بسم الله الرحمن الرحيم

٤٠٣

۴۵۰۳۰

۵۳۸۰ /۱۲/ ۲۸

دانشگاه علم وصنعت ایران

(دانشکده مکانیک)

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقدیم به مرکز

تحلیل جریان دوفاز گاز-جامد درون سیکلون

016706

دانشجو :

محمد رضا سهرابی

پایانامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مکانیک (تبدیل انرژی)

استاد راهنما :

جناب دکتر عباسعلی فرداد

استاد مشاور :

جناب دکتر سپهر صنایع

شهریور ۱۳۸۰

۴۰۰۴

تحلیل دو فاز گاز - جامد درون سیکلون

چکیده:

با توجه به اهمیت جریانهای چندفازی در فرآیندهای صنعتی در این نوشتار به بررسی و تحلیل جریان دو فاز پرداخته شده است و بنابر فرض جریان مورد بررسی در این تحلیل مخلوط دو فاز ذرات جامد ریز و معلق سیمان (در محدودهٔ ابعادی $\lambda\mu m$ - ۱) و هوا در نظر گرفته می‌شود.

در این پروژه نخست به بررسی چگونگی تحلیل جریانهای گاز - جامد و ارائه معادلات حاکم دینامیکی و توربلانسی پرداخته شده و در مراحل بعدی تحلیل جریان دو فاز گاز - جامد درون سیکلون جداساز صورت گرفته است. معادلات حاکم و نیز تحلیل جریان که به کمک نرم‌افزار FLUENT صورت گرفته از هر دو دیدگاه اویلری و لاگرانژی ارائه شده است و در تحلیل توربلانسی و تحلیل پراکندگی ذرات نیز از دو مدل RNG و EIM استفاده شده است که در پایان نتایج هر شکل از بررسی‌ها به کمک نمودارهای حاصل ارائه می‌گردد.

هرچند تحلیل جریان فوق‌الذکر از دیدگاه اویلری در سیستمهای متفاوت صنعتی دارای مزایای فراوانی می‌باشد اما تحلیلهای صورت گرفته نشان می‌دهدکه در بعضی شرایط به مانند غیر هموژن و یا غیر ایزوتروپ بودن شدید جریان معادلات بکار گرفته شده ممکن است در تحلیل عددی، جوابهای غیر واقعی از خود نشان دهد و این در حالی است که در مجموع تحلیل حرکت ذرات جامد از دیدگاه لاگرانژی در مسئلهٔ فوق نتایج بهتری از خود نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی : جریان دو فاز گاز - جامد ، سیکلون جداساز، مدلهای توربلانسی

بسم الله الرحمن الر حیـــم

هســت کلیـد در گنـج حکیـــم

خداوند متعال را شاکرم که در برهه ای دیگر از مقاطع تحصیلی خود توانایی جمــع آوری ایــن مجموعه را به این جانب اعطاء فرمود .در ابتدای این نوشتار بر خود لازم میدانم که مراتــب قدردانــی و تشکر خود را از تمامی اساتید ودوستانی که در این مهم مرا یاری داده اند اعلام نمــایم ، بخصــوص در این رابطه از اساتید محترم جناب آقای دکتر فرداد و جناب آقای دکتر صنایع که در ایــن دوره تحصیلــی همواره راهنمای اینجانب بوده واز هیچ محبتی دریغ ننموده اند کمال سپاســگ اری و تشــکر را دارم ، و همچنین از جناب آقای دکتر شیروانی (از دانشکده مهندسی شــیمی)بخــاطر همکــاری ایشــان در جمــع آوری مراجع سپاسگ ارم .

