بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

بررسی پدیده جوشش در نانوسیالات نیوتنی و غیر نیوتنی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

سعیده سلطانی

استاد راهنما

دکتر سید غلامرضا اعتماد

۱۳۸۶

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی خانم سعیده سلطانی

تحت عنوان

بررسی پدیده جوشش در نانوسیالات نیوتنی و غیر نیوتنی

در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر سید غلامرضا اعتماد
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر محمود اشرفی زاده
۳- استاد داور	دکتر محمد چالکش امیری
۴- استاد داور	دکتر محسن نصر اصفهانی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمود معصومی

الهی!

گهی به خود نگرم، گویم از من زارتر کیست؟

گهی به تو نگرم، گویم از تو بزرگوارتر کیست؟

گاهی به طینت خود افتد نظرم، گویم که من از هم عالم بترم!

چون از صفت خویشتن اندر گذرم، از عرش همی به خویشتن در نگرم!

پروردگارم را شاکرم که به من نعمت اندیشه و محبتم،

موهبت پدر و مادرم،

لذت بودن در کنار برادر و خواهرانم و زیبایی زندگی با همسرم را ارزانی داشته است.

از راهنماییهای بی دریغ استاد بزرگوارم پرفسور اعتماد سپاسگزارم و همواره به شاگردیشان افتخار می کنم.

از جناب آقای دکتر اشرفی زاده که مشاوره و راهنمایی این پایان نامه را بعهده داشتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از حمایتهای مالی کمیته فناوری نانو در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری صمیمانه تشکر می کنم.

سعیده سلطانی

زمستان ۸۶

کلیه 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 مادرم

فهرست مطالب

عنوان .....صفحه

فهرست مطالب .....هشت

فهرست اشکال و نمودارها .....یازده

فهرست جداول .....سیزده

فهرست علائم .....چهارده

چکیده ۱

فصل اول:مقدمه

۱-۱ کلیات.....۲

۱-۲ بررسی منابع.....۳

۱-۲-۱ هدایت حرارتی موثر.....۳

۱-۲-۲ انتقال حرارت جابجایی.....۴

۱-۲-۳ انتقال حرارت تغییر فاز ۴

۱-۳ هدف از انجام تحقیق.....۶

فصل دوم:فرایند جوشش،نانوسیال و سیال غیر نیوتنی

۲-۱ فرایند جوشش.....۷

۲-۲ اهمیت و کاربرد جوشش ۸

۲-۳ دسته بندی فرایند جوشش ۸

۲-۴ جوشش اشباع استخری ۹

۲-۴-۱ منحنی جوشش.....۱۰

۲-۴-۲ رژیمهای جوشش استخری ۱۱

۲-۵ روابط جوشش استخری ۱۳

۲-۵-۱ روابط جوشش هسته‌ای استخری ۱۳

۲-۵-۲ شار گرمای بحرانی برای جوشش هسته‌ای ۱۵

۲-۶ پارامترهای موثر بر پدیده جوشش ۱۶

۲-۷ روشهای افزایش انتقال حرارت جوشش ۱۷
۲-۸ نانوسیال ۱۸
۲-۸-۱ تهیه نانوسیال ۱۸
۲-۸-۲ مطالعات رئولوژیکی نانوسیال ۲۰
۲-۹ مطالعه سیالات غیر نیوتنی ۲۲
۲-۱۰ سیالات غیرنیوتنی مستقل از زمان ۲۲
۲-۱۰-۱ سیالات دارای تنش تسلیم ۲۳
۲-۱۰-۲ سیالات فاقد تنش تسلیم ۲۳

فصل سوم:مطالعات تجربی

۳-۱ مواد ۲۶
۳-۲ تجهیزات ۲۸
۳-۲-۱ دستگاه جوشش ۲۸
۳-۲-۲ دستگاه کنترل و نمایش توان مصرفی ۲۹
۳-۲-۳ تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ ۲۹
۳-۲-۴ سیستم همزن اولتراسونیک ۲۹
۳-۲-۵ دستگاه اندازه گیری خواص رئولوژیکی ۳۰
۳-۳ روش تهیه نانوسیال ۳۰
۳-۳-۱ تهیه نانوسیال آب/Al_2O_3 ..... ۳۱
۳-۳-۲ تهیه نانوسیال غیر نیوتنی Al_2O_3/CMC ۳۱
۳-۴ روش انجام آزمایش جوشش ۳۱

