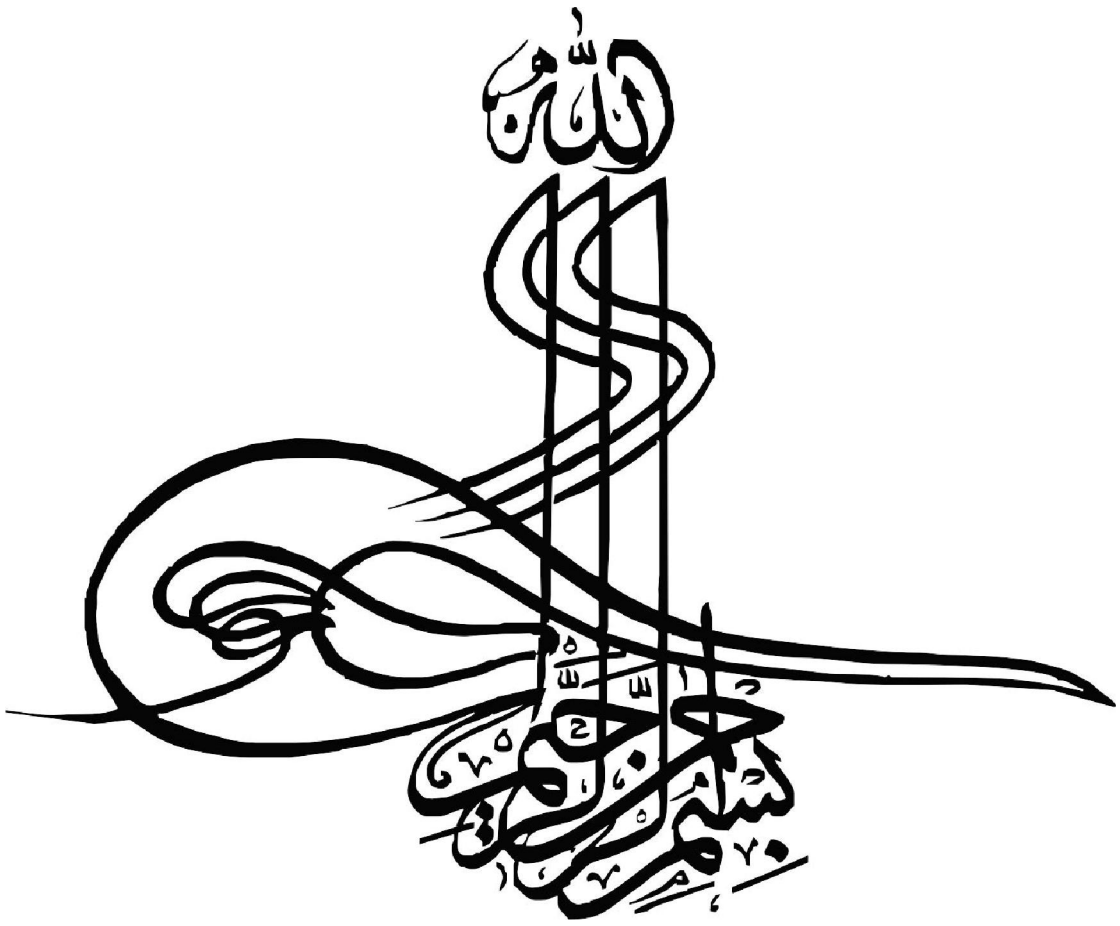
اللهم
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد

دانشکده علوم

گروه شیمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

شیمی فیزیک

بررسی نظری انتقال حرارت نانوسیالات با استفاده از نظریه‌ی تابعی چگالی

استاد راهنما:

دکتر محمد کمالوند

استاد مشاور:

دکتر حسین محمدی منش

پژوهش و نگارش:

محسن کرمی

مهر ۱۳۹۰

تقدیم به

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

سپاس خدایی را که اوّل و آخِر وجود است،

بی آنکه اوّلی بر او پیشی بگیردیا آخری پس از او باشد؛

خدایی که دست هر چشمی از دامن دیدارش کوتاه است
و فهم هر کبوتر توصیف‌گری از پرواز در آسمان وصفش عاجز

