

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده‌ی مهندسی مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

# بررسی و تحلیل قطرات در جریان دو فازی همراه با شکست و تبخیر

افشین بخشی کیادهی

استاد راهنما:

دکتر داود دومیری گنجی

استاد مشاور:

دکتر مفید گرجی بند پی

بهمن ماه ۱۳۹۳

کپی فرم صورت جلسه دفاع دانشگاه صنعتی نوشیروانی که مهمور به  
تحصیلات تکمیلی است

نام دانشکده:

نام دانشجو:

عنوان پایان نامه:

تاریخ دفاع:

رشته:

گرایش:

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضا
۱	استاد راهنما				
۲	استاد مشاور				
۳	استاد مدعو خارجی				
۴	استاد مدعو خارجی				
۵	استاد مدعو داخلی				
۶	استاد مدعو داخلی				

# تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج و مالکیت مادی و معنوی

## باسمه تعالی

اینجانب افشین بخشی کیادهی به شماره دانشجویی ۹۱۴۱۳۰۰۰۹ دانشجوی رشته‌ی تبدیل انرژی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه‌ی ارشد تحت عنوان بررسی و تحلیل قطرات در جریان دو فازی همراه با شکست و تبخیر به استاد راهنمایی دکتر دومیری گنجی حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده 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، مسؤلیت 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 مسؤلیتی در این خصوص نخواهد داشت. در ضمن تمام دستاوردهای مادی و معنوی حاصله از پایان‌نامه ارشد/ رساله دکتری متعلق به دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل می‌باشد و اینجانب هیچ‌گونه ادعایی در قبال آن ندارم.

نام و نام خانوادگی:

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:

تاریخ:

امضا:

## تقدیم به:

این کار را تقدیم می‌کنم به خانواده عزیزم که از من در تمام مراحل زندگی حمایت کردند.

## تشکر و قدردانی:

ابتدا از استاد راهنمای محترم آقای دکتر دومیری و همچنین از عزیزانی که در گردآوری این کار به بنده کمک کردند، مهندس سجاد خدادای، دکتر سم خانپانی، دکتر مرتضی عباسی، مهندس مهدی فکور و باقی عزیزان، تقدیر و تشکر می‌کنم و برایشان آرزوی سلامت و طول عمر با عزت را دارم.

## چکیده

جریان قطره یکی از پدیده های رایج در صنعت می باشد. از بارش باران تا پوشش دهی به فلزات نمونه هایی از کاربرد قطره می باشد. برای درک فرآیندهای طبیعی یا بهینه سازی فرآیندهای صنعتی نیاز به آزمایش های متنوع برای درک پارامترهای موثر بر یک پدیده می باشد. گران و محدود بودن مطالعات آزمایشگاهی، نیاز به شبیه سازی های عددی و بررسی تحلیلی پدیده ها را غیر قابل اجتناب می کند. در این نوشتار به بررسی پدیده های فیزیکی مرتبط با قطره که در اسپری اتفاق می افتد، پرداخته شده است. این پدیده ها شامل تغییرات شکل ظاهری قطره در اثر عواملی همچون حرکت در محیط، برخورد با سطوح مختلف جامد، برخورد با سطوح مختلف مایع می باشد. در حرکت قطره در سیال محیط، حالات مختلف تغییرشکل و شکست در قطره مشاهده شده است که تحت تاثیر نیروهای بدنه ای، کشش سطحی و لزجت می باشند. در برخورد قطره با سطوح جامد، عوامل موثر بر گسترش قطره روی سطح جامد و تشکیل موج های کپیلاری روی سطح قطره مورد بررسی قرار می گیرند. در برخورد قطره با سطح فیلم مایع، تشکیل حفره و عمق آن ارزیابی می شود. همچنین در این مطالعه به بررسی قطره در پدیده ی تبخیر نیز پرداخته شده است که در آن بیشتر بر دمای قطره تمرکز شده است و عوامل موثر بر تغییرات دمای قطره در فرآیند تبخیر مورد بررسی قرار گرفته است. فرآیندهای تغییر شکل قطره با استفاده از روش عددی حجم محدود شبیه سازی بررسی می شوند و مورد تحلیل قرار می گیرند و در بررسی فرآیند تبخیر قطره از روش های تحلیلی برای حل معادلات حاکم بر پدیده استفاده می شود.