فصل چهارم:نتایج و بحث

۴-۱ نتایج جوشش نانوسیال نیوتنی ۳۴
۴-۱-۱ بررسی ضریب انتقال حرارت جوشش نانوسیال آب/Al_2O_3 ..... ۳۵
۴-۱-۲ بررسی رئولوژیکی نانوسیال آب/Al_2O_3 ..... ۳۶
۴-۲ نتایج حاصل از جوشش محلول CMC(به عنوان سیال غیر نیوتنی) ۳۷

۴-۲-۱ بررسی رئولوژیکی محلول CMC ۳۷
۴-۲-۲ بررسی جوشش محلول CMC ۳۹
۴-۲-۳ بررسی ضریب انتقال حرارت جوشش محلول CMC ۴۰
۴-۳ نتایج حاصل از جوشش نانوسیال غیر نیوتنی Al_2O_3/CMC ۴۱
۴-۳-۱ بررسی رئولوژیکی نانوسیال غیر نیوتنی Al_2O_3/CMC ۴۱
۴-۳-۲ نتایج جوشش نانوسیال غیر نیوتنی ۴۲
۴-۳-۳ بررسی ضریب انتقال حرارت جوشش نانوسیال Al_2O_3/CMC ۴۳
۴-۴ بحث روی نتایج ۴۴
۴-۴-۱ جوشش نانوسیال آب/Al_2O_3 ..... ۴۴
۴-۴-۲ جوشش محلول CMC ۴۵
۴-۴-۳ جوشش نانوسیال غیر نیوتنی Al_2O_3/CMC ۴۶
۴-۵ آنالیز خطا ۴۷
۴-۶ نتیجه گیری ۴۸
۴-۷ پیشنهادات ادامه کار ۴۹
مراجع ۵۰

فهرست اشکال و نمودارها

عنوان ..... صفحه

شکل ۲-۱ توزیع دما در جوشش اشباع استخری با سطح مشترک مایع بخار ۹

شکل ۲-۲ منحنی جوشش نوکیاما برای آب اشباع ۱۰

شکل ۲-۳ رژیمهای جوشش استخری ۱۱

شکل ۲-۴ تصاویر TEM از نانوسیال مس، نانوذرات اکسید مس و ذرات کلوئیدی طلا سرب ۱۹

شکل ۲-۵ منحنی جریان انواع مختلف سیالات مستقل از زمان ۲۳

شکل ۲-۶ تغییرات ویسکوزیته برای چند نوع سیال ۲۵

شکل ۳-۱ تصویر TEM از نانو ذرات γ-Al_2O_3 ..... ۲۷

شکل ۳-۲ نمایی از دستگاه جوشش ۲۸

شکل ۳-۳ الف)کنترلر و نمایشگر توان مصرفی ب)تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ ۲۹

شکل ۳-۴ تصاویر دستگاه اولتراسونیک ۳۰

شکل ۴-۱ مقایسه نتایج حاصل از رابطه روزنو با داده های تجربی ۳۳

شکل ۴-۲ منحنی شار گرمایی بر حسب ΔT (اختلاف دمای مازاد) برای غلظتهای ۳۴
مختلف نانوسیال آب/Al_2O_3

شکل ۴-۳ تغییرات دمای سطح جوشش بر حسب شار گرمایی در غلظتهای مختلف ۳۵
نانوسیال آب/Al_2O_3

شکل ۴-۴ ضرایب انتقال حرارت جوشش نانوسیال آب/Al_2O_3 بر حسب شار گرمایی ۳۶
در غلظتهای مختلف

شکل ۴-۵ تنش برشی بر حسب شدت برشی برای غلظتهای مختلف نانوسیال آب/Al_2O_3 ..... ۳۷

شکل ۴-۶منحنی تغییرات تنش برشی با شدت برش برای غلظتهای مختلف محلول CMC ۳۸

شکل ۴-۷ منحنی شار گرمایی بر حسب ΔT (اختلاف دمای مازاد) برای غلظتهای مختلف ۳۹
محلول CMC