این ناچیز مجموعه‌ای است که با الطاف و عنایات حضرت احدیت به سرانجام رسیده که لازم می‌دانم دست شکر به آستانش گشوده، رحمت بی‌کرانش را بستایم تا مزید ابر رحمانی او را به نظاره بنشینم و بر سبیل ((من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق)) از زحمات بی‌دریغ استاد راهنمایم جناب آقای دکتر کمالوند که در طی این مدت با راهنمایی‌های ارزنده و صبر و شکیبایی خود، مرا به مسیر پرافتخار علم و پژوهش هدایت نموده‌اند کمال تشکر را داشته باشم و نیز از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر محمدی‌منش (استاد مشاورم)، جناب آقای دکتر نوربالا (داور داخلی) و جناب آقای دکتر نمازیان (داور خارجی) که در نیل بدین سو یاریم نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

در پایان از کلیه عزیزانی که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

امید است در سایه توجهات ساحت اقدس الهی سهای دلمان نوری از منبع لایزال الهی گیرد.

چکیده

مشخص شده است که انتقال حرارت سیال‌های پایه مانند آب و اتیلن گلیکول با افزودن ذرات جامد در اندازه‌های نانومتری یا بزرگ‌تر به این سیال‌ها، افزایش می‌یابد. برای توضیح غیرعادی افزایش انتقال حرارت در نانوسیال‌ها سازوکارهای احتمالی مختلفی پیشنهاد شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تشکیل ساختار لایه‌ای مولکول‌های سیال پایه اطراف نانوذره اشاره کرد. در پژوهش‌هایی که تاکنون درباره‌ی تأثیر نانولایه‌ی اطراف نانوذره انجام شده است، فرض شده است که این لایه کاملاً همگن است. اما نتایج مکانیک آماری برای توزیع چگالی مولکول‌های سیال پیرامون نانوذره ویژگی ناهمگن بودن را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، ساختار اطراف نانوذره به‌صورت لایه مانند است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی نقش ساختار لایه‌ای و ناهمگن اطراف نانوذره‌ها در افزایش انتقال حرارت است. برای این کار ما از نتایج نظریه‌ی تابعی چگالی برای محاسبه دقیق چگالی سیال اطراف نانوذره استفاده کردیم. از آن‌جا که نیروهای دافعه نقش اصلی را در تعیین ساختار سیال بازی می‌کنند و نانوذرات را می‌توان به‌صورت کلوئیدی از کرات سخت در نظر گرفت، ما از مدل کره سخت برای به‌دست آوردن توزیع چگالی مولکول‌های سیال پایه اطراف نانوذره استفاده کرده و جذب مولکول‌های سیال در اطراف نانوذره را محاسبه کردیم. نتایج ما نشان داد که جذب اضافی کل با کاهش اندازه نانوذره، افزایش می‌یابد که این شبیه رفتار نانوسیال‌ها است که با کاهش قطر نانوذره، انتقال حرارت‌شان افزایش می‌یابد. نتایج ما همبستگی خطی بین تغییرات جذب اضافی کل با افزایش انتقال حرارت نانوسیال‌های آلومینیوم اکسید- آب با $R^2=0.992$ و آلومینیوم اکسید- اتیلن گلیکول $R^2=0.998$ را نشان دادند. به دلیل فقدان داده‌های تجربی قابل اطمینان برای قطر و غلظت حجمی از نانوذرات درمحدوده وسیع، ما نتایج خود را با نتایج به‌دست آمده از معادله‌ی کارامد کومار مقایسه کردیم. نتایج ما نشان دادند که برای سامانه‌های آلومینیوم اکسید- اتیلن گلیکول، آلومینیوم اکسید- آب و روی اکسید- آب، همبستگی خطی بیشتر از $R^2=0.99$ بین تغییرات جذب اضافی کل و افزایش انتقال حرارت برای همه این سامانه‌ها وجود دارد. هم‌چنین همبستگی خطی بین تغییرات جذب اضافی کل و افزایش دما برای داده‌های تجربی در نانوسیال‌های آلومینیوم اکسید- آب و طلا- آب مشاهده گردید.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول: روش‌های افزایش انتقال حرارت و بیان مفهوم نانوسیال.....۱

