بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

بررسی پدیده جوشش در نانو سیالات به روش عددی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی – پیشرفته

میر امید هاشمی نیا

اساتید راهنما

دکتر مسعود حق شناس فرد

دکترسید حسن هاشم آبادی

زمستان ۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی آقای میر امید هاشمی نیا

تحت عنوان

بررسی پدیده جوشش در نانو سیالات به روش عددی

در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۲۳ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مسعود حق شناس فرد
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سید حسن هاشم آبادی
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر غلامرضا اعتماد
۴- استاد داور	دکتر احمد محب
۵- استاد داور	دکتر محمد رضا احسانی
۶- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر حمید زیلویی

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به :

پدر و مادرعزیزم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هفت
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه
۱-۱ معرفی نانو سیال ۲
۱-۲ روش های تولید نانو سیالات ۵
۱-۲-۱ روش تولید دو مرحله ای ۵
۱-۲-۲ روش تولید تک مرحله ای ۵
۱-۳ کاربردهای نانو سیال ۶
۱-۳-۱ حمل و نقل ۶
۱-۳-۲ بیوتکنولوژی ۶
۱-۳-۳ کاربردهای دیگر ۶
۱-۳-۴ جوشش نانو سیالات ۷
فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته
۲-۱ مقدمه ۸
۲-۲ مطالعات انجام شده در مورد ضریب هدایت حرارتی ۸
۲-۲-۱ مطالعات تجربی ۸
۲-۲-۲ تاثیر درصد حجمی نانو ذرات در ضریب هدایت حرارتی ۹
۲-۲-۳ تاثیر جنس نانو ذرات در ضریب هدایت حرارتی ۱۰
۲-۲-۴ تاثیر شکل نانو ذرات در ضریب هدایت حرارتی ۱۱
۲-۲-۵ تاثیر نوع سیال پایه در ضریب هدایت حرارتی ۱۱
۲-۲-۶ تاثیر دمای نانوسیالات در ضریب هدایت حرارتی ۱۱
۲-۲-۷ مدل سازی ضریب هدایت حرارتی نانو سیال ها ۱۱
۲-۳ مطالعات انجام شده در مورد ضریب انتقال حرارت جابجایی ۱۳
۲-۳-۱ مطالعات تجربی در مورد ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیالات ۱۳
۲-۳-۲ شبیه سازی های عددی ۱۵
۲-۴ مطالعات انجام شده در مورد ویسکوزیته نانو سیالات ۱۵
۲-۵ مطالعات تجربی در مورد ویسکوزیته نانو سیالات ۱۵
۲-۵-۱ مدل سازی های ریاضی در مورد ویسکوزیته نانو سیالات ۱۷
۲-۶ فرایند جوشش در نانو سیالات ۱۸
۲-۷ دسته‌بندی جوشش ۱۸
۲-۷-۱ جوشش استخری ۱۹
۲-۷-۲ منحنی جوشش ۱۹
۲-۸ رژیم‌های جوشش استخری ۲۱
۲-۸-۱ جوشش جابجایی آزاد ۲۱

۲-۸-۱ جوشش هسته‌ای ۲۱
۲-۸-۲ جوشش انتقالی ۲۳
۲-۸-۳ جوشش فیلمی ۲۳
۲-۹ جوشش جریانی ۲۴
۲-۱۰ مطالعات انجام‌شده در مورد پدیده جوشش نانوسیال‌ها ۲۴
۲-۱۱ اثرات زبری سطح روی جوشش ۳۶
۲-۱۲ تخمین خواص ترموفیزیکی نانوسیالات ۳۸
۲-۱۲-۱ روابط فیزیکی برای تخمین چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه ۳۹
۲-۱۳ مدل ارائه‌شده توسط مایگا ۴۱
۲-۱۴ مدل ارائه شده برای نانوسیال SiO_2 و ZrO_2 ۴۳
۲-۱۵ تغییر زاویه تماس در اثر جوشش نانو سیالات ۴۳
۲-۱۵-۱ دلیل افزایش ترکنندگی سطح در اثر ته نشینی نانوسیال روی آن ۴۴
فصل سوم: معادلا ت حاکم بر جوشش نانوسیال
۳-۱ مقدمه ۴۶
۳-۱-۱ پیش پردازنده ۴۷
۳-۱-۲ حل کننده ۴۷
۳-۱-۳ روش حجم محدود ۴۸
۳-۱-۴ پس پردازنده ۴۸
۳-۲ روش حل عددی ۴۹
۳-۳ معادله پیوستگی ۵۱
۳-۴ معادلات اندازه حرکت ۵۱
۳-۵ معادله انرژی ۵۲
۳-۶ آشفتگی و مدل کردن آن ۵۲
۳-۶-۱ اثر آشفتگی روی معادلات میانگین زمانی ناویر- استوکس ۵۳
۳-۶-۲ معادلات رینولدز ۵۳
۳-۶-۳ مدل $k-\varepsilon$ ۵۵
۳-۶-۴ معادلات مدل $k-\varepsilon$ ۵۶
۳-۷ مدلهای چند فازی ۵۶
۳-۷-۱ دیدگاه حجم سیال ۵۶
۳-۷-۲ دیدگاه اولرین-لاگرانژین ۵۷
۳-۷-۳ دیدگاه اولرین-اولرین ۵۷
۳-۷-۴ مدل اولرین-اولرین ۵۷
۳-۷-۵ مدل مخلوط ۵۸
۳-۸ شرایط مرزی مورد استفاده در شبیه سازی ۵۹
۳-۸-۱ شرایط مرزی ورودی ۵۹