در پایان ضمن آرزوی موفقیت ،این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

محمد رضا سهرابی

فهرست

عنـــوان | صفحه

چکیده: ..... ج

لیست علائم ..... د

مقدمه ۲

فصل اول: دانه‌بندی و توزیع ذرات

۱ - ۱ روشهای تعیین قطر معادل ذرات ۷

۱ - ۲ - تابع توزیع اندازه ذرات ۱۰

۱ - ۳ - قطر محاسباتی متوسط برای فاز جامد ۱۴

فصل دوم: بررسی حرکت ذره جامد درون سیال

۲ - ۱ - تقابل نیرویی بین ذره و فاز سیال ۱۶

۲ - ۲ - نیروهای میدان ۲۱

۲ - ۳ - تقابل نیرویی بین ذرات ۲۳

۲ - ۴ - پارامترهای شناسایی جریان دو فاز گاز - جامد ۲۵

فصل سوم: مدل سازی جریان تک‌فاز

۳ - ۱ نظریه عمومی انتقال و شکل عمومی معادلات بقاء ۳۰

۳ - ۲ - معادلات حاکم بر سیال ۳۱

۳ - ۳ - تئوری جنبشی و ضرائب انتقال ۳۳

فصل چهارم: مدل‌سازی جریانهای چند فازی

۴ - ۱ - مقدمه ۳۷

۴ - ۲ - مدلسازی پیوسته جریانهای چند فاز ۳۸

۴ - ۳ - محاسبهٔ ویسکوزیته فاز ذرات به واسطهٔ برخورد داخلی بین ذرات ۴۱

فصل پنجم: معادلات حاکم بر جریان دو فاز گاز - جامد

۵ - ۱ - معادلات حاکم بر جریان از دیدگاه لاگرانژی ۴۵

فهرست

عنـــوان | صفحه

۲ - ۵ - معادلات حاکم بر جریان دو فاز از دیدگاه اویلری ۵۰

۳ - ۵ - جریانهای گردابه‌ای ۵۳

فصل ششم: بررسی پراکندگی و توربلانس درجریان دو فاز گاز - جامد

۱ - ۶ - معرفی پدیدهٔ آشفتگی و یا توربلانس ۵۶

۲ - ۶ - مدل‌سازی جریانهای توربلانس ۵۸

۳ - ۶ - مدلهای دو معادله‌ای ۵۹

۴ - ۶ - مدل توربلانسی تنش رینولدز RSM ۶۶

۵ - ۶ - ضرائب انتقال مدل هینز - تچن ۶۹

۶ - ۶ - پراکندگی ذرات ۷۰

فصل هفتم: سیکلون

۱ - ۷ - طرح‌های استاندارد سیکلون ۷۶

۲ - ۷ - محاسبهٔ افت فشار در سیکلون ۷۸

۳ - ۷ - بازده سیکلون ۸۰

۴ - ۷ - معادلات حاکم بر ذرات به منظور جداسازی فاز جامد ۸۴

۵ - ۷ - حرکت چرخشی سیال درون سیکلون ۸۹

فصل هشتم: تحلیل عددی جریان درون سیکلون

۱ - ۸ - مشخصات هندسی سیکلون مورد بررسی ۹۱

۲ - ۸ - مشخصات جریان دو فاز ورودی ۹۲

۳ - ۸ - پارامترهای شناسایی جریان دو فاز گاز - جامد ۹۲

۴ - ۸ - تحلیل عددی جریان به کمک نرم افزار FLUENT ۹۴

نتیجه‌گیـــری .....

پیشنهاد کار برای آینده .....

فهرست منابع .....

پیوست .....