**واژه های کلیدی:** قطره، روش حجم سیال، تبخیر، اسپری، شکست



## فهرست مطالب

۱	فصل ۱ مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه.....
۴	۲-۱ مقدمه ای بر جریان دو فاز.....
۸	فصل ۲ مروری بر مبانی و پیشینه تحقیق
۹	۱-۲ مقدمه.....
۹	۲-۲ شبیه سازی عددی قطره.....
۱۰	۱-۲-۲ مدل های جریان دو فاز.....
۱۰	۲-۲-۲ روش های ارایه ی سطح مشترک.....
۱۶	۳-۲ مروری بر ادبیات و پیشینه ی مطالعه.....
۱۷	۱-۳-۲ حرکت قطره (حباب) در سیال بی نهایت.....
۲۴	۲-۳-۲ برخورد قطره به صفحه.....
۲۷	۳-۳-۲ برخورد قطره با فیلم مایع.....
۲۹	۴-۳-۲ تبخیر قطره ی در حال سقوط آزاد.....
۳۳	۴-۲ نتیجه گیری.....
۳۴	فصل ۳ روش تحقیق
۳۵	۱-۳ مقدمه.....
۳۵	۲-۳ علت انتخاب روش.....
۳۵	۳-۳ تشریح کامل روش حل عددی.....
۳۵	۱-۳-۳ نرم افزار متن باز OpenFAOM.....
۳۶	۲-۳-۳ گسسته سازی حجم محدود.....
۳۹	۳-۳-۳ تشریح حلگر در OpenFOAM.....
۴۲	۴-۳ تشریح کامل روش حل تحلیلی.....
۴۲	۱-۴-۳ روش اغتشاشی هموتویی.....
۴۴	۵-۳ تشریح مسایل.....
۴۴	۱-۵-۳ سقوط آزاد قطره و تغییر شکل و شکست آن.....
۴۵	۲-۵-۳ برخورد قطره با سطوح شیبدار و گسترش آن.....
۴۶	۱-۵-۳ برخورد قطره با فیلم مایع.....
۴۷	۲-۵-۳ تبخیر قطره ی در حال سقوط آزاد.....
۴۸	۶-۳ معادلات حاکم در بررسی های عددی.....
۴۹	۷-۳ معادلات حاکم در بررسی تحلیلی.....
۵۲	فصل ۴ نتایج و تفسیر آن ها
۵۳	۱-۴ مقدمه.....

۵۳	۲-۴ سقوط آزاد قطره و تغییر شکل و شکست آن.....
۵۳	۱-۲-۴ شرایط مرزی و اولیه.....
۵۵	۲-۲-۴ بررسی استقلال حل از شبکه.....
۵۶	۳-۲-۴ بررسی اعتبار حل.....
۵۷	۴-۲-۴ نتایج.....
۶۲	۳-۴ برخورد قطره با سطوح شیبدار و گسترش آن.....
۶۲	۱-۳-۴ شبکه، شرایط مرزی و اولیه.....
۶۳	۲-۳-۴ نتایج.....
۷۲	۴-۴ برخورد قطره با فیلم مایع.....
۷۲	۱-۴-۴ شبکه، شرایط مرزی و اولیه.....
۷۳	۲-۴-۴ نتایج.....
۸۲	۵-۴ تبخیر قطره ی در حال سقوط آزاد.....
۸۴	۱-۵-۴ بررسی اعتبار روش حل.....
۸۵	۲-۵-۴ تحلیل پاسخ.....

