیالات وابسته به سنتز و معلق سازی بدون ایجاد تجمع نانوذرات و یا پراکندگی یکدست آنها می باشد.

فرایند یک مرحله ای شامل آماده سازی و مخلوط کردن همزمان نانوذرات با سیال پایه، در زمانی که تجمع نانوذره بدلیل گریز از خشک شدگی، ذخیره و فرایند انتقال کم می باشد که موجب سوسپانسیون پایداری از نانوذرات در سیال پایه می گردد. این روش مناسب برای مایعات با فشار بخار پایین می باشد. برای حجم تولید بالا روش دو مرحله ای بسیار اقتصادی می باشد.



شکل (۱-۱) ویژگی های برجسته یک نانوسیال

در این روش نانوذرات در ابتدا آماده می شوند یا نانوذرات تجاری در دسترس به کار برده می شوند و سپس با اولتراسونیک، همزن ها، همگن کننده های برشی با قدرت زیاد، همزنهای تویی و غیره در سیال پایه پراکنده می شوند. دومین روش آماده سازی اساسا برای نانوذرات اکسید شده مناسب است و ثابت شده است که برای نانوذرات فلزی ناپایدار می باشد. اصولا برای نانوذرات اکسید شده روش ۱ مرحله ای به خوبی پاسخگو می باشد در حالی که برای نانوذرات فلزی روش ۲ مرحله ای ترجیح داده می شود.

تحقیقات صورت گرفته توسط محمدپور و همکاران، ویژگیهای پایداری و انتقال حرارت نانوسیال مس/ EG به روش ۱ و ۲ مرحله ای را مقایسه می نماید. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که نانوسیالی که از طریق روش ۱ مرحله ای آماده سازی شده است به مدت چند ماه پایدار است، در حالیکه روش دو مرحله ای از نظر خصوصیات انتقال حرارتی موثرتر می باشد.

آلبرت و دیگران روش جدید sol-gel را که مزیت مربوط به هر دو روش ۱ و ۲ مرحله ای را داراست معرفی نمودند، همچنین نانوسیال مس اکسید/ پلی وینیل الکل آماده سازی شده، مقدار پتانسیل زتا را ۱۳mV نشان داده است. گوش و دیگران، نانوسیال پارافین AL_2O_3 را با به کار بردن روش دو مرحله ای آماده سازی کردند تا خواص تابشی حرارتی آنرا بررسی نمایند. نتایج حاصل حاکی از ظرفیت بسیار بالای جذب نور در مقایسه با زمانی که پارافین خالص به کار برده می شود بوده است.

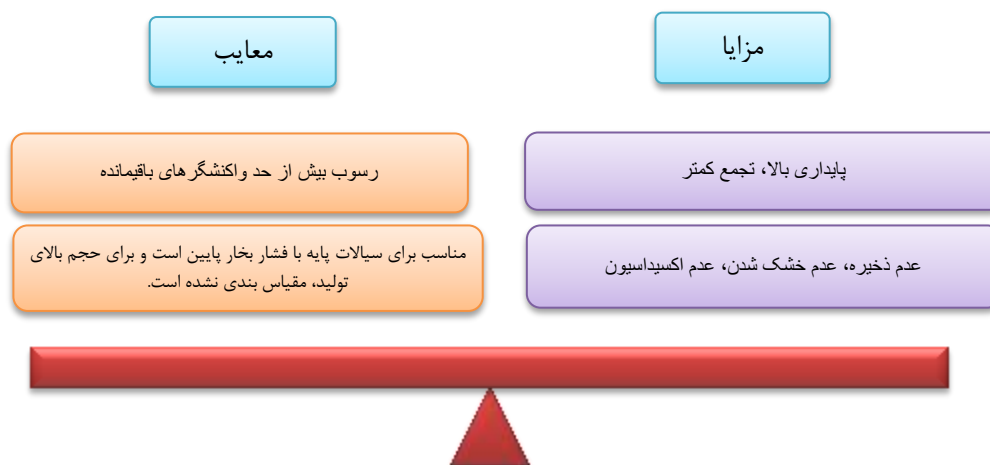
۱-۴-۲- روش تک مرحله ای

این روش شامل سنتز نانوذرات و پراکندگی تحت یک حرکت می باشد. طبق تحقیقات آکو و دیگران به این معنی است که پودرهای نانوفاز میتوانند به طور مستقیم از حالت بخار به مایع در حال جریان که تحت فشار پایین (VEROS) (تبخیر خلا بر روی بستر روغن رونده) متراکم گردند.

بدلیل پیچیدگی خارج ساختن نانوذرات از مایعات جهت ساختن پودرهای خشک، این روش امیدوارکننده نبوده است. با وجود نتایج عالی بدست آمده از روش یک مرحله ای، آزمایشگاه ملی آرگون استفاده از این روش را به دو دلیل توصیه نمی کند. در روش اول به کار بردن خلا تولید نانوذرات و نانوسیالات را کند می کند و دوم اینکه روش دو مرحله ای بسیار هزینه بر است.

بعضی از روشهای به کار برده شده برای سنتز نانوذرات در این تکنیک عبارتند از تراکم گاز بی اثر، سنگ زنی مکانیکی، رسوب بخارات شیمیایی، ته نشینی شیمیایی، میکرومولسیون، اسپری پیرولیزو روش سونوشیمیایی است. سیستم تبخیر شیمیایی که توسط ایستمن و همکاران ساخته شد، منجر به ایجاد

پایداری مطلوبی در نانوسیالات گردیده است.



شکل (۲-۱) مزایا و معایب تک مرحله‌ای

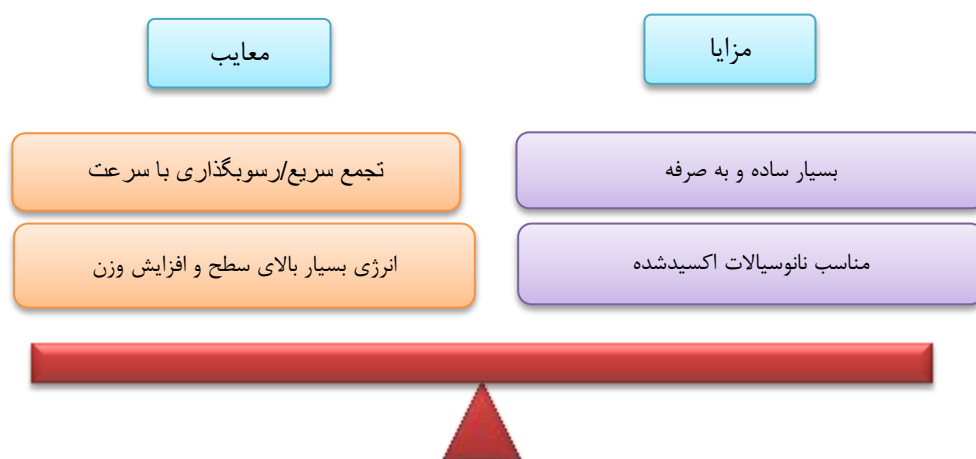
روش ارائه شده توسط آنها بدلیل وجود ایراداتی مانند محدود بودن برای کاربردهای در مقیاس کوچک و همچنین استفاده از این روش صرفاً برای سیالات با فشار بخار پایین، با انتقاد مواجه شده بود. آبرومند و همکاران شکل متفاوتی از روش یک مرحله ای را به کار بردند که به انفجار الکتریکی سیم (E.E.W) برای تولید روغن مبدل نانوسیال معروف است. نانوسیالات آماده سازی شده میزان پتانسیل زتا را ۴۷ تا ۵۷ میلی ولت در محدوده های دمایی ۴۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد نشان می دهند، همچنین افزایش هدایت حرارتی مربوط به آنها ۴۱ درصد گزارش شده است. با وجود اینکه روش تک مرحله ای موجب پایداری پراکندگی مطلوبی می گردد، اما تنها مقدار محدودی از نانوذرات و نانوسیالات در مقایسه با روش دو مرحله ای می توانند استخراج شوند. بررسی های آزمایشگاهی اخیر بر روی آماده سازی نانوسیالات با به کار بردن روش تک مرحله ای در جدول ۲ نشان داده شده است.

۱-۴-۳- روش دو مرحله‌ای

در این روش نانوذرات در ابتدا در پودر خشک با استفاده از سه روش شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی سنتز می شوند و نانوذرات سنتز شده در سیالات پایه با کمک همزن اولتراسونیک، حرکت توپی، نیروی مغناطیسی همزن و اختلاط برشی پراکنده می شوند. در فرم پودر خشک، وجود نیروی واندروالسی قوی بین

نانوذرات ممکن است باعث تجمع آنها گردد. در تمام تکنولوژی‌های نانوپودری این تجمع ناخواسته مشکل اصلی می‌باشد. همانطور که در شکل ۸ نمایان است، این روش با توجه به گسترش روزافزون سنتز نانوپودرها و کاربرد آن در بازار، برای تولید نانوسیالات در مقیاس بالا یکی از اقتصادی ترین روش ها می باشد. با وجود پراکنده ساختن نانو درات با استفاده از دستگاه اولتراسونیک، برای جلوگیری از بیش از حد گرم شدن نانوسیال، به صورت متناسب پراکنده میشوند، اما این فرایند آماده سازی دو مرحله ای از نظر کیفیت پراکنده ساختن، بسیار ضعیف می باشد.

بسیاری از محققان به فرمول کردن نانوسیالات با استفاده از روش دو مرحله ای پرداختند؛ به طور مثال با استفاده از افزودن سورفاکتنت و یا ایجاد تغییرات در سطوح نانو سیالات و تنظیم دامنه ی ph ، فرم دهی گرده های کربوکسیل جهت افزایش میزان پایداری و سایر روشها که به طور خلاصه در جدول (۱-۱) نشان داده شده اند.



شکل (۱-۳) مزایا و معایب دومرحله‌ای

با وجود این که نانوسیالات برپایه روش دومرحله ای دارای تجمع بسیار زیادی هستند و نیاز به حجم بالایی از نانوذرات اکسید شده دارند تا به هدایت حرارتی قابل مقایسه ای دست یابد، کاهش هزینه های در تولید نانوذرات به وسیله روش های دو مرحله ای تلاش در برآورده ساختن هدف حال حاضر را دارد.

لین و ونگ، نانو سیال پایداری از مگنتیت را با استفاده از روش ته نشینی همزمان تهیه نمودند، سپس اثر ph ، دما، و مولاریته آبی اسید بر روی پایداری الکترواستاتیکی و ویسکوزیته نانوسیال را بررسی نمودند. نتایج مشاهدات آنها نشان داد که اندازه نانوذره در دمای محیط ته نشینی همزمان دو ماده افزایش می‌یابد و همینطور زمانی که ویسکوزیته نانوسیال محیا شده برای نانوذرات کوچکتر زیاد می باشد، با افزایش ph اندازه

نانوذرات کاهش می یابد.

جدول (۱-۱) سایر روش‌های فرمول کردن نانو سیالات

منابع	نانو ذرات	سیال پایه	روش	پایداری	خواص حرارتی
حمید و همکاران	MWCNT	کاپوک روغن دانه	روش یک مرحله ای	< یک ماه	حداکثر افزایش رسانایی حرارتی ۱۵/۶ درصد در ۰/۱ درصد وزنی می باشد. گرانشی با افزایش دما کمتر شد
لی و همکاران	طلا نقره	آب DI	روش یک مرحله ای	< ۸۰ ساعت	نانو سیالات ساخته شده از سورفکتانت های سنگی کاتیونی دارای تثبیت تعلیق فوق العاده ای می هستند. برای نانو سیالات پایدار طلا/نقره بهترین میزان اسیدی و بازی بودن ۱۱-۱۲ است.
خیرول و همکاران	Fe ₃ O ₄	آب DI	روش ته نشینی شیمیایی یک مرحله ای	< دو ماه	افزایش مقادیر دوز های معرف آمونیوم هیدروکسید بر اندازه ذرات در حین آماده سازی نانو سیال فروس فریک اکسید تاثیر می گذارد.
صالحی و همکاران	نقره	آب مقطر	روش شیمیایی یک مرحله ای	-	سورفکتانت پلی وینیل پیرولیدون فاکتور قابل توجه ای در بهینه سازی ویژگی های ترموفیزیکی نانو سیالات مستعد است.
سونار و همکاران	اکسید روی	آب	روش یک مرحله ای	-	به دلیل بالا رفتن سطح انرژی و بالا رفتن سطح نسبت به حجم، نانوذرات به شکل تجمعی قرار دارند.
کومار و همکاران	مس	EG	روش یک مرحله ای	۲ هفته	رسانایی حرارتی نانو سیال ساخته شده به به ۶۰/۰ افزایش یافته است.
روبرتیس و همکاران	مس	EG	روش یک مرحله ای	< ۸ روز	پایداری نانو سیال به علت تراکم ذرات محدود شده بود که به نوبه خود شاخصه های حرارتی مانند ظرفیت گرمایی ویژه نانو سیال را تحت تاثیر قرار داد.
زو و همکاران	مس	EG	روش شیمیایی یک مرحله ای	< ۳ هفته در وضعیت راکد < ۲ هفته در ۱۲۰ درجه	رسانایی حرارتی در حجم ۱/۰ درصد، ۹ درصد افزایش پیدا کرد
لیو و همکاران	مس	آب	روش کاهش شیمیایی یک مرحله ای	-	۲/۱۳ درصد افزایش رسانایی حرارتی در ۰/۲ درصد حجمی

فصل ۲:

مروری بر منابع

۲-۱- مقدمه

نقش بسیار مهم اتلاف گرما از یک سیستم حرارتی در بهبود بازده انتقال حرارت، واقعیتی شناخته شده است. انتقال حرارت همرفتی بسیار موثرتر از روش هدایت حرارتی می باشد، این در حالی است که آهسته ترین و کم اثرترین روش انتقال حرارت از طریق تابش می باشد. انتقال حرارت همرفتی می تواند از طریق روش فعال نیز همانند روشهای غیرفعال تقویت شود. اگرچه روشهای پیشین معمولاً پیشرفت و بهبود بهتری را نمایان می کنند، اما نیازمند اعمال نیروهای درونی می باشند که این خود موجب پیچیدگی و افزایش هزینه های مربوط به سرمایه گذاری سیستم می گردد. در نقطه مقابل این موضوع، می توان با تغییر پارامترهای طراحی مربوط به میزان جریان یا با عوض کردن ویژگیهای ترموفیزیکی و گرمایی مربوط به سیال کاری بهبودی رضایتبخش در انتقال حرارت منفعل می تواند حاصل گردد [۶-۱]. بنابراین این نتیجه بسیار مطلوبتر از روش غیرمنفعل می باشد. [۷].

افزودن نانو ذرات و مواد یونی به سیال پایه رویکرد بهبود غیرمنفعل است که بسیار مورد توجه می باشد. به دلیل مقدار افزایش مشاهده شده در هدایت گرمایی و بازده های انتقال حرارت، به کار بردن مایعات پراکنده بر روی نانو ذرات به عنوان گزینه ای امیدوار کننده برای انواع مختلف انتقال حرارت تلقی می شود [۷-۱۱]. بر خلاف مزیت های نانو سیال، نکته کلیدی در مورد آن، پایداری می باشد [۱۲-۱۴] که در این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. علاوه بر موارد مذکور، خصوصیات ترموفیزیکی و گرمایی نیز تحت تاثیر نوع نانوذره، بار ذرات، اندازه ذرات، شکل ذرات، دما و نوع سیال پایه، مقدار pH و افزودنی ها می باشد. عملکرد حرارتی، الکتریکی دستگاه های الکترونیکی در دماهای عملیاتی بالا، کم شده است که این خود باعث بالا بردن چالش در خنک کنندگی، نیاز به سیستم خنک کنندگی با بالاترین میزان توانایی در تخلیه بدون لرزش، کنترل دقیق دما و فشردگی می گردد. به کار بردن نانوسیالات در مازولهای ترموالکتریکی مانند کولرهای حرارتی الکتریکی، با این ویژگیها امیدوارکننده به نظر می رسد. مازولهای حرارتی نیز مانند نانوسیالها و سیالهای یونی، به عنوان دستگاه های دینامیکی برای انتقال کارآمد گرما ترجیح داده می شوند [۱۵-۱۸].

راه حلی کارآمد برای حذف گرما از سیستم های حرارتی ضروری است. یک سیستم حرارتی، به دلیل مزایایی بی شمار از قبیل اندازه ی کوچک آن، سازگاری با محیط زیست و دارا بودن ظرفیت کنترل دمایی به عنوان یکی از بهترین تکنیک ها در نظر گرفته می شود. یک دستگاه حالت جامد که گرما را با مصرف انرژی الکتریکی

از طرفی به طرف دیگر منتقل می‌کند متشکل از مجموعه ای از ترموکوپل ها است که مدل الکتریکی آن به صورت سری و نوع حرارتی به صورت موازی متصل شده اند به ماژول های ترموالکتریک معروف هستند. دو المنت گرمایی شبه هادی و مجزا عناصر تشکیل دهنده یک ترموکوپل هستند که یک اثر سردسازی ترموالکتریک را زمانی که ولتاژ در مسیر مربوطه با به کار بردن اتصال ارتباطی تامین گردید، ایجاد می‌کند. ماژولهای الکتریکی به طور معمول با دو سینک گرما در هر دو طرف سرد و گرمش کار می‌کند، که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش عملکرد سیستم می‌گردد. قیمت بالا و راندمان ضعیف معایب اولیه خنک‌کنندگی گرمایی الکتریکی هستند که باعث کاهش کارایی آن نسبت به زمانی می‌شوند که هزینه های دستگاه و بازده دارای اهمیت کمتری نسبت به در دسترس بودن انرژی، قابلیت اطمینان و عملکرد خاموش دارند. با پیدایش اثر خنک‌کنندگی ترموالکتریک در قرن نوزدهم پیشرفت چندانی تا دهه ۱۹۵۰ در آن مشاهده نمی‌شد، تا اینکه با میان آمدن دانش پایه مواد ترموالکتریک، مورد پذیرش عموم قرار گرفت.