۳-۸-۲ شرط مرزی دیوار ۶۰
۳-۸-۳ شرایط مرزی فشار خروجی ۶۰
۳-۸-۴ مرز تقارن ۶۱
۳-۹ شبیه سازی پدیده جوشش برای سیال آب ۶۱
۳-۹-۱ انتقال حرارت مایع و دیواره ۶۱
۳-۹-۲ تعداد مکان هسته زایی ۶۳
۳-۹-۳ قطر حباب جدا شده ۶۳
۳-۹-۴ فرکانس جدا شدن حباب ها ۶۴
۳-۱۰ انتقال حرارت بین‌سطحی ۶۵
۳-۱۰-۱ انتقال حرارت سمت مایع ۶۵
۳-۱۱ انتقال ممنتوم ۶۶
۳-۱۱-۱ نیروی درگ ۶۶
۳-۱۱-۲ نیروی لیفت ۶۸
۳-۱۱-۳ نیروی جرم مجازی ۶۹
۳-۱۱-۴ نیروی پخش توربولنس ۶۹
۳-۱۲ انتقال جرم ۷۰
۳-۱۳ الگوریتم حل ۷۱
فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج
۴-۱ هندسه، شرایط و فرضیات مساله ۷۲
۴-۲ بررسی پدیده جوشش آب ۷۳
۴-۱ استقلال از مش ۷۴
۴-۲ دلایل ایجاد خطا در شبیه سازی ۷۹
۴-۳ تخمین خواص نانوسیال های مورد استفاده ۸۰
۴-۳-۱ تخمین خواص نانوسیال آب و اکسید سیلیسیم ۸۰
۴-۳-۲ تخمین خواص نانوسیال آب و اکسید آلومینیم ۸۱
۴-۳-۱ تخمین خواص نانوسیال آب و اکسید زیرکنیم ۸۲
۴-۴ نتایج با در نظر گرفتن رسوب نانو ذرات ۸۴
۴-۴-۱ نانو سیال آب و اکسید آلومینیم ۸۴
۴-۴-۲ نانو سیال آب و اکسید سیلیسیم ۸۷
۴-۴-۳ نانو سیال آب و اکسید زیرکنیم ۸۸
۴-۵ تاثیر تغییرات زبری سطح بر جوشش نانو سیلات ۸۹
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۵-۱ نتایج ۹۲
۵-۲ پیشنهادات ۹۳
مراجع ۹۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ نانوسیال آب و سیترات طلا[۱] ۴
شکل ۲-۱ نسبت ضریب هدایت حرارتی در نانو سیال آب و اکسید آلومینیوم[۶] ۹
شکل ۲-۲. بررسی ویسکوزیته برحسب دما و درصد حجمی نانوسیال برای نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم[۲۷]..... ۱۶
شکل ۲-۳. توزیع دما در جوشش استخری اشباع با فصل مشترک مایع ـ بخار[۳۴] ۱۹
شکل ۲-۴. دستگاه گرمایش کنترل‌شده توانی برای نمایش منحنی جوشش[۳۴] ۲۰
شکل ۲-۵. منحنی جوشش نوکیاما برای آب اشباع[۳۴] ۲۰
شکل ۲-۶. منحنی جوشش آب در فشار یک اتمسفر[۳۴] ۲۲
شکل ۲-۷. جوشش متانول روی لوله افقی، جوشش هسته‌ای در ناحیه فواره‌ای و ستونی[۳۴] ۲۲
شکل ۲-۸. جوشش متانول روی لوله افقی، جوشش فیلمی[۳۴] ۲۳
شکل ۲-۹. جوشش جریانی در لوله عمودی ۲۴
شکل ۲-۱۰. جوشش جریانی در لوله افقی ۲۴
شکل ۲-۱۱. الف) متوسط زبری سطح قبل از جوشش ب) متوسط زبری سطح بعد از جوشش[۳۵] ۲۵
شکل ۲-۱۲. جوشش استخری نانوسیالات روی گرم‌کن زبر و صاف[۳۵] ۲۶
شکل ۲-۱۳. منحنی‌های $q-\Delta T$ برای نانوسیالات روی لوله‌های افقی با قطرهای متفاوت[۳۶] ۲۷
شکل ۲-۱۴. منحنی Nu-Re نانوسیالات[۳۶] ۲۸
شکل ۲-۱۵. $CHF_{Nano\ fluids}$ / CHF_{Water} در غلظت های مختلف[۳۷] ۲۸
شکل ۲-۱۶. منحنی‌های جوشش آب خالص و نانوسیالات[۳۸] ۲۹
شکل ۲-۱۷. تغییر زبری سطح نمونه[۳۸] ۳۰
شکل ۲-۱۸. منحنی جوشش برای آب خالص و نانو سیال در شار حرارتی پایین[۳۸] ۳۱
شکل ۲-۱۹. منحنی‌های جوشش سیم NiCr (D=40/4mm) در محلول‌های آب ـ سیلیکا[۳۹] ۳۱
شکل ۲-۲۰. دمای دیواره برای آب و نانو سیال به عنوان تابعی از دمای دیواره[۴۰] ۳۲
شکل ۲-۲۱. مقایسه ضرایب انتقال حرات آب و نانو سیال[۴۰] ۳۲
شکل ۲-۲۲. نسبت ضرایب انتقال حرارت[۴۰] ۳۳
شکل ۲-۲۳. نسبت ضرایب انتقال حرارت[۴۱] ۳۳
شکل ۲-۲۴. وابستگی ضریب انتقال حرارت به زبری سطح برای سیال آب و FC-77 [۵۲] ۳۸
شکل ۲-۲۵. چگالی نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم بر حسب درصد حجمی نانوذرات[۲۱] ۳۹
شکل ۲-۲۶. ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم بر حسب درصد حجمی نانوذرات با استفاده از روابط دقیق وتقریبی[۲۳] ۴۱