لیست علائم

۱- ضریب دراگ	C_D	۲۲- مؤلفه اغتشاشی سرعت سیال	u
۲- قطر سیکلون	D	۲۳- سرعت ذره جامد	V
۳- قطر ذرات	d	۲۴- مؤلفه اغتشاشی سرعت ذره جامد	v
۴-ضریب نفوذ پارامتر مکانیکی	D_γ	۲۵- مکان المان سیال در هر لحظه	x_f
۵- انرژی	E	۲۶- مکان ذره جامد در هر لحظه	x_P
۶- نیروی دراگ	F_D	۲۷- طول طبیعی سیکلون	Z
۷- نیروی الکتریکی	F_E	۲۸- نسبت حجمی دو فاز	α
۸- نیروی حاصل از گرادیان فشار	F_P	۲۹- نرخ تولید و یااضمحلال پارامترمکانیکی	Γ
۹- نیروی سافمن	F_S	۳۰- جرم حجمی سیال	ρ
۱۰- نیروی رادیومتریک	F_T	۳۱- جرم حجمی ذرات جامد	ρ_P
۱۱- نیروی واندروالسی	F_V	۳۲- چگالی جرمی بالک فاز ذرات	$\overline{\rho}$
۱۲- شتاب جاذبه	g	۳۳- ویسکوزیته سیال	μ
۱۳- انرژی جنبشی توربلانسی	K	۳۴- ویسکوزیته توربلانی	μ_t
۱۴- جرم المان ذرات	m_P	۳۵- ویسکوزیته فاز ذرات جامد	μ_P
۱۵- جرم المان سیال	m_F	۳۶- زمان بازتاب (ذرات)	τ_P
۱۶- فشار	P	۳۷- تانسور دوران	Ω
۱۷- دبی سیال	Q	۳۸- عدد استوکس	ψ
۱۸- بار الکتریکی	q	۳۹- mean free patch	λ
۱۹- تانسور کرنش	S	۴۰- نرخ اضمحلال انرژی توربلانی	ε
۲۰- دما	T	۴۱- افت فشار	ΔP
۲۱- سرعت سیال	U	۴۲- مقدار متوسط هر پارامتر فیزیکی	$< >$

فهرست تصاویر و نمودارها

صفحه

شکل ۱-۱-تعاریف قطرهای معادل ۸

شکل ۲-۱-نمودار ضریب دراگ ۱۰

شکل ۳-۱-نمودار عمومی تابع توزیع گوس ۱۲

جدول ۱-۱- مقادیر تجربی α وβ ۱٤

شکل ۲-۲- حرکت یک ذره کروی درون سیال ۱۹

شکل ۱-٤- حجم کنترل جریانهای دو فاز ۳۹

شکل ۲-٤- بر خورد دو ذره جامد ٤۱

جدول ۱-٦- دسته بندی مدلهای توربلانسی ۵۸

جدول ۱-۷- نسبت ابعاد اجزاء سیکلون در طرحای استاندارد ۱-۷٦

شکل ۱-۷- مقادیر دینامیکی (سرعتها و فشار)در مقاطع سیکلون ۱-۷۸

جدول ۲-۷- مقادیر مختلف ΔH بر مبنای مراجع مختلف ۱-۷۹

شکل ۲-۷- بازده سیکلون در طراحی مدل Lapple ۸۰

شکل ۳-۷- نمایش نیروهای وارد بر ذره درون سیکلون ۸۱

شکل ٤-۷- شبیه سازی سیکلون بمنظور ساده سازی تحلیل آن ۸۵

شکل ۵-۷- مقایسه نتایج تجربی و محاسباتی بازده سیکلون ۸۷

شکل ٦-۷- تأثیر دبی جرمی در راندمان سیکلون ۸۸

نمودار ۱-۸- مقایسه نتایج محاسبات برای تعداد شبکه های متفاوت ۹۵

جدول ۱-۸-انتخابهای روش گسسته سازی معادلات وضرائب رهایی در تحلیل جریان..... ۱۰۰

نمودار ۲-۸- سرعت در راستای Z در مقاطع مختلف سیکلون A (تحلیل از دیدگاه لاگرانژی) ۱۰۳

نمودار ۳-۸-نمایش سرعت مماسی در مقاطع مختلف سیکلون A (تحلیل از دیدگاه لاگرانژی) ۱۰٤

نمودار ٤-۸- نمایش سرعت شعاعی در مقاطع مختلف سیکلون A (تحلیل از دیدگاه لاگرانژی)....۱۰۵

نمودار۵-۸- نمایش فشار کل در مقاطع مختلف سیکلون A (تحلیل از دیدگاه لاگرانژی) ۱۰٦

شکل ۱-۸- شبی سازی حرکت ذرات جامد درون سیکلون..... ۱۰۷

نمودار ٦-۸- مقایسه نتایج تجربی و حل عددی در محاسبه بازده سیکلون.....۱۰۸

نمودار ۷-۸- سرعت در راستای Z در مقاطع مختلف سیکلون B (تحلیل از دیدگاه اویلری) ۱۱۳

