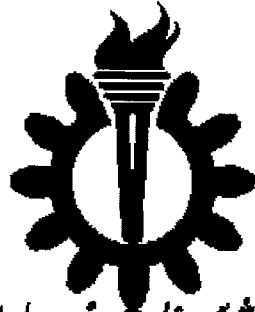




٤٨٧٧٧

۱۳۸۲ / ۵ / ۲۷

انواع اطلاعات در آن علمی ایران
توسعه در آن



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی
هوافضا گرایش جلوبرندگی

عنوان :

**حل عددی فرآیند تبخیر غیر دائمی قطرات سوخت
در میدان جریان**

تهیه کننده: سید عباس فخرطباطبایی

استاد راهنما: دکتر مهدی بیدآبادی

بهمن ۸۱

۴۸۴۷۳

تقدیم به ...

یاد و خاطره پدر بزرگوارم، مادر فداکار و دلسوزم و همسر بسیار مهربان و عزیزم

چکیده

در پژوهش حاضر هدف بررسی مدل‌های مختلف و موجود در رابطه با فرآیند تبخیر به منظور استفاده در شبیه‌سازیهای مدرن جریانهای دو فازی در فشار کم می‌باشد. بخصوص تبخیر قطرات کوچک سوخته‌های هیدروکربنی در دمای بالا (مطابق با اکثر فرآیندهای احتراق اسپری کاربردی) مورد نظر می‌باشند. مدل‌های مورد بررسی شامل دو نسخه از مدل گذرای کلاسیک، چهار مدل *HMTA* و دو مدل غیر تعادلی بر مبنای قانون تبخیر *Langmuir-Knudsen* می‌باشند. همچنین یک روش کارآمد برای محاسبه خواص ترموفیزیکی تابع دما مورد استفاده قرار گرفته است که باعث کاهش زمان محاسبات می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج تجربی موجود در منابع مقایسه شده‌اند و در هر مورد مدل یا مدل‌هایی که بهترین تطبیق را با داده‌های تجربی داشته‌اند، معرفی شده‌اند. هنگامیکه سایز قطرات مورد بررسی کمتر از پنجاه میکرون باشد اثر ترمودینامیک غیر تعادلی در بررسی فرآیند تبخیر قابل توجه می‌شود. همچنین هنگامیکه دمای فاز گاز کمتر از دمای جوشش مایع تشکیل دهنده قطره است (در حالت نرخ تبخیر کم) مدل‌های مختلف تقریباً نتیجه یکسانی را ارائه می‌دهند و تفاوتی با هم ندارند. در واقع تفاوت بین مدل‌ها هنگامیکه دمای فاز گاز مساوی و یا بیشتر از دمای جوشش مایع باشد، مهم می‌شود. در هر کدام از این دو حالت نیز مشاهده شده که بهترین مدل، مدل‌های غیر تعادلی می‌باشند. اثر دمای فاز گاز و نیز عدد رینولدز بر لحاظ کردن شرایط غیر تعادلی در فرآیند تبخیر نیز مورد بررسی قرار گرفته و مشاهده شده است که دمای فاز گاز بر این مسئله بی‌تأثیر است و با افزایش عدد رینولدز تأثیر ترمودینامیک غیر تعادلی در فرآیند تبخیر افزایش می‌یابد.

تقدیر و تشکر

اول، حمد و سپاس خدای بزرگ را که در سایهٔ عنایات و لطف او امکان اتمام تحصیلات در مقطع کارشناسی ارشد برای این بندهٔ حقیر میسر شد. سپس از زحمات و راهنمائیهای ارزنده استاد ارجمندم جناب آقای دکتر مهدی بیدآبادی قدردانی می‌نمایم. از آقایان دکتر سید مصطفی حسینعلی‌پور و دکتر محمد مهدی دوستدار بخاطر مشاورهٔ ارزشمندشان در طی انجام پروژه سپاسگزارم. از آقایان دکتر سید محمد حسین کریمیان و دکتر رضا تقوی بخاطر قبول زحمت و شرکت در جلسه دفاعیه سپاسگزارم. همچنین از دوستان و همکاران در مدیریت پیشرانس صنایع شهید باقری و مدیریت پژوهشی سوخت و پیشرانس پژوهشکده سیستمهای پدافند هوایی بخاطر ایجاد یک محیط پژوهشی مناسب و نیز کمکهای ارزنده ایشان در انجام پروژه نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