۱-۱- مقدمه.....۲

۱-۲- قوانین انتقال گرما.....۳

۱-۳-روش‌های افزایش انتقال حرارت.....۴

۱-۳-۱- سطوح گسترده.....۵

۱-۳-۲- مبدل‌های حرارتی فشرده.....۶

۱-۳-۳- افزایش انتقال حرارت گردابه‌ای.....۶

۱-۳-۴- تغییر خاصیت رئولوژیکی سیال.....۶

۱-۳-۵- میکروکانال‌ها.....۷

۱-۳-۶- ایجاد زبری سطحی.....۷

۱-۳-۷- قراردادن وسایل جابه‌جا شونده داخل مجرای سیال.....۷

۱-۳-۸- استفاده از وسایل چرخاننده جریان.....۸

۱-۳-۹- ایجاد انقطاع و شکستگی درجریان.....۸

۱-۳-۱۰- لوله‌های مارپیچی.....۸

۱-۳-۱۱- مواد افزودنی به مایعات.....۸

۱-۳-۱۲- افزودنی‌ها برای گازها.....۹

۱-۳-۱۲-۱- ذرات جامد در جریان تک‌فازی.....۹

عنوان صفحه

۱-۳-۱۲-۲- قطرات مایع در جریان تک‌فازی ۹

۱-۳-۱۳- هم‌زدن مکانیکی ۹

۱-۳-۱۴- سطوح چرخنده ۱۰

۱-۳-۱۵-نوسان سطح ۱۰

۱-۳-۱۶- نوسان سیال ۱۰

۱-۳-۱۷- استفاده از میدان الکتریکی ۱۱

۱-۳-۱۸- تزریق و مکش ۱۱

۱-۴- نانوذرات، نانولوله‌ها ۱۲

۱-۴-۱- سنتز نانوذرات ۱۲

۱-۴-۱-۱- فرایندهای حالت بخار ۱۳

۱-۴-۱-۱-۱- فرایند رسوب فیزیکی بخار یا PVD ۱۳

۱-۴-۱-۱-۲- چگالش گاز خنثی ۱۳

۱-۴-۱-۱-۳- فرایند رسوب شیمیایی فاز بخار ۱۴

۱-۴-۱-۲- فرایندهای حالت جامد ۱۴

۱-۴-۱-۳- فرایندهای حالت مایع ۱۵

۱-۴-۱-۳-۱- سنتز نانوذرات به وسیله فرایند هم‌رسوبی ۱۵

۱-۴-۱-۳-۲-میکروامولسیون ۱۵

۱-۴-۱-۳-۳- فرایند سل- ژل ۱۵

عنوان صفحه

۱-۴-۱-۳-۴-تولید نانوذرات با استفاده از روش سیال فوق بحرانی..... ۱۷
۱-۵-۱- نانولوله‌های کربنی..... ۱۷
۱-۵-۲- ساختار و رشد نانولوله‌ها..... ۱۸
۱-۵-۳-روش‌های سنتز و رشد نانولوله‌ها..... ۱۹
۱-۵-۳-۱- روش تخلیه قوس الکتریکی..... ۱۹
۱-۵-۳-۲- روش سایش لیزر..... ۲۰
۱-۵-۳-۳- روش رسوب بخار شیمیایی..... ۲۰
۱-۵-۴- خواص نانولوله‌ها..... ۲۰
۱-۵-۴-۱- خواص الکتریکی..... ۲۱
۱-۵-۴-۲- خواص مکانیکی نانولوله‌ها..... ۲۱
۱-۵-۴-۳-هدایت حرارتی بسیار بالا..... ۲۱
۱-۶- نانوسیال محیط جدید انتقال حرارت..... ۲۱
۱-۶-۱- مفهوم نانوسیال..... ۲۲
۱-۶-۲- مزایای بالقوه نانوسیال..... ۲۳
۱-۶-۲-۱- بهبود انتقال حرارت و پایداری..... ۲۴
۱-۶-۲-۲- کاهش توان لازم برای پمپ کردن سیال..... ۲۴
۱-۶-۲-۳- کاهش گرفتگی و انسداد مجاری..... ۲۵
۱-۶-۲-۴- کاهش اندازه سیستم‌های انتقال حرارت..... ۲۵