نمودار۸-۸- نمایش سرعت مماسی در مقاطع مختلف سیکلون B (تحلیل از دیدگاه اویلری) ۱۱٤

فهرست تصاویر و نمودارها **صفحه**

نمودار۹-۸- نمایش سرعت شعاعی در مقاطع مختلف سیکلون B (تحلیل از دیدگاه اویلری) ۱۱۵
نمودار۱۰-۸- نمایش تغییرات فشار کل در مقاطع مختلف سیکلون B (تحلیل از دیدگاه اویلری) ۱۱۶
نمودار۱۱-۸- نسبت حجمی ذرات جامد به سیال در مقاطع مختلف سیکلون B ۱۱۷
نمودار ۱۲-۸- نمایش میزان لغزش بین ذرات جامد و سیال در مقاطع مختلف سیکلون B ۱۱۹
شکل ۱- پیوست - نحوه توزیع پراکندگی ذرات در مقطع عمودی سیکلون
شکل ۲- پیوست - چگالی توربلانی سیال در مقطع عمودی سیکلون

مقدمه

مقدمه

در بسیاری از فرآیندهای صنعتی فن‌آوری امروز، شاهد حضور مخلوطهای چندفاز و یا جریانهای چند فازی هستیم که مبنای انجام یک واکنش شیمیایی و یا ترمودینامیکی می‌باشد،مانند فرآیند احتراق و یا بسیاری از واکنشها. در راکتورهای شیمیایی که شامل مجموعه‌های جریان و واکنشهای چند فازی می‌باشد، و به همین شکل می‌توان به جریان چند فازدر بعضی از سیکلهای ترمودینامیکی مانند مخلوط بخار و قطرات آب و یا حتی ذرات جامد معلق در هوا و آلاینده‌های محیطی اشاره نمود.

مجموعه‌های چند فاز (که در این بحث جریان دو فاز را مورد بررسی قرار می‌دهیم) خود ممکن است بر اساس شکل فازی خود به شکلهای مختلف جریان شامل فاز جامد و مایع و یا مخلوط فازهای مایع وگاز و یا جریان دو فاز شامل مخلوط فازگازی شکل و فاز جامد باشد،که در این بررسی شکل آخر این جریانها را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. از جمله جریان‌های دو فازگاز - جامد می‌توان به انتقال ذرات جامد لازم برای یک واکنش شیمیایی توسط هوا و یا جریان عبوری از یک شبکه غبار روب که می‌بایست بعد از جداسازی از آلاینده‌های آن به محیط تخلیه شود، اشاره نمود. در هر حال در این پروژه با توجه به اهمیت جریانهای دو فاز گاز - جامد به بررسی این جریان به دو شکل می‌پردازیم: شکل اول این مطالعه بررسی کلی این چنین جریانی به طور عمومی می‌باشد، به گونه‌ای که بتوان با این بررسی آشنایی کلی با نحوهٔ بررسی و تحلیل جریانهای دو فاز گاز-جامد بدست آورد. در شکل دوم مطالعه به عنوان مثالی کاربردی از بررسی چنین جریانهایی به بررسی و تحلیل جریان دو فازگاز - جامد درون سیکلون به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزار جداسازی این جریان می‌پردازیم.

نخستین گام در مطالعه جریان دو فازگاز - جامد بررسی حرکت تک ذره جامد درون سیال و نحوهٔ تقابل نیرویی این دو عنصر با یکدیگر می‌باشد(لازم به توضیح است که ذرات به شکل کروی فرض می‌شوند.) از اولین معادلات جامعی که مجموعه نیروهای وارد بر ذره را مورد بررسی قرار می‌دهد می‌توان به معادله BBO (Basset 1888 , Boussinesq 1903 , Oseen 1927) اشاره نمود.این معادلات پس از سیر تکاملی خود توسط آقایان Maxy 1993 و Voigor 1994 تکمیل و برای جریانهای دو فازگاز - جامد که شامل چندین ذره می‌باشد به بکارگرفته شد.(لازم به ذکر است که به هنگام استفاده از این معادلات جریان به قدری رقیق فرض می‌شود که می‌توان از برخورد بین ذرات چشم‌پوشی نمود[8].)