شکل ۲-۲۷ تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم با استفاده از مـدل مایگـا و همکـاران[۲۳] ۴۲
شکل ۲-۲۸ تغییرات ضریب ویسکوزیته نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم با استفاده از مدل مایگا[۲۳] ۴۲
شکل ۲-۲۹. زاویه تماس قطره آب روی سطح استیل[۴۱] ۴۵
شکل ۲-۳۰. زاویه تماس قطره نانو سیال آب و اکسید آلومینیم روی سطح استیل[۴۱] ۴۵
شکل ۳-۱ شبکه دو بعدی برای حل توسط الگوریتم Simple [۴۴] ۵۰
شکل ۳-۲. طبیعت نیروی درگ در یک سیستم چند فازی[۶۰] ۶۷
شکل ۳-۳نیروی لیفت وارد شده به یک ذره[۶۰] ۶۸
شکل ۳-۴نیروی لیفت وارد شده به یک ذره در یک جریان[۶۰] ۶۸
شکل ۳-۵. الگوریتم حل Simple ۷۱
شکل ۴-۱. شماتیک هندسه مساله ۷۳
شکل ۴-۲. ۳نوع مش بندی با اندازه های مختلف ۷۴
شکل ۴-۳. درصد حجمی فاز بخار در راستای طول لوله ($q= 345\ kw/m^2$)و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی[۶۵].. ۷۵
شکل ۴-۴. درصد حجمی فاز بخار در راستای شعاع لوله در مقاطع طولی مختلف ۷۶
شکل ۴-۵. دمای سوپرهیت دیواره(T_{wall}-T_{sat}) در طول لوله و مقایسه آن با اطلاعات تجربی[۶۵] ۷۷
شکل ۴-۶. درصد حجمی فاز بخار در خروجی لوله در شارهای حرارتی مختلف ۷۸
شکل ۴-۷. دمای بالک مایع در طول دیواره و مقایسه آن با اطلاعات آزمایشگاهی[۶۵] ۷۸
شکل ۴-۸. تخمین چگالی نانو سیال Water/SiO2 ..... ۸۶
شکل ۴-۹. تخمین هدایت حرارتی نانو سیال Water/SiO2 ..... ۸۰
شکل ۴-۱۰تخمین ویسکوزیته نانو سیال Water/SiO2 ..... ۸۰
شکل ۴-۱۱ تخمین ظرفیت حرارتی ویژه نانو سیال Water/SiO2 ..... ۸۰
شکل ۴-۱۲. مقایسه خواص نانو سیال Water/SiO2 و آب در دمای 473.15 ..... ۸۱
شکل ۴-۱۳. مقایسه خواص نانو سیال Water/Al2O3 و آب در دمای 473.15 ..... ۸۱
شکل ۴-۱۴. مقایسه خواص نانو سیال Water/ZrO2 و آب در دمای 473.15 ..... ۸۲
شکل ۴-۱۵. مقایسه نتیجه شبیه سازی آب و نانو سیال در دو درصد حجمی ۱٪ و ۱۰٪ بدون در نظر گرفتن تغییرات سطح ۸۳
شکل ۴-۱۶. درصد حجمی فاز بخار در خروجی لوله(نانو سیال آب و اکسید آلومینیم) ۸۴
شکل ۴-۱۷ کانتورهای درصد حجمی نانو سیال Al_2O_3/H_2O در راستای طول لوله در شار حرارتی مختلف ۸۶
شکل ۴-۱۸ کانتورهای دمای بالک مایع در مقاطع طولی مختلف برای نانو سیال Al_2O_3/H_2O در $q=450kw/m^2$... ۸۷
شکل ۴-۱۹. درصد حجمی فاز بخار در خروجی لوله(نانو سیال آب و اکسید سیلیسیم) ۸۸
شکل ۴-۲۰. درصد حجمی فاز بخار در خروجی لوله(نانو سیال آب و اکسید زیرکنیم) ۸۹

