بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

شبیه سازی اثرات نیروی الکترواستاتیک بر دینامیک صعود یک حباب منفرد و ضریب انتقال حرارت حباب به کمک دینامیک سیالات محاسباتی

از:

سمانه پورسامان

استاد راهنما:

دکتر محمد علی صالحی

شهریور ماه ۱۳۹۳

دانشکده فنی

گروه مهندسی شیمی

شبیه سازی اثرات نیروی الکترواستاتیک بر دینامیک صعود یک حباب منفرد و ضریب انتقال حرارت حباب به کمک دینامیک سیالات محاسباتی

از:

سمانه پورسامان

استاد راهنما:

دکتر محمد علی صالحی

استاد مشاور:

دکتر سید حسن هاشم‌آبادی

شهریور ماه ۱۳۹۳

تقدیم به:

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

تشکر و قدردانی:

من به سر چشمه خورشید نه خود بردم راه ذره ای بودم و مهر تو مرا بالا برد

اولین سپاس به پیشگاه حضرت دوست که هر چه هست از اوست!

سپاس از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر صالحی، استاد راهنمای پایان نامه که در طول انجام این پژوهش همواره از راهنمایی های ارزشمند و بی دریغشان بهره برده ام.

سپاس از استاد ارجمند جناب آقای دکتر هاشم آبادی، استاد مشاور پایان نامه، که با سعه صدر مشاوره این تحقیق را پذیرفته و همکاری صمیمانه ای با اینجانب نمودند.

سپاس از داوران و اساتید فرزانه ام، جناب آقای دکتر عباسی و جناب آقای دکتر خیاطی، که با نظرات ارزشمند خود موجبات غنای علمی این اثر را فراهم آوردند.

سپاس از مشاور بزرگوارم جناب آقای مهندس نوروزی که بی شک بدون همراهی ایشان خلق این اثر میسر نمی نمود.

و آخرین سپاس از مهربانترین همراهان زندگیم، پدر و مادرم که حضورشان در فضای زندگیم مصداق بی ریای سخاوت بوده است.

و صد البته سپاس از عزیزانی که از سر اغماض رخصت بردن نامشان را به ما ندادند که اگر حضور ایشان نبود، راه به جایی نمی بردیم.