شکل ۴-۸ تغییرات دمای سطح جوشش بر حسب شار گرمایی برای غلظتهای مختلف ۴۰
محلول CMC

شکل ۴-۹ ضرایب انتقال حرارت جوشش غلظتهای مختلف محلول CMC بر حسب ۴۰
شار گرمایی
شکل ۴-۱۰ تغییرات تنش برشی بر حسب شدت برش برای غلظتهای مختلف نانوسیال ۴۱
غیر نیوتنی Al_2O_3/CMC
شکل ۴-۱۱ منحنی جوشش بر حسب شار گرمایی برای غلظتهای مختلف نانوسیال ۴۲
Al_2O_3/CMC
شکل ۴-۱۲ تغییرات دمای سطح جوشش بر حسب شار گرمایی برای غلظتهای مختلف ۴۳
نانوسیالAl_2O_3/CMC
شکل ۴-۱۳ ضریب انتقال حرارت جوشش غلظتهای مختلف نانوسیالAl_2O_3/CMC ۴۴
بر حسب شار گرمای

فهرست جداول

عنوان ..... صفحه

جدول۲-۱ مقادیر $C_{s,f}$ و n برای انواع مختلف سطح و سیال ۱۵

جدول ۲-۲ مدلهای سیالات بدون تنش تسلیم ۲۴

جدول۳-۱ مشخصات نانوذرات γ-Al_2O_3 ..... ۲۷

جدول۴-۱ مقادیر اختلاف دمای تجربی و حاصل از روزنو ۳۳

جدول۴-۲ روابط تنش برشی بر حسب شدت برشی برای غلظتهای مختلف نانوسیال آب/Al_2O_3 ..... ۳۷

جدول۴-۳ روابط تنش برشی بر حسب شدت برشی برای غلظتهای مختلف محلول CMC ۳۸

جدول۴-۴ روابط تنش برشی بر حسب شدت برشی برای غلظتهای مختلف نانوسیال غیر نیوتنی ۴۱

فهرست علائم

A : مساحت سطح مقطع المنت (m^2)

$C_{p,l}$: ظرفیت گرمایی ویژه مایع $\left(\frac{J}{kg.K}\right)$

Cs,f: مقدار ثابت مربوط به نوع سطح و سیال

D_b: قطر متوسط حباب (m)

g: شتاب جاذبه (m/s^2)

h: ضریب انتقال حرارت جوشش $\left(\frac{W}{m^2.K}\right)$

h_{fg}: گرمای نهان تبخیر مایع $\left(\frac{J}{kg}\right)$

k_l: هدایت گرمایی مایع $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

q: توان (W)

$q"_{max}$: شار گرمایی ماکزیمم $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

$q"_{min}$: شار گرمایی مینیمم $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

$q"_s$: شار گرمایی $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

T_s: دمای سطح (K)

T_{sat}: دمای اشباع مایع (K)

علائم یونانی

$\dot{\gamma}$:شدت برش یا نرخ تغییر شکل $(1/s)$

τ: تنش برشی (N/m^2)

μ_f: ویسکوزیته سیال $(Pa.s)$

μ_l: ویسکوزیته مایع $(Pa.s)$

μ_{nf}: ویسکوزیته نانوسیال $(Pa.s)$

μ_∞: ویسکوزیته در برش بینهایت $(Pa.s)$

μ_0: ویسکوزیته در برش صفر $(Pa.s)$

ν: کسر حجمی ذرات نانو در نانوسیال

ρ_l: دانسیته فاز مایع(kg/m^3)

ρ_v: دانسیته فاز بخار (kg/m^3)

σ: کشش سطحی (N/m)

ΔT_e: اختلاف دمای مازاد (K)

چکیده

بهبود انتقال حرارت جوشش که به عنوان یکی از موثرترین و کار آمد ترین فرایندهای انتقال حرارت در کاربردهای متنوع مهندسی رخ می‌دهد، موضوع تحقیقات متعددی در سالهای اخیر بوده است. انتقال حرارت جوشش تحت تأثیر شار حرارتی دیواره ، دمای سطح گرم شونده ، شکل سطح ، خصوصیات سطح و نیز خصوصیات ترموفیزیکی سیال و حضور مواد افزودنی مثل ذرات جامد ، معلق سازها و گازهای محلول می‌باشد.