شکل ۴-۲۱ مقایسه CHF نانو سیال های مختلف و آب در درون لوله ۹۰
شکل ۴-۲۲CHF نانو سیال های مختلف و آب بر روی هیتر سیمی فولاد ضد زنگ[۴۵] ۹۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- ضریب هدایت حرارتی فلزات و اکسید آنها در مقایسه با چند مایع ۳
جدول ۲-۱. افزایش شار حرارتی بحرانی[۳۶] ۲۹
جدول ۲-۲ خلاصه آزمایشهای انجام شده در نانو سیالات و نتایج آنها ۳۴
جدول ۲-۳. وابستگی ضریب انتقال حرارت جوشش به زبری سطح ۳۶
جدول ۲-۴- زاویه تماس نانو سیال و آب روی سطوح تمیز و پوشیده از نانو سیال[۴۱] ۴۴
جدول ۴-۱- خواص لوله از جنس فولاد ضد زنگ ۷۳
جدول ۴-۲- تعریف خواص آب در دو دمای مختلف ۷۴
جدول ۴-۳- مشخصات مش بندی ۷۴
جدول ۴-۴ میزان خطای در صد حجمی در راستای طول لوله ۷۵
جدول ۴-۵- میزان خطا ی دمای سوپرهیت دیواره ۷۷
جدول ۴-۶- میزان خطای دمای بالک مایع ۷۹
جدول ۴-۷- مقایسه نتیجه شبیه سازی نانو سیال Al_2O_3/H_2O در درصد حجمی مختلف ۸۵
جدول ۴-۸- مقایسه نتیجه شبیه سازی نانو سیال SiO_2/H_2O در درصد حجمی مختلف ۸۸
جدول ۴-۹- مقایسه نتیجه شبیه سازی نانو سیال ZrO_2/H_2O در درصد حجمی مختلف ۸۹

چکیده

سیال هایی با ذرات معلق در ابعاد نانو به عنوان نانوسیالات شناخته می‌شوند. این سیالات به دلیل خواصی که در بهبود انتقال حرارت دارند در سال‌های اخیر به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته‌اند، با افزودن درصد حجمی بسیار کمی از نانوذرات به سیال پایه، ضریب هدایت حرارتی وضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بدون بوجود آمدن مشکلات متداول در سایر سیالات (تجمع، سایش، ته نشینی و افزایش افت فشار) به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. در سال‌های اخیر با گسترش کاربرد نانوسیالات تمایل به تحقیق در مورد استفاده از آنها در پدیده های دوفازی و بررسی اثر آن در این پدیده ها به طور چشم گیری افزایش یافته است.

این پروژه به بررسی پدیده جوشش در نانو سیالات با استفاده از روش CFD می‌پردازد.در سالهای اخیر فعالیتهای آزمایشگاهی زیادی در مورد ضریب انتقال حرارت نانو سیالات به صورت دو فازی انجام شده است که نتایج متناقضی در مورد بهبود یا کاهش ضریب انتقال حرارت جوشش و شار حرارتی بحرانی گزارش شده است. در این پروژه ابتدا شبیه سازی برای سیال آب در لوله ای به قطر داخلی ۷/۷mm، سرعت ورودی سیال ۱m/s، دمای ورودی ۲۰۰°c و فشار ورودی ۴۵atm انجام شده است. سپس نتایج آن با کارهای آزمایشگاهی مقایسه شده است، در مرحله‌ی بعدی تحقیق، شبیه سازی با سه نوع نانو سیال Al_2O_3/H_2O و SiO_2/H_2O و ZrO_2/H_2O در درصدهای حجمی ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱ و۰/۱ انجام شده است. در این مرحله مقدار شار حرارتی بحرانی در هر حالت به دست آمده و نسبت افزایش شار حرارتی بحرانی در درصدهای حجمی مختلف بایکدیگر مقایسه گردیده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد شار حرارتی بحرانی متعلق به اکسید زیرکنیم (با درصد حجمی ۰/۰۱) تا ۳۱٪ افزایش می یابد و کمترین افزایش متعلق به اکسید آلومینیم (با درصد حجمی ۰/۱) است که شار حرارتی بحرانی را تنها ۱۱٪ افزایش می‌دهد. با توجه به فعالیتهای آزمایشگاهی انجام شده، بر خلاف انتظار افزودن نانو ذره باعث کاهش ضریب انتقال حرارت در جوشش می گردد. این کاهش به تغییرات خواص سطح در اثر ته نشینی ذرات بر روی سطح وابسته است، در این پروژه از اطلاعات آزمایشگاهی مربوط به تغییر زاویه تماس نانوسیالات بر روی سطح در هنگام جوشش استفاده شده است و پیش بینی روند تقریبی شار حرارتی بحرانی تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