## فصل ۵ جمع بندی و پیشنهادها

۹۰	
۹۱	۱-۵ مقدمه.....
۹۱	۲-۵ محتوا.....
۹۱	۱-۲-۵ جمع بندی.....
۹۲	۲-۲-۵ نوآوری.....
۹۳	۳-۲-۵ پیشنهادها.....

۹۴

مراجع

## فهرست شکل ها

- شکل (۱-۱) دسته بندی جریان دو فاز برحسب جنس فاز..... ۴
- شکل (۲-۱) ستون حباب (راکتور شیمیایی)..... ۵
- شکل (۳-۱) جریان گاز-مایع در لوله: الف) حبابی ب) حبابی به لخته ای ج) لخته ای د) لخته ای به چرن ی) چرن  
ه) حلقوی [۱۶]..... ۷
- شکل (۱-۲) الف) تعقیب سطح مشترک ب) تسخیر سطح مشترک..... ۱۱
- شکل (۲-۲) بازسازی هندسی سطح به روش های PLIC و SLIC..... ۱۳
- شکل (۳-۲) ناحیه ی سطح مشترک در روش تفاضلی مرتبه بالا [۲۸]..... ۱۴
- شکل (۴-۲) عملکرد روش های حجم سیال و مجموعه سطوح..... ۱۶
- شکل (۵-۲) مراحل انواع شکست ثانویه قطره..... ۱۸
- شکل (۶-۲) شکست کیسه ای..... ۲۰
- شکل (۷-۲) شکست برشی..... ۲۱
- شکل (۸-۲) نمودار گریس [۳۴]..... ۲۳
- شکل (۹-۲) برخورد قطره به دیواره، پدیده ی گسترش و بازپس خوردن [۴۱]..... ۲۵
- شکل (۱۰-۲) نمایی از برخورد قطره با فیلم مایع..... ۲۷
- شکل (۱-۳) گسسته سازی دامنه ی حل [۷۷]..... ۳۶
- شکل (۲-۳) نمایی از قطره ی در حال تبخیر..... ۴۷
- شکل (۱-۴) شبکه ی محاسباتی و شرایط مساله..... ۵۴
- شکل (۲-۴) بررسی استقلال حل از شبکه..... ۵۵
- شکل (۳-۴) بررسی اعمال کشش سطحی حلگر..... ۵۶
- شکل (۴-۴) اثر اتوس بر تغییر شکل و شکست قطره در اونسورج  $0.05$ ، از چپ به راست عدد اتوس اینگونه تغییر می کند: ۰.۹، ۰.۱۵، ۰.۲۲، ۰.۳۹، ۰.۶۰، ۰.۷۸. فاصله ی میان قطرات در هر حالت یک مقدار ثابت می باشد و زمان نهایی برای هر حالت برحسب ثانیه چنین است: ۰.۱، ۰.۸۸، ۰.۸۲، ۰.۶۹، ۰.۵۶، ۰.۴۹..... ۵۷
- شکل (۵-۴) نمودار تغییرات سرعت مرکز قطره نشان داده شده در شکل (۴-۴). نتایج به ترتیب برای اتوس های زیر نشان داده شده اند: ۰.۹، ۰.۱۵، ۰.۲۲، ۰.۳۹، ۰.۶۰، ۰.۷۸..... ۵۹
- شکل (۶-۴) اثر عدد اونسورج بر تغییر شکل قطره با  $Eo = 15$ . گام های زمانی ثابت و زمان نهایی ۰.۸۸ ثانیه می باشد. اونسورج از چپ به راست اینگونه افزایش می یابد: الف) ۰.۰۵ ب) ۰.۱۲۵ ج) ۰.۲۵..... ۶۰