۲-۲- مروری بر چالش‌های نانوسیالات

به طور کلی در مورد نانو سیالات می‌توان به موارد زیر که از چالش‌های نانو سیالات می‌باشد اشاره نمود:

- نوع نانو ذره، غلظت، اندازه، شکل، هزینه
- سورفاکتانها/افزودنی‌ها
- دما/حرکت براونی
- لایه بندی سطحی
- مقیاس، ظرفیت
- افزایش در ویسکوزیته نانو ذره
- تجمع یا پراکندگی نانو ذره

علیرغم پیشرفتهای اخیر در زمینه نانوسیالات، اسرار نانوسیالات حل نشده است و چالش‌ها و گزینه‌های جدیدی در برابر محققان و تکنیسین‌ها قرار می‌دهد. فناوری نانوسیال، تکنولوژی های خنک کاری اقتصادی و کارآمد بیشتری به خصوص در زمینه‌های الکترونیک، ساخت و تولید، دفاعی و حمل و نقل پیشنهاد می‌دهد. مهم‌ترین چالش مدل‌های مرسوم هدایت، همرفت و جوش نانوسیال مقادیر تجربی اندازه گیری شده است که همیشه از مدل‌ها یا تئوری‌ها میکروسکوپی پیشنهادی بیشتر می‌شود. از سوی دیگر مدل‌ها و روش‌های متعددی مبتنی بر خصوصیات ترموفیزیکی (هدایت گرمایی، ویسکوزیته) وجود دارد در حالی که سایر

پدیده‌های مهم نظیر افزایش خاص شار گرمای بحرانی و ضریب انتقال حرارت هنوز تشریح نشده‌اند. بخش پیش رو به چالشهای عمومی به کار گرفتن نانوسیالات در کاربردهای عملی می‌پردازد.

۲-۲-۱- تشکیل کف

معمولاً نانوذرات طبیعت آب‌گریز دارند که به فاز هوای آبریز مشابه نیاز دارند تا کمتر تجمع یابند (اگلومره شوند) که در همه‌ی موارد امکان پذیر نیست. در نتیجه ذرات تمایل زیادی دارند که در فاز آبی و فصل مشترک آب/هوا تجمع یابند و تحت شرایط معینی حبابهای بسیار پایداری می‌تواند تشکیل شود. این حباب‌ها منجر به تشکیل کف می‌شوند که خصوصیات اصلی سیال را تغییر می‌دهد. محققان باید روی تأثیر برهمکنش ذره-ذره و جذب ذره در منطقه‌ی حدواسط تمرکز کنند تا دلیل پشت تشکیل کف را توضیح دهند.

۲-۲-۲- پایداری

این یک واقعیت شناخته شده است که پایداری کمتر منجر به تخریب خواص ترموفیزیکی می‌شود همان گونه که در بخش‌های قبل مورد بحث قرار گرفت (بخش ۴). تا کنون مطالعات مقیاس آزمایشگاهی با مشکلاتی در سنتز نانوسیالات پایدار متشکل از نانوذرات یک اندازه مواجه شده‌اند. با اینحال یک مشکل عملی در تجاری سازی نانوسیالات، پایداری درازمدت آنهاست. استفاده از تکنیکهای مکانیکی و پایداری کننده های شیمیایی مختلف مزیت مطلق برای نانوسیالات به وجود نیاورده است. سایر موضوعات کاربرد نانوسیالات خوردگی، سایش، گرفتگی، آبرفتگی و سازگاری هستند.

۲-۲-۳- مسائل ایمنی و زیست محیطی

قطعاً نانوذرات می‌توانند به ریه‌های انسان و احتمالاً پوست وارد شوند که این منجر به مسائل تنفسی، التهاب و بیماری‌های سرطانی می‌شود. لذا باید قوانین یا پارامترهای مناسبی برای گسترش و کار با نانوذرات تعیین شود. در نتیجه در آینده مهندسان نانوسیال باید با انتخاب نانوذرات غیر سمی نانوسیالات سبز را مد نظر

داشته و توسعه دهند. نانوذرات سبز هیچ معضل ایمنی، بهداشتی و محیط زیستی ایجاد نمی کنند. در نتیجه امکان تولید حجیم نانوذرات و کاربرد گسترده‌ی آنها در صنعت به وجود می آید.

۲-۲-۴- هزینه زیاد

چالشی ترین جهت گیری آتی تولید کم هزینه و حجیم نانوسیالات و نانوسیالات یونی است. تولید این سیالات در مقیاس بالا توسعه نیافته است. به دلیل هزینه‌ی بالای نانوسیالات، بسیاری صنایع و مصرف کنندگان آنها را ترجیح نمی دهند. گرانی قیمت تا زمانی که روشهای تولید بتوانند نانوذرات و مایعات یونی بیشتری تولید کنند ادامه خواهد داشت.

۲-۲-۵- از بین رفتن خواص اصلی

نانوسیالات به عنوان یک سیال عمل کننده می ساینند/خوردگی ایجاد می کنند و این عملکرد آنها را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار می دهد. لذا برای جلوگیری از هر گونه گرفتگی در مبدلهای حرارتی که حتی می تواند منجر به از کار افتادن کل سیستم گرمایی شود باید به طور جداگانه نگهداری شود. بوبیکو و همکاران اثر خوردگی و سایش سه نوع نانوسیال مختلف در لوله‌های ساخته شده از مس، آلومینیم و فولاد زنگ نزن را ارزیابی کردند. آنها دریافتند که اثر سایش مکانیکی کمتر از سایش شیمیایی است و اعلام کردند که فاکتور pH بیشترین آسیب را ایجاد می کند. اگر به مدت زیادی و به طور ممتد اولتراسونیک انجام شود نانوسیالات بیش از حد گرم می شوند که در نتیجه ویژگی‌های نانوسیال از بین می رود.

۲-۳- پایداری نانوسیالات

خاصیتی که ذره در مقدار مشخصی تجمع پیدا نکند به عنوان پایداری شناخته می شود. در مورد نانوذراتی که دستخوش گرفتگی و تجمع قبل از تشکیل نانوسیال هستند، این مورد تا حد بسیار زیادی بر روی پایداری دوره ای، خواص فیزیکی و گاهی انسداد سیال در مبدلهای حرارتی موثر است. بنابراین مطالعه پایداری کلید حیاتی موثر بر روی خواص نانوسیالات برای کاربرد خاص است و همچنین برای مطالعه و آنالیز

فاکتورهای مؤثر بر روی پراکندگی پایداری نانوسیالات بسیار با اهمیت می باشد. دو عامل متداول افزودن سورفاکتانت و تنظیم کننده‌های PH است در حالیکه اندازه ذره، شکل، پراکندگی سیال پایه، کسر حجمی ذرات، رفتار فراصوت و کاهش نیروی کششی اصطحاک سایر عوامل ناشناخته هستند.

از آنجایی که ویژگیهای پیوندی مانند اسیدیته، تابش مافوق صوت، دما، غلظت واکنش دهنده ها و مواد افزودنی در روش شیمیایی قابل کنترل اند، آنها ثابت کرده اند که بهترین روش برای دستیابی به پایداری بالا و رسانایی حرارتی نسبت به سایر روشها هستند.

آلمانسوری و همکاران اثرات هم افزایی و فاکتورهای کنترل نانوسیالی هیدین اکسید قلع / هپتان را مورد مطالعه قرار دادند تا با استفاده از طراحی L18 تاگوچی به پایداری و اندازه بهینه برسند و و یک دیدگاه ارزشمند برای پراکندگی مؤثر نانوذرات اکسید فلزی در حلالهای آلی ایجاد کردند.

موتوکاماران و همکاران با استفاده از روش بارش همزمان (co-precipitation) نانوذرات، مگنتیت با روکش سورفاکتانتی را ترکیب کردند که به مدت ۳ سال در دمای اتاق پایداری طولانی مدت فوق العاده ای داشتند. با این حال، آنها در مورد خواص حرارتی فیزیکی نانوسیالات بحث نکردند، درحالی که برای افزایش عملکرد حرارتی یک سیستم ضروری هستند. هوانگ و همکاران نانوسیالات را با استفاده از دو روش مختلف یعنی روش دو مرحله ای (هموژنایزر فشار بالا، همزن مغناطیسی، حمام اولتراسونیک، اخلاص التراسونیک) و روش یک مرحله ای (سیستم پاشش مگنترون) تهیه کردند.

آنها دریافتند که مناسبترین روش برای تجزیه نانوذرات تجمع یافته در روش دو مرحله ای، فشار بالای هموژنایزر بوده است، در حالیکه سیستم پایش مگنترون پایداری نسبتاً زیادی در فشار بالای هموژنایزر از خود بروز داد. در مطالعه ای متفاوت فرزانه و همکاران شرایط پایداری و نمودار پایداری را بر اساس دینامیک مولکولی برای جلوگیری از تجمع نانوذرات در طول فرایند آماده سازی معرفی نمودند. نویسندگان پیشنهاد دادند که نانوسیالات در صورت مواجه شدن با شرایط پیش بینی شده ممکن است پایدار بمانند.

وارانا و همکاران پایداری نانوسیال TiO_2/EG را در شرایط برشی و ساکن بررسی نمودند. نویسندگان اظهار داشتند که ته نشینی و تجمع نقش بسیار مهمی در افزایش هدایت حرارتی دارند، همچنین نانوسیال تا دمای ۶۰ درجه سانتیگراد تحت شرایط یاد شده پایدار بوده است. لی و همکاران، توسط یک گرماسنج میزان چگالی ۵ نوع نانوسیال مختلف، آب $\text{AL}_2\text{O}_3/\text{DI}$ ، آب $\text{DI SiO}_2/\text{DI}$ ، آب Ag/DI ، آب $\text{AL}_2\text{O}_3/\text{EG}$ ، ZNO/EG را برای اندازه گیری میزان رسوب گذاری نانوذرات در فواصل دمایی متفاوت اندازه گیری نمودند. شواهد نشان داد که نانوسیالات $\text{AL}_2\text{O}_3/\text{DI}$ و $\text{AL}_2\text{O}_3/\text{EG}$ در مدت ۳۱ روز به بالاترین میزان پایداری رسیدند. مطالعات اخیر بر روی بهبود پایداری نانوسیالات با استفاده از رفتار پلازما متمرکز شده است که

نسبت به روشهای معمولی مانند اضافه کردن سورفاکتانت، تغییر سطح و همزدن مکانیکی پیوند سطحی بهتری ایجاد می نمایند. هاردی و همکاران، نانولوله های کربنی با امواج رادیویی پلاسمای منفصل جهت فرمولاسیون نانوسیال آب CNT/ که بیشتر از ۶ ماه پایدار باقی ماند، را طراحی نمودند. در مطالعه ای دیگر این نویسندگان با استفاده از همان روش عملکرد پلاسمای، به دوره پایداری ۶ ماهه ای با MWCNT در ترکیب با الکل دنا توره دست یافتند. شارما و دیگران روش دو مرحله ای را با به کار بردن سانتریفیوژ و بدون استفاده از آن، برای تولید نانوسیالات با پایداری طولانی از آب CNT/ به کار بردند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش دو مرحله ای با استفاده از سانتریفیوژ ۱۵ ماه پایداری نشان داد در حالیکه روش دوم تنها به میزان سه هفته پایدار بوده است.

مولدوانو و همکاران، آزمایشی را جهت ارزیابی میزان پایداری و هدایت حرارتی نانوسیالات آب Al_2O_3 ، آب SiO_2 / آب Al_2O_3/SiO_2 - طراحی نمودند. مطابق آزمایشات پیشین هدایت حرارتی با افزایش دما و افزایش کسر حجمی افزایش پیدا کرد، که این مورد با همبستگی تئوری آنها مطابقت دارد و میزان پایداری تا ۱۰ روز گزارش شده است.

عسگری و همکاران با اضافه کردن اسید اولئیک بر روی سطح نانوذرات گرافن- Fe_2O_3 ، نفت سفیدی تولید نمودند که به مدت ۵ ماه بدون تجمع و یا ته نشینی پایدار بوده است. در مطالعه اخیر توسط رنجبر زاده و همکاران، آنها با استفاده از گیاه برنج نانوذرات سیلیس تولید نمودند که این همبستگی جدید با به کار بردن الگوریتم Levenberg-Marquardt انحرافی به میزان ۲.۷۲٪ با داده های آزمایشگاهی مربوط به هدایت حرارتی و پایداری داشته است. گزارش ها حاکی از آن است که نانوسیال مهیا شده سیلیس/آب بیشتر از ۶ ماه پایدار بوده و حداکثر هدایت حرارتی آن ۳۸.۳٪ در ۵۵ درجه سانتیگراد بوده است. دالکیلیچ و همکاران اظهار داشتند که عملکرد نانو لوله های کربنی چند جداره و استفاده از سیال پایه با ویسکوزیته بالا موجب بهبود پراکندگی پایداری نانو لوله های کربنی چند جداره در کمپرسور روغن شده و در نتیجه موجب افزایش ۹۰ درصدی ویسکوزیته در دمای ۵ درجه سانتیگراد و با درصد وزنی ۰/۱ درصد شده است. همانطور که مشخص است دوره اولتراسونیک نقش بسیار مهمی در حفظ پایداری پراکندگی نانوسیالات ایفا می کند. محبوبول و همکاران، تاثیر دوره اولتراسونیک را بر روی نانوسیال آب TiO_2 بررسی نمودند. آنها پیشنهاد دادند که دوره اولتراسونیک بهینه برای رسیدن به بالاترین میزان پایداری ۱۵۰ دقیقه باشد. کدهاری و همکاران، نانوسیال آب Al_2O_3 را برای آنالیز اثر سورفاکتانت، PH و دوره اولتراسونیک بر روی پایداری با به کار بردن روش پتانسیل زتا، فرمولاسیون کردند. نتایج بدست آمده توسط آنها نشان داد که نانوسیالات با ماهیت اسیدی میزان پایداری بیشتری نسبت به موارد دیگر از خود بروز می دهند. حداکثر پتانسیل زتای بدست آمده توسط آنها ۵۰/۰۷ میلی ولت و PH برابر ۳/۳ (اسیدی) در درصد حجمی ۰/۵ و

دوره اولتراسونیک ۱۸۰ دقیقه گزارش شده است. نکته مهم در اینجا این است که این مطالعات هیچگونه اطلاعاتی در مورد خواص ترموفیزیکی نانوسیالات ارائه شده در آن بازه های زمانی ارائه نمی نماید. اسدی و همکاران، سورفاکتانهای متفاوتی مانند (CTAB, SDS, Oleic acid) به همراه دوره های اولتراسونیک متفاوت (۱۰، ۳۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۶۰ دقیقه) را برای بررسی هدایت حرارتی و پایداری نانوسیال آب $Mg(OH)_2$ به کار بردند.

آنها به این نتیجه رسیدند که ۳۰ دقیقه زمان جهت اولتراسونیک و سورفاکتانت CTAB بهینه ترین راه حل برای بدست آوردن نانوسیال پایداری از $Mg(OH)_2$ می باشد. سارسام و همکاران، در مورد پایداری و خواص ترموفیزیکی پیوند کوالانسی نانولوله های کربنی چند جداره با آلومین- β جهت تولید Ala-MWCNT که خواص آگریز آن در مقایسه با MWCNT تغییر پیدا کرده است، تحقیق نمودند. از نظر پایداری Ala-MWCNT به مدت ۵۰ روز پایدار بوده در حالیکه هدایت حرارتی به میزان ۱۴.۷۴٪ در مقایسه با MWCNT خالص افزایش پیدا کرده است. آنها همچنین مقادیری را که اندازه گیری کرده بودند با نتایج مدلهایی مانند برینگر، پارک و چو، خوان و روتزل تطبیق دادند که با اختلاف حداکثر ۳/۷۹ درصد با نتایج مدلهای یاد شده در هماهنگی بوده است. بررسی های آزمایشگاهی انجام شده بر روی نانوسیالات به طور خلاصه در جدول ۵ نشان داده شده است. از طرف دیگر تیرا و همکاران، نانوسیال دو لایه هیدروکسیدی ZN-AL را با استفاده از روش همبستگی ته نشینی آماده نمودند و اعلام کردند که نانوسیال پیشنهادی حتی بدون افزودن سورفاکتانت پایداری نسبتاً خوبی از خود نشان داده است. همچنین نتایج آزمایشگاهی بدست آمده توسط آنها نشان دهنده سرمایش ۱۲۵ درجه سانتیگراد می باشد که نسبت به آب خالص ۱/۲۹ برابر بالاتر است. یارمرد و همکاران، نانوسیالات هیبریدی (GNP-Pt) که از یک واکنش شیمیایی ساده سنتز شده اند و به صورت نانوسیال GNP-Pt/DW فرموله شده اند را به کار بردند. نانوسیال یاد شده به مدت ۲۲ روز پایدار بوده و هدایت حرارتی آن ۱۷/۷۷ درصد درصد وزنی ۰/۱ افزایش داشته است.

۲-۳-۱- دلایل ناپایداری

از آنجایی که نانوسیالات برای پراکندگی استاندارد طراحی شده اند، مطالعه ته نشینی و تجمع نانوذرات که بر روی ویژگی های حرارتی نانوسیالات موثر هستند، بسیار ضروری می باشد. معمولاً ارتباط نانوذرات با یکدیگر موجب تجمع و گرفتگی می گردد که دلیل اصلی برای ناپایداری می باشد. وقتی نانوذرات با یکدیگر در ارتباط باشند، برخوردشان با همدیگر موجب از بین رفتن بعضی از خصوصیات

منحصر به فرد آنها می گردد. چنین واکنشهایی بدلیل گروهی از مولکولهاست که به تجمع نانوذرات کمک می کنند. معمولا هر نانوسیال تحت دو نوع بر هم کنش قرار می گیرد، مورد اول نیروهای الکترواستاتیک (ذرات را از یکدیگر دور می کند) و نیروهای واندروالسی (ذرات را به هم می رساند). بنابراین برای کاهش نیروی واندروالسی می توان از یک مانع یا پوسته مانند افزودن سورفاکتانت و یا روشهایی مانند استفاده کردن از نیروهای فضایی برای افزایش نیروی دافعه بین نانوذرات بهره برد. با این وجود موانع یاد شده در دمای بالا از بین می روند که این دما به دمای بحرانی لخته شدن معروف است. بنابراین تمامی نانوسیالات در فشار و دمای بالا در معرض ناپایداری قرار می گیرند. اختلاف چگالی بین نانوذرات و مایع پایه، نیروی گرانشی را تحریک می نماید تا باعث رسوب نانوذرات موجود در یک نانوسیال گردد. این عمل می تواند توسط یک حرکت تصادفی به نام حرکت براونی خنثی شود. حرکت براونی در پراکنده ساختن نانوذرات بسیار موثر می باشد.

