٤٧ ٧٥٢

۱۱/۱۵
ساعت ۱۷

۱۳۸۲ /۵/ ۲۷

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

تحلیل عددی جریان دوفاز گاز-جامد درون لوله

سعید محمودی فر

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

استاد راهنما:
دکتر فرداد

بهمن ماه ۱۳۸۱

۴۷۷۰۲

تقدیم به:

همسر وفادار و دلسوزم

که مرا در انجام و به پایان رساندن این پروژه یاری نمود

و از هیچ کمکی دریغ نکرد.

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

چکیده:

تحلیل عددی جریان دو فاز گاز–جامد در یک لوله به قطر $D = 0.192m$ و به طول $L = 20\,D$ و با استفاده از ذرات با قطر $d = 64\,\mu m$ و همچنین قطرهای کمتر و با چگالی $\rho_p = 2450\,kg/m^3$ و در سه حالت افقی، مایل با زاویه ۴۵ درجه و حالت عمودی و در حضور جاذبه زمین صورت پذیرفت.

سرعت فاز گاز از مقدار 3.5m/s تا مقدار 13m/s، فلاکس جرمی فاز جامد از مقدار 0 تا 141 kg/m^2s و نسبت دبی جرمی فاز جامد به گاز از مقدار 0.4 تا 12 تغییر داده شد.

در هر حالت تاثیر پارامترهای مختلف از جمله دبی جرمی فاز جامد، سرعت فاز گازی و قطر ذرات بر روی افت فشار کلی، درصد حجمی فاز جامد و شدت آشفتگی میدان جریان بدست آمدند.

در هر حالت ابتدا دبی جرمی فاز جامد ثابت نگه داشته شد و سرعت فاز گازی از مقدار 13m/s تا 3.5m/s تغییر داده شد و سپس با یک سرعت ثابت فاز گازی دبی جرمی فاز جامد افزایش داده شد.

در حالت عمودی گرادیان افت فشار نسبت به حالت افقی بیشتر بوده اما غلظت و توزیع ذرات به صورت یکنواخت و متقارن می باشد که در حالت افقی بعلت وجود جاذبه زمین هیچ تقارنی مگر در حالت بسیار رقیق وجود ندارد و غلظت ذرات در نیمه پایین لوله بیشتر می باشد. همچنین تغییرات قابل ملاحظه ای بر شدت آشفتگی در نسبتهای حمل بالا مشاهده می شود ومقدار آن در نیمه پایینی لوله شدیدتر می باشد. پروفیل سرعت هم در حالت افقی تقارن خود را از دست می دهد و مقدار آن در نیمه پایینی بعلت غلظت بیشتر ذرات کمتر از نیمه بالایی لوله می باشد.

با تشکر از:

استاد محترم جناب **آقای دکتر عباسعلی فرداد**

قافله سالار کاروان علم و راهبر اندیشه های پویا، با هزاران سپاس و درود از بذل دانسته های پربهایتان

و امید به جاودانگی و پیروزی و بهروزی شما.

و با سپاس و تقدیر از پدر مهربان و مادر عزیزم که بودن و موفقیتم با وجود آنها معنا گرفته و همسر مهربان و دلسوزم که با تشویق و کمکهای بی دریغ و فراوانش مرا در انجام و به خصوص به پایان رساندن این پروژه

همراهی کرد و در روزهای سخت و پر التهاب تسلی دهنده مشکلات من بود.