هدف از این تحقیق بررسی ویژگیهای جوشش انتقال حرارت نانو سیال نیوتنی آب/Al_2O_3 و نانوسیال غیر نیوتنی ذرات Al_2O_3 در محلول CMC و مقایسه با ویژگیهای جوشش آب می‌باشد. نانوسیالات سوسپانسیونهای شامل نانو ذرات با هدایت حرارتی بزرگتر از سیال پایه و با اندازه‌هایی کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشند. در تحقیق حاضر غلظتهای وزنی مختلف نانوسیال آب با ذرات γ-Al_2O_3 ، محلول CMC و نانوسیال غیر نیوتنی ذرات Al_2O_3 در محلول CMC تحت فشار اتمسفریک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج جوشش نانوسیال نیوتنی آب/Al_2O_3 نشان می‌دهند که نانوسیالات بطور قابل توجهی قادر به بهبود عملکرد انتقال حرارت جوشش می‌باشند. میزان بهبود با افزایش غلظت ذرات افزایش می‌یابد. آزمایشات جوشش محلول CMC بیانگر تخریب عملکرد انتقال حرارت جوشش با افزایش غلظت CMC به دلیل افزایش ویسکوزیته محلول می‌باشد. با این وجود افزودن نانوذرات به این محلول غیر نیوتنی موجب بهبود در رفتار جوشش می‌شود.

فصل اول
مقدمه

۱-۱ کلیات

پیشرفتهای سریع در تکنولوژی مهندسی در طول پنج دهه اخیر موجب تحقیقات گسترده ای در موضوعات متنوع مرتبط با انتقال حرارت شده اند. در میان موضوعات بسیار، جوشش به عنوان یکی از انواع مؤثر و کارآمد انتقال حرارت نقش مهمی در فرآیندهای انتقال حرارت صنعتی مانند مبدلهای انتقال حرارت ماکروسکوپی در نیروگاه‌های هسته ای و فسیلی و تجهیزات انتقال حرارت میکروسکوپی لوله‌های حرارتی و میکرو کانالها برای سرمایش تراشه‌های الکترونیکی ایفا می کند [۲،۱]. تکنیکهای مختلفی برای افزایش انتقال حرارت جوشش پیشنهاد و مطالعه شده است که ازمیان آنها می توان به افزایش سطوح حرارتی (پره‌ها)، لرزش سطوح حرارتی، ارتعاش سیال و کاربرد میدانهای الکتریکی اشاره کرد. علاوه بر این روشها تکنولوژی نانوسیال به عنوان تکنیکی جدید در سالهای اخیر به وجود آمده است[۱]. نانوسیالات سوسپانسیونهای شامل نانوذرات با هدایت حرارتی بزرگتر از سیال پایه و با اندازه‌هایی کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر می باشند[۳].

چوی[1](۱۹۹۵) اولین کسی بود که چنین سوسپانسیونهایی را نانوسیال نامید و به ضریب هدایت حرارتی بالای این سیالات اشاره کرد. مطالعات مختلف حاکی از آن است که ظرفیت انتقال حرارت جابجایی این

1- Choi

سوسپانسیونها بدون مواجه شدن با مشکلات دوغابهای معمولی مثل مسدود شدن[۱]، سائیدگی[۲]، رسوب گذاری[۳] و افزایش افت فشار بطور قابل توجهی افزایش می یابد[۴].

۱-۲ بررسی منابع

مطالعات انجام شده در انتقال حرارت نانوسیالات را به سه بخش می توان تقسیم کرد.

- هدایت حرارتی مؤثر
- انتقال حرارت جابجایی
- انتقال حرارت تغییر فاز

۱-۲-۱ هدایت حرارتی مؤثر

ماسودا و همکاران [۵] گزارش کرده اند که ذرات Al_2O_3 با ابعاد nm ۱۳ در آب در کسر حجمی ۴/۳٪ ضریب هدایت حرارتی آب را تا ۳۰٪ افزایش می دهند. چوی[۶] در آزمایشگاه ملی آرگون ایالات متحده آمریکا با اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات به خواص حرارتی برجسته آنها اشاره کرد. مطالعات بعدی توسط ایستمن و همکاران[۷] نشان داد که افزایش تقریبی ۶۰٪ در ضریب هدایت حرارتی آب که حاوی ۵٪ حجمی ذرات نانو CuO باشد قابل مشاهده است و استفاده از ذرات نانو یک روش مؤثر برای بهبود خواص حرارتی سیالات می باشد. لی و همکاران[۸] بررسی‌هایی روی چهار نوع نانوسیال آب/Al_2O_3،آب/CuO، اتیلن گلیکول/Al_2O_3 و اتیلن گلیکول/CuO انجام دادند. در این بررسی حداقل افزایش ۲۰٪ در ضریب هدایت حرارتی با افزودن ۴٪ از ذرات نانو مشاهده گردید.