شکل (۷-۴) اثر عدد اونسورج بر تغییر شکل قطره با  $Eo = 78$ . گام های زمانی ثابت و زمان نهایی ۰,۴۹ ثانیه می باشد. اونسورج از چپ به راست اینگونه افزایش می یابد: الف) ۰,۰۵ (ب) ۰,۱۲۵ (ج) ۰,۲۵ ..... ۶۱

شکل (۸-۴) نمایی از شبکه حل ..... ۶۲

شکل (۹-۴) زوایای تماس استاتیکی ..... ۶۳

شکل (۱۰-۴) مشاهدات تجربی رژیم های مختلف برخورد و گسترش قطره روی سطوح شیبدار (برگرفته از کار سیکالو [۸۵]). الف) چلپ چلوپ (برخورد قطره ایزوپروپانول با سطح شیشه با شیب ۴۵ درجه و  $We=544$ ) (ب) گسترش (برخورد قطره آب با سطح شیشه با شیب ۱۰ درجه و  $We=391$ ) (ج) گسترش و سر خوردن (برخورد قطره آب با سطح موم با شیب ۱۰ درجه و  $We=391$ ) (د) متمایل به پس زدن (برخورد قطره گلیسرین با سطح شیشه با شیب ۹ درجه و  $We=51$ ) (هـ) پس زدن (برخورد قطره گلیسرین با سطح شیشه با شیب ۸ درجه و  $We=51$ ) (و) تغییر شکل (برخورد قطره ایزوپروپانول با سطح شیشه با شیب ۸ درجه و  $We=179$ ) ..... ۶۴

شکل (۱۱-۴) برخورد قطره آب به قطر ۲,۷۲ میلیمتر با سطح شیشه با زاویه ۱۰ درجه و  $We=391$ . فاصله ی زمانی بین هر تصویر ۱ میلی ثانیه می باشد ..... ۶۴

شکل (۱۲-۴) برخورد قطره آب به قطر ۲,۷۲ میلیمتر با سطح موم با زاویه ۱۰ درجه و  $We=391$ . فاصله ی زمانی بین هر تصویر ۱ میلی ثانیه می باشد ..... ۶۵

شکل (۱۳-۴) الف) نمایی از نحوه ی اندازه گیری طول گسترش. ب) مولفه های سرعت و هندسه ی برخورد قطره ..... ۶۵

شکل (۱۴-۴) مقایسه ی ضریب گسترش پیشبینی شده با نتایج آزمایشگاهی [۸۵] برای سیستم الف) شیشه و آب (ب) موم و آب (شیب ۱۰ درجه و  $We=391$ ) ..... ۶۶

شکل (۱۵-۴) اثر زاویه ی برخورد بر ضریب گسترش در برخورد قطره ی آب بر سطح شیشه با  $We=90$  ..... ۶۷

شکل (۱۶-۴) اثر زاویه ی برخورد بر ضریب گسترش در برخورد قطره ی آب بر سطح موم با  $We=90$  ..... ۶۸

شکل (۱۷-۴) اثر سرعت برخورد بر ضریب گسترش در برخورد قطره ی آب بر سطح شیشه با شیب ۱۰ درجه ..... ۶۹

شکل (۱۸-۴) اثر سرعت برخورد بر ضریب گسترش در برخورد قطره ی آب بر سطح موم با شیب ۱۰ درجه ..... ۶۹

شکل (۱۹-۴) اثر سرعت برخورد بر حرکت قطره ی آب بر روی سطح شیشه با شیب ۱۰ درجه (فاصله ی زمانی میان هر تصویر 1 ms) ..... ۷۰

شکل (۲۰-۴) اثر سرعت برخورد بر حرکت قطره ی آب بر روی سطح موم با شیب ۱۰ درجه (فاصله ی زمانی میان هر تصویر 1 ms) ..... ۷۰

شکل (۲۱-۴) نمایی از قطره در زمان تشکیل موج کپیلاری (درون قطره کانتور فشار نشان داده شده است) [۹۰] ۷۱