به منظور بررسی حرکت ذرات درون مجموعهٔ شامل جریان گاز و ذرات جامد و نیز تحلیل چگونگی پدیدهٔ توربلانس در چنین جریانی،بررسی‌ها از دو دیدگاه اویلری و لاگرانژی بیان شده است که هریک شامل معایب و مزایای خاص خود می‌باشند.(لازم به ذکر است که بررسی و تحلیل فاز سیال در این پروژه همواره از دیدگاه اویلری بیان می‌گردد و بیان دیدگاه‌های لاگرانژی و اویلری مختص فاز ذرات جامد می‌باشد که مبنای تحلیل و شکل پراکندگی ذرات می‌باشد.)

در تحلیل حرکت ذرات جامد(در بعضی از نقاط پروژه عنوان ذرات فاز جامد - فقط با لفظ ذرات بیان شده است) از دیدگاه لاگرانژی که نسبت به دیدگاه اویلری دارای قدمت بیشتری می‌باشد، به هنگام تحلیل،هریک از ذرات جامد به طور گسسته و مجزا در مسیر حرکت خود مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین در تحلیل از این دیدگاه مجبوریم تعداد بیشماری از مسیرهای حرکت ذرات را مورد بررسی قرار دهیم و سپس متوسط گیری کنیم. در این رابطه احتیاج به محاسبهٔ ضرائب نفوذ برای ذرات می‌باشد تا بتوان اولین حدس را از چگونگی عبور ذره از میان بالک سیال انجام داد که می توان به روابط Techen 1998 و همین طور Hinze 1959 , 1975 اشاره نمود. از جمله متداولترین روشهای تحلیل پراکندگی و بررسی تقابل توربلانسی بین فاز ذرات و سیال، مدل تقابل ادی و ذره می‌باشد که توسط آقایان Gosman and Ioamides 1981[1] ارائه شده و توسط آقایان Graham 1996 , 1998 و نیز Chen 2000 از جهت‌های مختلف گسترش و بهسازی شده است. از دیگر روشهای موجود می توان به مدل شبیه‌سازی ادی‌های بزرگ [2] اشاره نمود که از بحث در این مورد خودداری می‌کنیم.[32]

در تحلیل اویلری جریان، مجموعهٔ ذرات درون مخلوط را با فرض پیوستگی این فاز به صورت یک سیال در نظر می‌گیریم. بنابراین در این شیوه تحلیل به مانند هر سیال دیگر احتیاج به تعریف پارامترهایی همچون ویسکوزیته، جرم حجمی بالک سیال و ... و نیز معرفی پارامترهای توربلانی به مانند ویسکوزیته توربلانی و مقیاسهای جریان (طولی و زمانی) داریم. اولین گام‌های این روش تحلیل را در تخمین پارامترهای توربلانی در فاز جامد و ایجاد ارتباط این فاز با فاز سیال می توان مشاهده نمود [Crow 1982]، خاطر نشان می‌گردد در تحلیل توربلانس جریانهای دو فاز گاز-جامد عموماً از مدلهای توربلانی $K-\varepsilon$ و

1- GI model و یا Eddy instruction Model　　2 - Large eddy simulation

RSM استفاده می‌گردد که در این رابطه می‌توان به نتایج مدل سازی Rodi 1980 و گسترش این مدلها برای جریان دو فاز توسط Squires & Eaton 1994 و نیز LUN 1991-2000 اشاره نمود. به موازات این نتایج می‌توان به پیشنهاد حل میان جریان فاز جامد از دیدگاه اویلری [X.Q.Chen 1995 , Soo 1990] که مبنای محاسبات ما از این دیدگاه می‌باشد، اشاره نمود.