ژوان و لی[۹] روشهایی برای تهیه نانوسیال با خواص حرارتی مناسب پیشنهاد کردند. همچنین با اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی سوسپانسیون ذرات مس در آب نشان دادند در صورتیکه غلظت ذرات نانو از ۲/۵٪ تا ۷/۵٪ حجمی تغییر کند، نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال به آب از ۱/۲۴ تا ۱/۷۸ افزایش می‌یابد. تیزنگ و همکاران[۱۰] استفاده از نانوسیال در سیستمهای سرمایش روغن موتور اتومبیلها را به عنوان ایده ای نو مطرح کردند.

ژای و همکاران[۱۱]، وانگ و همکاران[۱۲]، ون و دینگ[۱۳] نیز نشان داده اند نانوسیالات هدایت حرارتی بالاتر از سیال پایه را نمایش می دهند.

ژای و همکاران[۱۱]، کبلینسکی و همکاران[۱۴]، ژانگ و چوی [۱۵] مدلهایی را برای توضیح رفتار غیر عادی نانوسیالات پیشنهاد کرده اند.

1- Clogging
2- Erosion
3- Sedimentation

۱-۲-۲ انتقال حرارت جابجایی

پاک و چو[۱۶] دریافتند که عدد ناسلت و رینولدز نانوسیالات آب/TiO_2 و آب/Al_2O_3 در یک لوله مدور با افزایش جزء حجمی نانو ذرات معلق شده افزایش یافت. با این وجود برای سرعت متوسط سیال ثابت ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیالات با جزء حجمی ۰/۰۳، به اندازه ۱۲٪ کمتر از آب خالص است. ژوان و لی[۱۷] انتقال حرارت نانوسیالات آب/Cu را تحت شرایط جریان متلاطم مطالعه کردند و بهبود اساسی انتقال حرارت را نشان دادند. ون و دینگ[۱۸] انتقال حرارت نانوسیالات آب/Al_2O_3 را تحت شرایط جریان آرام بررسی کردند و نشان دادند که حضور نانو ذره انتقال حرارت جابجایی را بهبود بخشید. بهبود به خصوص در ناحیه ورودی خیلی بالاتر از هدایت حرارتی مؤثر بود.

زینالی و همکاران[۱۹] نانوسیالات آب/CuO را تحت شرایط جابجایی آزاد در جریان آرام داخل لوله با دمای ثابت دیواره مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت با اضافه کردن نانو ذرات به آب افزایش می یابد.

۱-۲-۳ انتقال حرارت تغییر فاز

داس و همکاران[۲۰] انتقال حرارت جوشش استخری هسته ای نانوسیالات آب/Al_2O_3 را با استفاده از گرم کن‌های فشنگی استوانه ای بررسی کردند. حضور نانو ذرات عملکرد جوشش را تضعیف کرده بود و تضعیف با افزایش غلظت نانو ذرات افزایش یافت. پدیده مشابهی در مطالعه بعدی توسط داس و همکاران [۲۱] با استفاده از گرم کن‌های کوچکتر مشاهده شد. میزان تضعیف در انتقال حرارت برای گرم کن‌های کوچکتر به ویژه در شارهای حرارتی نسبتاً بالا کمتر بود. مؤلفان تضعیف را به تغییرات در ویژگیهای سطح هیترها نسبت دادند. آنها استدلال کردند که در جوشش با نانوسیالات به خاطر رسوب نانوذرات روی مراکز هسته زایی سطح صافتر می شود. هر چه غلظت افزایش یابد سطح صافتر می‌شود و از این رو بیشترین کاهش قابل ملاحظه ضرایب انتقال حرارت در غلظتهای بالا مشاهده شده است. این تفسیر مخالف مشاهدات بنگ و چنگ [۱] است که جوشش نانوسیالات آب/Al_2O_3 روی سطح $۱۰۰mm^۲$ در شارهای حرارتی بالا را مطالعه کرده و دریافتند که زبری سطح پس از جوشش با افزایش غلظت نانوذرات افزایش می یابد و باعث اثرات کثیف شدن[1] همراه با هدایت حرارتی ضعیف می شود.