کلمات کلیدی: ۱- جوشش۲-نانو سیال ۳-شار حرارتی بحرانی ۴-تعداد نقاط هسته زایی

فصل اول
مقدمه

افزایش بازدهی و کوچک کردن سیستمهای حرارتی همواره به عنوان یکی از اهداف مهندسی مطرح بوده است. استفاده از نانوسیال به عنوان یکی از مهمترین راه ها برای رسیدن به این هدف در سالهای اخیر مطرح شده است و تحقیقات گسترده ای بر روی آن و نحوه کاربرد آن صورت گرفته است. در این میان ارئه روشی برای تولید انبوه و ارزان قیمت نانوسیال دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشد. در این فصل ابتدا به معرفی نانوسیال پرداخته می شود و سپس روشهای مختلف تولید آن و همچنین کاربرد آن در زمینه های مختلف صنعتی مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۱ معرفی نانو سیال

یکی از مهمترین اهداف محققین و مهندسین در صنعت افزایش بازدهی و کوچک کردن سیستمهای مورد استفاده در صنعت می باشد. بهینه کردن سیستم های حرارتی به عنوان یکی از متداول ترین سیستم های مورد استفاده همواره مورد توجه محققین بوده است. با افزایش بازدهی سیستم های حرارتی می توان شار حرارتی بیشتری را در یک ابعاد خاص منتقل کرد و در نتیجه دمای کاری را پایین آورد و یا می توان شار حرارتی مشخصی را با استفاده از یک مبدل حرارتی کوچکتر منتقل نمود. راههای متفاوتی برای افزایش بازدهی یک مبدل حرارتی وجود دارد. به عنوان مثال می-توان به افزایش سطح، استفاده از هندسه های پیچیده، تولید اغتشاش در جریان سیال و استفاده از سیال عامل مناسب اشاره نمود.

از سالها پیش برای بهبود خواص سیال عامل درون سیستم های حرارتی راههای متفاوتی پیشنهاد شده بود. یکی از این راهها افزودن ذرات فلزی به سیال عامل می باشد. ضریب هدایت حرارتی فلزات و اکسید فلزات به

ترتیب ۱۰ تا ۱۰۰ برابر ضریب هدایت حرارتی سیالاتی مانند آب و روغن ها می باشد. برای مثال می توان به جدول ۱-۱ که ضریب هدایت حرارتی چند سیال و فلز و اکسید فلز را مقایسه می کند، مراجعه نمود. همانطور که ملاحظه می شود نسبت ضریب هدایت حرارتی مس به آب حدود ۶۵۰ و نسبت ضریب هدایت حرارتی اکسید آلومینیوم به اتیلن گلیکول حدود ۱۸۰ می باشد.

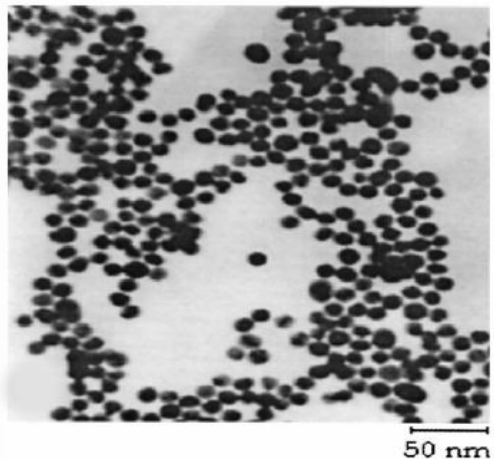
جدول ۱-۱. ضریب هدایت حرارتی فلزات و اکسید آنها در مقایسه با چند مایع

ماده	ضریب هدایت حرارتی (W/m.k)	ماده	ضریب هدایت حرارتی (W/m.k)
آب	۰/۶۰۴	اتیلن گلیکول	۰/۲۵۸
مس	۴۰۱	اکسید مس	۶۹
آلومینیم	۲۳۷	اکسید آلومینیم	۴۶

بنابراین می توان نتیجه گرفت که افزودن ذرات فلزی به سیالات مختلف می تواند باعث شود که ضریب هدایت حرارتی مخلوط سیال و ذرات به صورت چشمگیری افزایش یابد. در اولین آزمایشها برای افزودن ضریب هدایت حرارتی سیال عامل، محققین ذرات فلزی با ابعادی در حدود میکرومتر را به سیال عامل افزودند. افزودن این میکروذرات به سیال، ضریب هدایت حرارتی را افزایش داد اما مشکلاتی را نیز به وجود آورد. از آنجا که چگالی این ذرات فلزی بسیار بیشتر از آب می باشد، این ذرات به سرعت ته نشین می شدند و از سیال عامل جدا می گشتند. همچنین این ته نشینی و قطر بزرگ این ذرات فلزی باعث گرفتگی مجاری کوچک سیستم حرارتی می شد. علاوه بر این با افزودن این میکرو ذرات، سایش در سطح داخلی لوله ها به شدت افزایش می‌یافت. این میکرو ذرات با سرعت زیاد درون لوله حرکت می کردند و برخورد ناگهانی این میکرو ذرات با دیواره باعث سایش شدید لوله ها می‌شد. این مشکلات باعث شد تا ایده استفاده از فلزات برای افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال با چالش های جدی روبرو شود.