نامشان زمزمه نیمه شب مستان باد تا نگویند که از یاد فراموشانند

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

فصل ۲: مروری بر پیشینه ی تحقیق ۱

۲-۱- مقدمه ۲

۲-۲- مروری بر پارامترهای موثر بر رشد حباب در حضور میدان الکتریکی ۲

۲-۲-۱- شدت میدان الکتریکی ۳

۲-۲-۲- نفوذپذیری الکتریکی سیال ۳

۲-۲-۳- کشش سطحی ۳

۲-۲-۴- قطر روزنه ۴

۲-۳- مروری بر پژوهش های صورت گرفته ۴

۲-۴- جمع بندی ۳۰

فصل ۳: معادلات حاکم و مدل ها ۳۲

۳-۱- مقدمه ۳۳

۳-۲- مدل های چند فازی ۳۳

۳-۲-۲- معادله پیوستگی ۳۵

۳-۲-۳- معادلات اندازه حرکت ۳۵

۳-۳- نیروی الکترواستاتیک ۳۷

۳-۴- اعداد بدون بعد ۳۹

۳-۵- شرایط مرزی ۴۲

۳-۵-۱- شرایط مرزی معادله ممنتوم ۴۲

۳-۵-۲- شرط مرزی معادله الکترواستاتیک ۴۴

۳-۶- مدل های بکار رفته برای شبیه سازی اولیه ۴۶

فصل ٤: نتایج و تفسیر آن ها ٤٧

۴-۱- مقدمه ۴۸

۴-۲- مراحل شبیه سازی ۴۸

۴-۲-۱- تولید هندسه ی سیستم ۴۹

۴-۲-۲- بررسی کیفیت شبکه ۴۹
۴-۲-۳- بررسی خاصیت استقلال از شبکه ۵۰
۴-۳- خواص فیزیکی مواد ۵۱
۴-۴- صحت سنجی ۵۲
۴-۴-۱- پدیده ی جدایش ۵۲
۴-۴-۲- بررسی نتایج بدست آمده از جدایش حباب با فرض سرعت متغیر ۵۴
۴-۵- صحت سنجی میدان الکتریکی ۵۵
۴-۶- بررسی نتایج ۵۶
۴-۶-۱- پدیده ی جدایش حباب ۵۶
۴-۶-۲- پدیده ی صعود حباب ۶۰

فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادها **۷۰**

۵-۱- مقدمه ۷۱
۵-۱-۱- جمع‌بندی ۷۱
۵-۱-۲- پیشنهادها ۷۲

مراجع **۷۳**

فهرست جداول

جدول (۴-۱) بررسی خاصیت استقلال شبکه در پدیده ی جدایش ۵۱
جدول (۴-۲) بررسی خاصیت استقلال شبکه در پدیده ی صعود ۵۱
جدول (۴-۳) خواص ترموفیزیکی سیالات مورد استفاده در مسئله ۵۲

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) : توزیع نیروهای وارد بر حباب در هنگام خروج از روزنه[۲۵]..... ۵

شکل (۲-۲) مراحل صعود حباب و بررسی زاویه تماس از تشکیل تا جدایش[۲۵] ۶

شکل (۲-۳) پیش بینی شکل حباب در شش مرحله: ۱, ۰/۸, ۰/۶ , ۰/۴, ۰/۲, ۰ t/t_{det} . الف)مقایسه نتایج تجربی با روش S-CLSVOF ب) مقایسه نتایج تجربی با روش VOF[۲۴]..... ۸

شکل (۲-۴) افزایش نرخ رشد حجمی حباب[۷]..... ۱۰

شکل (۲-۵)تغییرات شکل، حجم و زاویه ی تماس حباب تحت تاثیر شدت های میدان الکتریکی الف) ۰kV/mm ب) ۰/۴kV/mm و پ) ۰/۸kV/mm[۷] ۱۱

شکل (۲-۶)نیروهای عمودی وارد بر حباب در شدت های میدان الکتریکی الف)۰ kV/mm ب) ۰/۴kV/mm پ)۰/۸ kV/mm[۷] ۱۳

شکل (۲-۷) تغییرات تنش الکتروهیدرودینامیک روی سطح حباب[۲۶]..... ۱۵

شکل (۲-۸) رشد حباب در ولتاژهای الکتریکی مختلف الف) ۰kV ب) ۱۵kV پ) ۲۵kV ت) ۳۵kV[۱۵] ۱۸

شکل (۲-۹)تاثیر پتانسیل الکتریکی بر دینامیک تشکیل و شکل حباب. شدت جریان گاز در هردو تصویر یکسان است. الف) عدم اعمال میدان الکتریکی ب) پتانسیل الکتریکی برابر ۱۲/۵kV [۱].... ۱۹

شکل (۲-۱۰) نحوه ی چیدمان الکترودها برای ایجاد میدان های الکتریکی متفاوت[۲۹]..... ۲۱

شکل (۲-۱۱) تاثیر ویسکوزیته ی مایع بر شکل حباب در شدت میدان الکتریکی یکسان[۲۹]..... ۲۲

شکل (۲-۱۲) مسیر صعود حباب در حضور میدان الکتریکی یکنواخت و درون سیلیکون به عنوان یک مایع دی الکتریک با ویسکوزیته های الف) ۵۰cSt ب) ۱۰۰cSt پ) ۳۵۰cSt[۲۹] ۲۳

شکل (۲-۱۳)خطوط جریان اطراف حباب برای ولتاژهای الف) 0kV ب) ۲kV پ) ۴kV ت) ۵kV ث)۵kV ج) ۱۰kV[۸] ۲۶