شکلی از جریان دو فاز گاز-جامد که دراین پروژه مورد بررسی قرار می‌گیرد،ذرات معلق و سنگین سیمان در جریان هوا می‌باشد که توسط مجموعه سیستم غبار روب گردآوری شده است. همان گونه که قبلاً اشاره شد از مهمترین بحث‌های کاربردی مربوط به جریان دو فاز،مبحث آلودگی هوا و جداسازی ذرات معلق از جریانی است که وارد محیط زیست و اتمسفر می‌گردد. بنابراین در مجموعه فوق‌الذکر واحد جداساز که وظیفهٔ جداکردن ذرات معلق از جریان خروجی مجموعه غبار روب را بر عهده دارد از مهمترین قسمتها می‌باشد. در این بررسی از میان جداسازهای مکانیکی و الکتریکی موجود با توجه به شرایط طرح و پروژه، جداساز مکانیکی از نوع سیکلون انتخاب شده است‌وبا توجه به اهمیت آلودگی محیطی توسط ذرات معلق سیمان،در این پروژه به بررسی راندمان و تخمین میدان‌جریان درون سیکلون می‌پردازیم.

سیکلون ، با توجه به سادگی عملکرد و محدودهٔ وسیع عملکرد آن در دما و فشارهای مختلف و همچنین محدوده وسیع قطر ذرات در جداسازی از جمله جداسازهایی است که از ابتدای قرن بیستم مورد توجه قرار گرفته است. هرچند از معایب آن می‌توان به این نکته اشاره نمود که سیکلونهای با ابعاد بزرگ (مراجعه شود به فصلهای هفتم و هشتم) برای ذرات کوچکتر از 10μ راندمان چندان قابل قبولی نمی‌دهند و می‌بایست از ترفندهای دیگری کمک گرفت. در هر حال در بحث آشنایی با چگونگی جریان درون سیکلون می‌توان به نتایج تجربی Shepherd & Lapple 1940 به عنوان اولین مراجع موجود اشاره نمود [46] هرچند در ادامه این مسیر معادلات تجربی و تحلیلی زیادی صورت گرفته است , Dietz 1981] [Enliang 1989 , Patterson 1996 اما در واقع رابطه‌ای که تمامی ابعاد طراحی را پوشش دهد تا به حال مشاهده نشده است. بنابراین پیش‌بینی و محاسبه میدان جریان به کمک روشهای حل عددی از دیگر روشهایی است که در این پروژه به آن اشاره می‌شود. ازجمله تجربیات گذشته در این رابطه می‌توان به تحلیل میدان جریان تک فاز سیال درون سیکلون Yoshida 1991 اشاره نمود که به کمک مدل توربلانس $K-\varepsilon$ استاندارد می‌باشد و همین طور تحلیل جریان دو فاز از دیدگاه لاگرانژی و به کمک

مدل توربلانسی Boyson و به کمک روش اختلاف محدود[1] [Hoffmann 1996] و نیز نتایج بررسی Kitamora 1999 به کمک مدل RSM از دیدگاه اویلری.

در این تحلیل،جریان دو فاز گاز - جامد از دو دیدگاه اویلری و لاگرانژی برای سیکلون (در دو طرح A و B) مورد بررسی عددی قرار گرفته که در ادامه به ذکر نتایج این بررسی که به کمک مدل توربلانسی RNG بر مبنای $K - \varepsilon$ می‌باشد می‌پردازیم.

در فصل اول این پروژه به بررسی فاز ذرات جامد به لحاظ چگونگی سایز و نیز چگونگی بررسی قطرهای مختلف در میدان حل می‌پردازیم.

در فصل دوم نیز به ارائه نیروهای وارد بر ذره درون جریان و نیز پارامترهای معرفی جریان پرداخته می‌شود.

در فصل سوم و چهارم نیز به ارائه مبانی تحلیل جریانهای چند فاز پرداخته شده که در ادامهٔ آن در فصل پنجم به ارائه معادلات حاکم بر جریان دو فاز گاز - جامد ختم می‌گردد. در فصل ششم با توجه به شرایط مسئله به بررسی مدلهای توربلانسی و معرفی پارامترهای توربلانی موجود پرداخته شده است.

بعد از آن در فصل هفتم به نحوهٔ طزاحی سیکلون و روابط تجربی و تحلیلی که در این رابطه ذکر شده است، می‌پردازیم.

فصل هشتم نیز به تحلیل عددی میدان جریان درون سیکلون اختصاص یافته که به کمک نرم افزار FLUENT انجام شده است که در نهایت نتایج این محاسبات ذکر می‌گردد.

1- Finit difference

فصل

اول

دانه‌بندی و توزیع ذرات