اسفندماه هزار و سیصد و هشتاد و یک

سید عباس فخر طباطبایی

فهرست مطالب

مقدمه	۱
۱- فصل اول: تدوین یک الگوریتم برای مدل‌سازی جریانهای دو فازی	۸
۱-۱- مقدمه	۸
۲-۱- سطوح مختلف مدل‌سازی جریانهای دو فازی	۱۰
۱-۲-۱- سطح اول	۱۰
۲-۲-۱- سطح دوم	۱۱
۳-۲-۱- سطح سوم	۱۲
۳-۱- تعاریف و مفاهیم مقدماتی	۱۲
۴-۱- جریانهای رقیق و غلیظ	۱۳
۵-۱- بررسی اندرکنش فازها	۱۴
۱-۵-۱- کوپلینگ جرم	۱۴
۲-۵-۱- کوپلینگ ممتوم	۱۵
۳-۵-۱- کوپلینگ انرژی	۱۶
۶-۱- روشهای مختلف شبیه‌سازی جریانهای دو فازی	۱۷
۱-۶-۱- رهیافت اویلری	۱۷
۲-۶-۱- رهیافت لاگرانژی	۱۸
۳-۶-۱- رهیافت اویلری-لاگرانژی	۲۰
۷-۱- الگوریتم محاسباتی برای مطالعه جریانهای دو فازی	۲۱
۱-۷-۱- کلیات به همراه مدل‌های مربوط	۲۱
۸-۱- روش PSI-Cell	۲۴
۹-۱- شبیه‌سازی تبخیر و احتراق اسپری	۲۹
۱-۹-۱- قدم‌های مورد نیاز در شبیه‌سازی میدان جریان توأم با اسپری	۳۲
۲-۹-۱- توزیع اولیه اندازه و تعداد قطرات	۳۳

۳۴.....	برخورد قطرات	۳-۹-۱
۳۶.....	نوسان و شکست قطرات	۴-۹-۱
۴۱.....	فصل دوم: مقدمه‌ای بر تئوری تبخیر قطرات و ارائه یک مدل پیشرفته	۲
۴۱.....	مقدمه	۱-۲
۴۱.....	بررسی فیزیکی فرآیند تبخیر قطرات	۲-۲
۴۵.....	برآوردی تقریبی از عدد رینولدز و نقش آن در تبخیر	۳-۲
۴۵.....	تبخیر یک قطره ساکن	۴-۲
۴۶.....	فرضیات	۱-۴-۲
۴۷.....	آنالیز فاز گاز	۲-۴-۲
۴۸.....	بقاء جرم	۳-۴-۲
۴۸.....	بقاء انرژی	۴-۴-۲
۴۹.....	بالانس انرژی فصل مشترک فاز گاز-قطره	۵-۴-۲
۵۱.....	طول عمر قطره	۶-۴-۲
۵۳.....	تبخیر قطره با در نظر گرفتن سرعت نسبی گاز-قطره	۵-۲
۵۶.....	تئوری دینامیک قطره	۱-۵-۲
۵۷.....	تحلیل فاز گاز	۲-۵-۲
۶۴.....	تحلیل فاز مایع	۳-۵-۲
۷۱.....	فصل سوم: فرمولبندی جدید برای مدل‌های تعادلی و غیر تعادلی	۳
۷۱.....	مقدمه	۱-۳
۷۱.....	فرمولبندی کلی	۲-۳
۷۵.....	مدل‌های تعادلی	۳-۳
۷۹.....	مدل‌های غیر تعادلی	۴-۳
۸۴.....	خواص ترموفیزیکی	۵-۳
۸۸.....	فصل چهارم: روش حل و نتایج	۴

۸۸.....	مقدمه	۱-۴
۸۸.....	روش حل معادلات حاکم	۲-۴
۸۹.....	روش صریح	۱-۲-۴
۹۰.....	روش ضمنی	۲-۲-۴
۹۱.....	مقایسه‌های مربوط به نرخ تبخیر کم	۳-۴
۹۳.....	مقایسه‌های مربوط به نرخ تبخیر متوسط	۴-۴
۹۶.....	مقایسه‌های مربوط به نرخ تبخیر بالا	۵-۴
۱۰۰.....	مقایسه‌های مربوط به دمای حالت پایای قطره	۶-۴
۱۰۴.....	بررسی اثرات ترمودینامیک غیر تعادلی در فرآیند تبخیر	۷-۴
۱۰۷.....	بررسی اثر ضرائب انتقال حرارت در فرآیند تبخیر	۸-۴
۱۱۰.....	بررسی اثر چگونگی برآورد خواص ترمودینامیکی در فرآیند تبخیر	۹-۴
۱۱۲.....	جمع‌بندی	۱۰-۴
۱۱۴.....	مراجع	
۱۱۷.....	پیوست یک	
۱۲۰.....	پیوست دو	