شکل (۲۲-۴) شبکه ی محاسباتی و شرایط مساله ..... ۷۲

- شکل (۴-۲۳) پیشرفت حفره درون فیلم برای برخورد قطره ی ایزوپروپانول با  $H = 2$  و  $We=392$  و  $Re=1730$  (الف) شبیه سازی ب) تجربی [۸۶]. زمان بی بعد مربوط به هر شکل به ترتیب این گونه می باشد:  $0.1, 0.2, 0.7, 1.0, 1.8, 2.1$ .
- ۳۱,۴ . ۲۱,۷ ..... ۷۵
- شکل (۴-۲۴) پیشرفت حفره درون فیلم برای برخورد قطره ی آب مقطر با  $H = 2$  و  $We=215$  و  $Re=6750$  (الف) شبیه سازی ب) تجربی [۸۶]. زمان بی بعد مربوط به هر شکل به ترتیب این گونه می باشد:  $0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.1$ .
- ۲۱ . ۱۶,۱ ..... ۷۶
- شکل (۴-۲۵) عمق بی بعد برای برخورد قطره ی ایزوپروپانول. مقادیر شبیه سازی در این مطالعه با خط و مقادیر آزمایشگاهی [۸۶] با نشانه نمایش داده شده اند..... ۷۷
- شکل (۴-۲۶) عمق بی بعد برای برخورد قطره ی مخلوط گلیسرین و آب. مقادیر شبیه سازی در این مطالعه با خط و مقادیر آزمایشگاهی [۸۶] با نشانه نمایش داده شده اند..... ۷۷
- شکل (۴-۲۷) عمق بی بعد برای برخورد قطره ی آب مقطر. مقادیر شبیه سازی در این مطالعه با خط و مقادیر آزمایشگاهی [۸۶] با نشانه نمایش داده شده اند..... ۷۸
- شکل (۴-۲۸) . (الف) کانتور میدان فشار ب) کانتور اندازه ی سرعت پیشبینی شده در برخورد قطره ی ایزوپروپانول با  $H=2$  و  $We=392$  و  $Re=1730$ . زمان بی بعد مربوط به هر شکل به ترتیب این گونه می باشد:  $0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.7, 2.1, 3.1$ .
- ۲۱,۷ . ۱۶,۳ ..... ۸۰
- شکل (۴-۲۹) مقایسه ی تابع دمای بدست آورده از روش  $HPM$  با روش عددی (با مقادیر جدول (۴-۲۴)..... ۸۴
- شکل (۴-۳۰) تغییرات دمای قطرات آب، اتانول، هپتان و بنزن در حال تبخیر..... ۸۶
- شکل (۴-۳۱) اثر دمای محیط بر دمای قطره در فرآیند تبخیر..... ۸۷
- شکل (۴-۳۲) اثر شعاع اولیه قطره بر دمای قطره در فرآیند تبخیر..... ۸۸
- شکل (۴-۳۳) اثر شتاب گرانش بر دمای قطره در فرآیند تبخیر (شتاب بر حسب متر بر مجذور ثانیه آورده شده). ۸۹

## فهرست جدول ها

- جدول (۱-۱) کاربردی های علمی و مهندسی قطرات مایع..... ۳
- جدول (۱-۲) مهمترین مزایا و معایب سه روش ارایه سطح [۸۹]..... ۱۲
- جدول (۱-۳) اعداد بی بعد کنترل کننده ی پدیده تغییر شکل و شکست قطره در سقوط آزاد قطره..... ۴۵
- جدول (۲-۳) اعداد و متغیرهای بی بعد کنترل کننده ی پدیده برخورد قطره با فیلم مایع..... ۴۵
- جدول (۳-۳) اعداد و متغیرهای بی بعد کنترل کننده ی پدیده برخورد قطره با فیلم مایع..... ۴۷
- جدول (۴-۳) اعداد و متغیرهای بی بعد کنترل کننده ی پدیده تبخیر قطره..... ۴۸
- جدول (۱-۴) مشخصات فیزیکی آب و سیال محیطی..... ۵۴
- جدول (۲-۴) مشخصات فیزیکی مایع و زوایای تماس سطح..... ۶۳
- جدول (۳-۴) مشخصات فیزیکی مایعات به کار برده شده در شبیه سازی برخورد قطره با فیلم مایع..... ۷۳
- جدول (۴-۴) مقادیر ثابت مورد استفاده در حل برای قطره ی آب در محیط هوا..... ۸۳
- جدول (۵-۴) مشخصات فیزیکی سوخت ها..... ۸۵