عنوان صفحه

۱-۶-۲-۵- کاهش هزینه‌ها..... ۲۵

۱-۶-۳- تهیه نانوسیال..... ۲۵

۱-۶-۴- پایداری نانوذرات در نانوسیالات..... ۲۷

۱-۶-۴-۱- تغییر pH سوسپانسیون..... ۲۸

۱-۶-۴-۲- استفاده از فعال‌کننده‌های سطح و پخش‌کننده‌ها..... ۲۸

۱-۶-۴-۳- استفاده از نوسانات ماورای صوت..... ۲۹

۱-۷- ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات..... ۳۰

۱-۷-۱- عوامل موثر بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۳۲

۱-۷-۱-۱- اثر غلظت نانوذرات بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۳۲

۱-۷-۱-۲- اثر pH بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۳۴

۱-۷-۱-۳- اثر دما برضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۳۵

۱-۷-۱-۴- اثر اندازه نانوذرات بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۳۶

۱-۸- مدل‌های ریاضی تخمین ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۳۷

۱-۸-۱ اصلاح مدل ماکسول با تأثیر لایع مایع در فصل مشترک مایع- جامد..... ۴۰

۱-۸-۲-مدلی برای در نظر گرفتن اثر حرکت براونی در ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات..... ۴۳

فصل دوم: سیال چگال..... ۴۵

۲-۱- مقدمه..... ۴۶

عنوان صفحه

۲-۲- برهم‌کنش‌های بین مولکولی درسیال‌ها..... ۴۶

۲-۳- گاز کامل: ذرات بدون برهم‌کنش..... ۴۷

۲-۴- گاز کامل با حجم مولکولی: الگوی پتانسیل کره‌ی سخت..... ۴۸

۲-۵- الگوی پتانسیل لنارد- جونز..... ۴۸

۲-۶- ساختار سیال..... ۵۰

۲-۷- تابع توزیع شعاعی..... ۵۱

۲-۸- سیال کره‌ی سخت: تأثیر حجم مولکولی بر ساختار و خواص ترمودینامیکی سیال..... ۵۳

۲-۹- اثر نیروهای جاذبه و دافعه‌ی نرم بر ساختار سیال..... ۵۶

۲-۹-۱- توزیع سیال کره‌ی نرم در اطراف یک کره‌ی سخت..... ۵۶

۲-۱۰- توزیع سیال کره‌ی نرم در اطراف یک کره‌ی نرم: تابع توزیع شعاعی سیال لنارد- جونز..... ۵۸

۲-۱۱- ساختار سیال کره‌ی سخت..... ۵۹

۲-۱۲- توزیع چگالی سیال کره‌ی سخت پیرامون کرات سخت با قطرهای گوناگون..... ۶۰

۲-۱۳- توزیع مولکول‌های سیال پیرامون مولکول‌های مرکزی با قطرهای متفاوت..... ۶۲

۲-۱۴- تأثیر جاذبه‌ی مولکول مرکزی- مولکول سیال بر ساختار سیال..... ۶۵

۲-۱۵- مقایسه‌ی نقش پتانسیل جاذبه‌ی تهی‌شدگی و جاذبه‌ی بین مولکول مرکزی- سیال برساختار سیال.... ۶۶

۲-۱۶- تأثیر نرمی مولکول مرکزی بر ساختار سیال کره‌ی سخت پیرامون آن..... ۶۷

۲-۱۷- نظریه‌ی تابعی چگالی..... ۷۰

عنوان صفحه

فصل سوم: بررسی توزیع چگالی سیال اطراف نانوذره و ارتباط آن با افزایش انتقال حرارت..... ۷۲

۳-۱- نرم افزارهای مورداستفاده ۷۳

۳-۲- بررسی برهم‌کنش بین نانوذرات.....۷۳

۳-۳- بررسی توزیع چگالی سیال اطراف نانوذرات.....۷۵

۳-۴- بررسی میزان جذب برای نانوذرات با اندازه‌های مختلف و ارتباط آن با انتقال حرارت..... ۷۸

۳-۵- بررسی اثر غلظت حجمی نانوذرات بر میزان جذب و ضریب هدایت حرارتی.....۸۲

۳-۶- بررسی اثر دما بر افزایش انتقال حرارت و رابطه آن با میزان جذب.....۸۸

۳-۷- بررسی تغییرات میزان جذب کل با معادله‌های موجود برای قطرهای مختلف از نانوذرات..... ۹۲