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱- محفظه تولید تراست موتور موشک سوخت مایع ۲
- شکل ۲- فرآیندهای داخل محفظه احتراق ۳
- شکل ۱-۱- تقسیم بندی نواحی اسپری ۱۳
- شکل ۱-۲- مدل‌های مختلف شبیه‌سازی جریانهای دو فازی ۲۰
- شکل ۱-۳- اندرکنش دو فاز در روش PSI-Cell ۲۵
- شکل ۱-۴- مسیر ذره در عبور از یک سری سلول محاسباتی نمونه ۲۵
- شکل ۱-۵- الگوریتم شبیه‌سازی پراکندگی پودر زغال سنگ، مدل‌های اوپلری ۲۷
- شکل ۱-۶- الگوریتم شبیه‌سازی پراکندگی پودر زغال سنگ، مدل‌های لاگرانژی ۲۸
- شکل ۱-۷- جریان خروجی از انژکتور بهمراه نواحی مختلف آن ۳۰
- شکل ۱-۸- ساختار شعله اسپری خروجی از یک انژکتور ۳۱
- شکل ۱-۹- خلاصه‌ای از مدل‌های مطرح در بررسی نوسان وشکست قطرات ۳۶
- شکل ۱-۱۰- یک الگوریتم برای بررسی جریان توأم با اسپری (Kiva) [ادامه صفحه بعد] ۳۷
- شکل ۱-۱۱- یک الگوریتم برای بررسی جریان توأم با اسپری (Kiva) [ادامه شکل ۱-۱۰] ۳۸
- شکل ۱-۱۲- ساختار تحلیل فاز گاز در روش DDM ۳۹
- شکل ۱-۱۳- ساختار تحلیل فاز مایع در روش DDM ۴۰
- شکل ۲-۱- میدان جریان اطراف و داخلی قطره ۴۲
- شکل ۲-۲- مختصات بکار رفته در مدلسازی تبخیر ۴۶
- شکل ۲-۳- بالانس انرژی برای فصل مشترک قطره - گاز و گاز ۴۹
- شکل ۳-۱- مقایسه بین اندازه‌گیریهای تجربی و نتایج حاصل از معادله (۳-۳۰) ۸۷
- شکل ۴-۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی کاهش قطر برای قطره آب در حالت $Re_d = 0$ ۹۱

- شکل ۲-۴ - دمای قطره آب برای مدل‌های مختلف در $Re_d = 0$ ۹۲
- شکل ۳-۴ - نتایج حاصل از شبیه‌سازی کاهش قطر برای قطره هگزان در $Re_d = 110$ ۹۴
- شکل ۴-۴ - پیش‌بینی مدل‌های مختلف از دمای قطره هگزان برای $Re_d = 110$ ۹۵
- شکل ۵-۴ - پیش‌بینی مدل‌های مختلف از کاهش قطر قطره دکان برای $Re_d = 17$ ۹۷
- شکل ۶-۴ - پیش‌بینی دمای قطره دکان برای $Re_d = 17$ توسط مدل‌های مختلف ۹۸
- شکل ۷-۴ - مقایسه بین دمای متوسط داخلی و دمای سطح قطره توسط مدل M8 ۹۹
- شکل ۸-۴ - دمای حالت پایای پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف برحسب دمای فاز گاز برای قطره آب ۱۰۱
- شکل ۹-۴ - دمای حالت پایای پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف برحسب دمای فاز گاز برای قطره بنزن ۱۰۲
- شکل ۱۰-۴ - دمای حالت پایای پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف برحسب دمای فاز گاز برای قطره هپتان ۱۰۳
- شکل ۱۱-۴ - بررسی اثر ساینز قطره بر ترمودینامیک غیر تعادلی در فرآیند تبخیر ۱۰۴
- شکل ۱۲-۴ - بررسی اثر دمای گاز بر ترمودینامیک غیر تعادلی در فرآیند تبخیر ۱۰۵
- شکل ۱۳-۴ - بررسی اثر رینولدز نسبی گاز-قطره بر ترمودینامیک غیر تعادلی در تبخیر ۱۰۶
- شکل ۱۴-۴ - نتایج حاصل از شبیه‌سازی کاهش قطر قطره دکان با استفاده از ضریب انتقال حرارت بهینه برای مدل‌های مختلف ۱۰۷
- شکل ۱۵-۴ - نتایج حاصل از شبیه‌سازی دمای قطره دکان با استفاده از ضریب انتقال حرارت بهینه برای مدل‌های مختلف ۱۰۹
- شکل ۱۶-۴ - مقایسه اثر چگونگی برآورد خواص ترموفیزیکی بر فرآیند تبخیر ۱۱۰