## فهرست نمادها

$\alpha$ .....	نمایشگر فاز
$\varphi$ .....	تابع فاصله
$\Gamma (\frac{m^2}{s})$ .....	پخشیدگی
$\rho (\frac{kg}{m^3})$ .....	چگالی
$\rho^*$ .....	نسبت چگالی
$\mu$ (Pa s).....	لزجت دینامیکی
$\mu^*$ .....	نسبت لزج
$\sigma$ .....	کشش سطحی، پخشیدگی
$\kappa$ .....	انحنا
$\omega$ (Hz).....	فرکانس زاویه ای
$\tau$ .....	تانسور تنش، عمر قطره
$\delta$ .....	دلتا کرونیگر
$A$ ( $m^2$ ).....	مساحت
$C, C_p$ ( $J/kg K$ ).....	ظرفیت گرمایی ویژه، عدد کورانت
$C_a$ .....	ضریب تراکم
$D$ (m).....	قطر
$D_0$ (m).....	قطر اولیه
$E_o$ .....	عدد اتوس
$g$ ( $\frac{m}{s^2}$ ).....	شتاب گرانش
$H$ (m).....	ارتفاع فیلم
$\bar{H}$ .....	ارتفاع بی بعد فیلم
$h$ ( $W/m K$ ).....	ضریب انتقال حرارت جابجایی
$k$ ( $W/m K$ ).....	ضریب انتقال حرارت رسانش
$L$ ( $\frac{kJ}{kg}$ ).....	انرژی تبخیر

$m$ (kg)	جرم
$\dot{m}$ ( $\frac{kg}{s}$ )	نرخ انتقال جرم
$n$	بردار نرمال
$Nu$	عدد ناسلت
$Oh$	عدد اونسورج
$Pr$	عدد پراتتل
$Re$	عدد رینولدز
$R, r$ (m)	شعاع
$\dot{R}$ ( $\frac{m}{s}$ )	نرخ تغییرات شعاع
$S$ ( $m^2$ )	سطح
$S_\phi$	چشمه
$\bar{t}, t^*$	زمان بی بعد
$t$ (s)	زمان
$T$ (K)	دما
$T^*$	دمای بی بعد
$T_\infty$ (K)	دمای محیط
$T_0$ (K)	دمای اولیه
$T_s$ (K)	دمای سطح
$T_{sat}$ (K)	دمای اشباع
$U$ ( $\frac{m}{s}$ )	سرعت
$U_r$ ( $\frac{m}{s}$ )	سرعت تراکم
$U_0$ ( $\frac{m}{s}$ )	سرعت اولیه
$V$ ( $m^3$ )	حجم
$We$	عدد وبر
$x$ (m)	طول گسترش
$\bar{x}$	طول بی بعد گسترش



# فصل ۱

مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

قطرات در طبیعت و همچنین گستره ی وسیعی از کاربردهای علمی و مهندسی وجود دارد. [۱] قطرات طبیعی را می توان در شبنم، مه، [۲] رنگین کمان، [۳] ابرها، [۴] باران و مه آبشارها دید. پراکندگی قطرات در هوای اطراف می تواند توسط دوش حمام، شیلنگ باغ ها، اسپری مو، اسپری رنگ و تعداد زیاد دیگری از اسپری ها تولید شود. تعداد زیادی از فرآیندهای مهم صنعتی با قطره سروکار دارند مثل احتراق اسپری<sup>۱</sup>، [۵، ۱] اسپری خشک کن<sup>۲</sup>، [۶، ۲] اسپری خنک کن<sup>۳</sup>، [۷] اسپری حرارتی<sup>۴</sup>، [۸] اسپری تمیز کننده<sup>۵</sup>، [۹] و ... . مثال های بیشتر کاربرد علمی و مهندسی قطرات در جدول (۱-۱) آورده شده است.