شکل (۲-۱۴) کانتورهای دما اطراف حباب برای ولتاژهای الف) ۰kV ب) ۲kV پ) ۴kV ت) ۵kV ث)۸kV ج) ۱۰kV[۸] ۲۷

شکل (۲-۱۵) مقدار متوسط عدد ناسلت [۸]..... ۲۸

شکل (۲-۱۶) تغییرات عدد ناسلت حرارتی اطراف حباب[۸]..... ۲۸

شکل (۲-۱۷) تغییرات شکل حباب تحت پتانسیل های الکتریکی مختلف[۸]..... ۲۹

شکل (۲-۱۸) توزیع پتانسیل الکتریکی بدون بعد تحت پتانسیل الکتریکی ۱۵kV[۸]..... ۳۰

شکل (۳-۱) نمایی از سلول های محاسباتی در سطح مشترک دو فاز در مدل حجم سیال.....۳۴
شکل (۳-۲) کاربرد مناسب و نامناسب مدل حجم سیال در دو سیستم متفاوت.....۳۴
شکل (۳-۳) زوایای تماس متفاوت بر روی سطوح متفاوت الف) تجربه ب) نرم افزار Fluent.....۳۷
شکل (۳-۴) نحوه اعمال کد به عنوان عبارت چشمه در معادله ممنتوم ۳۹
شکل (۳-۵) محدوده محاسباتی مورد استفاده به همراه شرایط مرزی برای مسئله ی جدایش.....۴۵
شکل (۳-۶) محدوده محاسباتی مورد استفاده به همراه شرایط مرزی برای مسئله ی صعود.....۴۵
شکل (۴-۱) الف) نتایج بدست آمده از شبیه سازی CFD حباب بدون حضور میدان الکتریکی و با فرض سرعت ثابت ب) نتایج تجربی [۲۵].....۵۳
شکل (۴-۲) مقایسه ی نتایج بدست آمده از شبیه سازی CFD حباب بدون حضور میدان الکتریکی و با فرض سرعت متغیر با رنگ قرمز با نتایج تجربی[۲۵] با رنگ مشکی.....۵۴
شکل (۴-۳) هندسه ی مسئله ی مورد استفاده برای بررسی درستی کد UDF نوشته شده جهت اعمال میدان الکتریکی [۳۶].....۵۵
شکل (۴-۴) الف) مثال حل شده در نرم افزار COMSOL ب) نتایج حاصل از کد میدان الکتریکی مورد استفاده در پژوهش حاضر[۳۶].....۵۵
شکل (۴-۵) نتایج حاصل از شبیه سازی جدایش حباب در سیستم نیتروژن و روغن بر اساس زمان صعود در میدان الکتریکی ناشی از اختلاف پتانسیل ۱۰kV ۵۶
شکل (۴-۶) تغییرات میدان پتانسیل الکتریکی در اختلاف ولتاژ ۱۰kV در طول محدوده ی محاسبات ۵۷
شکل (۴-۷) تغییرات تنسور تنش بر روی حباب به واسطه اعمال میدان الکتریکی.....۵۸
شکل (۴-۸) تغییرات میدان الکتریکی در جهت اعمال میدان.....۵۹
شکل (۴-۹) تغییرات میدان الکتریکی در راستای عمود بر راستای میدان ۵۹
شکل (۴-۱۰) تغییرات شکل حباب در سیستم آب و هوا در میدان الکتریکی ناشی از ولتاژ ۱۰kV.. ۶۰
شکل (۴-۱۱) صعود حباب هوا در آب در میدان های الکتریکی ایجاد شده توسط ولتاژهای ۰kV, ۱۰ kV , ۵kV.....۶۲
شکل (۴-۱۲) صعود حباب هوا در روغن در میدان های الکتریکی ایجادشده توسط ولتاژهای ۱kV, ۱۰ kV ,۵ kV.....۶۳
شکل (۴-۱۳) تغییر موقعیت مرکز جرم حباب در سیستم آب و هوا تحت تاثیر ولتاژهای مختلف.... ۶۴
شکل (۴-۱۴) تغییر موقعیت مرکز جرم حباب در سیستم روغن و هوا تحت تاثیر ولتاژهای مختلف. ۶۴