۳-۸- بیان یک رابطه نظری بین میزان جذب و ضریب هدایت حرارتی مؤثر.....۹۸

۳-۹-بحث و نتیجه‌گیری.....۱۰۰

مراجع.....۱۰۱

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۱-۱ مدل‌های‌تخمین ضریب هدایت گرمایی سوسپانسیون‌های جامد- مایع.....۳۸

جدول ۱-۲ مدل‌هایی برای تخمین اثر نانولایه و اندازه نانوذرات در اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی نانوسیال.....۳۹

جدول ۳-۱ مقایسه افزایش انتقال حرارت در معادله کومار و معادله به‌دست آمده برای نانوذرات با قطرهای ۸۰ σ و ۱۲۰ σ ($\sigma = ۳$ Å) در کسرهای حجمی مختلف (Φ).....۹۹

جدول ۳-۲ مقایسه افزایش انتقال حرارت در معادله کومار و معادله به‌دست آمده برای نانوذرات با قطرهای ۱۸۰ σ و ۲۵۰ σ ($\sigma = ۳$ Å) در کسرهای حجمی مختلف (Φ).....۹۹

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل (۱-۱) ترکیب هدایت و جابجایی در یک سازه..... ۵

شکل (۱-۲) سه گروه نانولوله‌های کربنی تک جداره..... ۱۹

شکل (۱-۳) ضریب هدایت حرارتی تعدادی از مواد..... ۲۲

شکل (۱-۴) روش تک‌مرحله‌ای تهیه نانوسیال..... ۲۶

شکل (۱-۵) اثر غلظت نانوذرات بر ضریب هدایت حرارتی سیال..... ۳۳

شکل (۱-۶) تاثیر سیال پایه بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۳۳

شکل (۱-۷) وابستگی افزایش ضریب هدایت حرارتی نانوسیال به نوع ذره افزوده شده به سیال..... ۳۴

شکل (۱-۸) اثر pH بر مقدار افزایش ضریب هدایت حرارتی نانوسیال برای سامانه آب αAl_2O_3..... ۳۴

شکل (۱-۹) افزایش ضریب هدایت حرارتی سامانه آب-آلومینیوم اکسید در دماهای مختلف..... ۳۶

شکل (۱-۱۰) اثر اندازه نانوذره بر ضریب هدایت حرارتی در سامانه آلومینیوم اکسید-آب..... ۳۷

شکل (۱-۱۱) سطح مقطع نانسیال شامل نانوذرات، توده سیال و نانولایه‌ها در فصل مشترک جامد/مایع..... ۴۰

شکل (۱-۱۲) افزایش ضریب هدایت حرارتی به‌صورت تابعی از قطر ذره برای سوسپانسیون‌های مس در اتیلن گلایکول ($K_{layer}=K_p$)..... ۴۲

شکل (۲-۱) نمایی از یک پتانسیل بین مولکولی لناردجونز..... ۴۹

شکل (۲-۲) تابع توزیع شعاعی سیال کره‌ی سخت در چند چگالی مختلف..... ۵۵

شکل (۲-۳) توزیع سیال‌های کره‌ی سخت و لنارد –جونز با چگالی کاهش یافته‌ی $\rho\sigma^3=0/7$ در اطراف یک کره‌ی سخت با قطر σ..... ۵۷

شکل (۲-۴) توزیع سیال لنارد-جونز با چگالی کاهش یافته‌ی $\rho\sigma^3=/7$ در اطراف یک کره‌ی سخت و یک

عنوان صفحه

کره‌ی نرم با قطر σ ۵۹

شکل (۲-۵) شیوه‌ی قرار گرفتن تعدادی کره‌ی سخت گرداگرد کره‌ی سخت دیگر در حالت بیشینه‌ی فشردگی ۶۱

شکل (۲-۶) شیوه‌ی قرار گرفتن تعدادی کره‌ی سخت پیرامون کره‌ی سخت دیگر با شعاع بزرگ‌تر درحالت بیشینه‌ی فشردگی ۶۳

شکل(۲-۷) تابع توزیع چگالی تک‌ذره‌ای سیال کره-ی سخت با چگالی کاهش یافته‌ی $\rho\sigma^3$=۰/۷ پیرامون مولکول‌های کره‌ی سخت با قطرهای گوناگون ۶۴

