٣٨٤١

۱۳۸۰ /۱/ ۳۰

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

بسمه تعالی

دانشگاه سیستان و بلوچستان

دانشکده مهندسی شهید نیکبخت

**پایان نامه کارشناسی ارشد**

**رشته مکانیک- تبدیل انرژی**

**عنوان پایان نامه:**

# تبخیر یک قطره سوخت همراه با چرخش داخلی

استاد راهنما: دکتر حسین عجم

011978
۳۵۵۴۱

دانشجو : وحید حقانی

بهمن ۱۳۷۹

تقدیم به :

مادر

و

پدر مهربانم

# تشکر و قدر دانی

از مهندس حمید رضا لاری و مهندس محمد رضا شاه نظری که مرا در انجام

این پایان نامه یاری نموده اند کمال سپاس و تشکر را دارم.

بسمه تعالی

## صفحه الف

این پایان نامه با عنوان ***تبخیر یک قطره سوخت همراه با چرخش داخلی*** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد ***مهندسی مکانیک*** گرایش ***تبدیل انرژی*** توسط دانشجو ***وحید حقانی*** تحت راهنمائی استاد پایان نامه آقای ***دکتر حسین عجم*** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن بمنظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد./ر

امضا دانشجو

این پایان نامه ۶ (شش) واحد درسی شناخته می‌شود و در تاریخ ۱۳۷۹/۱۱/۷. توسط هیئت داوران بررسی، و نمره.....۱۸/۵ با درجه..عالی.... به آن تعلق گرفت./ر

| نام و نام خانوادگی | امضاء | تاریخ |
|---|---|---|
| ۱ـ استاد راهنما: دکتر حسین عجم | | ۷۹/۱۱/۷ |
| ۲ـ استاد مشاور: --------- | | |
| ۳- داور ۱: دکتر منوچهر راد | | |
| ۴- داور ۲: دکتر عبدالعلی فرزاد | | |
| ۵ـ تحصیلات تکمیلی: دکتر سید فراهت | | |

## چکیده :

تبخیر یک قطره سوخت ان ـ هپتان همراه با چرخش داخل آن در یک محیط گاز در اعداد رینولدز میانی مـورد بررسی قرار می گیرد. فاز مایع به صورت یک قطره کروی در نظر گرفته شده است، علاوه بر جریان گاز خارجی، جریان داخل قطره نیز حل می گردد. معادلات پیوستگی و ممنتوم در هر دو فاز و معادلات انرژی و کسر جرمـی سوخت در فاز گاز پایا در نظر گرفته می شود و تنها معادله گذرا مسئله معادله انرژی داخل قطـره اسـت. فشـار محیط ۱ atm و دمای محیط ۸۰۰ K و دمای اولیه قطره ۳۲۰ K در نظر گرفتـه شـده اسـت. در پایـان نتـایج بصورت پارامترهای مختلف بر میزان تبخیر ارائه شده است.