فهرست ..... صفحه

لیست علائم ۳

مقدمه ۶

۱-۱-۱- قطر دینامیکی: ۱۲

۱-۲- تقابل نیروی بین ذره و فاز سیال ۱۵

۱-۱-۲- نیروی دراگ: ۱۵

۱-۱-۲ نیروی سافمن ۱۷

۱-۱-۲- نیروی مگنوس: ۱۷

۲-۲- پارامترهای شناسایی جریان دو فاز گاز – جامد ۱۸

۱-۳- نظریه عمومی انتقال و شکل عمومی معادلات بقاء ۲۳

۲-۳- معادلات حاکم بر سیال ۲۵

۱-۲-۳- معادله پیوستگی: ۲۵

۲-۲-۳- معادله ممنتوم: ۲۵

۱-۴- مقدمه ۲۸

۱-۱-۴- دیدگاه پیوسته اویلری: ۲۸

۲-۱-۴- مدل لاگرانژی: ۲۹

۲-۴- مدل سازی پیوسته جریانهای چند فاز ۲۹

۱-۲-۴- متوسطها و تئوری متوسط گیری: ۳۰

۱-۱-۲-۴- متوسط فازی: ۳۰

۲-۱-۲-۴- معادلات متوسط حجمی: ۳۰

۳-۱-۲-۴- معادلات متوسط حجمی و زمانی: ۳۱

۳-۴- محاسبهٔ ویسکوزیتهٔ فاز ذرات به واسطه برخورد داخلی بین ذرات ۳۲

۱-۵- معادلات حاکم بر جریان از دیدگاه لاگرانژی ۳۷

۱-۱-۵- معادله حرکت ذره درون سیال: ۳۸

۲-۱-۵- معادله عمومی حرکت ذرات درون سیال: ۳۹

۲-۵- معادلات حاکم بر جریان دو فاز از دیدگاه اویلری ۴۱

۱-۶- معرفی پدیدهٔ آشفتگی و یا توربلانس ۴۷

۱-۱-۶- معادلات متوسط زمانی حرکت سیال: ۴۷

۲-۶- مدل‌سازی جریانهای توربلانس ۴۸

۳-۶- معادلات انتقال در مدل $K-\varepsilon$ به منظور تحلیل عددی سیال: ۵۰

۱-۷- انتقال پنوماتیک مواد جامد: ۵۳

۲-۷- تقسیم‌بندی سیستم‌های انتقال پنوماتیک: ۵۴

۱-۲-۷ – ۵۴

۲-۲-۷- فشار منفی و فشار مثبت انتقال پنوماتیک ۵۵
۳-۲-۷- جریان رقیق در برابر جریان غلیظ ۵۶
۴-۲-۷- رژیم‌های جریان و رژیم گذرا ۵۷
۳-۷- افت فشار ۵۹
۱-۳-۷- افت فشار کلی در جریان یک فازی: ۶۰
۲-۳-۷- کاهش درگ ۶۱
۴-۳-۷- سرعتهای بحرانی انتقال ۶۷
۵-۳-۷- می‌نیمم سرعت انتقال ۶۷
۶-۳-۷- سرعت مورد نیاز برای بلند کردن ذره (Pickup Velocity) ۶۸
۷-۳-۷- سرعت Saltation در انتقال افقی: ۶۹
۸-۳-۷- سرعت choking در انتقال عمودی: ۷۱
۴-۷- طراحی برای خط انتقال فاز رقیق: ۷۴
۵-۷- مشخصات جریان دوفاز ورودی ۷۶
۶-۷- پارامترهای شناسایی جریان دو فاز گاز – جامد ۷۶
۷-۷- تحلیلی عددی جریان به کمک نرم‌افزار FLUENT ۷۷
۱-۷-۷- تحلیل عددی جریان دو فاز گاز - جامد درون لوله: ۷۷
۲-۷-۷- نتایج تحلیل عددی جریان در مدل A: ۸۴
۱-۸ نتایج: ۸۶
۲-۸ تحلیل جداول ۸۷
۳-۸ نتایج و تحلیل نمودار ۹۵
References ۱۰۴

لیست علائم

۱- ضریب درگ	C_D	۲۲- مؤلفه اغتشاشی سرعت سیال	u
۲- قطر سیکلون	D	۲۳- سرعت ذره جامد	V
۳- قطر ذرات	D	۲٤- مؤلفه اغتشاشی سرعت ذره جامد	v
٤-ضریب نفوذ پارامتر	D_γ	۲۵- مکان المان سیال در هر لحظه	X_f
۵- انرژی	E	۲٦- مکان ذره جامد در هر لحظه	X_P
٦- نیروی دراگ	F_D	۲۷- نسبت حجمی دو فاز	a
۷- نیروی الکتریکی	F_E	۲۸- نرخ تولید و یا اضمحلال پارامتر مکانیکی	Γ
۸- نیروی حاصل از گرادیان فشار	F_P	۲۹- جرم حجمی سیال	ρ
۹- نیروی سافمن	F_S	۳۰- جرم حجمی ذرات جامد	ρp
۱۰- نیروی رادیومتریک	F_T	۳۱- چگالی جرمی بالک فاز ذرات	$\overline{\rho}$
۱۱- نیروی واندروالسی	F_V	۳۲- ویسکوزیته سیال	μ
۱۲- شتاب جاذبه	g	۳۳- ویسکوزیته توربلانی	μ_t
۱۳- انرژی جنبشی توربلانسی	K	۳٤- ویسکوزیته فاز ذرات جامد	μ_P
۱٤- جرم المان ذرات	m_P	۳۵- زمان بازتاب (ذرات)	τ_P
۱۵- جرم المان سیال	m_F	۳٦- تانسور دوران	Ω
۱٦- فشار	P	۳۷- عدد استوکس	ψ
۱۷- دبی سیال	Q	۳۸- mean free patch	λ
۱۸- بار الکتریکی	q	۳۹- نرخ اضمحلال انرژی توربلانی	ε