شکل (۲-۸) پتانسیل بین مولکول مرکزی و مولکول‌های سیال (معادله‌ی (۲-۹)) برای پارامترهای مختلف ۶۶

شکل (۲-۹) تابع توزیع چگالی تک‌ذره‌ای سیال کره‌ی سخت با چگالی کاهش یافته‌ی $\rho\sigma^3$=۰/۷ پیرامون یک مولکول مرکزی با میدان پتانسیل (۲-۹) و λ= ۱/ ۸ قطر این مولکول برابر قطر مولکول‌های سیال کره‌ی سخت در نظر گرفته شده است ۶۷

شکل (۲-۱۰) تابع توزیع چگالی تک‌ذره‌ای سیال کره‌ی سخت با چگالی کاهش یافته $\rho\sigma^3$=۰/۷ پیرامون یک مولکول کره‌ی نرم با قطر σ و نرمی، n، مختلف ۷۰

شکل (۳-۱) کم‌ترین فاصله بین دو نانوذره ۷۴

شکل (۳-۲) تابع توزیع شعاعی سیال کره‌ی سخت با چگالی $\rho\sigma^3$=۰/۷ که با استفاده از شبیه‌سازی دینامیک مولکولی (MD) و روش DFT به دست آمده-اند ۷۷

شکل (۳-۳) تغییرات ضریب هدایت حرارتی و جذب کل نسبت به اندازه نانوذره برای داده‌های تجربی در سامانه آلومینیوم اکسید-آب ۸۰

شکل (۳-۴) تغییرات جذب کل نسبت به ضریب هدایت حرارتی برای داده‌های تجربی در سامانه آلومینیوم اکسید-آب ۸۰

عنوان صفحه

شکل (۳-۵) تغییرات جذب کل نسبت به قطر نانوذره برای داده‌های تجربی در سامانه آلومینیوم اکسید-اتیلن گلیکول..... ۸۱

شکل (۳-۶) تغییرات جذب کل نسبت به ضریب هدایت حرارتی برای داده‌های تجربی در سامانه آلومینیوم اکسید-اتیلن گلیکول..... ۸۱

شکل (۳-۷) تغییرات جذب کل نسبت به Φ در سامانه آلومینیوم اکسید-اتیلن گلیکول با قطر ۲۴/۴ نانومتر..... ۸۳

شکل (۳-۸) تغییرات جذب کل نسبت به ضریب هدایت حرارتی برای داده‌های تجربی در سامانه آلومینیوم اکسید-اتیلن گلیکول باقطر ۲۴/۴ نانومتر..... ۸۳

شکل (۳-۹) تغییرات جذب کل نسبت به Φ در سامانه مس-آب با قطر ۱۸ نانومتر..... ۸۴

شکل (۳-۱۰) تغییرات جذب کل نسبت به ضریب هدایت حرارتی برای داده‌های تجربی در سامانه مس-آب باقطر ۱۸ نانومتر..... ۸۴

شکل (۳-۱۱) تغییرات جذب کل نسبت به Φ در سامانه آلومینیوم اکسید-آب با قطر ۱۳ نانومتر..... ۸۵

شکل (۳-۱۲) تغییرات جذب کل نسبت به ضریب هدایت حرارتی برای داده‌های تجربی در سامانه آلومینیوم اکسید-آب با قطر ۱۸نانومتر..... ۸۵

شکل (۳-۱۳) تغییرات جذب کل نسبت به Φ در سامانه اکسید مس-اتیلن گلیکول با قطر ۳۰ نانومتر..... ۸۶

شکل (۳-۱۴) تغییرات جذب کل نسبت به ضریب هدایت حرارتی برای داده‌های تجربی در سامانه اکسید مس-اتیلن گلیکول با قطر ۳۰ نانومتر..... ۸۶

شکل (۳-۱۵) تغییرات جذب کل نسبت به Φ در سامانه اکسید مس-اتیلن گلیکول با قطر ۶ نانومتر..... ۸۷

شکل (۳-۱۶) تغییرات جذب کل نسبت به ضریب هدایت حرارتی برای داده‌های تجربی در سامانه اکسید مس-اتیلن گلیکول با قطر ۶ نانومتر..... ۸۷