## فهرست عناوین:

شماره صفحه


### فصل اول : مقدمه

۱-۱ مقدمه و مروری بر کارهای گذشته ..... ۱

۱-۲ خلاصه مطالب فصل های آینده ..... ۳

### فصل دوم : فیزیک جریان

۲-۱ معادلات حاکم ..... ۴

۲-۱-۱ معادله ناویر استوکس ..... ۴

۲-۱-۲ معادله پیوستگی ..... ۵

۲-۱-۳ معادله انرژی ..... ۵

۲-۲ آنالیز شبه پایا ..... ۵

۲-۳ انتخاب روش حل ..... ۷

۲-۳-۱ مشتق گیری متقابل از دو معادله ممنتوم ..... ۷

۲-۳-۲ روش مختصات منحنی الخط ..... ۷

۲-۳-۳ استفاده از تابع جریان و ورتیسیته ..... ۸

### فصل سوم : فرمول بندی مسئله

۳-۱ صورت مسئله ..... ۱۰

۳-۲ فرض های در نظر گرفته شده برای حل مسئله ..... ۱۱

۳-۳ معادلات حاکم برمسئله ..... ۱۲

۳-۳-۱ معادلات محیط خارج از قطره ( فاز گاز ) ..... ۱۲

۳-۳-۲ معادلات محیط داخلی قطره ( فاز مایع ) ..... ۱۲

۳-۳-۳ معادله انرژی داخل قطره ..... ۱۶

شماره صفحه


۳-۴ شرایط مرزی..... ۱۹

۳-۴-۱ شرط مرزی در مرکز قطره..... ۱۹

۳-۴-۲ شرط مرزی روی محور تقارن..... ۱۹

۳-۴-۳ شرط مرزی روی سطح قطره..... ۱۹

۳-۴-۴ شرط مرزی در ناحیه دور دست جریان..... ۲۱

۳-۴-۵ شرایط مرزی دما در داخل قطره..... ۲۱

۳-۴-۵-۱ سطح قطره..... ۲۱

۳-۴-۵-۲ در مرکز گردابه..... ۲۱

۳-۴-۵-۳ شرط اولیه..... ۲۲


## فصل چهارم : روش حل عددی


۴-۱ نحوه شبکه بندی..... ۲۳

۴-۲ گسسته سازی معادلات..... ۲۶

۴-۲-۱ معادله مکمل ممنتوم..... ۲۸

۴-۲-۲ معادله ممنتوم..... ۲۸

۴-۲-۳ معادله انرژی خارج از قطره ..... ۲۹

۴-۲-۴ معادله انتقال کسر جرمی سوخت از قطره ..... ۳۰

۴-۲-۵ معادله انرژی داخل قطره..... ۳۰

۴-۳ مرتب کردن ضرایب معادلات..... ۳۱

۴-۳-۱ معادله ممنتوم..... ۳۱

۴-۳-۲ معادله مکمل ممنتوم..... ۳۲

۴-۳-۳ معادله انرژی خارج از قطره ..... ۳۲

شماره صفحه


۴-۳-۴ معادله انرژی داخل قطره ..... ۳۳

۴-۴ روش حل معادلات ..... ۳۴


## فصل پنجم : نتایج


۵ -۱ کمیت های فیزیکی مسئله ..... ۳۶

۵-۲ ارئه نتایج ..... ۳۸

۵-۳ نتیجه گیری ..... ۵۴

۵-۴ پیشنهادات برای ادامه کار ..... ۵۴

مراجع ..... ۵۵

پیوست ها

پیوست الف : برنامه کامپیوتری ..... ۵۷

۱- الگوریتم برنامه ..... ۵۷

۲- لیست برنامه ..... ۵۹

پیوست ب) پراکندگی فاز گسسته مایع در فاز پیوسته گاز ..... ۷۳

پیوست پ) نحوه بدست آوردن ضرایب متریک ..... ۷۵

# فهرست علائم

A : درایه بعد از قطر اصلی در ماتریس سه قطری

B : درایه قبل از قطر اصلی در ماتریس سه قطری

D : درایه قطر اصلی در ماتریس سه قطری

C : درایه های ماتریس معلوم

$C_P$ : ظرفیت گرمایی ویژه

$D_g$ : ضریب نفوذ انتقال جرم

$h_{fg}$ : گرمای نهان تبخیر

K : ضریب انتقال هدایتی

$h_m, h_n, h_\varphi$ : ضرایب تبدیل متریک از مختصات منحنی الخط $(m, n, \varphi)$

m : مختصات تابع جریان

n : مختصات عمود بر جریان

P : فشار جریان دور دست

$Pe$ : عدد پیکلت

$Re_l$ : عدد رینولدز در فاز مایع

$Re_g$ : عدد رینولدز در فاز گاز

R : شعاع قطره

r : محور در جهت شعاع در مختصات کروی

q : شار حرارتی

t : زمان

$T$ : دما

$T_S$ : دمای اشباع(دمای سطح قطره)

$\hat{U}_E$ : سرعت بدون بعد تبخیر روی سطح قطره

$U_\infty$ : سرعت جریان دور دست

$U_r, U_\theta$ : مولفه بردار سرعت در جهت شعاعی و زاویه ای

Z : ورتیسیته

## علائم یونانی

$\alpha$ : ضریب نفوذ حرارتی

$\theta$ : زاویه قطبی

$\mu$ : ویسکوزیته دینامیکی

$\nu$ : ویسکوزیته سینماتیکی

$\rho$ : جرم حجمی

$\varphi$ : زاویه آزیموت

$\Psi$ : تابع جریان

## زیرنویس ها:

av : متوسط

E : تبخیر

g : فاز گاز

l : فاز مایع

s : اشباع

0 : حالت اولیه

t : حرارتی

$\infty$ : جریان دور دست

## بالا نویس ها:

* : متغیرهای بعد دار

– : مقدار متوسط

# فصل اول : مقدمه

## ۱-۱-مقدمه و مروری بر کارهای گذشته

ذرات ریز سیال ، قطره ها و حبابها ، پایه و اساس بسیاری از فرآیندهای فیزیکی طبیعی و تجهیزات کاربردی در صنایع است. باران ، آلودگی هوا ، جوشش ، غوطه وری ، تخمیر ، اثر متقابل فازهای مایع برهم و پاشش سیال در محیط که اساس کارکرد تجهیزاتی چون چگالنده ها ، خنک کننده های اضطراری ، موتورهای احتراق داخلی می باشد، تنها بخش کوچکی از فرآیندهایی است که ذرات در آنها نقش اساسی را ایفا می کنند.