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ - دسته‌بندی به همراه مثالهایی از جریانهای دو فازی ۸
- جدول ۲-۱ - مشخصه‌های روشهای مختلف شبیه‌سازی جریانهای دو فازی ۲۰
- جدول ۱-۳ - مدل‌های مختلف به همراه ضرائب مربوط به آنها ۸۴

بسیاری از وسائل احتراقی کاربردی، شامل پاشش مستقیم سوخت مایع در یک محفظه احتراق هستند. جریانهای دو فازی شامل قطرات، گستره وسیعی از کاربردهای علمی و صنعتی را پوشش می دهند. برای نمونه می توان به موارد زیر اشاره کرد:

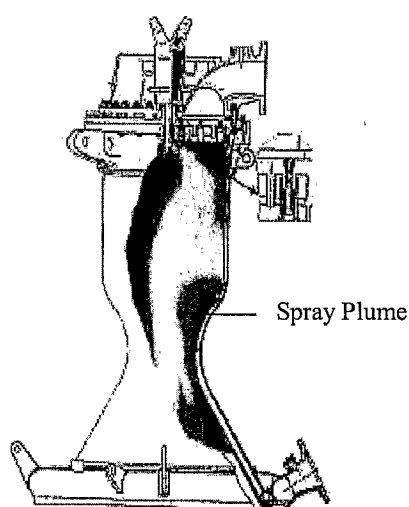
خنک کاری توسط اسپری، احتراق اسپری، اطفاء حریق، موتورهای دیزل، محفظه احتراق موتورهای توربینی، کوره های صنعتی، موتورهای موشکی سوخت مایع و خشک کنهای پاششی و ...

تمام موارد فوق الذکر شامل یک فاز پراکنده^۱ متشکل از تعداد بی نهایت قطره در فاز پیوسته گازی شکل هستند. معادلات ریاضی حاکم بر سیستمهای فوق بدلیل کویلینگ غیر خطی معادلات انرژی، مومنتم و تبادل جرم، فرم پیچیده ای دارند. در ادامه ابتدا توضیحی مختصر درباره برخی موارد ذکر شده ارائه می شود.

بعنوان اولین مثال محفظه احتراق یک توربین گاز را در نظر می گیریم. همانطور که می دانیم در این محفظه طیف گسترده ای از فرآیندهای فیزیکی و شیمیائی اتفاق می افتد که اندرکنش پیچیده ای نیز با یکدیگر دارند. سوخت مایعی که بعنوان منبع انرژی در نظر گرفته شده است، ابتدا باید به منظور افزایش سطح تماس سوخت با گازهای داغ درون محفظه، به قطرات کوچکی تقسیم شود. این امر فرآیند گازی شدن سوخت و اختلاط بهینه آن با اکسیدکننده موجود درون محفظه را تسریع می کند. راندمان احتراق و آلودگیهای ناشی از آن تابعی از اتمیزاسیون سوخت، حرکت قطرات در محفظه، تبخیر و اختلاط سوخت با هوای درون محفظه می باشند. یکی دیگر از موارد کاربرد اسپری و جریانهای دو فازی موتور موشکهای سوخت مایع است. نرخ آزادسازی انرژی در واحد حجم محفظه احتراق در این موتور در مقایسه با سایر موارد کاربرد محفظه های احتراقی سوخت مایع

بیشتر است. موتورهای سوخت مایع برحسب نوع سیستم تغذیه خود به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

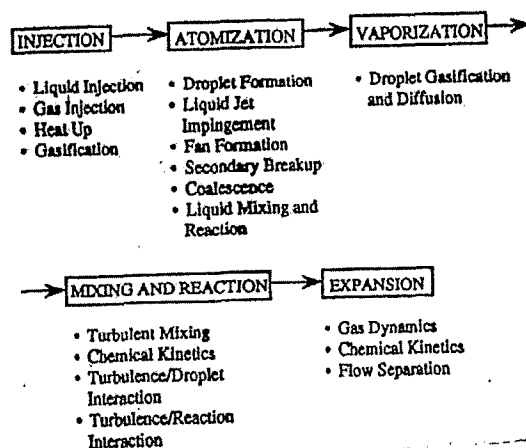
۱- تحت فشار، ۲- توبوپمپی، البته با توجه به شرایط کاری و محدودیتهای طراحی گاهی از ترکیب دو نوع فوق استفاده می‌کنند. شکل ۱ محفظه تولید تراست یک موتور موشک سوخت مایع را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محفظه تولید تراست موتور موشک سوخت مایع

فرآیند احتراق در یک موشک سوخت مایع، فرآیندی پیوسته است و بصورت ترتیبی از چند فرآیند مختلف که بدنبال هم رخ می‌دهند، شناخته می‌شود. در شکل ۲ این فرآیندهای فیزیکی شیمیایی نشان داده شده‌اند [۱].