با پیشرفت تکنولوژی در تولید ذرات کوچکتر، محققین توانستند که نانو ذرات فلزی یا اکسید فلزی تولید نمایند. ماده بدست آمده از افزودن این نانوذرات به سیال، نانوسیال نام دارد. به علت اینکه نانو ذرات بسیار کوچک می باشند، مکانیزم نیروهای وارد بر آنها با میکرو ذرات متفاوت است و برای مثال نیروهای بین ملکولی تاثیر مهمی بر خواص نانو سیال می گذارد. نانو سیال ها مشکلاتی دیگر همچون ته نشینی را (که در مورد سیال مخلوط با میکرو ذرات مهم بود) ندارند، همچنین به علت آنکه این ذرات بسیار کوچک می باشند و درون سیال پایه معلق می شوند، می توان از آنها در مجراهای کوچک بدون مشکل گرفتگی استفاده نمود. همچنین از آنجا که نانو ذرات دارای جرم کمی می باشند و اینرسی آنها بسیار کوچک میباشد، دیگر مشکل سایش در اثر برخورد ذرات با دیواره لوله رخ نمی دهد.

نمونه ای از نانوسیال آب و سیترات طلا [1] که توسط هریشیکش[2] و همکارانش[۱] عکسبرداری شده است در شکل ۱-۱ مشاهده می شود. با توجه به مقیاس نشان داده شده می‌توان ابعاد نانوذرات را که در حدود ۱۰ تا ۲۰ نانومتر می-باشند، مشاهده نمود. همچنین با توجه به شکل ۱-۱ می توان مشاهده نمود که بیشتر نانوذرات به صورت تجمعی در کنار یکدیگر قرار گرفته اند.



شکل ۱-۱ نانوسیال آب و سیترات طلا[۱]

نانو ذرات مشکلات میکرو ذرات را ندارند و علاوه بر این دارای مزایای دیگری می باشندکه میکروذرات از آن برخوردار نمی باشند. افزودن میکروذرات به یک سیال باعث می شد که ضریب هدایت حرارتی افزایش یابد، محققین روابطی تحلیلی برای این افزایش ضریب هدایت حرارتی ارائه نمودند که به خوبی افزایش ضریب هدایت حرارتی را برای مخلوط سیال پایه و میکرو ذرات را پیش بینی می‌کند، اما میزان افزایش ضریب هدایت حرارتی برای نانو سیال به صورت قابل توجهی بیشتر از مقادیر پیش بینی شده توسط مدل های قبلی می باشد. این افزایش قابل توجه به این دلیل است که در ابعاد نانو ذرات مکانیزمهای فیزیکی زیادی رخ می دهد که در ابعاد بزرگتر(مثلا میکرو ذرات) رخ نمی-دهد. برخی از این پدیده های فیزیکی، حرکت براونی، لایه لایه شدن سیال بر روی ذرات، تجمع و انتقال حرارت با مکانیزمهایی غیر از انتشار می باشد .

تاکنون تولید نانو سیال در مقادیر کم برای انجام فعالیت های آزمایشگاهی انجام شده است. اما برای استفاده صنعتی از نانو سیال نیاز است که نانو سیال را بتوان به صورت انبوه و به صورت ارزان قیمت تولید کرد. این مسأله یکی از چالش های مهم در استفاده از نانو سیال می باشد.

تولید نانو سیال به دو صورت عمده می باشد یکی به شکل تک مرحله ای و دیگری به صورت دو مرحله ای. در هر یک از این روش ها ممکن است از فرایند های مختلف فیزیکی یا شیمیایی استفاده شود. هر یک از این روش ها دارای مزایا و معایبی می باشند.

---

[1] Au-citrate
[2] Hrishikesh

۱-۲ روش های تولید نانو سیالات

۱-۲-۱ روش تولید دو مرحله ای

در فرایند دو مرحله ای ساخت نانو سیال ابتدا نانو ذرات تولید می شوند و سپس آنها با سیال پایه مخلوط میشوند . برای آنکه ذرات به صورت یکنواخت در سیال مخلوط شوند، با استفاده از یک مخلوط کن مافوق صوت آنها را به مدت معینی تحت ارتعاشات مافوق صوت قرار می دهند تا آنکه نانو ذرات به خوبی در سیال پخش شوند. این ابزار دارای یک میله میباشد که درون سیال وارد می شود و با ارتعاشات سریعی که ایجاد می کند آن را یکنواخت می-کند.

برای آنکه بتوان نانوسیال را به صورت دو مرحله ای تولید کرد ابتدا بایستی نانوپودر را بدست آورد. از آنجا که محققین در فناوری چگالش سریع گازها پیشرفت قابل توجهی کرده اند، امروزه تولید انبوه واقتصادی نانو پودرها امکان پذیر است و زمینه خوبی برای تولید نانو سیال به صورت دو مرحله ای وجود دارد. اما مشکلاتی نیز در این مسیر وجود دارد، جاذبه موجود بین نانو ذرات که ناشی از نیروهای واندروالس می باشد، باعث می شود که نانو ذرات به یکدیگر بچسبند و تشکیل تجمع ذرات را بدهند. تجمع نانو ذرات به سرعت در سیال پایه ته نشین می گردد، تولید نانو سیالی که در آن نانو ذرات بصورت جداگانه و بدون تجمع قرار دارند در کیفیت نانو سیال و خواص حرارتی آن تأثیر مهمی می گذارد، بنابراین تولید نانو ذرات بدون تجمع یک چالش مهم در تهیه نانو سیال ها به صورت دو مرحله ای می‌باشد. این چالش در غلظت های بیشتر بسیار خودنمایی می کند.