برای مهندسین شیمی ، تقطیر ، جذب ، غوطه وری و پاشش سیال هنگامی که از ذرات جامد به عنوان کاتالیزور استفاده می شود دارای اهمیت خاصی می باشند. در رابطه با رفتار قطره ها در فرآیندهای احتراق ، اسپری سیال در محیط گاز و رفتار حباب ها در تجهیزات مختلف و دیگ ها مطالعات فراوانی انجام گرفته است.

پژوهش های زیادی در زمینه احتراق و تبخیر قطره برای یافتن ضریب احتراق بهینه انجام گرفته است. در اکثر محفظه های احتراق ، جهت تزریق سوخت مایع از خارج به داخل محفظه است. بطور طبیعی سوخت مایع به تعدادی زیادی قطره تبدیل می گردد. تبخیر سوختهای سنگین یک فاکتور کنترلی در تخمین زدن نرخ های احتراق است. در طراحی محفظه احتراق ، آنالیز مسیر حرکت، حرارت و تبخیر قطره در معلوم کردن اندازه محفظه احتراق و پیشگویی استحکام و انتشار آلاینده ها از محفظه احتراق مهم است.

در تمام این فرآیندها و پدیده ها ، حرکات نسبی حباب، قطره و یا ذرات در یک محیط سیال وجود دارد که در بسیاری از آنها ، انتقال جرم و حرارت نیز عامل مهمی است .

در این زمینه مطالعات فراوانی انجام گرفته است. کلیفت[1] ، گریس[2]، وبر[3]، در سال ۱۹۷۸ در زمینه بررسی انتقال حرارت ، انتقال جرم و هیدرودینامیک قطره تلاشهای زیادی انجام داده اند به گونه ای که اکنون پایه مطالعات بر روی ذرات ، کارهای آنان می باشد.

---

[1] -Clift

[2] - Grace

[3]- Weber

کوتاک[1]، و اکازاکی[2] در سال ۱۹۶۸ در زمینه تبخیر و احتراق یک قطره سوخت ساکن در محفظه احتراق و پراکاش[3] و سیریگنانو[4] در سال ۱۹۷۹ در زمینه تئوری تبخیر قطره با انتقال حرارت ناپایدار در فاز چرخشی مایع و رنکسیز بولوت[5] و یون[6] در سال ۱۹۸۳ در زمینه حل عددی تبخیر یک قطره در جریان با دمای زیاد مطالعاتی انجام داده اند. اوایزمی[7] و سدال[8] و هونگ[9] در سال ۱۹۹۰ در زمینه تأثیرات چرخش داخلی روی پدیده انتقال در یک قطره در حال حرکت و لین-جی[10] و اوازمی در سال ۱۹۹۰ در زمینه تبخیر یک قطره در حال حرکت در رینولدز میانی و در سال ۱۹۹۱ چی انگ[11] و راجو[12] سیریگنانو ، در زمینه تبخیر یک قطره در حال حرکت با خواص متغیر مطالعاتی انجام داده اند، و همچنین در زمینه تبخیر و احتراق یک قطره در حال حرکت با رینولدز پایین، جوگ[13]، اوایزمی و کوهن[14] در سال ۱۹۹۶ تحقیقاتی انجام داده اند.

موضوع اصلی این پایان نامه را می توان اثر متقابل ذرات و محیط بر روی یکدیگر تعریف کرد. منظور از ذره جسمی کروی شکل است که محدوده قطر آن بین $300\mu m$ تا $3cm$ است و توسط سطح قابل تشخیص خود از محیط اطراف جدا شده است. اگر ماده ای که ذره از آن تشکیل شده است مایع باشد به آن قطره گفته می شود و اگر گاز باشد حباب نامیده می شود. در اینگونه تحلیل ها فاز پیوسته محیط اطراف است و ذرات تشکیل فاز گسسته را می دهند. روش به کار رفته تنها برای سیال نیوتنی استفاده می شود. بنابراین فاز پیوسته و گسسته

---

[1] - Kotake
[2] - Okazaki
[3] - Prakash
[4] -Sirignano
[5] - Renksizbulut
[6] -Yuen
[7] -Ayyaswamy
[8] -Sadhal
[9] -Huang
[10] -Lin-jie
[11] -Chiang
[12] - Raju
[13] - Jog
[14] -Cohen