۲-۳-۲- روشهای افزایش پایداری

در مطالعات آزمایشگاهی تهیه نانوسیالات پایدار در مقایسه با نانوذرات هم اندازه دشوار است. علاوه بر آن ثبات طولانی مدت نانوسیالات می تواند مشکلی عملی در تجارت نانوسیالات باشد. به منظور درک بهتر مزایای نانوسیالات، پایداری طولانی مدت نانو ذرات به وسیله ساختن و پراکنده ساختن نانوذرات ریز بدون ایجاد تجمع و با به کار بردن روشهای منحصر به فرد پراکنده سازی مکانیکی مانند (اولتراسونیک) و استفاده از پراکنده سازهای شیمیایی مانند (افزودن سورفاکتانتها، تغییر سطح و یا تغییرات مربوط به pH) انجام می شود.

۲-۳-۳- اضافه نمودن سورفاکتانت

به منظور افزایش پایداری نانوسیالات از سورفاکتانها و یا پراکنده سازها که ساده تر و اقتصادی تر هستند و باعث کاهش کشش سطحی بین سیال پایه و در نتیجه سهولت حلالیت نانوذرات می شوند، استفاده می گردد. همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است گونه های متفاوتی از سورفاکتانها برای انواع مجزایی از نانوسیالات برای تحقیقات فراوانی به کار برده شده است.

این سورفاکتانت می تواند سطح آبدوست نانوذرات را به ترتیب برای سیالات غیر آبی و آبی به آبگریز و

برعکس تغییر دهد. هر نانوذره و در واقع همه نانوذرات سطح باردار مخصوص به خود را دارند که نیروی دافعه ای بین نانوذرات و سیال پایه می سازد که منجر به افزایش میزان پتانسیل زتا می گردد. (افزایش پتانسیل زتا به معنی افزایش پایداری است). به عبارت دیگر غلظت بالای سورفاکتانت میزان پایداری را کاهش می دهد که این مساله دغدغه اساسی در مورد استفاده از سورفاکتانت می باشد. اگر سیال پایه حلال قطبی باشد (شامل پیوندهایی با الکترونگاتیوی متفاوت باشد مثل O-H) در اینصورت بهتر است که از سورفاکتانت های محلول در آب استفاده شود (سولفات ها، سولفونات ها، آمین های چرب، الکلهای اسید چرب) ، در حالیکه اگر سیال پایه غیر قطبی باشد (شامل پیوندهایی با الکترونگاتیوی مشابه باشد مانند C-H) در اینصورت سورفاکتانت های محلول در روغن به کار برده می شوند. با وجود این (در دمای بالاتر از ۶۰ درجه) به دلیل شکسته شدن پیوند بین ذرات و سورفاکتانت ها ، نانوسیال پایداری خود را از دست داده و نانوذرات ته نشین می گردند.

مهمترین نقطه ضعف سورفاکتانت تشکیل فوم است که بر اصالت ذرات، سیالات پایه، هدایت الکتریکی و ویسکوزیته تاثیر می گذارد.

۲-۴- خصوصیات ترمودینامیک نانوسیالات

سرعت انتقال حرارت یک سیستم حرارتی عمدتاً به خواص ترموفیزیکی نانوسیالات یعنی هدایت حرارتی، ویسکوزیته، چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه بستگی دارد. در دهه های گذشته ویژگی های ترموفیزیکی نانوسیالات به خاطر اثرشان بر ضریب انتقال حرارت یک سیستم در متون علمی مورد بحث بوده است. بهبود خواص حرارتی می تواند به بهره وری بالاتر انرژی، سیستم های صنعتی جمع و جور و قابل حمل، هزینه های کاری کمتر و یک فضای سازگار با محیط زیست منجر شود. در سال ۲۰۱۱، Mxene شناخته شد که نوعی بدیع از نانومواد دوبعدی است که به دلیل خاصیت مکانیکی، الکترونیکی و حرارتی قابل تنظیم ماده ای عالی برای نانوسیالات است. سربکوت و همکاران خصوصیات حرارتی و ترموالکتریک Mxene با دو ریخت مختلف را (MD-II و MD-III) آنالیز کردند [۱۶۷]. این نویسندگان دریافتند که مزیت، هدایت حرارتی و ضریب Seebeck عمدتاً به مدل ساختاری Mxene وابسته است. کیم و همکاران گزارش دادند که هدایت و ضریب Seebeck ماده ی Mxene با افزایش دما به شدت بالا می رود [۱۶۸]. معمولاً مقادیر اندازه گیری شده ی خصوصیات ترموفیزیکی نانوسیالات بیشتر از مقادیری است که بر اساس مدلها و نظریه های رایج بدست می آید. به طور مثال، نظریه ی ماکسول توضیح نمی دهد چرا مقادیر کم نانوذرات هدایت گرمایی مایعات پایه

را به طور قابل توجهی بیشتر از مقادیر مدل نظری آنها افزایش می‌دهد. در یک رقابت رو به رشد جهانی، چندین صنعت به بهترین مایعات انتقال حرارت نیاز دارند که خصوصیات گرمایی بهتری نسبت وضعیت فعلی‌شان داشته باشند. برای تأیید دقت نتایج آزمایشگاهی بدست آمده می‌توان آنالیز عدم قطعیت انجام داد.

۲-۴-۱- هدایت گرمایی

در بسیاری محصولات مصرفی و صنعتی انتقال حرارت عملکرد مهمی دارد. اما هدایت گرمایی ضعیف آستانه‌ی انتقال حرارت را به صورت بنیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. محققان بیش از ۱۰۰ سال کار کرده‌اند تا هدایت گرمایی پایین سیالات را با وارد کردن نانوذرات در آنها بهبود دهند. فاکتورهای مهم مؤثر بر هدایت گرمایی یک نانوسیال عبارتند از سرعت و ویسکوزیته ی سیال، وزن، هندسه‌ی سیستم، حرکت براونی، اصطکاک بین سیال پایه و نانوذرات، ته نشینی و پخش شدگی است. با استفاده از نفوذپذیری گرمایی، دانسیته و ظرفیت گرمایی ویژه می‌توان هدایت گرمایی را طبق معادله ۱ محاسبه کرد. هدایت گرمایی فلزات مختلف، نافلزات و سیالات پایه به ترتیب در شکل ۲۰، ۲۱ و ۲۲ در جدول ۸ آمده است.

$$\lambda = \alpha \cdot \rho \cdot c_p \quad (۱-۲)$$



شکل (۱-۲) فاکتورهای مؤثر بر خصوصیات ترموفیزیکی نانوسیالات

مطالعات تجربی و روشهای عددی متعددی نشان داده‌اند که هدایت گرمایی تابعی از دما، کسر حجمی،

خصوصیات مواد، سیال پایه، اندازه، شکل، پخش شدگی و pH است. حرکت براونی نانوذرات در سطح مولکولی و نانومقیاس مکانیسمی کلیدی در رفتار گرمایی سوسپانسیونهای سیال-نانوذرات است. سایر مکانیسمهای افزایش دهنده هدایت گرمایی در شکل ۲۳ آمده است. افزایش هدایت گرمایی نانوسیال در درجهی اول مربوط به همرفت موضعی ناشی از حرکت براونی نانوذرات است. وی و همکاران، هدایت گرمایی نانوسیال نمک مذاب را با نانوذرات MgO افزایش دادند.

کلانتری و همکاران نشان دادند که ضمن استفاده از سیترات به عنوان سورفکتانت و سیتریک اسید به عنوان عامل کاهنده، کاهش اندازه نانوذره و افزایش دما منجر به افزایش هدایت گرمایی می شود. هیهات و همکاران هدایت گرمایی سه نانوسیال آب پایه (GO, SiC, Ag) تحت تأثیر غلظت و دما را مقایسه کردند. آنها مشاهده کردند که اثر غلظت نانوذره و دما برای هر سه نانوسیال مورد مطالعه یکسان است. هدایت گرمایی یک نانوسیال با استفاده از معادله ۲ نیز قابل اندازه گیری است.

$$(\ln t_2/t_1) k = q/(4\pi(T_2-T_1)) \quad (2-2)$$

که q توان الکتریکی به ازای واحد، (T_2-T_1) اختلاف دمای سیم در لحظات t_1 و t_2 است.

۲-۴-۲- ویسکوزیته

ویسکوزیته ی نانوسیال یک خاصیت فیزیکی مهم است که اصطکاک بین سطح تماس و مولکولهای سیال را تحت تأثیر قرار می دهد و نقشی کلیدی در جریان سیال و انتقال حرارت دارد. اگرچه مقالات ویسکوزیته ی نانوسیال نسبت به مقالات هدایت گرمایی محدودتر است اما یافته ها و روش های این زمینه کاملاً متفاوت و قابل توجه است. این یک واقعیت عمومی است که نانوسیالات تا حد قابل ملاحظه ای ویسکوزیته ی بیشتری نسبت به مایعات پایه شان دارند و با افزایش غلظت نانوذره بیشتر هم می شود. فاکتورهای مختلف مؤثر بر ویسکوزیته ی نانوسیالات عبارتند از غلظت، روش تهیه و پخش، محدوده ی نرخ تنش و برش انتخاب شده، نوع سیال پایه، نرخ تجمع و آگلومراسیون، دما، خلوص، اندازه، شکل و نوع نانوذرات.

در یک مطالعه ی آزمایشگاهی مولدوینو و همکاران ویسکوزیته ی نانوسیالات Al_2O_3 /آب، SiO_2 /آب، و $Al_2O_3+SiO_2$ /آب را بررسی کردند. آنها اذعان داشتند که با افزایش دما، ویسکوزیته کاهش می یابد و همزمان نتیجه گرفتند که نانوسیالات مبتنی بر سیلیکا رفتار ضخیم شونده ی برشی دارند در حالی که نانوسیالات مبتنی بر آلومینا رفتار رقیق شونده ی برشی دارند. مهبوبول و همکاران اثر دما، روش تهیه

(مخلوط کردن مکانیکی، روش فیلتراسیون، پوشش پلیمر روی ذرات و غیره)، غلظت حجمی، اندازه و شکل ذرات را مطالعه کردند. بر اساس نتایجی که بدست آوردند ویسکوزیته با دما کاهش و با غلظت حجمی افزایش می یابد در حالی که اندازهی ذره تغییر قابل توجهی در ویسکوزیته ی نانوسیالات تهیه شده نمی دهد.

۲-۴-۳- دانسیته

یکی دیگر از ویژگی های مهم که در کارایی نانو سیال ها در کاربردهای انتقال حرارت نقش تعیین کننده دارد، دانسیته ی مؤثر است. نانو ذرات جامد دانسیته های بیشتری از مایعات پایه دارند. لذا وقتی نانو ذرات در سیالات پایه پخش می شوند دانسیته ی نانو سیال افزایش می یابد. عدد رینولدز و عدد پرندهتل اعداد بدون بعد مهمی در تعیین شرایط جریان (آرام یا آشفته) سیال هستند که به طور عمده به دانسیته وابسته اند و به محاسبه ی ضریب اصطکاک، افت فشار و کاهش پمپینگ ناشی از نانو سیال کمک می کنند.

شریف پور و همکاران تلاش کردند که اثر لایه ی حد واسط (نانو لایه) بر دانسیته ی مؤثر نانو سیالات $\text{SiO}_2/\text{آب}$ ، $\text{MgO}/\text{گلیسرول}$ ، $\text{CuO}/\text{گلیسرول}$ و SiO_x/EG آب را در دمای حداکثر ۴۰ درجه سانتی گراد و غلظت حجمی متغیر از ۱ تا ۶ درصد حجمی ارزیابی کنند آن ها برای محاسبه ی مؤثر دانسیته توصیه کردند که ضخامت نانو لایه لحاظ شود چراکه نسبت به اندازه ی ذرات بر خلاف نوع نانو ذرات و سیال پایه حساس تر هستند. شقل و همکاران اثر غلظت (۰.۱، ۰.۰۵، ۰.۰۲، ۰.۰۳، ۰.۰۴، ۰.۰۱) و ۱ و ۲ درصد جرمی) و دما (۳۰، ۴۰، ۶۰ درجه سانتی گراد) بر دانسیته نانو سیالات $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{آب}$ ، $\text{MWCNT}/\text{آب}$ ، $\text{CuO}/\text{آب}$ ، $\text{MgO}/\text{آب}$ ، $\text{TiO}_2/\text{آب}$ و $\text{ZnO}/\text{آب}$ را به صورت تجربی آنالیز کردند. آن ها فقط برای نانو سیال $\text{MWCNT}/\text{آب}$ از سورفکتانت SDS استفاده کردند و اعلام کردند که دانسیته نانو سیالات با افزایش غلظت زیاد و با افزایش دما کاهش می یابد. والی و همکاران برای مقایسه ی تفاوت دانسیته در دماهای پایین و بالا یک مطالعه ی تجربی انجام دادند، نتایج آنها نشان داد که در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد افزایش دانسیته ۰.۰۱۵ درصد بود و در ۶۰ درجه سانتی گراد سرعت افزایش به ۰.۰۰۲ درصد کاهش یافت. همچنین آنها مشاهده کردند که توان مورد نیاز با افزایش دانسیته سیال کاری شروع به افزایش می کند.

مطالعات تجربی و نظری محدودی در مورد دانسیته نانو سیال در دسترس است و انهایی هم که وجود دارد دانسیته ی نانو سیال را به صورت تابعی فقط از دما و حجم توضیح داده اند لذا باید کار پژوهشی بیشتری انجام شود تا دانسیته ی نانو سیالات را بتوان به صورت تابعی از اندازه ی ذره، لایه ی حد واسط و نانو مواد مختلف تحلیل نمود.

۲-۴-۴- ظرفیت گرمایی ویژه

ظرفیت گرمایی ویژه که عبارت است از مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای واحد جرم ماده به اندازه یک درجه نقشی مهم در تعیین سرعت انتقال حرارت در نانوسیالات ایفا می‌کند. اینکه ظرفیت گرمایی ویژه با دما افزایش می‌یابد و با دانسیته کاهش می‌یابد مشهورترین نتایجی است که از پژوهش‌های قبلی بدست آمده است. آلاد و همکاران یک مدل بهبودیافته برای پیش بینی ظرفیت حرارتی ویژه‌ی نانوسیال آلومینیم/EG توسعه دادند که دقتی در حدود ۹۹.۵٪ مقادیر اندازه گیری شده نشان داد. سانگ و همکاران با استفاده از ۴ نانوذره مختلف (Al_2O_3 , TiO_2 , CuO , SiO_2) مطالعات آزمایشگاهی انجام داده و میزان افزایش ظرفیت گرمایی ویژه کربنات سه تایی را بررسی کردند. داده‌های تجربی آنها تأیید می‌کند که نانوذره‌ی SiO_2 بهترین ذره برای افزایش ظرفیت حرارتی ویژه نانوسیالات کربناتی سه تایی است و گزارش کردند که ظرفیت حرارتی ویژه نانوسیال عمدتاً به نوع نانوذره و نانوساختار آن وابسته است. هو و همکاران ظرفیت گرمایی ویژه‌ی نانوسیال سیلیکای مبتنی بر نمک اوتکتیک را در غلظت جرمی ۰.۵ تا ۲٪ مطالعه کردند. نویسندگان دریافتند که افزایش ظرفیت گرمایی ویژه در غلظت پایینتر رخ می‌دهد (کمتر از ۱ wt٪) و در غلظت بالاتر (بیشتر از ۱ wt٪) شروع به کاهش می‌کند. سونگ و همکاران ظرفیت گرمایی ویژه‌ی نانوسیال نمک مذاب را در زمان اختلاط (۱۵، ۴۵، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه) و سرعت هم زدن (۶۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ دور بر دقیقه rpm) در ۱ wt٪ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد سرعت اختلاط ۷۵۰ rpm و زمان اختلاط ۱۵ min شرایط بهینه دستیابی به بیشترین افزایش ظرفیت حرارتی ویژه است.

همچنین مؤلفان گزارش کردند که انرژی سطح بالا و مساحت سطح ویژه‌ی وسیع نانوذرات عامل افزایش ظرفیت گرمایی ویژه است. زیلا و همکاران تأثیر دما بر ظرفیت گرمایی ویژه‌ی آلومینیم نیتريد/EG، سیلیکون نیتريد/EG و تیتانیوم نیتريد/EG را به صورت تجربی بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که غلظت نانوذرات بر ظرفیت گرمایی ویژه‌ی نانوسیالات مؤثر است اما اندازه‌ی ذره تغییر چشمگیری در سایر خواص ایجاد نمی‌کند. نهایتاً آنها نتیجه گرفتند که ظرفیت گرمایی ویژه‌ی نانوسیالات با دما افزایش می‌یابد.

۲-۵- ویژگی‌های هیدروترمال

برخی نانو سیالات وقتی تا دمای مشخصی گرم می‌شوند متحمل یک تغییر فاز می‌شوند و در چنین حالتی باید به ویژگی‌های هیدروترمال توجه کرد تا از ریسک گرم شدن بیش از حد و تخریب سیستم‌های گرمایی

جلوگیری شود. همچنین عملکرد یک سیستم گرمایی تا حد زیادی تحت تأثیر ویژگی‌های هیدروترمال آن یعنی کشش سطحی، ضریب اصطکاک، توان پمپی و سرعت جریان جرم بخصوص در فرآیند انتقال حرارت، جوشیدن و تراکم می‌باشد. براساس مطالعات تجربی توصیه شده در بالا مشخص است که محققان عمدتاً بر تأثیر نانو ذرات در خصوصیات ترموفیزیکی متمرکز شده‌اند و با تأثیر ویژگی‌های هیدروترمال نپرداخته‌اند.

۲-۵-۱- ضریب اصطکاک

این کمیت معیاری از نیروی مقاومت بین جریان نانو سیال و سطح داخلی لوله‌ی مبدل حرارتی است. که عمدتاً تحت تأثیر رفتار سطح، دما و ویسکوزیته سیالات می‌باشد. به منظور جلوگیری از پوشیده شدن و پاره شدن جریان نانو سیال در یک لوله باید به ضریب اصطکاک توجه نمود، در حال حاضر پژوهشگران بر آنالیز عملکرد تریبلوژیک نانو سیالات متمرکز شده‌اند تا زبری سطح را افزایش و تنش برشی را کاهش دهند و به این صورت خصوصیات انتقال حرارت را تقویت کنند. نبیل و همکاران اثرات دما و غلظت حجمی را بر ضریب اصطکاک نانو سیالات $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ تحت جریان آشفته در یک لوله‌ی مدور را بررسی کردند.