شکل (۴-۱۵) مقایسه تاثیر میدان الکتریکی با ولتاژ 5kV بر روی دو سیال آب و روغن ۶۵
شکل (۴-۱۶) تاثیر افزایش قطر حباب در میدان الکتریکی با ولتاژ 5kV برای روغن ۶۵
شکل (۴-۱۷) تغییرات میدان پتانسیل الکتریکی در اختلاف ولتاژ 5kV در طول محدوده محاسباتی در زمان ۰/۲ ثانیه ۶۶
شکل (۴-۱۸) تغییرات عدد رینولدز با زمان برای ولتاژهای مختلف در سیستم آب و هوا ۶۷
شکل (۴-۱۹) تاثیراعمال میدان الکتریکی بر ضریب درگ ۶۸
شکل (۴-۲۰) تاثیر اعمال میدان الکتریکی بر عدد ناست حرارتی ۶۹

فهرست علائم اختصاری

فشار ..... P $(N.m^{-2})$

کشش سطحی ..... σ $(N.m)$

شعاع های انحنا حباب ..... R_1, R_2 (mm)

عدد وبر الکتریکی ..... We

گذردهی الکتریکی خلاء ..... ε_0 $(F.m^{-1})$

گذردهی الکتریکی نسبی ..... ε_r

شدت میدان الکتریکی اولیه ..... E_0 $(V.m^{-1})$

شعاع معادل حباب ..... r_d (mm)

طول بزرگترین محور حباب ..... d (mm)

طول کوچکترین محور حباب ..... w (mm)

نیروی حجمی ..... f_v $(N.m^{-3})$

شدت میدان الکتریکی ..... E $(V.m^{-1})$

دانسیته حجمی بار الکتریکی ..... q_v $(C.m^{-3})$

دانسیته ..... ρ $(Kg.m^{-3})$

موقعیت در راستای محور X ..... x_i (m)

موقعیت در راستای محور Y ..... x_j (m)

سرعت در راستای محور X ..... u_i $(m.s^{-1})$

سرعت در راستای محور Y ..... u_j $(m.s^{-1})$

زمان ..... t (s)

بردار تنش ..... τ $(N.m^{-2})$

جزء حجمی فاز k ..... α_k

دانسیته فاز k..... ρ_k (Kg.m^{-3})

منحنی سطح مشترک دو فاز..... k

جزء حجمی فاز گسسته..... α

بردار نرمال بر سطح حباب..... $\hat{n}$

بردار مماس بر سطح حباب..... $\hat{t}$

زاویه تماس..... θ_w

پتانسیل الکتریکی..... V (V)

نیروی الکتریکی..... F (N)

تنسور تنش الکتریکی ماکسول..... T (N.m)

مختصات مرکز جرم حباب در راستای محور X..... X_{CM} (m)

مختصات مرکز جرم حباب در راستای محور Y..... Y_{CM} (m)

مولفه افقی مرکز جرم سلول jام..... $x_{cm,j}$ (m)

مولفه عمودی مرکز جرم سلول jام..... $y_{cm,j}$ (m)

جزء حجمی گاز در سلول j ام..... $\alpha_{g,j}$

دانسیته گاز..... ρ_g (Kg.m^{-3})

حجم سلول jام..... V_j (m^3)

عدد رینولدز..... Re

سرعت..... U(m.s^{-1})

ضریب اصطکاک..... f

شعاع معادل حباب..... a(m).