عنوان صفحه

شکل (۳-۱۷) حالت الف برای موقعی که دما پایین است و حالت ب برای وقتی که دما زیاد باشد.....۸۸

شکل (۳-۱۸) تغییرات افزایش دما با میزان جذب کل در سامانه طلا-آب با قطر ۱۷ نانومتر

برای داده‌های تجربی.....۹۰

شکل (۳-۱۹) تغییرات میزان افزایش ضریب هدایت حرارتی با میزان جذب کل در سامانه

طلا-آب با قطر ۱۷ نانومتر.....۹۱

شکل (۳-۲۰) تغییرات افزایش دما با میزان جذب کل برای داده‌های تجربی در سامانه

آلومینیوم اکسید-آب با قطر ۳۸/۴ نانومتر.....۹۱

شکل (۳-۲۱) تغییرات میزان افزایش ضریب هدایت حرارتی نسبت به میزان جذب کل برای

دماهای تجربی در سامانه اکسید آلومیوم-آب با قطر ۳۸/۴.....۹۲

شکل (۳-۲۲) تغییرات جذب کل با کسر حجمی ۰۵/ برای نانوذرات با قطرهای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰،

۴۵، ۵۰، ۷۸، ۱۰۰، ۱۵۶، ۲۰۰ و ۳۰۰ برابر قطر مولکول سیال و ارتباط آن با افزایش

ضریب هدایت حرارتی در معادله کومار برای سامانه آلومینیوم اکسید-آب ۹۴

شکل (۳-۲۳) تغییرات جذب کل با کسر حجمی ۰۵/ برای نانوذرات با قطرهای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰،

۴۵، ۵۰، ۷۸، ۱۰۰، ۱۵۶، ۲۰۰ و ۳۰۰ برابر قطر مولکول سیال و ارتباط آن با افزایش

ضریب هدایت حرارتی در معادله کومار برای سامانه آلومینیوم اکسید- اتیلن گلیکول.....۹۴

شکل (۳-۲۴) تغییرات جذب کل برای نانوذرات با قطرهای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۷۸،

۱۰۰، ۱۵۶، ۲۰۰ و ۱۵ تا۳۰۰ برابر قطر مولکول سیال و ارتباط آن با افزایش ضریب

هدایت حرارتی در معادله کومار برای سامانه اکسید روی-آب.....۹۵

شکل (۳-۲۵) تغییرات جذب کل با ضریب هدایت حرارتی نانوذره با قطر ۱۵ برابر قطر مولکول سیال