آن‌ها مشاهده کردند که ضریب اصطکاک نانو سیال تهیه شده با غلظت حجمی کم نسبت به سیال پایه افزایش می‌یابد و یافته‌های آن‌ها با مدل بلازیوس تطابق خوبی دارد. ساندرا و همکاران یک لوله‌ی در حضور و عدم حضور نوارهای طولی ساخته و تست کردند تا اثر نانو سیال هیبریدی نانو الماس- نیکل با اعداد رینولدز متفاوت (۳۰۰۰ تا ۲۲۰۰۰) و غلظت حجمی مختلف (۰.۱ درصد تا ۰.۳ درصد) بر ضریب اصطکاک و انتقال حرارت را ارزیابی کنند. با یک لوله‌ی ساده افت ضریب اصطکاک ۱.۲۰۶ و ۱.۲۴۸ برابر بیشتر از لوله‌ای که نوار طولی بر روی آن کشیده شده بود، به دست آمد. کومار و همکاران برای ارزیابی اثر ویسکوزیته، غلظت و عدد رینولدز در یک مبدل حرارتی دو لوله‌ای از نانو سیالات Fe_3O_4 / آب استفاده کردند.

نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب اصطکاک با غلظت حجمی، ویسکوزیته و عدد رینولدز افزایش یافته است. در یک لوله‌ی مسطح، عبد الباقی و همکاران ضریب اصطکاک نانو سیال TiO_2 / بئو گلیکول-آب تحت جریان آشفته با غلظت حجمی ۰.۵ تا ۲ درصد را ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که غلظت حجمی بالا ضریب اصطکاک را افزایش داده است.

۲-۵-۲- افت فشار

اصطکاک سیال منجر به افت فشار جریان در داخل لوله‌ها و کانال‌ها می‌شود. این افت فشار معمولاً به ضریب اصطکاک مربوط می‌شود که برای محاسبه‌ی افت فشار با استفاده از مقادیر تجربی یا معادله‌ی مومنتم ضروری است. امبرین و همکاران آخرین کارها در محاسبه‌ی افت فشار در مبدل‌های حرارتی، لوله‌های صاف، لوله‌های دارای زائده و سینک‌های گرمایی مرور کردند. جیانگ و همکاران یک سیستم حلقوی بسته را طراحی و ساختند که تحت جریان آرام کار می‌کرد تا کارایی آن وقتی نانوسیال هیبریدی (MWCNT-گرافن/روغن دیزل) به عنوان خنک کننده استفاده می‌شد ارزیابی شود.

در یک مطالعه‌ی دیگر طاهران و همکاران اثر چرخش بر افت فشار نانو سیال غیر نیوتنی نقره/روغن زیستی را بررسی کردند. نویسندگان اثبات کردند که علی‌رغم عدد رینولدز و غلظت سیال در یک لوله‌ی گرما، اصطکاک به مولد چرخش وابسته بود تا افت فشار مینیمم شود. واضح است که سیالات کاری معمول مانند آب ویسکوزیته‌ی کمتری نسبت به نانو سیالات دارند که منجر به افت فشار بیشتر می‌شود. افت فشار را می‌توان با استفاده از معادله‌ی ۳ محاسبه کرد.

$$u_m^2 \rho (1/2 \Delta P = f L/D) \quad \text{معادله ۲} \quad (۳-۲)$$

۲-۵-۳- توان پمپینگ

نانو سیال می‌تواند با توان پمپینگ مطلوب سرعت انتقال حرارت را افزایش دهد که به پمپینگ سیال در یک سیستم گرمایی کمک می‌کند. بیشترین توان پمپینگ ثابت بر اساس دما نیز راهی برای آنالیز عملکرد دستگاه حرارتی است. بر اساس مقالات روشن است که با کاهش دما، توان پمپینگ به دلیل سرعت و ضریب انتقال حرارت بالا، زیاد می‌شود. برای داشتن توان پمپینگ ثابت باید شدت جریان سیال در ضریب انتقال حرارت و سرعت کمتر، حفظ شود. روت برت و همکاران توان پمپینگ نانو سیالات مبتنی بر آلومینا و SiC را در یک سیستم حرارتی شامل لوله‌های زانویی، مستقیم و انبساطی مقایسه کردند. آن‌ها پیشنهاد کردند که نانو سیالات با ویسکوزیته‌ی بالا به صورت مایعات خالص در نظر گرفته شود تا نسبت توان پمپینگ مؤثر بدست آید. از آنجا که نانو سیال ویسکوزیته‌ی بیشتری دارد سیستم به توان پمپینگ بیشتری نیاز دارد.

در همین زمان توان پمپ کننده وقتی غلظت نانو ذره افزایش می‌یابد به شدت زیاد می‌شود. برای یک لوله‌ی موج دار مستطیلی صالحین و همکاران دریافتند که نانو سیالات با غلظت کمتر توان پمپینگ کمتری برای نانو سیال

CuO/ آب نیاز دارند و همچنین به این نتیجه رسیدند که شکل موج دار به توان پمپینگ بیشتری نسبت به لوله‌ی با شکل مدور نیاز دارد. قراسیم و همکاران از نانو سیال Al_2O_3 /آب به عنوان یک خنک کننده در ابزار خنک کننده‌ی پاشش جت، تحت شرایط جریان آرام و پایدار به روش یک فاز منفرد استفاده کردند. افزایش انتقال حرارت در ابزارهای ترموالکتریک بهبود یافته با نانو سیال در چند سال گذشته کار گذاشتن ماجول های ترموالکتریک بهبود یافته با نانو سیال به دلیل هزینه‌ی انرژی کم، سر هم بندی ساده، حجم کم، سبک وزنی، نداشتن نویز و سهولت کاربری بدون نیاز به مهارت خاص، رشد یافته است. خنک کننده‌ی ترمو الکتریک بر اساس اصل اثر پلتیر کار می‌کند که در آن نیمه هادی‌های نوع n و نوع p به کار می‌روند تا گرما را از نقطه‌ی داغ به سمت خنک ماجول ترموالکتریک پمپ کنند. جدیدترین مطالعه‌ی مروری در مورد کاربرد خنک کننده‌ی ترموالکتریک در ابزارهای الکتریکی توسط کای و همکاران با نگاهی خاص به پارامترهای عملکردی آن انجام شده است.

مطالعات متعددی در مورد کاربرد نانو سیالات به دلیل ظرفیت بالای آنها در تقویت سرعت انتقال حرارت یک سیستم انجام شده است. ساجید و همکاران یک بررسی جامع در مورد کاربرد نانوسیالات در سیستم‌های انتقال حرارت مختلف مانند سینک گرما، رادیاتور و مبدلهای حرارتی ارائه دادند در حالی که هومونیک و همکاران قابلیت سرعت انتقال حرارت نانوسیالات ترکیبی را در مبدلهای حرارتی مختلف مورد بررسی قرار دادند. تاکنون هیچ مروری در مورد کاربرد نانوسیالات در ابزارهای ترموالکتریک ارائه نشده زیرا فقط تعداد کمی پژوهش به این زمینه پرداخته است.

جدول (۱-۲) جدول (۱-۲) مشاهدات مشترک در مطالعات نانوسیالات

ویژگی	نتایج
هدایت گرمایی	هدایت گرمایی نانوسیال با چگالی و دمای بیشتر، زیاد می‌شود با کوچک شدن اندازه ذره، هدایت گرمایی نانوذرات زیاد می‌شود. هدایت گرمایی نانوسیال اساساً تحت تأثیر تکنیک آماده سازی و پایداری پخش قرار دارد هدایت گرمایی بیشتر به حرکت براونی، لایه‌ای شدن مایع و تجمع نانوذرات مربوط می‌شود. افزودن سورفکتانت‌ها هدایت گرمایی و ویسکوزیته را تا رسیدن به یک غلظت بهینه افزایش می‌دهد و سپس کاهش می‌یابد. هدایت گرمایی با افزایش pH کاهش می‌یابد
ظرفیت گرمایی ویژه	دما به تغییر قابل توجه ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیالات ارتباط ندارد ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیال با افزایش غلظت، کاهش می‌یابد ظرفیت گرمایی ویژه سیال پایه همیشه بیش از نانوسیال تهیه شده است
ویسکوزیته	با افزایش دما، ویسکوزیته نانوسیال کم می‌شود زیرا فاصله بین مولکولی زیاد می‌شود افزایش غلظت نانوذره، ویسکوزیته نانوسیال را زیاد می‌کند افزایش اندازه ذره ویسکوزیته نانوسیال را کم می‌کند
چگالی	افزایش غلظت نانوذره، چگالی نانوسیال را زیاد می‌کند چگالی نانوسیال با افزایش دما کاهش می‌یابد چگالی سیال پایه همواره کمتر از چگالی نانوسیال تهیه شده است

اخیراً کاربردهای مولیبدن دو بعدی که دسته‌ی جدیدی از نانومواد Mxene هستند ماهیت نیمه هادی قابل توجهی نشان داده‌اند که برای تبدیل انرژی در دستگاه‌های ترموالکتریک مناسب است. سعید و همکاران با کاربرد نانوسیالات CuO_2 / آب با غلظت جرمی ۰.۰۸٪ در کانال تراکم ماجولهای خنک کننده ترموالکتریک (TEC) یک دستگاه تقطیر خورشیدی، سرعت تولید آب مقطر را تا ۴۳٪ افزایش دادند. آن‌ها همچنین گزارش دادند که به دلیل اختلاف دمای بالاتر ناشی از TEC، تراکم بیشتری رخ داده که برای تقویت نمک زدایی مطلوب است. در یک مطالعه مشابه، نظری و همکاران در یک TEC دارای نانوسیال CuO /آب در دستگاه تقطیر بهبود یافته خورشیدی، حداکثر اختلاف دما، راندمان تولید آب شیرین، انرژی و انرژی را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند.

نویسندگان نشان دادند TEC نانوسیالی، راندمان انرژی و انرژی دستگاه تقطیر خورشیدی را نسبت به TEC آب، ۱۱۲٪ و ۸۰٪ افزایش داده است. این یک واقعیت شناخته شده است که راندمان پنل خورشیدی تا حد زیادی تحت تأثیر گرم شدن بیش از حد است. به منظور غلبه بر این چالش سیستم‌های فتوولتائیک/ترموالکتریک (PV/TE) با روشهای مختلف خنک کردن به کار گرفته شده است. ساجید و همکاران برای به دست آوردن یک سیستم PV/TE بسیار کارآمد از پنج روش مختلف خنک سازی استفاده کرد. نویسندگان نشان دادند که سیستم فتوولتائیک ترموالکتریک نانوسیال (SiO_2 /آب) نسبت به سایر روش‌های معمول (خنک کردن اجباری هوا، خنک کردن طبیعی، خنک کردن با آب) حداکثر ۳.۳۵٪ راندمان بیشتری دارد. نانا و همکاران ظرفیت خنک کنندگی ماجول ترموالکتریک (TEM) در مبدل حرارتی با لوله‌ی ۰.۱۸ سانتی متری (قطر داخلی) را با استفاده از نانوسیال Al_2O_3 /آب افزایش دادند. نویسندگان مشاهده کردند که اختلاف دما در TEM مبتنی بر نانوسیالات صفر است که از اثر فوریه جلوگیری می‌کند و منجر به افزایش ظرفیت خنک کنندگی می‌شود در حالی که TEM مبتنی بر آب منجر به اختلاف دمای بیشتر می‌شود و ظرفیت خنک کردن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. احمد و همکاران راندمان TEC بیسموت تلورید را در یک مبدل حرارتی مینی کانال با استفاده از نانوسیال Al_2O_3 /آب (با غلظت حجمی ۰.۱ و ۰.۲٪) آنالیز کردند. نویسندگان در TEM مورد آزمایش، ۴۰٪ افزایش COP و ۹.۱۵٪ کاهش اختلاف دما را مشاهده کردند. محمدیان و همکاران تأثیر نانوسیالات Al_2O_3 /آب را در یک مبدل حرارتی باله میکرو بین سمت گرم و سرد ماجول حرارتی بررسی کردند (۲۵۸). نویسندگان نتیجه گرفتند که حتی در عدد رینولدز کوچک، افزودن غلظت کمی از نانوذرات منجر به افزایش قابل توجه COP و کاهش تولید آنتروپی شده است. احمد و همکاران کاربرد نانوسیال ترکیبی گرافن-آلومینا/آب و نانوسیال گرافن/آب را در خنک کننده‌ی ترموالکتریک با مبدل حرارتی مینی کانال مطالعه کردند. نویسندگان گزارش کردند که با نانوسیال هیبریدی،

COP و ظرفیت خنک کنندگی ماحول ترموالکتریک به ۱۸٪ و ۳۱٪ ارتقاء یافت در حالی که نانوسیال گرافن/آب منجر به افزایش حداکثر ۷۲٪ شد.

همچنین مشاهده کردند افت فشار در نانوسیال آب/گرافن افت بیشتری نسبت به نانوسیال هیبریدی دارد و پیشنهاد کردند نانوسیال آب/گرافن از نانوسیال هیبریدی برای خنک کردن ابزار الکترونیک بهتر است. شکل ۲۶ ستاپ شماتیک مبدل حرارتی ترموالکتریک نانوسیال را نشان می‌دهد.

کارانا و همکاران یک پژوهش نظری در خصوص امکان پذیری کاربرد نانوذرات MgO و ZnO پراکنده شده در سیال آب-گلیکول اتیلن در سیستم خودکار بازیافت گرمای اتلافی جفت شده با مولدهای ترموالکتریک انجام دادند. نانوسیال بکار رفته توان خروجی و راندمان تبدیل عالی نشان داد که ۱۱.۳۸٪ و ۱۰.۹۵٪ بیشتر از سیال پایه‌ی معمول بود. دوآن و همکاران اثر نانوسیال آب دیونیزه/CNT-Al₂O₃ بر ویژگی نرخ انتقال حرارت یخچال ترموالکتریک را به طور تجربی بررسی کردند. آن‌ها عملکرد خنک کنندگی TEC را با آب دیونیزه و نانوسیال به طور مجزا ارزیابی کردند و نشان دادند TEC نانوسیالی منجر به چگلی گرمایی بیشتری (۵۵٪) نسبت به آب دیونیزه می‌شود. مطالعه‌ی فوق مزایای متعدد کاربرد نانوسیالات در تجهیزات ترموالکتریکی در مقایسه با تجهیزات انتقال حرارت معمولی مانند سینک‌های گرمایی با خنک کننده‌های معمولی را نشان می‌دهد. چرا که می‌تواند از پخش شدن گرما به محیط کاسته و تأثیر را افزایش دهد.

فصل ۳:

روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی و تهیه نانو سیال از نانوذرات اکسیدی پرداخته و خواص حرارتی و سیالاتی نانوذرات درون سیستم‌های گرمایش را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. محدودیت‌های خواص ترموفیزیکی، به ویژه هدایت حرارتی سیالات و شرایط برای برطرف کردن سرمایه‌ش مورد نیاز به منظور توسعه فن آوری برای کوچک سازی سیستم‌های الکترونیکی، الکتریکی و حرارتی، زمینه‌ای برای توسعه نانوسیالات با انتقال حرارت زیاد هستند. با توجه به این دیدگاه، چوی (۱۹۹۵) در آزمایشگاه ملی آرگون ایالات متحده به طور آزمایشگاهی نانوسیالاتی را با پراکنش ذرات نانو مقیاس، در محدوده ۱۰۰-۱ نانومتر، به سیالات پایه مرسوم توسعه داده است. چوی و ایستمن نشان دادند که پراکنش نانوذرات جامد باعث بهبود هدایت حرارتی و ویسکوزیته نسبت به سیالات پایه می‌شود. کارهای پژوهشی بسیاری در زمینه نانوسیالات انجام گرفته است که بسیاری از محققان مدل‌های ریاضی و آزمایشگاهی را برای پیش بینی خواص ترموفیزیکی توسعه دادند. به طور کلی سه تفاوت بین نتایج ریاضی و آزمایشگاهی خواص ترموفیزیکی نانوسیالات وجود دارد. هدایت حرارتی و ویسکوزیته نقش اصلی کاربردهای انتقال حرارت را ایفا می‌کند. کارهایی که در زمینه نانوسیالات صورت پذیرفت، تحلیل و بررسی را به صورت‌های آزمایشگاهی، ریاضی و محاسباتی انجام دادند. طریقه آماده‌سازی این نانوسیالات و نحوه آمیزش با سیال مورد نظر که در اینجا آب است، ذکر می‌گردد و میتوانیم نحوه تاثیر گذاشتن آن بر میزان انتقال حرارت را با بررسی و تفسیر ضرایب انتقال حرارت نمایان نماییم. جهت بررسی نانوسیال مورد استفاده از دستگاهی استفاده کرده ایم که در ادامه به طور کامل شرح داده شده است.

۳-۲- آماده‌سازی نانوسیال مورد استفاده

آماده‌سازی نانوسیالات اولین قدم در افزایش انتقال حرارت نانوسیالات محسوب می‌شود. دو روش متداول برای تولید نانوسیالات عبارتند از: روش تک مرحله‌ای و روش دو مرحله‌ای. در روش دو مرحله‌ای نانوپودر تهیه شده به روش آلتراسونیک در سیال پایه پایدار می‌شود. در این پژوهش از روش دو مرحله‌ای برای تهیه نانوسیال استفاده شده است، بدین ترتیب که نانوپودر آلومینا به اندازه متوسط ۱۵ نانومتر توسط شرکت تکنان اسپانیا آماده شده، توسط دستگاه آلتراسونیک با قدرت ۲۰۰ وات و ۳۰ کیلو هرتز در سیال پایه (آب مقطر) به مدت ۳ ساعت پایدار میشود. نانوسیال آماده شده، حداقل به مدت ۴۸

ساعت بدون هیچ ته‌نشینی، تغییر رنگ و بصورت کاملاً یک‌رنگ پایدار می‌ماند. باید توجه داشت که برای جلوگیری از تغییر خواص حرارتی نانوسیال، هیچگونه ماده اضافی یا پایدار کننده به سیال اضافه نشده است. نانوسیال در درصد حجمی ۰/۱ آماده و مورد استفاده قرار گرفته است. سه پارامتر اصلی در محاسبه سرعت انتقال حرارت نانوسیالات، شامل ویسکوزیته، هدایت حرارتی و ظرفیت گرمایی، ممکن است با پارامترهای مربوط به سیال پایه متفاوت باشند.