شعاع اولیه حباب..... R_0(m)

عدد اتووس..... Eo

عدد مورتون..... Mo.

عدد پرانتل..... Pr

ضریب درگ..... C_D

عدد ناسلت حرارتی..... Nu

حجم سلول..... $Vol_{cell}(m^3)$

شبیه سازی اثرات نیروی الکترواستاتیک بر دینامیک صعود یک حباب منفرد و ضریب انتقال حرارت حباب به کمک دینامیک سیالات محاسباتی

سمانه پورسامان

چکیده

در این تحقیق، جهت بررسی تاثیر میدان الکتریکی بر پدیده ی جدایش و صعود حباب منفرد در سیال ساکن، ابتدا پدیده ی تشکیل حباب بدون اعمال میدان الکتریکی شبیه سازی شده و نتایج حاصل با داده های آزمایشگاهی تطبیق داده شد. نتایج حاصل از شبیه سازی با ۱۰ درصد خطا پدیده جدایش حباب منفرد را به خوبی گزارش کرد. پس از آن، از آنجا که میدان الکتریکی به صورت یک کد UDF به معادلات ممنتوم اضافه گردید ، جهت بررسی درستی این کد، از مقایسه ی نتایج حاصل از اعمال کد نوشته شده با یک مثال حل شده ی معیار از نرم افزار COMSOL استفاده شده و درستی کد تایید گردید. سپس، شبیه سازی پدیده ی صعود حباب در دو سیال آب و روغن ترانسفورمر صورت پذیرفت. در طی این شبیه سازی، تاثیر ولتاژهای مختلف بر زمان جدایش، شکل حباب، مسیر صعود حباب ، عدد رینولدز و عدد ناسلت بررسی شد. همچنین تاثیر قطر حباب نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان دادند شکل حباب هوا در سیال قطبی بیشتر تغییر یافته و مسیر صعود آن بیشتر منحرف می شود.اما این نکته نیز نمایان شد که سیالات قطبی در اختلاف پتانسیل های بالا از هم پاشیده می شوند. از سوی دیگر نشان داده شد اعمال میدان الکتریکی به دو صورت باعث افزایش انتقال حرارت می گردد.از یکسو افزایش ولتاژ، باعث افزایش عدد رینولدز و در نتیجه افزایش عدد ناسلت حرارتی می شود. از سوی دیگر، اعمال میدان الکتریکی باعث کاهش زمان جدایش حباب و در نتیجه تشکیل حباب های بیشتر در زمان یکسان می شود که این موضوع نیز انتقال حرارت را بیشتر می کند. اثر دیگر افزایش ولتاژ، کاهش ضریب درگ در پدیده ی صعود حباب است.همچنین مشخص شد حباب های کوچکتر، کمتر تحت تاثیر میدان الکتریکی قرار می گیرند.

واژه‌های کلیدی: صعود حباب،جدایش حباب، EHD، شبیه‌سازی عددی، میدان الکتریکی، CFD

Numerical Simulation of Hydrodynamics and Heat Transfer Coefficient of Single Bubble Affected by Electrostatic Forces With the Aid of CFD

Samaneh Poursaman

In present work, the Volume Of Fluid (VOF) approach was used for capturing the liquid-gas interface. In this study, the dynamic behavior of an air bubble rising in a liquid column in electrostatic field was considered. The numerical results showed proper agreement with experimental reports. Some parameters such as potential field variation in bubble-liquid interface and the effects of stress tensors due to electrostatic field on bubble interface were disscused. The effects of surrounding liquid on bubble morphology and trajectory were considered for oil and water. In addition, the effect of bubble diameter on bubble morphology was studied. In each case the drag coefficient and the heat transfer coefficient in bubble interface was discussed. According to the results, with increasing the potential gradient the Nusselt number increases due to Reynolds number enhancement. In contrast, the drag coefficient is decreased by increasing the potential gradient. Furthermore, the effect of drop morphology on bubble coefficient was found negligible compared to velocity variation.