یو و همکاران[۲۲] رفتار جوشش استخری نانوسیالات آب-سیلیکا و آب-آلومینا را روی گرم کن $۱۰mm^۲$ تحت فشارهای زیر اتمسفر بررسی کرده و متوجه تأثیر کم درصد نانو ذرات روی انتقال حرارت

1- Fouling

جوشش هسته ای شدند و نیز افزایش محسوس مقادیر شار حرارتی بحرانی (CHF) در حضور نانو ذرات را مشاهده کردند. در فشار حدود ۰/۱۹۸ bar و با استفاده از ۵×۱۰^{-۴} درصد وزنی از نانوسیالات آب/Al_2O_3 و ۰/۰۰۱ درصد وزنی نانوسیالات آب-سیلیکا افزایش بالای ۲۰۰٪ CHF بدست آمده بود. واسالو و همکاران[۲۳] جوشش نانوسیالات آب-سیلیکا را روی سیم افقی NiCr به قطر ۰/۴ mm در فشار اتمسفر مطالعه کردند. در آزمایشات ، ذرات سیلیکای ۱۵، ۵۰ و ۳۰۰۰ نانومتر مورد آزمایش قرار گرفتند و غلظت ذرات در ۱/۳٪ وزنی ثابت بود. مشابه نتایج یو وهمکاران افزایش انتقال حرارت واضحی در شرایط شار حرارتی متوسط و پایین حاصل نشد ولی افزایش حدود ۲۰۰٪ در CHF مشاهده شد. تو و همکاران[۲۴] آزمایشهای جوشش استخری با استفاده از نانوسیالات آب/Al_2O_3 روی صفحه مستطیلی در فشار اتمسفر انجام دادند و افزایش انتقال حرارت مشخص در جوشش هسته ای و CHF مشاهده شد. با استفاده از نانوسیال خیلی رقیق شامل ۳۷ ppm ذرات Al_2O_3 تحت شار گرمایی ثابت اختلاف دمای مازاد در مقایسه با آب خالص از ۲۷/۳K به K ۱۶/۶ افت کرد که معادل با افزایش پر اهمیت ۶۴٪ ضریب انتقال حرارت می باشد. ماکزیمم دمای دیواره که با یک دوربین مادون قرمز ضبط شده کاهش مشخصی را نشان می دهد و مراکز هسته زایی فعال در مقایسه با آب خالص به چهار برابر افزایش می یابند.

ویتارانا[۲۵] انتقال حرارت جوشش نانوسیالات آبی محتوی نانو ذرات طلا را روی سطح گرم کن به قطر ۱۰۰ mm مطالعه کرد و به افزایش انتقال حرارت جوشش هسته ای مشخص، تحت فشاراتمسفر دست یافت. برای مثال با ۰/۰۰۱ درصد وزنی ذرات طلا در شار حرارتی($۴۵\ KW/m^۲$) ضریب انتقال حرارت ۲۱٪ افزایش پیدا کرد.

ون و دینگ[۲۶] آزمایشات انتقال حرارت جوشش استخری با استفاده از نانو سیالات آب/γ-Al_2O_3 را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که نانوسیالات آلومینا می توانند بطور مؤثر انتقال حرارت جوشش را بهبود دهند. بهبود با افزایش غلظت ذرات افزایش می یابد و به ۴۰٪ در غلظت وزنی ۱/۲۵٪ می رسد.

در این قسمت لازم است خلاصه‌ای از تحقیقات انجام یافته در زمینه جوشش محلولهای پلیمری یا به عبارتی بررسی تاثیر افزودنی‌های پلیمری بر روی پدیده جوشش ارائه شود.