تولید نانوسیال نخستین گام برای بررسی خصوصیات تهیه و حرارتی نانوسیالات می‌باشد. ابعاد ذرات مورد استفاده ۴۰ نانومتر می‌باشد که داخل آب پراکنده شده‌اند. به منظور عدم تغییر خواص سیستم از هیچ عامل پایدارساز فقط از سیستم همزن یا پراکنده‌سازی استفاده نشده و آلتراسونیک به‌منظور پراکنده‌سازی مناسب ذرات در داخل مایع استفاده شده است.

جهت آماده‌سازی نانوسیال، لازم است تا سیال پایه که آب می‌باشد با نانوکربن نانوذرات بکاررفته که در اختیار ما می‌باشد، ترکیب گردد و در معرض صوت قرار گیرد. نانو سیال باید بصورت همگن و پایدار بوده و بصورت خوب پخش شده باشد، که جهت فراهم آوردن این شرایط راه های گوناگونی انجام می‌پذیرد. یکی از این فرایندها افزودن مقدار کمی سدیم دو دسیل بنزن سولفونات به سوسپانسیون است. سپس به کمک یک همزن برقی کاملاً همزده میشود که موجب پایدار شدن نانو سیال میگردد.

برای مشخص شدن سایز ذرات از دستگاه میکروسکوپ الکترونی با ولتاژ ۳۰ استفاده قطر متوسط نانو ذرات سنتز شده در حدود تقریبی ۲۰ نانومتر می باشد.

۳-۳- دستگاه انجام آزمایشات

در این مقاله انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری سیال عامل (آب و نانوسیال آب - آلومینا ۰/۱ درصد حجمی) درون لوله خمیده گذرنده از مخزن مکعب مستطیل شکل با شرط مرزی دما ثابت مورد بررسی قرار گرفته است. بدنه مخزن از جنس تفلون نرم با طول ۳۵ سانتیمتر، عرض ۲۲ سانتیمتر، ارتفاع ۲۵ سانتیمتر و ضخامت ۱ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. همچنین سه لوله خمیده با نسبت انحناهای ۰/۴۲، ۰/۷۴، و ۰/۱۱۶ و مساحت سطح خارجی برابر برای آزمایش به کار گرفته شده است. تصویر شماتیک سیستم مورد آزمایش در شکل (۱-۳) آورده شده است.

در طول آزمایش نیاز است که دمای توده نانو سیال و همچنین افت فشار حاکم در آن مشخص و معین باشد. برای حصول این امر یک عدد ترموکوپل برای اندازه گیری دمای نانوسیال قرار گرفته است. ترموکوپل

ها در جداره داخلی لوله و به فاصله معینی از هم قرار داده می شوند. همچنین تعداد مشخصی هم در اطراف محیط لوله استقرار می یابند و به کمک دو ترموکوپل نیز دمای آب ورودی و خروجی به لوله نیز هویدا می گردد. ترموکوپل مورد استفاده از نوع T است.

مخازن مورد استفاده بعنوان ذخیره آب داغ و نانو سیال از جنس فولاد ضدزنگ ساخته می شود و مورد استفاده قرار میگیرد که جهت ثابت نگه داشتن دمای نانو سیال، از مخزن خنک کننده که مجهز به المنت های برقی می باشد استفاده میشود. سرعت جریان نانو سیال با تنظیم سرعت چرخش پمپ دندهای مغناطیسی قابل تنظیم است. سرعت جریان آب داغ را با روتامتر (جریان سنج) اندازه میگیرند در حالیکه سرعت جریان نانو سیال را از طریق زمانی که طول میکشد تا حجمی مشخص از نانو سیال خالی (تخلیه) شود محاسبه میکنند.

تمامی ترموکوپل ها کالیبراسیون می گردند و مدرج می شوند. همچنین سرعت جریان نانو سیال را با استفاده از تعادل الکترونیکی محاسبه میکنند.

در حین انجام آزمایش دمای ورودی و خروجی آب داغ و نانو سیالات، دمای دیواره لوله آزمایش، سرعت جریان کل آب داغ و نانو سیال و اختلاف فشار در نانو سیال اندازه گیری خواهد شد.

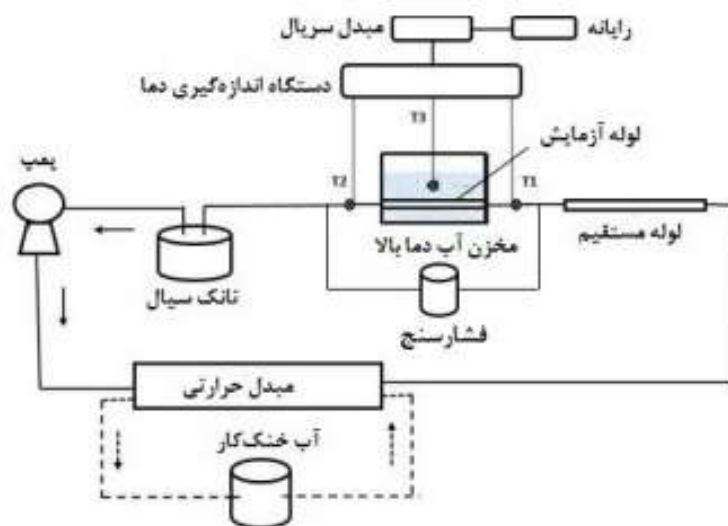
برای شروع آزمایش در هر مرحله میبایست ابتدا نرخ جریان سیال تعیین شود تا سرعت جریان و به دنبال آن عدد رینولدز مشخص شود. درگام اول و قبل از شروع به آزمایش باید المنت حرارتی را روشن کرد تا زمانی که دمای مخزن آب که لوله آزمایش بطور کامل داخل آن قرار گرفته، روی ۹۲ درجه سانتیگراد با دقت ± 0.5 در حالت جوشش قرار گرفته و ثابت شود. برای اطمینان از تثبیت دمای مخزن، از چند سنسور دما در نزدیک جداره و نقاط مختلف داخل مخزن آب استفاده شد (برای حالت دما ثابت). گام دوم ریختن سیال عامل در تانک سیال و روشن کردن پمپ است تا جریان ثانویه سیال در خط لوله برقرار گردد. سپس این سیال عامل به سمت مبدل حرارتی هدایت می شود. مبدل حرارتی از نوع پوسته لوله‌ای است که توسط آب شهر و یخ (مخلوط آب و یخ) فرآیند تثبیت دمای ورودی را بر روی ۱۸ درجه سانتیگراد با دقت ± 0.5 انجام میدهد. در هر شدت جریانی ۱۰ الی ۲۰ دقیقه به سیستم اجازه کار داده میشود تا سیستم به حالت پایا برسد، به طوری که همواره سیال با یک دما وارد بخش آزمایش گردد.

با رسیدن سیستم به حالت پایا در هر لحظه دمای سنسور مخزن، دمای سنسور ورودی و خروجی لوله آزمایش متوسط گرفته می شود. با در دست داشتن اطلاعات فوق میتوان ضریب انتقال حرارت جابه جایی و عدد ناسلت این جریان سیال را مشخص کرد. دستگاه سنجش افت فشار نیز در هر دبی تغییرات فشار را روی نمایشگر نشان میدهد.

نتایج هر آزمایش پس از رسیدن به حالت پایا ثبت شده و برای افزایش دقت هرتست حداقل سه مرتبه انجام

و نتایج به دست آمده بصورت بازه اطمینان بادقت ۹۷ درصد آماری نمایش داده میشود. مخازن مورد استفاده بعنوان ذخیره آب داغ و نانو سیال از جنس فولاد ضدزنگ ساخته می شود و مورد استفاده قرار میگیرد که جهت ثابت نگه داشتن دمای نانو سیال، از مخزن خنک کننده که مجهز به المنت های برقی می باشد استفاده میشود. سرعت جریان نانو سیال با تنظیم سرعت چرخش پمپ دندهای مغناطیسی قابل تنظیم است. سرعت جریان آب داغ را با روتامتر (جریان سنج) اندازه میگیرند در حالیکه سرعت جریان نانو سیال را از طریق زمانی که طول میکشد تا حجمی مشخص از نانو سیال خالی (تخلیه) شود محاسبه میکنند.

تمامی ترموکوپل ها کالیبراسیون می گردند و مدرج می شوند. همچنین سرعت جریان نانو سیال را با استفاده از تعادل الکترونیکی محاسبه میکنند. در حین انجام آزمایش دمای ورودی و خروجی آب داغ و نانو سیالات، دمای دیواره لوله آزمایش، سرعت جریان کل آب داغ و نانو سیال و اختلاف فشار در نانو سیال اندازه گیری خواهد شد.



شکل (۳-۱) طرحواره سیستم آزمایشگاهی

۳-۴- تحلیل داده ها

در این پژوهش نانوذرات با غلظت حجمی بین 0.2% Wt تا ۱ در داخل آب پراکنده می شوند. در طول آزمایش نانو سیال گرما را از آب گرم جذب کرده است. نرخ انتقال حرارت از سیال گرمایش از طریق معادله (۳-۱) قابل محاسبه می باشد:

$$Q_1 = \dot{m}_1 C_{p1} (T_{out} - T_{in})_1 \quad (1-3)$$

همانطور که گفته شد، نانوسیال در ارتباط با سیال گرم مقداری حرارت را جذب خود می کند، بنابراین نرخ انتقال گرما به نانوسیال خنک کننده از رابطه (۳-۲) قابل محاسبه است:

$$Q_2 = \dot{m}_2 C_{p,2} (T_{out} - T_{in})_2 \quad (2-3)$$

در معادله های بالا Q_2 نرخ انتقال حرارت از نانو سیال و \dot{m}_2 نرخ جریان جرمی نانوسیال می باشد. در این مطالعه مشخص شد که گرمای تأمین شده توسط آب گرم ۱٪ بیشتر از گرمای دریافتی است. این انحراف را می توان با گرمای همرفت و تابش در امتداد بخش آزمایش تفسیر کرد. متوسط نرخ انتقال حرارت از رابطه (۳-۳) بدست می آید:

$$Q_{ave} = \frac{Q_w + Q_{nf}}{2} \quad (3-3)$$

مقدار متوسط ضریب انتقال حرارت آزمایشی و میانگین تعداد ناسلت از نانوسیال از طریق معادله (۴-۳) و (۳-۵) ارزیابی می شود:

$$h_{nf} = \frac{q_{ave}}{\bar{T}_{wall} - T_{b,nf}} \quad (4-3)$$

$$Nu_{nf} = \frac{h_{nf} D_h}{K_{nf}} \quad (5-3)$$

D_h قطر هیدرولیکی کانال می باشد. \bar{T}_{wall} میانگین دمای سطح دیواره است که توسط ۱۰ ایستگاه بین ورودی و خروجی لوله آزمایش قرار می گیرد و از طریق معادله (۳-۶) قابل دستیابی است:

$$\bar{T}_{wall} = \sum \frac{T_{wall}}{10} \quad (6-3)$$

در آن T_{wall} درجه حرارت دیواره محلی است. $T_{b,nf}$ دمای میانگین توده نانوسیال می باشد و از طریق معادله (۳-۷) قابل محاسبه است.

$$T_{b,nf} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (۷-۳)$$

رژیم جریان را می توان از شماره رینولدز بر اساس میزان جریان ورودی لوله آزمایش تعریف کرد. برای ماده کاملاً چسبناک غیر نیوتنی ، عدد رینولدز به کمک معادله (۳-۸) تعریف می شود:

$$Re_{nf} = \frac{\rho_{nf} u_{nf} d}{\mu_{nf}} \quad (۸-۳)$$

که v_{nf} سرعت میانگین نانوسیال و d_i قطر لوله است. ضریب اصطکاک را می توان از معادله (۳-۹) محاسبه کرد:

$$f_{nf} = \frac{\Delta P_{nf}}{\left(\frac{L}{d_i} \right) \rho_{nf} (v_{nf}^2 / 2)} \quad (۹-۳)$$

که f_{nf} ضریب اصطکاک نانوسیال، ΔP_{nf} افت فشار اندازه گیری شده نانوسیال و L طول لوله می باشد. عدد پرانتل و عدد پکلت نانوسیال، به ترتیب از معادله های (۳-۱۰) و (۳-۱۱) حاصل می شوند.

$$Pr_{nf} = \frac{\mu_{nf} C_{p_{np}}}{k_{nf}} \quad (۱۰-۳)$$

$$Pe_{nf} = \frac{v_{nf} d_p}{\alpha_{nf}} \quad (۱۱-۳)$$

که d_p قطر نانو سیال و α_{nf} نفوذ حرارتی نانوسیال می باشد. تلفات اکسرژی از دو نوع مختلف مایعات فعال در زیر حاصل می شود. اتلاف گرما به محیط زیست قابل اغماض است. اتلاف اکسرژی حالت steady state یک سیستم باز از رابطه (۳-۱۲) به دست می آید:

$$E = E_c + E_h \quad (۱۲-۳)$$

تغییرات اکسرژی برای مایعات گرم (به عنوان مثال آب) و مایعات سرد (به عنوان مثال نانوسیالات) بدست

آمده در معادله (۳-۱۳) آورده شده است:

$$E = T_0 [(\dot{m}cp)_1 \ln \frac{T_1^0}{T_1^i} + (\dot{m}cp)_2 \ln \frac{T_2^0}{T_2^i} \dot{m}_1 \frac{\Delta P_1}{\rho} \frac{\ln(T_1^o / T_1^i)}{T_1^o - T_1^i} + \dot{m}_1 \frac{\Delta P_2}{\rho} \frac{\ln(T_2^o / T_2^i)}{T_2^o - T_2^i}] \quad (۳-۱۳)$$

اثر بخشی انتقال حرارت اکسرژیک از معادله (۳-۱۴) حاصل می گردد:

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_c C_{p,c} \ln \frac{T_c^{out}}{T_c^{in}}}{\dot{m}_h C_{p,h} \ln \frac{T_h^{out}}{T_h^{in}} + \dot{m}_c \frac{\Delta P_c}{\rho_c} \frac{\ln \frac{T_c^{out}}{T_c^{in}}}{T_c^{out} - T_c^{in}} + \dot{m}_h \frac{\Delta P_h}{\rho_h} \frac{\ln \frac{T_h^{out}}{T_h^{in}}}{T_h^{out} - T_h^{in}}} \quad (۳-۱۴)$$

۳-۵- آنالیزور دستگاه ضریب هدایت حرارتی سنج و ویسکومتر

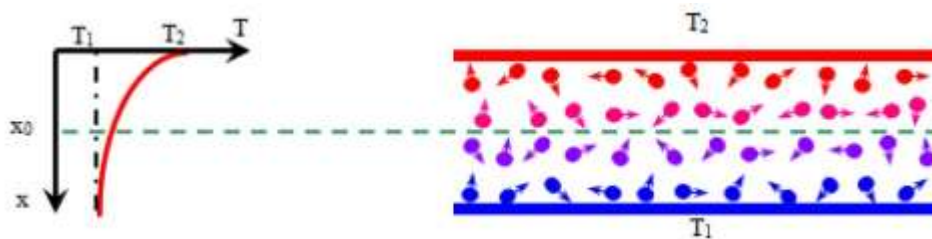
از دیدگاه ترمودینامیک، انتقال حرارت به عنوان فرآیندی دیده می شود که در آن، سیستم از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگری می رود. ترمودینامیک در مورد این که زمان این فرآیند چقدر طول می کشد، بحثی نمی کند. در حقیقت مبحث انتقال حرارت است که سرعت انتقال گرما را مورد توجه قرار می دهد. هدایت حرارتی و ویسکوزیته، دو ویژگی مهم هستند که در مطالعه نانوسیالات ترکیبی در نظر گرفته می شوند. ایجاد نانوسیالات ترکیبی پایدار در طولانی مدت دارای هدایت حرارتی بالا و ویسکوزیته پایین، یک حوزه تحقیقاتی است که در چند سال گذشته (۲۰۰۷ - تاکنون) و بویژه در سه سال گذشته (۲۰۱۵-۲۰۱۷) مورد مطالعه قرار گرفته است.

۳-۵-۱- هدایت حرارتی

هنگامی که در جسمی گرادیان دمایی وجود داشته باشد، انتقال انرژی از ناحیه دارای دمای بالا به ناحیه دارای دمای پایین تر صورت می گیرد. انتقال حرارت توسط سه مکانیزم هدایت (conduction)، جابجایی (convection) و تشعشع (radiation) صورت می گیرد. انتقال حرارت به شیوه هدایت توسط مولکول های سازنده جسم صورت می گیرد. دمای هر نقطه به انرژی مولکول های گاز در همسایگی آن نقطه وابسته است. در صورت وجود گرادیان دما انتقال انرژی توسط هدایت در جهت کاهش دما صورت می گیرد. در مایعات نیز

وضعیت تقریباً مشابهی اتفاق می‌افتد با این تفاوت که فاصله مولکول‌ها نزدیک‌تر بوده، فعل و انفعالات مولکولی قوی‌تر می‌باشد. دستگاه حاضر با انتخاب شکاف و روزه‌ای بسیار کوچک بین دو المان، انتقال گرمای ناشی از همرفت قابل چشم پوشی می‌باشد. همچنین بدلیل دماهای پایین و سطوح پالایش شده، سهم انتقال گرما از طریق تشعشع نیز بسیار ناچیز است.

این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی سیالات را دارا می‌باشد. دستگاه شامل سه لایه استوانه‌ای شکل است. در درونی ترین لایه هیتر و در بیرونی ترین لایه آب شهر جریان دارد. در لایه میانی سیال مورد نظر محبوس می‌گردد. در صورت وجود گرادیان دما (وجود گرادیان انرژی مولکولی) انتقال انرژی توسط هدایت در جهت کاهش دما صورت می‌گیرد. این انتقال در شکل (۲-۳) قابل مشاهده است.