۱-۲-۲ روش تولید تک مرحله ای

روش دو مرحله ای اگر چه مزایای خاص خود را دارا می باشد و برای تولید انبوه گزینه مناسبی می‌باشد، اما تنها برای نانو ذرات اکسید فلزی مناسب است. چنانچه نانو ذرات فلزی به روش دو مرحله ای تولید شوند، به سرعت با اکسیژن موجود در فضای اطراف ترکیب می شوند و تبدیل به اکسید فلز می‌شوند. بنابراین بایستی برای تهیه این نوع از نانوسیالات نانو ذرات فلزی را به صورت مستقیم در سیال مورد نظر وارد نمود. در این روش در یک مرحله نانوذرات تولید می شوند و همزمان با سیال پایه مخلوط می گردد و به این ترتیب نانوذرات بدون تشکیل تجمع به صورت یکنواخت و پایدار در سیال پایه پخش می شود.

برخلاف روش دو مرحله ای، روش های تک مرحله ای ارائه شده فقط در مقادیر کوچک انجام شده اند و هنوز روشی به صورت تک مرحله ای که در آن نانوسیال به صورت انبوه تولید شود، ارائه نشده است و برای استفاده از روش تک مرحله ای برای تولید انبوه نیاز به تحقیقات بیشتری می باشد.

۱-۳ کاربردهای نانو سیال

نانوسیال ها می توانند برای بهبود سیستم های حرارتی و افزایش بازدهی آنها مورد استفاده قرار بگیرند. اگرچه تحقیقات بر روی نانو سیال ها هنوز در مرحله شناسایی می باشد و به صورت دانشگاهی مورد بررسی قرار می گیرد اما برخی از شرکت‌ها با توجه به آینده ای که در انتظار این زمینه است فعالیت های تحقیقاتی خود را در مورد نانو سیال‌ها آغاز کرده اند. در ادامه برخی از کاربردهای نانو سیال‌ها در زمینه های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۳-۱ حمل و نقل

یکی از اجزای مهم ماشین‌ها، سیستم خنک کننده آنها می‌باشد. سیال عامل در سیستم خنک کننده ماشین ها معمولا ترکیبی از اتیلن گلیکول و آب می باشد. آب سیال عاملی با خواص حرارتی بسیار مناسب می باشد ولی دمای جوش آن پایین است و همچنین به سرعت منجمد می شود. به همین دلیل اتیلن گلیکول به آن اضافه می کنند تا از جوش آمدن و انجماد آن جلوگیری شود. اما مشکل این است که اتیلن گلیکول ضریب هدایت حرارتی پایین دارد و اضافه کردن آن به آب باعث افت خواص حرارتی آب میگردد.

با اضافه کردن نانو ذرات به اتیلن گلیکول می‌توان به نانو سیالی دست یافت که خواص حرارتی آن بسیار مناسب است و دارای ضریب هدایت حرارتی بالایی می‌باشد. علاوه بر این از آنجا که سیال پایه، اتیلن گلیکول می‌باشد دمای جوش بسیار بالایی خواهد داشت و به سختی منجمد می شود. بنابراین با استفاده از نانو سیالی بر پایه اتیلن گلیکول می توان انتقال حرارت را در سیستم خنک کننده موتور افزایش داد و یا دمای کاری موتور را بالا برد، که این خود سبب افزایش بازدهی موتور می گردد. بنابراین با استفاده از نانو سیال می توان رادیاتوری کوچکتر و سبکتر ساخت که دارای بازدهی بالایی می‌باشد. بدین ترتیب نانو سیال می تواند نقش مؤثری در پیشرفت صنعت حمل و نقل داشته باشد.

۲-۳-۱ بیوتکنولوژی

نانو سیالات و نانو ذرات کاربردهای زیادی در بیوتکنولوژی دارند. در ناحیه ای که تحت عمل جراحی قرار می-گیرد برای اینکه بافت های مضر مانند سلول های سرطانی را از بین ببرند، حرارت بسیار زیادی تولید می کنند. این حرارت زیاد باعث می شود که بافت های سالم در اطراف منطقه جراحی از بین بروند و آسیب ببینند. اما با استفاده از نانو سیال ها می توان حرارت تولید شده در منطقه جراحی را به صورت مؤثری از بدن خارج نمود و از آسیب بافت های سالم جلوگیری نمود. نانو ذرات (مانند نانو ذرات آهنی) نیز می توانند به عنوان حامل های مواد دارویی به کار گرفته شوند و مواد دارویی را درست به بافت های بیمار برسانند و میزان اثربخشی داروها را به صورت قابل توجهی افزایش دهند.