Keywords: Bubble rising process, Electrostatic, Heat transfer coefficient, EHD, Computational Fluid dynamics.

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

فرآیند تشکیل حباب پدیده ی به ظاهر ساده ای است که در حقیقت شامل فعل و انفعالات دینامیکی بسیار پیچیده ای می باشد. تشکیل حباب بخش مهمی از بسیاری از فرآیندهای شیمیایی و طبیعی است. حباب های کوچکتر بازده فرآیندهای گاز- مایع را افزایش می دهند و این به دلیل افزایش سطح تماس، سطح انتقال حرارت و سطح انتقال جرم است. از طرف دیگر ایجاد حباب با اندازه یکنواخت کنترل فرآیند را ساده تر کرده و آنرا قابل پیش بینی تر می نماید[۱].

الکتروهیدرودینامیک که به اختصار EHD نامیده می شود، روشی است برای افزایش ضریب انتقال حرارت و کنترل فرآیند تشکیل حباب با استفاده از اعمال میدان الکتریکی. این روش قابلیت استفاده در صنایع شیمیایی، انرژی و سایر صنایع مرتبط را داراست[۲]. از آنجایی که میدان الکتریکی، شدت جریان و دما به طور همزمان در این پدیده بر ضریب انتقال حرارت تاثیر می گذارند. در بسیاری از پژوهش ها از تزریق حباب استفاده می گردد تا بتوان اثر میدان دمایی را حذف کرد[۳-۶].

تولید حباب از روزنه [1]های مستغرق در مایع نقش مهمی در درک پدیده هایی که شامل انتقال جرم و حرارت هستند، هم در مقیاس صنعتی مانند جاذب ها، فرمانتورها، راکتورهای شیمیایی، نوشابه های گازدار و فرآوری مواد معدنی، هم در طبیعت مانند جریان های زیر آب و آتش فشان ها، ایفا می کند. مطالعات تئوری و پژوهش های عملی صورت گرفته در رابطه با این موضوع، برای بهینه سازی فرآیندهای صنعتی در شرایط واقعی و همچنین کاربردهای دوفازی در تکنولوژی هوا فضا بسیار کاربردی می باشند. حضور میدان الکتریکی که عدم حضور نیروی ارشمیدس را در شرایط خارج از جو جبران می کند، به عنوان ابزار کنترل کننده ی گاز یا بخار بسیار مفید فایده خواهد بود[۵]. همچنین استفاده از میدان الکتریکی به دلیل مقدار ناچیز انرژی که برای تولید آن نیاز می باشد، کاربرد مهمی در تجهیزاتی که در شرایط میکروگراویتی[2] انتقال حرارت دارند، داراست.

[1] Orifice
[2] Microgravity

از دیگر فرآیندهایی که تحت تاثیر پدیده ی تشکیل حباب است، فرآیند جوشش است.\جوشش استخری در طیف گسترده ای از فناوری های توام با انتقال حرارت کاربرد دارد. نیاز به مبدل های حرارتی تا حد امکان کوچکتر، منجر به صورت گرفتن یک تلاش جهانی برای افزایش ضریب انتقال حرارت در جوشش استخری شده است. از آنجا که ضریب انتقال حرارت به شدت به مشخصه های رشد و جدایش حباب از سطح گرم مربوط می شود، تلاش جهت درک رفتارهای دینامیکی حباب منطقی به نظر می رسد. به طور خاص، عوامل خارجی که بر رشد و جدایش حباب تاثیر گذارند، مانند میدان الکتریکی، به دلیل تاثیری که بر کنترل ضریب انتقال حرارت می گذارند، به شدت مورد توجه قرار گرفته اند[۷].