کوچافاکدی و ویلیامز[۲۷] شاید اولین کسانی هستند که جوشش هسته‌ای استخری با افزودنی‌های پلیمری شامل PA-10 وPA-20 و نیز هیدروکسی اتیل سلولز (HEC) را روی گرمکن صفحه‌ای مطالعه کردند. آنها دریافتند که مقادیر جزئی از این پلیمرهای محلول در آب منجر به بهبود انتقال حرارت جوشش می‌شود. با این وجود ویسکوزیته را به عنوان عامل محدود کننده بهبود انتقال حرارت جوشش استخری برای همه پلیمرها معرفی و بر لزوم شناخت ویسکوزیته بهینه محلول که تحت تاثیر غلظت محلول و وزن مولکولی پلیمر است، تاکید کرده‌اند. نتایج مشابهی توسط گانت و ویلیامز[۲۸]، میا[۲۹]، پائول و عبدالخالق[۳۰]،

یولیکنی[۳۱]، هو[۳۲]، ژانگ[۳۳] و ژانگ و منگلیک[۳۴] حاصل شده است. همه تحقیقات حاکی از بهبود انتقال حرارت جوشش محلولهای پلیمری نیستند. یانگ و ما[۳۵] گزارش کردند هیچ افزایش انتقال حرارت جوششی با HEC (هیدروکسی اتیل سلولز) در مطالعه آنها حاصل نشده است. پائول و عبدالخالق[۳۶] نیز در بررسی خود روی پلیمرهای مختلف بهبود انتقال حرارت جوششی مشاهده نکردند. آنها دریافتند نوع پلیمر، غلظت و وزن مولکولی ویسکوزیته محلول را تحت تاثیر قرار دادند و انتقال حرارت جوشش با افزایش ویسکوزیته کاهش یافت. هو[۳۲] گزارش کرد که انتقال حرارت جوشش با PA-30 کاهش و با HEC غلظت بالا افزایش پیدا کرده است. ژانگ[۳۳] و ژانگ و منگلیک[۳۴] دریافتند که کربوپل۹۳۴ انتقال حرارت جوشش را با افزایش غلظت محلول و برای همه غلظتهای محلول کاهش می‌دهد. در حالی که محلول HEC-QP300 انتقال حرارت جوشش را با افزایش غلظت محلول تا غلظت بحرانی[1] افزایش می‌دهد. ولی در غلظتهای بالای غلظت بحرانی باعث تضعیف انتقال حرارت جوشش می‌شود. آنها تاثیرات متفاوت این پلیمرها روی پدیده جوشش را به اثر نوع پلیمرها و ساختار شیمیایی آنها و اینکه هیدروکسی اتیل سلولز رفتار سورفکتانت پلیمری و کربوپل رفتار پلیمری دارد، نسبت دادند.

۱-۳ هدف از انجام تحقیق

با مرور مختصر بر کارهای انجام شده در زمینه جوشش نانوسیالات می توان گفت دستیابی به نتیجه واحد و تئوری قابل قبولی که این نتایج را تبیین کند نیازمند داده‌های آزمایشگاهی بیشتر و بررسی‌های دقیق تری می‌باشد. بدین منظور در این پروژه به بررسی پدیده جوشش در نانوسیال نیوتنی آب/Al_2O_3 و نانوسیال غیر نیوتنی ذرات Al_2O_3 در محلول CMC پرداخته و منحنی جوشش برای اینگونه سیالات بدست آمده است. شایان ذکر است جوشش نانوسیال غیر نیوتنی تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است. فرایند حرارتی محیطهای سیال برای تولید محصولات بیوشیمیایی ، دارویی و بهداشتی که مستلزم گرم کردن و خشک کردن محلولهای پلیمری از طریق جوشاندن آنها می باشد ، یک مشکل انتقال حرارت پیچیده است. رفتارهای تغییر فاز نسبتاً غیر عادی در این فرایندها مشاهده می شود و فقدان حاصل از کنترل حرارتی دقیق اغلب منجر به ضایعات محصول و نیز تضعیف کیفیت محصول می شود. از این رو بررسی اثر نانوذرات روی پدیده جوشش محلولهای پلیمری ضروری به نظر می رسد.

سطح جوشش در این تحقیق یک گرم کن فشنگی استوانه ای ۸۰۰W به قطر ۲۵ mm و مساحت سطح ۶/۰۷۱×۱۰$^{-۳}$m^{۲} می باشد.

1- Critical polymer concentration