۳-۳-۱ کاربردهای دیگر

اصولا نانو سیال ها می توانند به عنوان سیال عامل در سیستم های انتقال حرارت به کار گرفته شوند و بازدهی این سیستم ها را افزایش دهند. از این رو در هر جایی که نیاز به انتقال حرارت با توان های بالا باشد، می توان از نانو سیال ها استفاده نمود. نمونه هایی از این کاربردها در تجهیزات نظامی، فضاپیماها و تجهیزات مربوط به انرژی هسته ای وجود دارد. همچنین نانو سیال ها می توانند باعث ارتقا در سیستم های گرمایش و سرمایش و تهویه مطبوع باشند و

مصرف انرژی در ساختمان ها را کاهش دهند. همچنین قابلیت استفاده از نانو سیال ها در انرژی های نو بـرای افـزایش بازدهی کلکتورهای خورشیدی وجود دارد. علاوه بر این پتانسیل زیادی برای استفاده از نانوسیال ها در صنایع مختلـف مانند مواد، شیمی، صنایع غذایی، نفت و گاز و کاغذ وجود دارد.

۱-۳-۴ جوشش نانو سیالات

بسیاری از مسائل مهندسی شیمی شامل پدیده جوشش می‌باشند. به عنوان مثال جوشش (و همینطور میعان) در سیکل های بسته توان و تبرید (در سیکل تولید توان، مایع تحت فشار در دیگ بخار به بخار تبدیل می‌شود)، تبخیر کننده‌های صنعتی، جوش آور برجهای تقطیرو ... نقش اساسی ایفا می‌نماید. طراحی صحیح و مناسب این سیستم ها ایجاب می-نمایدکه فرایند جوشش به خوبی شناخته شود. در سالهای اخیر فعالیتهای آزمایشگاهی وسیعی در مورد نانو سیالات و بهبود خواص حرارتی آنها انجام شده است و این ایده به ذهن دانشمندان رسیده است که وجود نانو ذرات در داخل سیال در کاربردهای دو فازی ویا به نوعی فرایندهایی که با تغییر فاز همراه هستند چه تاثیری دارد و ضریب انتقال حرارت را چگونه تغییر می‌دهند.

در این پروژه تاثیر ذرات نانو بر روی پدیده جوشش که عمدتاً ناشی از ته نشینی نانو ذرات بر روی سطح است بررسی و با استفاده از روش CFD شبیه سازی شده است، در ادامه ابتدا مروری بر فعالیتهای آزمایشگاهی انجام شده در مورد خواص انتقال حرارتی نانو سیالات به صورت تک‌فازی و دو فازی و تاثیر آنها بر ضریب هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت جابجایی می‌شود و سپس مدلهای موجود برای تخمین خواص ترمو فیزیکی نانو سیالات و معادلات حاکم بر جوشش و همچنین مدلهای موجود در حل با استفاده از روش CFD مورد بررسی قرار می‌گیرد و درپایان شبیه سازی عددی برای سیال آب و نانو سیال با استفاده از نرم افزار فلوئنت[1] انجام شده و نتایج با داده های آزمایشگاهی مقایسه شده است.

[1] .Fluent

فصل دوم
مروری بر کارهای گذشته

۲-۱ مقدمه

در این قسمت به مطالعاتی که تاکنون بر روی نانوسیال‌ها انجام شده است پرداخته می‌شود. فعالیت‌هایی که تاکنون در زمینه خواص حرارتی و سیالاتی نانوسیال‌ها انجام شده است را می‌توان به بررسی ضریب حرارت هدایتی ، ضریب انتقال حرارت جابجایی، ویسکوزیته و بررسی پدیده جوشش تقسیم‌بندی نمود. خواصی مانند چگالی و ضریب گرمایی ویژه از قوانین کلی که در مورد یک مخلوط دو فازی وجود دارد تبعیت می‌کنند. این روابط کلی در قسمت مدل‌های ارائه‌شده برای تخمین خواص ترموفیزیکی نانوسیالات مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۲-۲ مطالعات انجام شده در مورد ضریب هدایت حرارتی

میزان انتقال حرارت در یک جریان سیال معمولاً با استفاده از عدد بدون بعد ناسلت بیان می‌شود. ضریب هدایت حرارتی سیال به‌صورت مستقیم در عدد بدون بعد ناسلت ظاهر می‌شود و همچنین ازطریق عدد بدون بعد پرانتل در عدد ناسلت تأثیر می گذارد. بنابراین بررسی نحوه تغییرات ضریب هدایت حرارتی در نانوسیال‌ها می‌تواند کمک شایانی در درک نحوه تغییرات عدد ناسلت و ضریب انتقال حرارت حرارت جابجایی نماید.

۲-۲-۱ مطالعات تجربی

از آنجا که مدت زیادی از زمان شروع بررسی نانوسیال‌ها نمی‌گذرد مطالعات تجربی در مورد آنها دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشند. در مطالعات تجربی انجام‌شده بر روی نانوسیال‌ها تأثیرات عوامل مختلفی بر روی نسبت ضریب