¹ Dispersed phase



شکل ۲- فرآیندهای داخل محفظه احتراق

فرآیندهای احتراقی با تزریق پیشرانه از طریق یک سیستم تغذیه که از مخازن تا انژکتور امتداد یافته است، آغاز می‌شود. هدف استفاده از انژکتور آماده سازی پیشرانه جهت احتراق است. این عمل با استفاده از افت فشار سیال در طی عبور از مجراهای انژکتور صورت می‌گیرد. در سیستم‌های تک پیشرانه^۱، تجزیه و احتراق پیشرانه تنها در اثر تماس آن با گازهای دائمی که قبلاً ایجاد شده‌اند، صورت می‌گیرد. بنابراین لازم است که انژکتور (۱) سطح تماس بین مایع و گازهای داغ را افزایش دهد، (۲) تناسب مناسبی بین جرم پیشرانه و جرم گازهای داغی که اطراف آن را احاطه کرده‌اند، ایجاد کند، (۳) گازهای داغ اطراف قطرات را بطور دائمی با گازهای داغی که جدیداً ایجاد شده‌اند، جایگزین نماید. برای تأمین این موارد به ترتیب لازم است که (۱) مایع بطور مناسب متمیزه شود، (۲) پخش قطرات در محیط گازی خوب باشد و (۳) در ناحیه متمیزاسیون باز پرخش^۲ گازهای داغ وجود داشته باشد. در سیستم‌های دو پیشرانه پیشنیاز هر احتراقی، اختلاط دو پیشرانه می‌باشد. بنابراین در این حالت مهمترین عمل انژکتور اختلاط سریع و همگن هر دو پیشرانه است. جزئی از

^۱Monopropellant

^۲Recirculation

یک پیشرانه (در مورد سیستم‌های تک پیشرانه) و یا دو جزء از دو پیشرانه (در مورد سیستم‌های دو پیشرانه) را از لحظه پاشیده شدن به درون محفظه احتراق تا زمانی که بطور کامل به محصولات احتراق تبدیل شوند را در نظر می‌گیریم. همانطور که در شکل نشان داده شده، در طی مسیر فرآیندهای پیچیده‌ای همچون اتمیزاسیون، گرمایش، تبخیر، دیفیوژن، اختلاط توربولانس و واکنش شیمیایی روی می‌دهد. واکنش شیمیایی اساساً در آخرین مرحله وقتی که کلیه شرایط آماده سازی حاصل شده است، با اهمیت می‌باشد. سرعت انجام واکنش شیمیایی در مقایسه با سایر فرآیندها بسیار بالاست بنابراین مسیر تغییر شکل مواد از حالت پیشرانه اولیه تا تبدیل آن به گازهای احتراقی به تدریج صورت می‌گیرد. این توصیف تقریبی بر این مبناء استوار است که مهمترین تغییر در مسیر تبدیل پیشرانه به محصولات احتراقی به وسیله واکنش شیمیایی ایجاد می‌شود و این در حالی است که این فرآیند تنها در آخرین مرحله سیر تبدیل با اهمیت است. در واقع وابستگی توانی نرخ واکنش شیمیایی به دما، باعث می‌شود که در سیستم‌های تک پیشرانه و یا سیستم‌های دو پیشرانه‌ای که اختلاط به خوبی صورت گرفته، بخش اعظم تغییر پیشرانه به محصولات احتراقی در انتهای مسیر تبدیل اتفاق افتد. تحقیقات زیادی برای بررسی فرآیند احتراق در این نوع موتور صورت گرفته است، بنابر آخرین نتایج بدست آمده فرآیند تبخیر و گرمایش قطرات بعنوان فاکتور کنترل کننده نرخ فرآیند احتراق در موتور موشک سوخت مایع مطرح می‌باشد [۲]. با توجه به دو مثال فوق اهمیت مطالعه فرآیند تبخیر قطرات مشخص می‌شود.

امروزه در شبیه‌سازیهایی که روی جریانهای دو فازی صورت می‌گیرد تا 10^6 ذره جامد در میدان جریان مغشوش مدلسازی شده است. برای نمونه می‌توان به شبیه‌سازی Eaton و Fessler [۳] اشاره