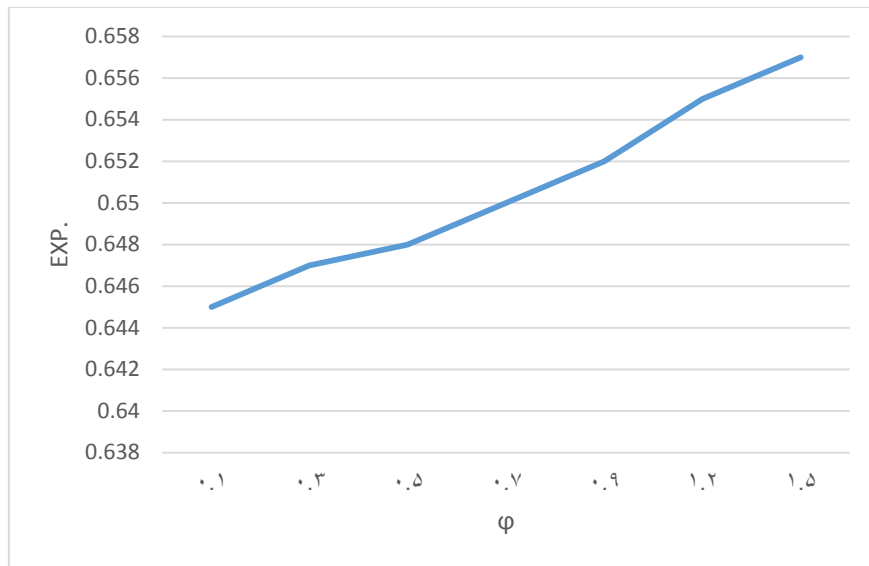
شکل (۲-۳) گرادیان دما در گازها

در مایعات نیز وضعیت تقریباً مشابهی صورت می‌گیرد با این تفاوت که فاصله مولکول‌ها نزدیک‌تر بوده و فعل و انفعالات مولکولی قوی‌تر و شدیدتر می‌شود.

ضریب هدایت گرمایی با غلظت نانو سیال را تغییر می‌نماید. همانطور که از نتایج مشخص است افزایش غلظت نانو ذرات سبب افزایش ضریب هدایت گرمایی می‌گردد. داده‌های آزمایشگاهی و میزان غلظت ما در جدول (۱-۳) زیر آورده شده است:

جدول (۱-۳) نتایج آزمایشگاهی تغییرات ضریب هدایت گرمایی به تأثیر غلظت

EXP.	0.645	0.647	0.648	0.650	0.652	0.655	0.657
ϕ	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5



شکل (۳-۳) تغییرات ضریب هدایت گرمایی با غلظت

همانطور که از نمودار مشخص است با افزایش غلظت از ۰.۱ به ۱.۵ میزان ضریب انتقال حرارت نانوسیال ما از ۰.۶۴۵ به ۰.۶۵۷ افزایش یافته است که این نتیجه گویای تأثیرپذیر بودن غلظت بر روی ضریب هدایت انتقال حرارت نانوسیال Al_2O_3 می باشد.

۳-۵-۲- ویسکوزیته

اگر چه مطالعات اندکی در مورد ویسکوزیته نانوسیالات انجام شده است، اما این ویژگی همانند هدایت حرارتی مهم می باشد، زیرا می تواند بر خصوصیات انتقال گرما و جریان تأثیر بگذارد.

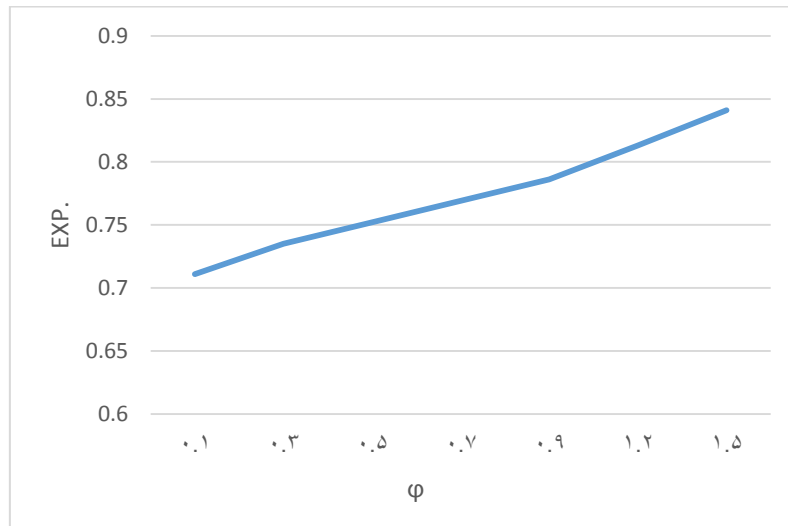
ما با کمک تجهیزات آزمایشگاهی شروع به انجام آزمایش نمودیم و تغییرات ویسکوزیته را با اثر دادن و تغییر دادن غلظت نانوسیال بررسی نمودیم که نتایج آزمایش به همراه غلظتی که آزمایش در آن انجام گرفته است در زیر آورده شده است و به آن پرداخته شده است.

آزمایش ویسکوزیته با تغییر غلظت این نکته را آشکار کرد که افزایش غلظت، سبب افزایش ویسکوزیته نانوسیال می گردد. از طرفی ویسکوزیته، سبب افزایش افت فشار و در نتیجه افزایش اصطکاک خواهد شد.

نتایج آن در جدول (۳-۲) آورده شده است و نمودار آن رسم شده است که می توانیم رفتار ویسکوزیته را با تغییر غلظت مشاهده نماییم.

جدول (۳-۲) نتایج آزمایشگاهی تغییرات ویسکوزیته به تأثیر غلظت

EXP.	0.711	0.735	0.752	0.769	0.786	0.813	0.841
ϕ	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5



شکل (۳-۴) تغییرات ویسکوزیته با غلظت

با خروج نتایج آزمایشگاهی میتوان متوجه شد که با افزایش غلظت می‌توان ویسکوزیته را که یکی عوامل مؤثر برای نانوسیالات است را افزایش داد که با افزایش غلظت در محدوده ۰.۱ تا ۱.۵ ویسکوزیته به طور تقریبی ۰.۱۵ افزایش می‌یابد.

ویسکومتر دستگاهی ای برای سنجش میزان ویسکوزیته (گرانروی) مایعات است. برای موادی که ویسکوزیته آنها با جریان یافتن تغییر می‌کند از ویسکومتر ویژه ای به نام رئومتر استفاده می‌گردد. در حالت کلی در یک ویسکومتر دو حالت وجود دارد:

۱- یا مایع ویسکوز ساکن است و یک شی جانبی در داخل آن (ابزار اندازه گیری ویسکوزیته) حرکت می‌کند.

۲- یا وسیله اندازه گیری ویسکوزیته ساکن بوده و سیال ویسکوز حرکت می‌کند.

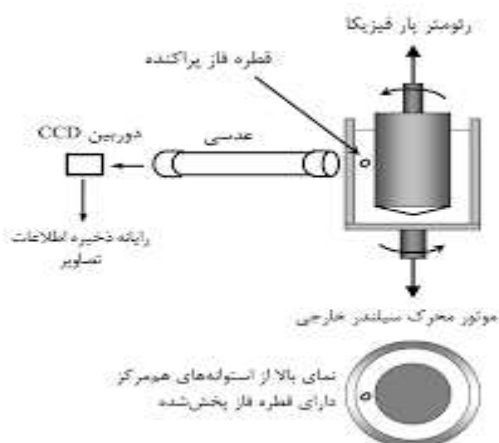
در هر دو صورت، نیروی کششی که سبب ایجاد حرکت نسبی سیال نسبت به سطح می‌شود، می‌تواند به عنوان عاملی برای اندازه گیری گرانروی به کار گرفته شود. حالت جریان باید به گونه ای باشد که عدد رینولدز (نسبت نیروی لختی به نیروی گرانروی) به حدی کوچک باشد که بتوان جریان را آرام فرض نمود. انواع مختلفی از ویسکومترها مانند ویسکومتر U شکل (استوالد)، ویسکومتر سقوطی، ویسکومتر لرزشی، ویسکومتر چرخشی (دورانی)، ویسکومتر بروکفیلد، ویسکومتر استابینگر و ویسکومتر کربس وجود دارد.

۳-۵-۲-۱- ویسکومترهای U شکل (ویسکومتر استوالد)

این مدل که از لوله های شیشه ای موئین ساخته شده اند، به مدل شیشه ای موئین نیز مشهور می باشد. یکی از انواع آن که به ویسکومتر آبلهود (Ubbelohde viscometer) معروف است، اساساً از یک لوله شیشه ای U شکل که بصورت عمودی، در یک حمام کنترل دما قرار داده شده است، تشکیل شده است. در یک سمت آن، یک لوله موئین با قطر مشخص قرار دارد.

در بالای این قسمت یک منطقه بر آمده قرار دارد و یک بر آمدی دیگر پایین تر از آن در سمت دیگر لوله قرار داده شده است که در هنگام استفاده سیال بوسیله یک مکند (Suction) از محفظه پایینی به محفظه بالایی کشیده می شود. سپس اجازه داده می شود تا از طریق لوله موئین به محفظه پایینی جریان یابد. دو نشانه موجود در بالا و پایین محفظه بالایی حجم مشخصی را نشان می دهند که زمان مورد نیاز تا انتقال سیال بین این دو نشانه، با گرانروی جنبشی متناسب است.

به دلیل تاثیر دما در گرانروی سیال، این دستگاه ها اغلب در یک دمای ثابت و در داخل یک حمام آب قرار می گیرند. این مدل ها اغلب بصورت دستگاه هایی با جریان مستقیم و یا معکوس رده بندی می شوند. دستگاه های جریان معکوس دارای یک مخزن در قسمت بالای نشانه ها هستند ولی در دستگاه های با جریان مستقیم این مخزن در زیر شاخص ها قرار دارد.



شکل (۳-۴) ویسکومتر

فصل ۴:

نتایج و تفسیر آنها

۴-۱- مقدمه

در این آزمایش‌ها آب و نانوسیال آلومینا در درصد حجمی ۰/۱ به عنوان سیال عامل در لوله آزمایش استفاده شده است. برای بال بردن دقت نتایج در هر دبی، آزمایش‌ها حداقل سه مرتبه انجام و در بازه اطمینان اندازه‌گیری شده، نمایش داده شده‌اند. سوسپانسیون نانوذرات می‌تواند ویسکوزیته و ضریب هدایت حرارتی سیال پایه را تغییر دهد. از طرفی حرکت نانوذرات منجر به شتاب یافتن فرآیند انتقال انرژی می‌شود. همچنین نفوذ و پراکندگی ذرات نانو به‌خصوص ذرات نانوسیال فلزی در کنار دیواره منجر به افزایش سریع انتقال حرارت از دیواره به توده سیال و در نتیجه افزایش انتقال حرارت نانوسیال نسبت به سیال پایه می‌شود. محققان عواملی همچون وجود حرکت براونی نانوذرات، خواص ترموفیزیکی و مکانیزم انتشار نانوذرات را به‌عنوان عوامل مؤثر بر افزایش انتقال حرارت در سوسپانسیون نانوسیال معرفی می‌کنند. از طرفی با افزایش عدد رینولدز به دلیل اینکه که سیال فرصت کمتری برای انتقال حرارت دارد، دمای خروجی لوله کاهش می‌یابد این در حالی است که در یک رینولدز مشخص، استفاده از نانوسیال سبب افزایش میزان انتقال حرارت (انرژی حرارتی جذب شده سیال) و در نتیجه افزایش دمای خروجی می‌شود. بررسی افت فشار به دلیل تأثیر آن در مصرف انرژی، یکی از پارامترهایی است که در صنعت به آن توجه بخصوصی می‌شود. مشاهدات تجربی نشان می‌دهد وجود نانوذرات در سیال پایه موجب افزایش افت فشار سیستم می‌شود. افزایش ویسکوزیته نانوسیال نسبت به آب یکی از عواملی است که منجر به افزایش افت فشار در نانوسیال نسبت به آب می‌شود. نتایج بدست آمده اثبات کرد که نانوسیال با سرعت و غلظت نانوذره‌ی بیشتر، افت فشار را افزایش می‌دهد اما در نانوسیال با غلظت وزنی کمتر نانوذرات، تغییر قابل توجهی ایجاد نشده است.

۴-۲- خواص ترموفیزیکی نانوسیال

جدول (۴-۱) تغییرات ضریب هدایت گرمایی با غلظت نانو سیال را نمایش می‌دهد. همانطور که از نتایج مشخص است افزایش غلظت نانو ذرات سبب افزایش ضریب هدایت گرمایی می‌گردد. هم چنین نمودار گویای این است که داده های آزمایشگاهی با مدل Sharma همخوانی خوبی دارد.

جدول (۴-۱) ضریب هدایت حرارتی نانو سیال

ϕ	Al ₂ O ₃	
	Exp.	Eq.
0.1	0.645	0.6459
0.3	0.647	0.6477
0.5	0.648	0.6495
0.7	0.650	0.6499
0.9	0.652	0.6530
1.2	0.655	0.6544
1.5	0.657	0.6569
MRE	9.43731E-05	

جدول (۴-۲) گویای این است که افزایش غلظت، سبب افزایش ویسکوزیته نانو سیال می‌گردد. از طرفی ویسکوزیته، سبب افزایش افت فشار و در نتیجه افزایش اصطکاک خواهد شد. مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل انیشتین نشان می‌دهد که این مدل به خوبی قادر به پیش بینی ویسکوزیته نانو سیالات می‌باشد.

جدول (۴-۲) ویسکوزیته نانو سیال

ϕ	Al ₂ O ₃	
	Exp.	Eq.
0.1	0.711	0.7174
0.3	0.735	0.7421
0.5	0.752	0.7530
0.7	0.769	0.7686
0.9	0.786	0.7876
1.2	0.813	0.8121
1.5	0.841	0.8353
MRE	0.0015	

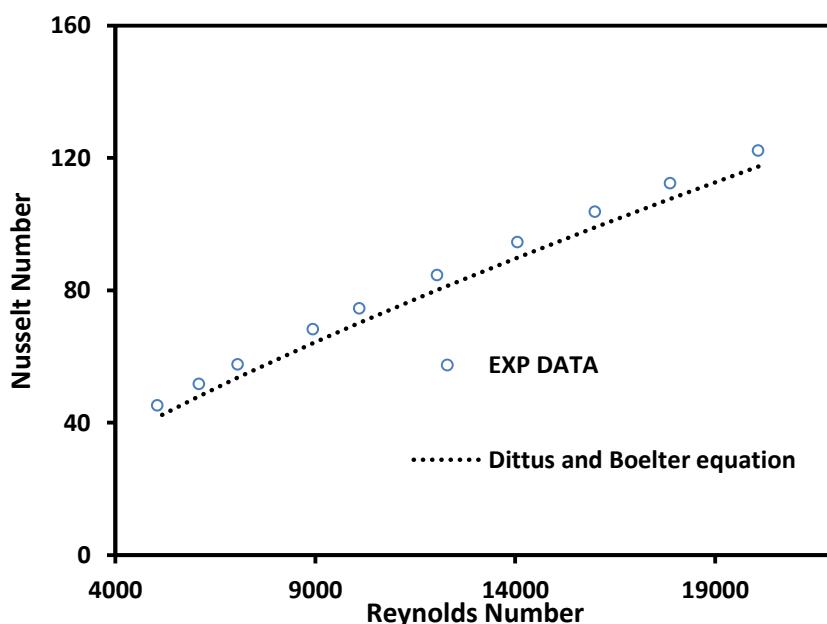
یکی از پارامترهای مهم درانتقال حرارت، عدد ناسلت میباشد. عدد ناسلت جریان تابعی از عدد دین است . با توجه به نمودارهای نمایش داده شده در مجموع میتوان نتیجه‌گیری نمود که افزایش عدد دین و همچنین

اضافه شدن نانوسیال به سیستم، نرخ انتقال حرارت را افزایش می‌دهد که نتیجه آن کاهش بیشتر دمای خروجی سیال و به تبع آن افزایش انتقال حرارت سیال درون لوله است. معادله Dittus و Blasius در زیر آورده شده است که ما می‌توانیم نتایج ضریب انتقال حرارت آزمایش و ضریب اصطکاک را با آن مقایسه نماییم.

$$Nu = 0.04Re^{0.75}Pr^{0.4} \quad (۱-۴)$$

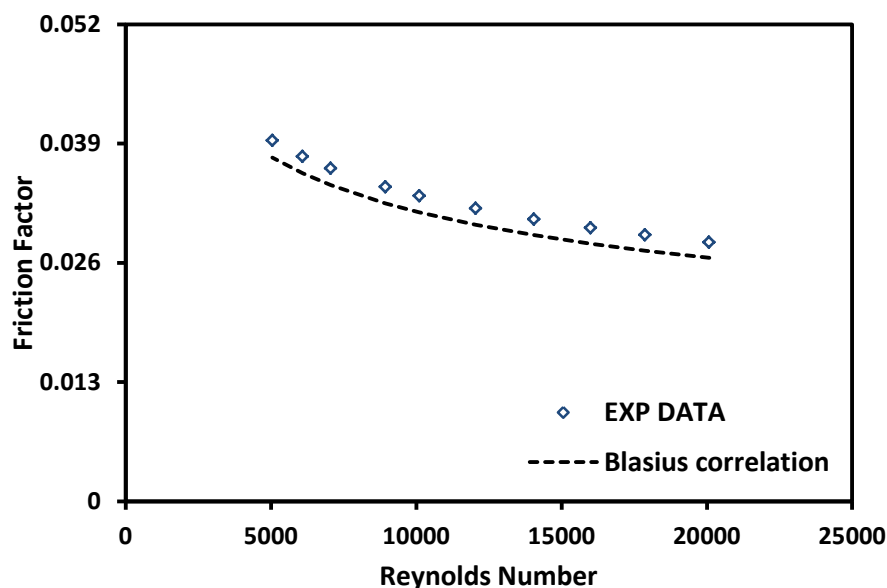
$$f = 0.316Re^{-0.25} \quad (۲-۴)$$

در معادلات بالا Nu عدد ناسلت و Re عدد رینولدز و pr عدد پранتل و f ضریب اصطکاک است.



شکل (۱-۴) بررسی و مقایسه عدد ناسلت نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از معادله Dittus

همانطور که در شکل (۴-۱) مشاهده می‌شود نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از معادله Dittus مطابقت دارد و در عدد های رینولدز منحصر به فرد عدد ناسلت هر دو بسیار نزدیک به هم است.