تغییر شکل قطره در زمان برخورد با سطح یک موضوع مورد علاقه در بسیاری از رشته های علمی و مهندسی می باشد. یخ زدن و فرسایش سطوح هواپیماها می تواند ناشی از برخورد قطرات موجود در ابرها یا باران ها در زمان پرواز باشد. [۱۰، ۱۱] فرسایش تیغه های توربین [۱۲] که در بخار نم دار کار می کنند و فرسایش سطوح زمینی در زمان باران، همگی مربوط به برخورد قطره می باشند. پدیده ی برخورد و گسترش قطره بر روی سطوح نیز کاربردهای مهندسی زیادی دارد. به عنوان مثال احتراق اسپری، خنک کنندگی سطوح به وسیله ی احتراق، چاپگرهای جوهر افشان [۱۳] استخراج نفت از سنگ های متخلخل و ... . پدیده ی اسپری معمولا با انتقال حرارت و تقطیر قطرات همراه می باشد مثل اسپری حرارتی برای پوشش سطوح [۸].

کاربردهای گسترده محرک تحقیقات و توسعه های بنیادی فناوری های مرتبط با قطره شده است. در صده ی گذشته موضوعات مرتبط به قطره مورد توجه چشم گیر بسیاری از دانشمندان بوده است. در سال های اخیر تحقیقات گسترده ی صورت گرفته که باعث برداشتن گام های بلندی در مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی فرآیندهای قطره شده است. این پیشرفت ها باعث بهبود درک ما از پدیده های مرتبط با قطرات شده است.

<sup>1</sup> Spray combustion

<sup>2</sup> Spray drying

<sup>3</sup> Spray cooling

<sup>4</sup> Thermal spray

<sup>5</sup> Spray cleaning

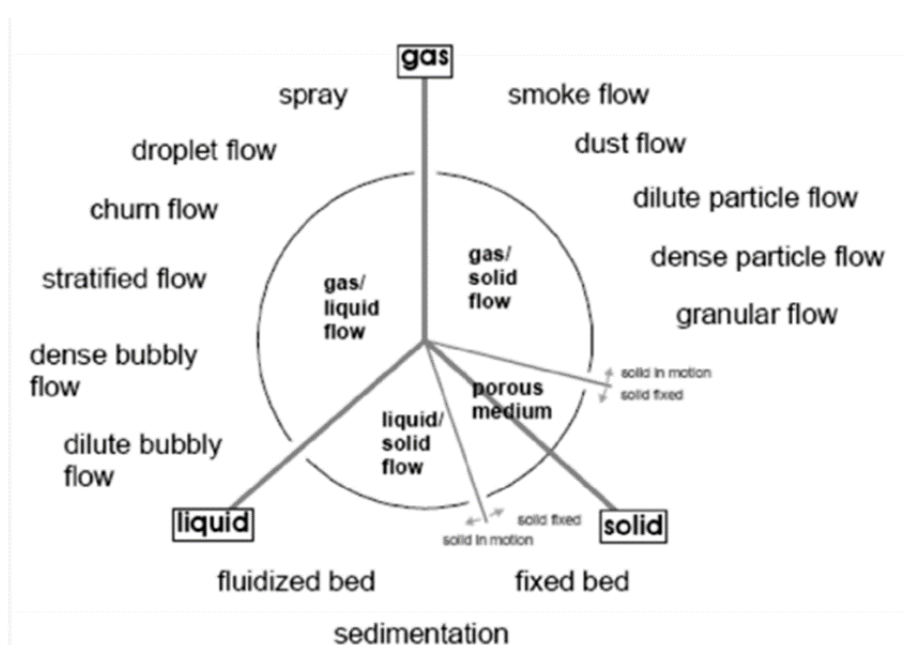
جدول (۱-۱) کاربردی های علمی و مهندسی قطرات مایع