باید مایع و یا گاز باشند. اگر ویسکوزیته سیال فاز گسسته (ذرات) بالا رود ، ذره به حالت جامد نزدیک می شود تفاوت ذرات جامد با ذرات مایع در این است که در حالتی که ذره جامد است سرعت روی سطح آن بدلیل چسبندگی سیال ، صفر در نظر گرفته می شود. بنابراین میدان جریان و چرخش درون ذره وجود نخواهد داشت. نکته دیگر که باید مورد توجه قرار داد این است که ذرات در این تحلیل چه سیال باشند و یا جامد ، به شکل کره در نظر گرفته می شوند و این شکل در طول حرکت نیز حفظ می شود. این فرض تا زمانی صادق است که عدد رینولدز کوچکتر از ۵۰۰ باشد. در اعداد رینولدز بالاتر تحلیل ذره سیال بدون در نظر گرفتن تغییر شکل آن خطای زیادی خواهد داشت. ( ۱)

معادلات پایه ای که برای حرکت و انتقال ذرات اعمال شده است عبارتند از : قانون دوم نیوتن ، پیوستگی جرم و قانون اول ترمودینامیک است که شکل کاربردی آنها برای یک حجم محدود و یا المانهای مشخص در ماده معادلات ناویراستوکس ، پیوستگی و انرژی می باشد. حل تحلیلی این معادلات معمولاً با ساده سازی و فرض های فراوانی امکان پذیر است و برای حل نسبتاً دقیق باید از روش عددی و یا روش های مناسب دیگری که کلیه پارامترهای مهم را در بر داشته باشد و کمترین ساده سازی در آن اعمال گردد، استفاده شود.

## ۱-۲ خلاصه مطالب فصل های آینده

این پایان نامه در ۵ فصل می باشد.

در فصل دوم فیزیک جریان بیان می شود در این فصل معادلات کلی حاکم بر مسئله و فرض شبه پایا در مسئله و بررسی روش حل معادلات حاکم بررسی می گردد.

در فصل سوم ، معادلات حاکم بر مسئله برای محیط خارج از قطره و محیط داخل قطره در مختصات کروی بیان شده است و روش حل عددی مسئله توسط تابع جریان و ورتیسیته بررسی می گردد و در پایان شرایط مرزی برای حل معادلات حاکم بر مسئله گفته شده است.

در فصل چهارم نحوه شبکه بندی میدان و گسسته سازی و روش حل و مرتب کردن ضرایب معادلات بیان شده است.

در فصل پنجم ، نتایج حل معادلات و بحث و نتیجه گیری در مورد آنها بیان شده است.

در پایان مراجع و پیوست هایی که شامل برنامه کامپیوتری ، پراکندگی فاز گسسته در فاز پیوسته و نحوه بدست آوردن ضرایب متریک می باشد، ارائه شده است.

# فصل دوم : فیزیک مسئله

قطره سوخت با شعاع $R$ در حال حرکت در محیط گاز تراکم ناپذیر در نظر گرفته می شود. فشار و دمای کل $T_\infty, P_\infty$ محیط گاز معلوم می باشند. بدلیل گرم بودن محیط گاز ، تبخیر روی سطح قطره اتفاق می افتد. تنش برشی در محل تماس قطره متحرک با محیط گاز باعث چرخش مایع درون قطره می شود. تغییرات سرعت و دما بسیار سریع انجام می شود بطوری که با مقایسه آنها در یک فاصله زمانی ، می توان اکثر فرآیندها را نسبت به آنها پایا در نظر گرفت.

در این تحلیل قطره به صورت کاملاً کروی در نظر گرفته می شود و از تغییر شکل جزیی آن نیز صرف نظر شده است. این فرض در صورتی صادق است که عدد رینولدز کوچکتر از ۵۰۰ باشد. در اعداد رینولدز بالاتر از ۵۰۰ قطره تغییر شکل داده و از حالت کروی خارج می شود. میدان حل شامل دو قسمت مجزا می باشد ، یکی فضای داخل قطره و دیگری فضای اطراف قطره که با توجه به پیوست (ب) شعاع آن ۱۰ برابر شعاع قطره در نظر گرفته شده است. در این میدان با توجه به دلایلی که در پیوست (ب) مطرح شده است، تنها یک قطره حضور دارد و از تأثیر قطره ها روی یکدیگر می توان صرف نظر نمود.

دراین فصل توضیح مختصری در مورد معادلات حاکم و فرض شبه پایا و بررسی روش حل معادلات ارایه می شود.

## ۲-۱ معادلات حاکم

### ۲-۱-۱ معادله ناویراستوکس

کاربرد قانون دوم نیوتن در حرکت برای المان مشخصی از یک سیال نیوتنی تراکم ناپذیر با جرم حجمی ثابت $\rho$ و ویسکوزیته ثابت $\mu$ که تنها نیروی اعمال شده، روی آن نیروی جاذبه است منجر به معادله ناویراستوکس به فرم زیر می شود.

$$\rho \frac{D\vec{u}}{Dt} = \rho\vec{g} - \nabla p + \mu\nabla^2\vec{u} \qquad (۱-۲)$$

شکل گسترده مشتق کامل در ترم سمت چپ به صورت زیر است :