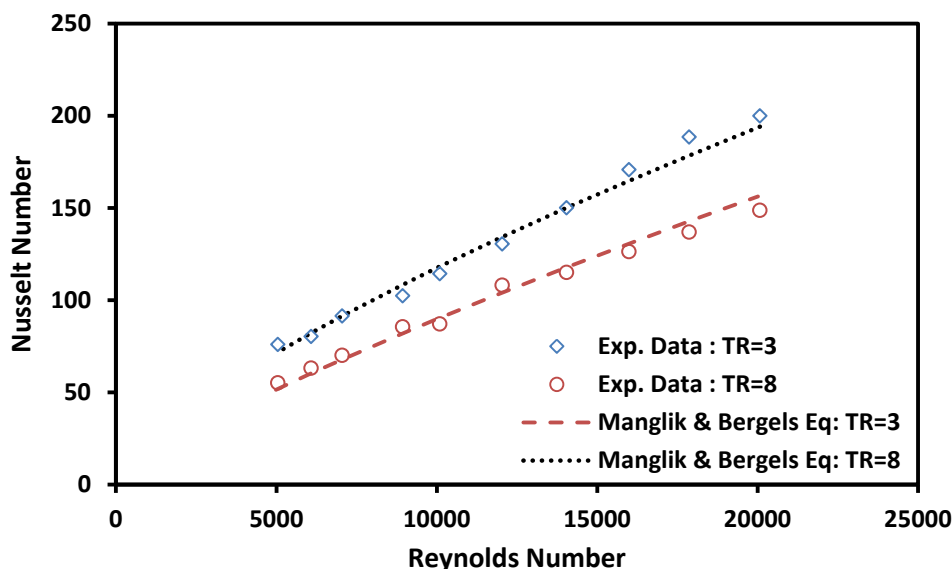


شکل (۴-۲) بررسی و مقایسه اصطکاک نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از معادله Blasius

برای بحث اصطکاک نیز مشاهده می‌شود که نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از معادله Blasius با یکدیگر همخوانی دارد که خطوط نقطه چین نتایج حاصل از معادله Blasius و نقاط موجود در شکل نتایج آزمایشگاهی ما می‌باشد که در عدد رینولدز مشخص، تفاوت زیادی باهم ندارند و به هم نزدیک هستند. صحت نتیجه های سیستم با نوار مارپیچ، از مدل های Manglik و Bergles انجام می پذیرد که این معادلات در زیر آورده شده است.

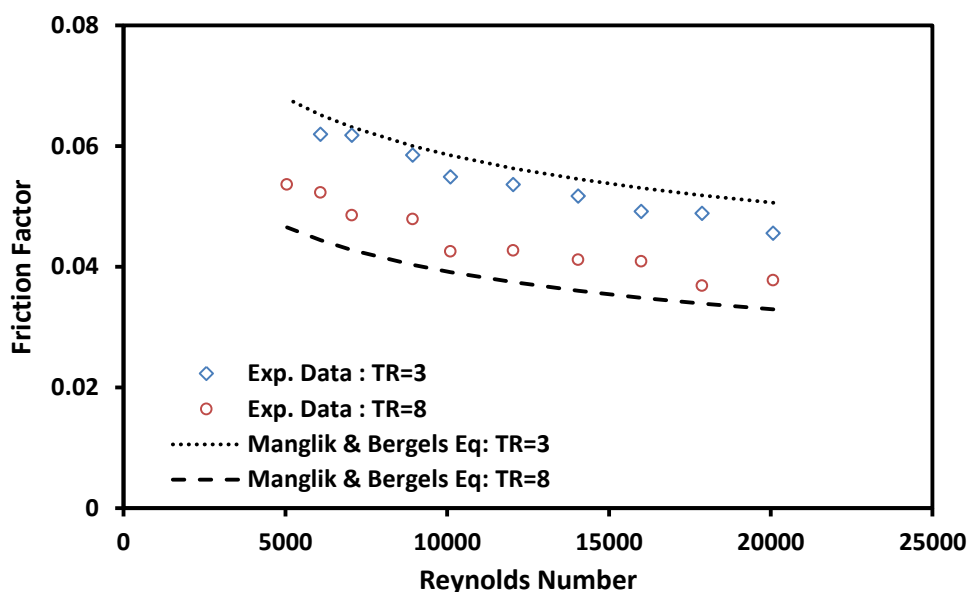
$$Nu = \left(1 + \frac{0.769}{\left(\frac{y}{w}\right)}\right) \left[0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \left(\left(\frac{\pi}{\pi - \left(\frac{4\delta}{d_i}\right)} \right)^{0.8} \left(\frac{\pi + 2 - \left(\frac{2\delta}{d_i}\right)}{\pi - \left(\frac{4\delta}{d_i}\right)} \right)^{0.2} \right) \right] \quad (۳-۴)$$

$$= \left(1 + 2.06 \left(1 + \left(2 \frac{y}{w}\right)^2\right)^{-0.74}\right) * \left[0.079 Re^{-0.25} \left(\frac{\pi}{\pi - \left(\frac{4\delta}{d_i}\right)} \right)^{1.75} \left(\frac{\pi + 2 - \left(\frac{2\delta}{d_i}\right)}{\pi - \left(\frac{4\delta}{d_i}\right)} \right)^{1.25} \right] \quad (۴-۴)$$



شکل (۳-۴) بررسی و مقایسه عدد ناسلت سیستم دارای نوار مارپیچی با معادله Manglik & Bergels

همانطور که در شکل (۳-۴) مشاهده می‌شود در بررسی عدد ناسلت متوجه شدیم که نتایج آزمایشگاهی ما با نتایج حاصل از معادلات Manglik & Bergels مطابقت دارد. نقطه قابل تأمل در اینجا این است که نتایج آزمایشگاهی ما در TR کوچکتر عدد ناسلت بزرگ تری را در عدد رینولدز مشخصی دارد ولی در نتایج حاصل از معادله Manglik & Bergels در TR بزرگتر عدد ناسلت بزرگتری حاصل شده است. همچنین با افزایش عدد رینولدز از ۵۰۰۰ به ۲۰۰۰۰ سبب افزایش در عدد ناسلت می‌گردد که آن را از عدد ۵۰ در نتیجه آزمایشگاهی با TR برابر ۸، به عدد ناسلت ۱۴۰ می‌رساند یا به عبارت دیگر ۱۸۰ درصد عدد ناسلت را افزایش می‌دهد.



شکل (۴-۴) بررسی و مقایسه اصطکاک سیستم دارای نوار مارپیچی با معادله Manglik & Bergels

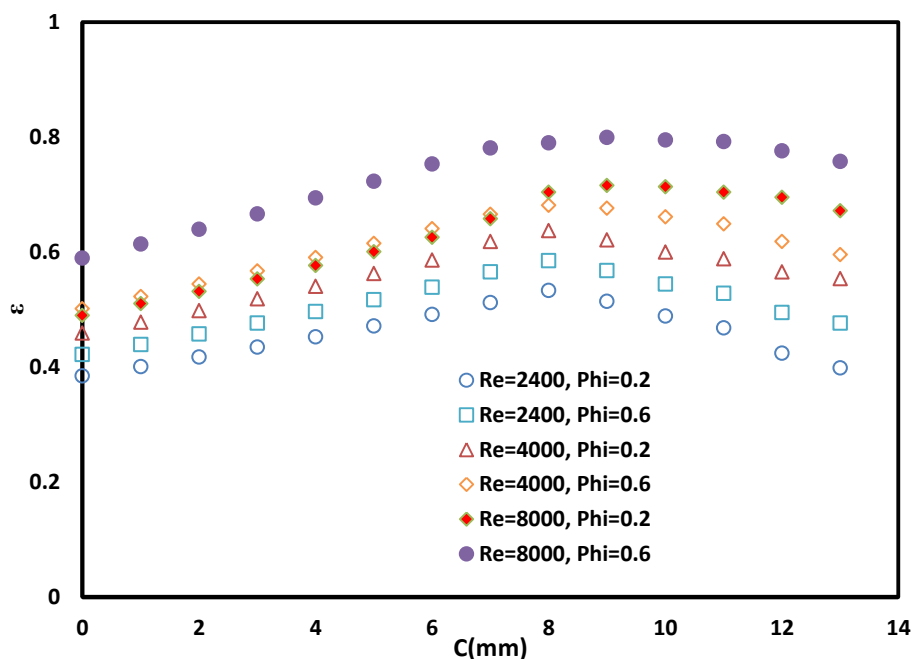
همانطور که در شکل (۴-۴) دیده می‌شود در بررسی ضریب اصطکاک نیز متوجه شدیم که نتایج آزمایشگاهی ما با نتایج حاصل از معادلات Manglik & Bergels مطابقت دارد. در شکل که نتایج آزمایشگاهی ما در TR کوچکتر، ضریب اصطکاک بزرگ تری را در عدد رینولدز مشخصی دارد ولی در نتایج حاصل از معادله Manglik & Bergels در TR بزرگتر، ضریب اصطکاک کمتری حاصل شده است. همچنین با افزایش عدد رینولدز از ۵۰۰۰ به ۲۰۰۰۰ سبب کاهش در ضریب اصطکاک می‌گردد که آن را از عدد ۰.۰۵۵ در نتیجه آزمایشگاهی با TR برابر ۸، به عدد ناسلت ۰.۰۴ می‌رساند یا به عبارت دیگر تقریباً ۲۷ درصد ضریب اصطکاک را کاهش می‌دهد.

پس میتوان نتیجه گرفت که با افزایش عدد رینولدز یا به عبارت دیگر با آشفستگی در جریان، عدد ناسلت شروع به افزایش می‌کند، درحالی‌که با افزایش عدد رینولدز ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد.

پس از صحت سنجی مدل، آزمایشات در حضور نانو سیال Al_2O_3 / آب صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزایش عدد رینولدز میزان انتقال حرارت افزایش می‌یابد. هم چنین افزایش غلظت نانو ذرات میزان انتقال حرارت را بهبود می‌بخشد. چندین مکانیسم برای افزایش هدایت حرارتی نانو سیالات وجود دارد. ایجاد لایه سیال روی سطح نانو ذرات، حرکت براونی، دسته بندی نانو ذرات، انتقال پر تابه های فوتون ها، در نانو ذرات و غیره از جمله این مکانیسم ها هستند. اضافه بر این موارد، مکانیسم مهم دیگری نیز وجود دارد که همان تراکم غیر یکنواخت ذرات در مقطع عرضی لوله می باشد. هم چنین پدیده مهاجرت ذرات ناشی از گرادیان برشی، گرادیان لزجت و حرکت براونی ذرات عواملی هستند که باعث تراکم یکنواخت ذرات درشت

اندازه میشوند. تراکم نانو ذرات در سمت دیواره لوله بسیار بیشتر از میکرو ذرات میباشد. مفهوم این مطلب این است که افزایش هدایت حرارتی سیال با افزایش نانو ذرات در سمت دیواره لوله بسیار بالاتر از زمانی است که میکرو ذرات استفاده می شوند. این افزایش در هدایت حرارتی میتواند باعث افزایش ضریب انتقال حرارت در لایه مرزی گرمایی در نزدیکی دیواره لوله گردد. از طرفی دیگر از آن جا که میکرو ذرات تمایل دارند به سمت مرکز لوله حرکت کنند، افزایش هدایت حرارتی سوسپانسیون میکرو ذرات در لایه مرزی گرمایی کمتر است. بنابراین ضریب انتقال حرارت تغییر زیادی نخواهد کرد.

هم چنین نتایج نشان داد که با افزایش نسبت گام های نوار مارپیچی میزان انتقال حرارت کاهش می یابد. بازده افزایش، آگرژی و فاکتور اصطکاک همگی با کاهش نسبت کاهش می یابند. هم چنین افزایش نسبت تصاعد هندسی سبب می گردد که در طول نوار مارپیچ اندازه گام ها بیشتر شده و در نتیجه میزان اختلاط کاهش یابد. آشفته گی اضافی سیال در نزدیکی دیواره لوله توسط نوار مارپیچ اصلاح شده تولید شده است که موجب انتقال حرارت بهتر شده است.



شکل (۴-۵) تغییرات آگرژی در طول لوله در اعداد رینولدز و غلظت های متفاوت

از نتایج آزمایش میتوان متوجه شد که با افزایش تعداد گام ها در طول لوله عدد رینولدز یا به عبارتی آشفته گی بیشتر می گردد و همانطور که از نتایج شکل (۴-۵) متوجه می شویم اثر رینولدز نسبت به غلظت غالب تر می باشد. برای مثال اگر دو عدد رینولدز ۸۰۰۰ با غلظت ۰.۲ و عدد رینولدز ۴۰۰۰ با غلظت ۰.۶ را با

هم مقایسه نماییم مشخص است که عدد رینولدز بزرگتر اکسرژی بیشتری دارد حتی اگر غطتش کم تر باشد. حال اگر عدد رینولدز را یکسان در نظر بگیریم، مشخص است که با افزایش غلظت، میزان اکسرژی افزایش یافته است.

فصل ۵:

جمع‌بندی و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

خنک کردن با کارایی بالا در بسیاری صنایع یک نیاز مهم است که به سیالی با پایداری طولانی مدت و خصوصیات ترموفیزیکی تقویت شده نیاز دارد. این مرور درک جدیدی می‌دهد که بر اساس آن می‌توان سیالات انتقال حرارت مبتنی بر نانوسیال پربازده تولید کرد بدون آنکه توده‌ای شدن یا ترسیب اتفاق بیفتد. در یک نگاه جدید ویژگی‌های هیدروترمال برای ارتقاء خواص اصطکاکی روانکارها مانند ظرفیت حمل بار، ضد سایش و کاهنده‌ی اصطکاک بین اجزاء متحرک مکانیکی مورد توجه قرار می‌گیرد.

بهبود سیستم‌های انتقال حرارت در سالهای اخیر مورد توجه محققان و بخشهای صنعتی قرار گرفته است. استفاده از نانوسیال‌ها با خواص حرارتی مناسب و تغییر در ساختار فیزیکی از روشهایی هستند که به طور ویژه تحقیق‌هایی روی آنها در حال انجام است. در این تحقیق سعی شده تا به روش آزمایشگاهی انتقال حرارت نانوسیال آب - آلومینا ۰/۱ درصد حجمی مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج نشان داد که استفاده از نانو سیال به طور چشمگیری ضریب انتقال حرارت و ضریب اصطکاک بیشتری از ضرایب سیال پایه خالص به دست می‌دهد. هم چنین با افزایش نسبت گام و نسبت تصاعد طول گام سبب کاهش انتقال حرارت و کاهش ضریب اصطکاک می‌گردد.

این پژوهش اثر وجود نانوذرات بر انتقال حرارت و افت فشار مورد بررسی قرار داد و نتایج نشان می‌دهد که افزودن نانوپودر به سیال پایه، سبب افزایش قابل ملاحظه انتقال حرارت در می‌شود.

۵-۲- جمع بندی

ضمن اینکه خصوصیات نانوسیالات در کاربردهای مختلف مرور شده است گرایشهای جدید در کاربرد نانوسیالات در ابزارهای ترموالکتریک نیز در این مقاله تحلیل شده است. می‌توان نتایج زیر را از مرور مطالعات استخراج نمود:

- در مقایسه با سوسپانسیون نانوذرات بزرگ، استفاده از نانوذرات کوچک (کمتر از ۱۰ نانومتر) می‌تواند گرفتگی و سایش را به طور معتنابهی کاهش دهد.
- پایداری نه تنها خصوصیات ترموفیزیکی نانوسیالات را تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه عملکرد کل سیستمهای گرمایی را نیز متأثر می‌سازد.

- شبکه های عصبی مصنوعی به دلیل سادگی، ظرفیت دقیق و سرعت پردازش بالایی ک دارند و به کمک نرم افزار متلب انجام پذیر هستند، کاربرد ی هستند.
- در کنار خواص ترموفیزیکی، باید قیمت خنک کننده خیلی ارزان شود تا هزینه ی فرایند خنک سازی کاهش یابد. بنابراین تحلیل های اقتصادی نیز کارآمد هستند.
- با در نظر گرفتن اثر نیروهای الکتریکی و مغناطیسی در نانوسیالات، می توان تولید آنتروپی و سرعت جریان را در مبدلهای حرارتی بهینه سازی نمود.
- بیشتر مطالعات موجود در مورد جریان همرفتی سیال ماکسول به صورت عددی یا تحلیلی با یک روش تقریبی حل شده اند و برای چنین مسائلی پاسخهای دقیق به ندرت وجود دارد. این مطالعات وقتی جریان همرفتی سیال ماکسول با نانوذرات مدنظر قرارداد بیشتر محدود می شوند.
- با توجه به این واقعیت که سیالات یونی را می توان در آزمایشگاه ساخت و خواص آنها را تغییر داد، ویژگی های مختلف مایعات یونی به عنوان سیالات پایه که خصوصیات نانوسیال را تحت تأثیر قرار می دهد جالب توجه و حساس است. این می تواند چشم انداز دیگری برای درک بهتر نانوسیالات یونی بدست دهد.
- خنک کننده ی ترموالکتریک و نانوسیال، عملکرد گرمایی سیستم های خنک کننده را ارتقاء می دهد. انتقال حرارت نانوسیالها نسبت به مایعات سنتی راندمان بیشتری دارد. از این رو کاربرد نانوسیالات برای ارتقاء طراحی سیستم های مدیریت گرما چند مزیت دارند که عبارتند از اعتمادپذیری بیشتر، سیستم خنک کاری جمع و جور و فشرده، نیاز کمتر به توان پمپینگ، راندمان بیشتر انرژی و سوخت و آلودگی کم. برای کاربرد نانوسیال در صنایع چند میلیون دلاری همچون الکترونیک، فوتونیک، حمل و نقل، MEMS/NEMS، بیوشیمیایی و بیومدیکال و توسعه ی درک و دریافت های جدید در مورد انتقالات انرژی در نانوسیالات، باید به انتقال انرژی در نانوسیالات با نگاهی متفاوت نگریست. پژوهش های بنیادی مانند مکانیسم های انتقال نانومقیاس و پدیده های نانومقیاس تا حد زیادی زمینه ی گسترش و کاربرد تکنیک های نانوسیال بالقوه را خصوصاً در نسل بعدی خنک کننده ها فراهم می کند.

۵-۳- پیشنهادات

در انتها چند مسیر مطالعاتی که می تواند کاربرد نانوسیالات را در کاربردهای عملی بهبود بخشد پیشنهاد می کنیم.

- بررسی اثر نانوذرات دوبعدی جدید (سیلیکان، گرمانان، Mxene) بر خواص ترموفیزیکی نانوسیالات و نانوسیالات یونی جالب است.
- از آنجا که مایعات یونی پایداری گرمایی بسیار خوبی دارند (بیش از ۵۰۰ درجه سانتیگراد) انجام آزمونهای تجربی و آزمایشگاهی برای کاربرد توأم آن با نانوذرات برای کاربری‌های دما بالا ضروری و اورژانسی است.
- مکانیسم بهبود ویژگی ترموفیزیکی نمک‌های مذاب دوپ شده با نانوذرات هنوز به طور کامل مطالعه نشده است. لذا لازم است مطالعه‌ی گسترده‌تری در خصوص نانوسیالات مبتنی بر نمک مذاب انجام شود.
- برای درک ساختار مکانیسم‌های انرژی بیشتر و مکانیسم‌های انرژی بیشتر تحرک نانوذره به بررسی‌های بیشتری نیاز است.
- علاوه بر سطح ماکروسکوپی لازم است سطح نانومقیاس را به خصوص در ارتباط با دما دقیقتر مطالعه کنیم.