پدیده ی جوشش هسته ای نیز حالتی موثر از انتقال حرارت است و در فرآیندهای صنعتی به دلیل نرخ انتقال حرارت بالایی که در اختلاف دماهای کم ایجاد می کند، اهمیت فراوان دارد. به دلیل نرخ انتقال حرارت بالا و انتقال مقدار زیادی انرژی حرارتی از سطوح کوچک در پدیده جوشش هسته ای، که در صنایع پیشرویی همانند میکروچیپ[1] ها مورد نیاز است، افزایش انتقال حرارت بین دو فاز گاز و مایع در این پدیده دردهه های اخیر توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. اعمال میدان الکتریکی بر یک مایع دی الکتریک که منجر به ایجاد پدیده ی الکتروهیدرودینامیک یا به اختصار EHD می گردد، تاثیر بسزایی در افزایش انتقال حرارت بین گاز و مایع در پدیده ی جوشش هسته ای دارد[۸]. به طور کلی، آزمایش ها حاکی از تاثیر چشمگیر اعمال میدان الکتریکی بر جوشش هسته ای هستند که شامل، افزایش فرکانس تولید حباب ها، کاهش اندازه ی حباب و افزایش شار حرارتی می شود. به هر حال، برای بررسی دقیق مکانیزم اثر EHD بر انتقال حرارت در جوشش هسته ای، نیاز به درک جزئیات جریان های محلی در اطراف سطح مشترک گاز- مایع برای حباب های در حال رشد است. در حالی که، جزئیات این جریان به دلیل محدودیت روش های اندازه گیری تاکنون با روش های تجربی مشخص نگردیده است. به همین دلیل، شبیه سازی های عددی به عنوان یک ابزار موثر برای آنالیز جزئیات جریان ، انتقال حرارت و سایر مکانیزم های مرتبط به کار گرفته شده است.

[1] Microchip

وظیفه ی مهم دیگر شبیه سازی های عددی، شبیه سازی جریان های سطحی بر روی سطح حباب تحت تاثیر میدان الکتریکی و نشان دادن اهمیت میدان جریان در نزدیکی سطح مشترک گاز- مایع است.به طور کلی، روش های ردیابی حجم مانند VOF و Level-Set ، در ردیابی تغییر شکل حباب بسیار قوی هستند، اما در نشان دادن جریان های محلی اطراف حباب ضعیف عمل می کنند. روش های بسیار گسترده ای برای اندازه گیری شکل حباب، مانند روش حجم سیال (VOF) [۹] ، روش های Level-Set و روش Front-Tracking وجود دارند.

در پایان نامه حاضر، تلاش شده است تا با شبیه‌سازی جدایش و صعود حباب به روش دینامیک سیالات محاسباتی و بررسی پارامترهای مؤثر در آن توانایی‌های این روش در جهت تکمیل و رفع محدودیتهای آزمایشگاه فیزیکی نشان داده شود. مطالب پایان‌نامه در چند فصل تنظیم و تدوین شده است. بعد از مقدمه، مرور بر تحقیقات انجام شده در شبیه‌سازی فرآیند صعود حباب و معرفی پارامترهای موثر بر این پدیده مورد بررسی قرار گرفته است.معادلات حاکم برای شبیه‌سازی در فصل سوم بیان شده است. سپس روش عددی حل معادلات و الگوریتم محاسبات ارائه گردیده اند.

فصل چهارم، نتایج محاسبات و بحث بر روی آنها را شامل می‌شود. ابتدا نتایج حاصل از شبیه‌سازی در پدیده ی جدایش حباب با داده‌های تجربی مقایسه شده، سپس کد مورد استفاده جهت اعمال میدان الکتریکی صحت سنجی شده است. پس از اطمینان از روش محاسباتی و کد میدان الکتریکی، تاثیر پارامترهای مختلف بر پدیده ی صعود حباب تحلیل شده است.سرانجام، نتیجه‌گیری از این مطالعه در فصل آخر آورده شده است و پیشنهاداتی برای ادامه کار ارائه خواهند شد.