کاربرد	زمینه
<ul style="list-style-type: none"> <li>- فرآوری شیر خشک</li> <li>- فرآوری غذا</li> <li>- فرآوری شیمیایی</li> </ul>	اسپری خشک کن
<ul style="list-style-type: none"> <li>- موتورهای دیزل</li> <li>- موتورهای احتراق جرقه ای</li> <li>- توربین های گازی</li> <li>- موتورهای راکت</li> <li>- کوره های صنعتی</li> <li>- بویلرها</li> </ul>	اسپری احتراق
<ul style="list-style-type: none"> <li>- خنک کنندگی هسته های اتمی</li> <li>- خنک کنندگی تیغه ی توربین ها</li> <li>- خنک کنندگی زغال سنگ</li> <li>- خنک کنندگی شمش فلزات در ریختگری</li> </ul>	اسپری خنک کنندگی
<ul style="list-style-type: none"> <li>- مرطوب سازی در تهویه مطبوع</li> <li>- آتش نشانی</li> <li>- روغن کاری</li> <li>- خیس خوری<sup>۱</sup></li> <li>- کنترل آلودگی و غبار</li> </ul>	اسپری مه
<ul style="list-style-type: none"> <li>- افزودن مواد شیمیایی کشاورزی</li> <li>- آبیاری با اسپری</li> </ul>	اسپری کشاورزی
<ul style="list-style-type: none"> <li>- نهایی سازی سطح<sup>۲</sup></li> <li>- پوشش سطح</li> </ul>	اسپری رنگ
<ul style="list-style-type: none"> <li>- مالش با گاز (خیس)</li> <li>- شست و شو با شن</li> <li>- تمیز کنندگی سبزیجات</li> <li>- تمیز کنندگی سطوح</li> <li>- شست و شوی خودرو</li> </ul>	اسپری تمیز کننده

<sup>1</sup> Drenching<sup>2</sup> Surface finishing

## ۲-۱ مقدمه ای بر جریان دو فاز

به جریانی که همزمان حداقل دو فاز متفاوت در آن حضور داشته باشند جریان چند فاز<sup>۱</sup> گفته می شود. این دو فاز ممکن است همچون دو فازی آب و بخار از یک جنس باشند یا همچون دوفازی آب و هوا یا دوفازی آب و روغن از دو جنس متفاوت باشند. در دوفازی سیال-جامد، سیال می تواند مایع یا گاز باشد. تقریباً اکثر پدیده های فیزیکی در دسته بندی جریان دو فاز جای می گیرند. از مثال های رایج جریان دو فازی سیال-جامد می توان به حرکت ذرات ته نشین<sup>۲</sup> و رسوب در لوله ها اشاره کرد. ستون حباب<sup>۳</sup>، حرکت گاز و سیال در لوله ها یا پدیده های طبیعی همچون امواج دریا یا بارش باران از پدیده های رایج جریان دو فازی گاز-مایع می باشد. جریان قطره<sup>۴</sup> در زیرگروه جریان های دوفازی مایع-گاز قرار می گیرد.



شکل (۱-۱) دسته بندی جریان دو فاز برحسب جنس فاز

برای درک پیچیدگی های فیزیکی جریان دو فاز به تعدادی از پدیده های طبیعی و صنعتی جریان دوفازی گاز-مایع

<sup>1</sup> Multi phase

<sup>2</sup> Sediment Transport

<sup>3</sup> Bubble Column

<sup>4</sup> Droplet Flow