در سامانه آلومینیوم اکسید- آب.....۹۶

شکل (۳-۲۶) تغییرات جذب کل با ضریب هدایت حرارتی نانوذره با قطر ۳۰۰ برابر قطر

عنوان صفحه

مولکول سیال در سامانه آلومینیوم اکسید- آب.....۹۶

شکل (۳-۲۷) تغییرات جذب کل با ضریب هدایت حرارتی نانوذره با قطر ۱۵ برابر قطر

مولکول سیال در سامانه آلومینیوم اکسید- اتیلن گلیکول.....۹۷

شکل (۳-۲۸) تغییرات جذب کل با ضریب هدایت حرارتی نانوذره با قطر ۳۰۰ برابر قطر

مولکول سیال در سامانه آلومینیوم اکسید- اتیلن گلیکول.....۹۷

فصل اول

روش‌های افزایش انتقال حرارت و بیان مفهوم نانوسیال

۱-۱-مقدمه

انتقال گرما علم پیش‌بینی انتقال انرژی ناشی از اختلاف دما بین اجسام مادی است. در ترمودینامیک این انرژی به‌عنوان گرما تعریف می‌شود. علم انتقال گرما نه‌تنها می‌خواهد چگونگی مبادله انرژی گرمایی را توضیح دهد، بلکه آهنگ این مبادله در شرایط مشخص را نیز پیش‌بینی می‌کند.هرچند هم در انتقال حرارت و هم در ترمودینامیک از گرما صحبت می‌شود،ولی در ترمودینامیک حالات تعادلی ابتدا وانتهای فرایند انتقال گرما موردنظر است در حالیکه در انتقال حرارت سرعت وچگونگی انتقال گرما مورد بحث قرار می‌گیرد وبه‌ویژه به این نکته باید توجه داشت که در انتقال حرارت با فرایندهای برگشت‌ناپذیر[1]سروکار داریم.چون تمام فرایندهای واقعی انتقال حرارت برگشت‌ناپذیرند، لذا انتقال گرما در تمام فرایندهای واقعی سبب افزایش آنتروپی کل می‌شودو به دلیل برگشت‌ناپذیری، نمی‌توان مقدار گرمای منتقل شده را از رابطه$\int TdS$محاسبه کرد، که S انتروپی و T دما است[۱].کاربرد وسیع انتقال حرارت در صنایع گوناگون سبب گردیده است که افزایش کارایی دستگاه‌های حرارتی در اولویت طراحان واحدهای صنعتی قرار گیرد. پیشرفت در فن‌آوری نانو در دو دهه اخیر و استفاده از نانوسیال به‌عنوان محیط جدید انتقال حرارت افق جدیدی را فراروی پژوهشگران ایجاد کرده است.پیشینه بررسی و مدل‌سازی نانوسیالات، به مطالعات نظری ماکسول[2]در حدود ۱۰۰ سال پیش برمی‌گردد[۲]. لیکن تا سال‌های اخیر، بررسی‌ها برای ذراتی که دارای اندازه میلی‌متری یا میکرومتری بودند، صورت گرفته بود. در این اندازه‌ها ذرات با مشکل جدی ته‌نشینی سریع روبه‌رو هستند. به این مشکل باید مسئله ایجاد سایش در مسیر جریان و افزایش افت فشار را نیز اضافه کرد. به‌علاوه، برای سامانه‌های میکرونی انتقال حرارت، این ذرات بسیار درشت بودند[۲].

فن‌آوری جدید نانو این امکان را فراهم آورده تا بتوان ذراتی با اندازه بسیار کوچک نانومتری تولید کرد. این پیشرفت سبب شد تا در سال ۱۹۹۳ ایده استفاده از نانوذرات فلزی در داخل سیالات حامل انرژی نظیر آب

[1] Irreversible
[2] Maxwell

و اتیلن گلیکول مطرح و موضوع نانوسیال به‌عنوان موضوع جدید انتقال حرارت مطرح گردد. چوی[۳] از بخش فن-آوری انرژی آزمایشگاه ملی آرگون[۴] آمریکا، در سال ۱۹۹۵ اولین بار موضوع نانوسیال را به‌عنوان محیط انتقال حرارت مطرح نمود[۲]. نانوسیالات طبقه جدیدی از سیالات انتقال‌دهنده حرارت می‌باشند که از طریق معلق-سازی نانوذرات در سیالات معمولی و متداول انتقال‌دهنده حرارت، که به‌عنوان سیال پایه شناخته می‌شوند، به-دست می‌آیند [۲]. پراکندگی نانوذرات درون سیال باید کاملاً همگن باشد [۲].متوسط اندازه ذرات استفادهشده در نانوسیالات، زیر ۵۰nm است[۳]. هر چند امروزه تحقیقات به این اندازه محدود نبوده و ذراتی با توزیع اندازه-های مختلف در دامنه ۱nm تا ۱۰۰nm مورد مطالعه قرار می‌گیرند[۴].

۱-۲-قوانین انتقال گرما

در انتقال‌حرارت با انتقال گرمای ناشی از اختلاف دما سروکار داریم. فرایندهای انتقال گرما در طبیعت به سه روش هدایت، جابجایی و تابش صورت می‌گیرد.

سه قانون مهم انتقال گرما عبارتند از:

۱- قانون فوریه[۵]بیان‌گر انتقال گرما به روش هدایتاست.

۲- قانون سرمایش نیوتن[۶]معرف انتقال گرما به روش جابجایی یا همرفت[۷]است.

۳- قانون استفان-بولتزمن[۸]توصیف‌کننده انتقال گرما به روش تشعشع[۹](تابش) است.

در فرایند انتقال گرما به روش هدایتی،گرما بین دو نقطه با دماهای متفاوت در حالی انتقال می‌یابد که محیطکل انتقال حرارت ساکن است. در فرایند انتقال حرارت به‌روش جابجایی،گرمابین دو نقطه با دماهای

[3]Choi
[4]Argonne
[5]Fouriers law
[6]Newtons law of cooling
[7]Conduction
[8]Stefan Boltzman law
[9]Radiation