مراجع

- [1] D.-S. Huang, T.-C. Chen, L.-T. Tsai, M.-T. Lin, Design of fins with a grooved heat pipe for dissipation of heat from high-powered automotive LED headlights, *Energy Convers. Manag.* 180 (2019) 550–558, <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2018.11.021>.
- [2] Q. Luo, P. Li, L. Cai, X. Chen, H. Yan, H. Zhu, P. Zhai, P. Li, Q. Zhang, Experimental investigation on the heat dissipation performance of flared-fin heat sinks for concentration photovoltaic modules, *Appl. Therm. Eng.* 157 (2019), 113666. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2019.04.076>.
- [3] V.K. Jha, S.K. Bhaumik, Enhanced heat dissipation in helically finned heat sink through swirl effects in free convection, *Int. J. Heat Mass Transf.* 138 (2019) 889–902, <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASTRANSFER.2019.04.099>.
- [4] G. Chen, Y. Wang, Y. Zou, D. Jia, Y. Zhou, A fractal-patterned coating on titanium alloy for stable passive heat dissipation and robust superhydrophobicity, *Chem. Eng. J.* 374 (2019) 231–241, <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2019.05.106>.
- [5] J. Hyun, S. Wang, Systematically engineered thermal metastructure for rapid heat dissipation/diffusion by considering the thermal eigenvalue, *Appl. Therm. Eng.* 157 (2019), 113487. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2019.03.058>.
- [6] J. He, X. Yang, G. Zhang, A phase change material with enhanced thermal conductivity and secondary heat dissipation capability by introducing a binary thermal conductive skeleton for battery thermal management, *Appl. Therm. Eng.* 148 (2019) 984–991, <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2018.11.100>.
- [7] W.A. Ajeeb, M.S.A. Oliveira, N. Martins, B. Abreu, Experimental and numerical study of convective heat transfer and laminar flow of a MWCNTs Nanofluid in a horizontal tube, *J. NANOFUIDS*. 8 (2019) 132–142, <https://doi.org/10.1166/jon.2019>.
- [8] M. Ramezanizadeh, M.A. Nazari, M.H. Ahmadi, E. Açıkkalp, Application of nanofluids in thermosyphons: a review, *J. Mol. Liq.* 272 (2018) 390–402, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.09.101>.
- [9] S.K. Soylu, İ. Atmaca, M. Asiltürk, A. Doğan, Improving heat transfer performance of an automobile radiator using Cu and Ag doped TiO₂ based nanofluids, *Appl. Therm. Eng.* 157 (2019), 113743. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113743>.
- [10] M.M. Sarafraz, O. Pourmehran, B. Yang, M. Arjomandi, Assessment of the thermal performance of a thermosyphon heat pipe using zirconia-acetone nanofluids, *Renew. Energy* 136 (2019) 884–890, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.030>.
- [11] V. Kiseev, O. Sazhin, Heat transfer enhancement in a loop thermosyphon using nanoparticles/water nanofluid, *Int. J. Heat Mass Transf.* 132 (2019) 507–514, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.11.109>.
- [12] S. Chakraborty, An investigation on the long-term stability of TiO₂ nanofluid, *Mater. Today Proc.* 11 (2019) 714–718, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.032>.
- [13] I.M. Mahbubul, Stability and dispersion characterization of Nanofluid, in: I.M. Mahbubul (Ed.), *Prep. Charact. Prop. Appl. Nanofluid*, William Andrew Publishing 2019, pp. 47–112, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-81324-0.12-978>.
- [14] H. Zhang, S. Wang, Y. Lin, M. Feng, Q. Wu, Stability, thermal conductivity, and rheological properties of controlled reduced graphene oxide dispersed nanofluids, *Appl. Therm. Eng.* 159 (2019) 1132–1139, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.1132>.

- [15] S.Wiriyasart, C. Hommalee, P. Naphon, Thermal cooling enhancement of dual processors computer with thermoelectric air cooler module, *Case Stud. Therm. Eng.* 14 (2019), 100440. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100440>.
- [16] Y.M. Seo, M.Y. Ha, S.H. Park, G.H. Lee, Y.S. Kim, Y.G. Park, A numerical study on the performance of the thermoelectric module with different heat sink shapes, *Appl. Therm. Eng.* 128 (2018) 1082–1094, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.09.097>.
- [17] Y. Liu, Y. Su, Experimental investigations on COPs of thermoelectric module frosting systems with various hot side cooling methods, *Appl. Therm. Eng.* 144 (2018) 747–756, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.08.056>.
- [18] M. Benghanem, A.A. Al-Mashraqi, K.O. Daffallah, Performance of solar cells using thermoelectric module in hot sites, *Renew. Energy* 89 (2016) 51–59, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.011>.
- [19] B. Bakthavatchalam, K. Habib, R. Saidur, B.B. Saha, and K. Irshad, Comprehensive study on nanofluid and ionanofluid for heat transfer enhancement: A review on current and future perspective. *J. Mol. Liq.*, 305 (2020) 112787, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112787>.
- [20] M. Mohammadpoor, S. Sabbaghi, M.M. Zerafat, Z. Manafi, Investigating heat transfer properties of copper nanofluid in ethylene glycol synthesized through single and two-step routes, *Int. J. Refrig.* 99 (2019) 243–250, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.01.012>.
- [21] A.A. Albert, D.G.H. Samuel, V. Parthasarathy, K. Kiruthiga, A facile one pot synthesis of highly stable PVA–CuO hybrid nanofluid for heat transfer application, *Chem. Eng. Commun.* (2019) 1–12, <https://doi.org/10.1080/00986460.2019.1688731>.
- [22] Q. Wang, W. Wei, D. Li, H. Qi, F. Wang, M. Arıcı, Experimental investigation of thermal radiative properties of Al₂O₃-paraffin nanofluid, *Sol. Energy* 177 (2019) 420–426, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.11.034>.
- [23] H. Akoh, Y. Tsukasaki, S. Yatsuya, A. Tasaki, Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate, *J. Cryst. Growth* 480 (1998) 490–500, [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(98\)00482-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(98)00482-1).
- [24] A.I. Ayesh, Production of metal-oxide nanoclusters using inert-gas condensation technique, *Thin Solid Films* 636 (2017) 207–213, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2017.06.007>.
- [25] T. Wang, C. Zhou, Z. Zhang, M. Liao, C. Sun, The impacts of operating pressure on the structural and magnetic properties of HfCo₃ nanoparticles synthesized by inert gas condensation, *Chem. Phys. Lett.* 721 (2019) 18–21, <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.02.017>.
- [26] C. Suryanarayana, B. Prabhu, γ - synthesis of nanostructured materials by inert-gas condensation methods, in: C.C. Koch (Ed.), *Nanostructured Mater*, Second ed. William Andrew Publishing, Norwich, NY 2007, pp. 47–90, <https://doi.org/10.1016/B-978-0-88415-051-054-X>, Second Edi.
- [27] R. Arbain, M. Othman, S. Palaniandy, Preparation of iron oxide nanoparticles by mechanical milling, *Miner. Eng.* 24 (2011) 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.08.020>.
- [28] C.L. DeCastro, B.S. Mitchell, Nanoparticles from mechanical attrition, *Synth. Funct. Surf. Treat. Nanoparticles*. (2002) 1–10.
- [29] C. Li, Y. Wang, Z. Pan, Wear resistance enhancement of electroless nanocomposite coatings via incorporation of alumina nanoparticles prepared by milling, *Mater. Des.* 47 (2013) 443–448, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.021>.
- [30] L. Kong, J. Sun, Y. Bao, Preparation, characterization and tribological mechanism of nanofluids, *RSC Adv.* 7 (2017) 12099–12109.

- [31] D. Madhesh, S. Kalaiselvam, Preparation and characterization of MWCNT-water nanofluids for heat transfer applications, *Int. J. Adv. Mech. Eng.* 4 (2014) 193–198.
- [32] T. Sharma, A.L.M. Reddy, T.S. Chandra, S. Ramaprabhu, Development of carbon nanotubes and nanofluids based microbial fuel cell, *Int. J. Hydrog. Energy* 33 (2008) 7749–7754, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.05.112>.
- [33] K. Petcharoen, A. Sirivat, Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles via the chemical co-precipitation method, *Mater. Sci. Eng. B* 177 (2012) 421–427, <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.003>.
- [34] W.-C. Hsu, S.C. Chen, P.C. Kuo, C.T. Lie, W.S. Tsai, Preparation of NiCuZn ferrite nanoparticles from chemical co-precipitation method and their magnetic properties after sintering, *Mater. Sci. Eng. B* 111 (2004) 142–149, <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2004.04.009>.
- [35] M. Anbarasu, M. Anandan, E. Chinnasamy, V. Gopinath, K. Balamurugan, Synthesis and characterization of polyethylene glycol (PEG) coated Fe_3O_4 nanoparticles by chemical co-precipitation method for biomedical applications, *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 130 (2015) 536–539, <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.07.059>.
- [36] W. Kachi, A.M. Al-Shammari, I.G. Zainal, Cobalt ferrite nanoparticles: preparation, characterization and salinized with 3-aminopropyl triethoxysilane, *Energy Procedia* 157 (2019) 1353–1365, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.300>.
- [37] S. Santra, R. Tapeç, N. Theodoropoulou, J. Dobson, A. Hebard, W. Tan, Synthesis and characterization of silica-coated iron oxide nanoparticles in microemulsion: the effect of nonionic surfactants, *Langmuir* 17 (2001) 2900–2906.
- [38] X. Zhang, K.-Y. Chan, Water-in-oil microemulsion synthesis of platinum–ruthenium nanoparticles, their characterization and electrocatalytic properties, *Chem. Mater.* 10 (2003) 401–409.
- [39] J. Vidal-Vidal, J. Rivas, M.A. López-Quintela, Synthesis of monodisperse maghemite nanoparticles by the microemulsion method, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 288 (2006) 44–51, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.04.027>.
- [40] R. Strobel, S.E. Pratsinis, Direct synthesis of maghemite, magnetite and wustite nanoparticles by flame spray pyrolysis, *Adv. Powder Technol.* 20 (2009) 190–194, <https://doi.org/10.1016/j.apt.2008.08.002>.
- [41] R. Mueller, L. Mädler, S.E. Pratsinis, Nanoparticle synthesis at high production rates by flame spray pyrolysis, *Chem. Eng. Sci.* 58 (2003) 1969–1976, [https://doi.org/10.1016/S2059-0009\(03\)80022-2](https://doi.org/10.1016/S2059-0009(03)80022-2).
- [42] W.-N. Wang, I.W. Lenggoro, Y. Terashi, T.O. Kim, K. Okuyama, One-step synthesis of titanium oxide nanoparticles by spray pyrolysis of organic precursors, *Mater. Sci. Eng. B* 123 (2005) 194–202, <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2005.08.006>.
- [43] E.H. Kim, H.S. Lee, B.K. Kwak, B.-K. Kim, Synthesis of ferrofluid with magnetic nanoparticles by sonochemical method for MRI contrast agent, *J. Magn. Magn. Mater.* 289 (2005) 328–330, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2004.11.093>.
- [44] S. Zhu, H. Zhou, M. Hibino, I. Honma, M. Ichihara, Synthesis of MnO_2 nanoparticles confined in ordered mesoporous carbon using a sonochemical method, *Adv. Funct. Mater.* 15 (2005) 381–386.
- [45] M. Darroudi, A.K. Zak, M.R. Muhamad, N.M. Huang, M. Hakimi, Green synthesis of colloidal silver nanoparticles by sonochemical method, *Mater. Lett.* 66 (2012) 117–120, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2011.08.016>.

- [46] S. Eastman, JA and Choi, US and Li, Shaoping and Thompson, LJ and Lee, Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids, *MRS Online Proc. Libr. Arch* 1996, p. 457.
- [47] S. Aberoumand, A. Jafarimoghaddam, Tungsten (III) oxide (WO₃) – silver/transformer oil hybrid nanofluid: preparation, stability, thermal conductivity and dielectric strength, *Alexandria Eng. J.* 57 (2018) 169–174, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.11.003>.
- [48] L. Sang, T. Liu, The enhanced specific heat capacity of ternary carbonates nanofluids with different nanoparticles, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 169 (2017) 297–303, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.05.032>.
- [49] Y. Hu, Y. He, Z. Zhang, D. Wen, Enhanced heat capacity of binary nitrate eutectic salt-silica nanofluid for solar energy storage, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 192 (2019) 94–102, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.12.019>.
- [50] W. Song, Y. Lu, Y.Wu, C. Ma, Effect of SiO₂ nanoparticles on specific heat capacity of low-melting-point eutectic quaternary nitrate salt, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 179 (2018) 66–71, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.01.014>.
- [51] G. Żyła, J.P. Vallejo, L. Lugo, Isobaric heat capacity and density of ethylene glycol based nanofluids containing various nitride nanoparticle types: an experimental study, *J. Mol. Liq.* 261 (2018) 530–539, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.04.012>.
- [52] S.M.S. Murshed, P. Estellé, A state of the art review on viscosity of nanofluids, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 76 (2017) 1134–1152, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.113>.
- [53] G.M. Moldoveanu, C. Ibanescu, M. Danu, A.A. Minea, Viscosity estimation of Al₂O₃, SiO₂ nanofluids and their hybrid: an experimental study, *J. Mol. Liq.* 253 (2018) 188–196, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.061>.
- [54] I.M. Mahbubul, R. Saidur, M.A. Amalina, Latest developments on the viscosity of nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transf.* 55 (2012) 874–885, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.10.021>.
- [55] M. Sharifpur, S.Yousefi, J.P.Meyer, A new model for density of nanofluids including nanolayer, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 78 (2016) 168–174, <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.09.010>.
- [56] S.N. Shoghl, J. Jamali, M.K. Moraveji, Electrical conductivity, viscosity, and density of different nanofluids: an experimental study, *Exp. Thermal Fluid Sci.* 74 (2016) 339–346, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.01.004>.
- [57] A.H.A. Al-Waeli, M.T. Chaichan, K. Sopian, H.A. Kazem, Influence of the base fluid on the thermo-physical properties of PV/T nanofluids with surfactant, *Case Stud. Therm. Eng.* 13 (2019), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.10.001>.
- [58] J.-K. Kim, J.Y. Jung, Y.T. Kang, Absorption performance enhancement by nanoparticles and chemical surfactants in binary nanofluids, *Int. J. Refrig.* 30 (2007) 50–57, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2006.04.006>.
- [59] S.H. Musavi, B. Davoodi, S.A. Niknam, Effects of reinforced nanoparticles with surfactant on surface quality and chip formation morphology in MQL-turning of superalloys, *J. Manuf. Process.* 40 (2019) 128–139, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.03.014>.
- [60] T. Wen, L. Lu, A review of correlations and enhancement approaches for heat and mass transfer in liquid desiccant dehumidification system, *Appl. Energy* 239(2019) 757–784, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.245>.
- [61] Y. Zhang, C. Dai, X.Wu, Y.Wu, Y. Li, Y. Huang, H. He, C. Gu, L. He, M. Zhao, The construction of anhydride-modified silica nanoparticles (AMSNPs) strengthened wormlike micelles based on strong electrostatic and hydrogen bonding interactions, *J. Mol. Liq.* 277 (2019) 372–379, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.12.124>.

- [62] J. Ni, Y. Yang, C. Wu, Assessment of water-based fluids with additives in grinding disc cutting process, *J. Clean. Prod.* 212 (2019) 593–601, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.066>
- [63] K. Goudarzi, F. Nejati, E. Shojaeizadeh, S.K.A. Yousef-abad, Experimental study on the effect of pH variation of nanofluids on the thermal efficiency of a solar collector with helical tube, *Exp. Thermal Fluid Sci.* 60 (2015) 20–27, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2014.07.015>.
- [64] T. Yousefi, E. Shojaeizadeh, F. Veysi, S. Zinadini, An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT–H₂O nanofluid on the efficiency of a flatplate solar collector, *Sol. Energy* 86 (2012) 771–779, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.12.003>.
- [65] S.M. Yahya, M. Asjad, Z.A. Khan, Multi-response optimization of TiO₂/EG-water nano-coolant using entropy based preference indexed value (PIV) method, *Mater. Res. EXPRESS*. 6 (2019) <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab23bb>.
- [66] L. Jorge, S. Coulombe, P.-L. Girard-Lauriault, Tetraethylenepentamine and (3-aminopropyl)triethoxysilane adsorbed on multi-walled carbon nanotubes for stable water and ethanol nanofluids, *Thin Solid Films* 682 (2019) 50–56, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.05.007>.

Abstract:

Nanofluids are considered a promising way to improve the heat transfer capacity of fluids. Water is the most common fluid used to transfer heat. Research to improve heat transfer using nanofluids, ionic nanofluids, and auxiliary devices has received worldwide attention over the past decade due to its remarkable properties; However, the production of a stable nanofluid and its integration for practical applications to increase heat loss from any heating system brings many difficulties. Although separate studies are available on nanofluids and nanofluid-assisted heat transfer devices; An attempt has been made to review the latest research on nanofluids and ionic nanofluids, which leads to an important discussion in enhancing the thermal performance of the system. In this study, we investigated the preparation, thermophysical properties, structures and functions, the factors responsible for providing stable and enhanced thermophysical properties, and in addition, the benefits of integrating with heat transfer programs. The results showed that the use of nanofluids gives significantly higher heat transfer coefficient and coefficient of friction than pure base fluid coefficients. Also, by increasing the step ratio and the progress ratio of the step length, it reduces heat transfer and reduces the coefficient of friction. This study investigated the effect of nanoparticles on heat transfer and pressure drop and the results show that the addition of nanopowder to the base fluid significantly increases heat transfer.

Keywords: Nanofluids, Heat transfer coefficient, Thermo-physical properties, Friction coefficient, Base fluid



Energy Institute of Higher Education

Thesis Title

Minimizing the entropy of shell and tube heat exchangers with alumina and zirconium oxide composites by examining system exergy analysis

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Science
(Doctor of Philosophy) in Mechanical Engineering - Energy Conversion Trend

By:

Hamed Kalbeali

Supervisor:

Dr. Seyed Iman Vasefi

Dr. Heidar Madah

Autumn 2021