۱۹- تانسور کرنش	S	٤٠- افت فشار	ΔP
۲۰- دما	T	٤١- مقدار متوسط هر پارامتر فیزیکی	$< >$
۲۱- سرعت سیال	U		

مقدمه

مقدمه

جریانهای دوفازی گاز–جامد، در بسیاری از کاربردهای مهندسی و فرآیندهـای صـنعتی از اهمیـت ویـژه‌ای برخـوردار مـی‌باشـد. بـرای مثـال: مهندسـی کنتـرل مـواد، بسـترهـای سـیال گردنـده، انتقـال پنوماتیـک و خنک‌کننده‌های اتمی. همچنین این جریانها با پدیده‌های موجود در طبیعت هم در انطبـاق مـی‌باشـد. ماننـد: طوفان شن، مخلوط‌های ماسه‌ای، سقوط بهمن، انفجار خاک و ... فهمیدن مکانیزم فیزیکی حـاکم بـر ایـن جریانها برای طراحی بهینه این پروسه‌ای صنعتی و مدل کردن این پدیده‌های طبیعی ضروری به نظر می‌رسد. از این رو مدل‌های عددی برای جرایانهای گاز–جامد- یک نقش کلیدی در تحقیقات بنیـادی و کاربردهـای مهندسی، ایفاء می‌کنند.

دو روش موازی برای مدل کردن جریانهای ذرات که با یک سیال گازی شکل حمل می‌شـوند، وجـود دارد. که بر این اساس که ذرات جامد از چه طریقی مورد بررسی قرار گیرند. تقسیم‌بندی می‌شوند.

روش لاگرانژی (مسیر حرکت ذره)

روش اویلری (دو سیاله)

در روش لاگرانژی هر ذره بطور مستقل مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد و حرکت هر ذره با یک معادلـه جدا و مخصوص توصیف می‌شود. این روش هنگامیکه ذرات با انـدازه‌هـای مختلـف مـورد بررسـی قـرار می‌گیرند دارای مزایای متمایز می‌باشد. و در مورد جریان فاز ذرات اطلاعات ریز و جامعی مـی‌دهـد امـا بـه قیمت محاسبات طولانی کامپیوتر وحافظه زیاد رایانه. در روش دوسیالی یا روش اویلری فاز جامد بصورت یک سیال پیوسته مورد توجه قرار می‌گیرند و از ایـن رو معـادلات حـاکم، شـبیه بـه معـادلات هیـدرولیکی می‌باشند. خواص متوسط مناسب هم برای فاز جامد مورد نیـاز مـی‌باشـد. مزایـای روش دوسـیالی بـه ایـن صورت می‌باشد:

۱. تلاش محاسباتی کمتری می‌طلبد.

۲. این روش برای موارد کاربردی هنگامیکه اطلاعات کاملی از حرکت ذرات وجود ندارد، مناسب‌تر می‌باشد.

۳. همچنین روش یگانه‌ای است که برای مدل کردن جریانهای چگالتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در سال ۱۹۴۰ Elghobashi جریانهای دو فازی گاز–جامد را به دو گروه رقیق و غلیظ تقسیم کرد [17]. در رژیم رقیق جریان که نسبت حجمی فاز جامد به گاز کمتر از ۰/۱ درصد می‌باشد، برخورد بین ذرات تاثیر قابل اغماضی بر روی توربلانس گاز جامد دارد. در رژیم غلیظ که نسبت حجمی فاز جامد بیشتر از ۰/۱ درصد می‌باشد برخورد بین ذرات در جریان نقش بسیار مهمی را ایفاء می‌کند یعنی اینکه فاز گازی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد.

از طرف دیگر هنگامیکه کسر حجمی فاز جامد خیلی بالا می‌باشد برخورد بین ذرات بر جریان غالب می‌شود و فاز گاز حمل کننده تحت تاثیر فاز جامد اهمیت خود را از دست می‌دهد.

در خیلی از کاربردهای مهندسی و طراحی، احتیاجی به این نمی‌باشد که درون جریان گاز–جامد چه اتفاقی می‌افتد و یا اینکه مقادیر لحظه‌ای و حجمی کمیت جریان چه هستند. بلکه مهمترین چیز دانستن مقادیر متوسط کمیتهای جریان می‌باشد مانند افت فشار کلی و سرعت لغزش. یک سیستم معادله یک بعدی که فرض می‌کند سرعت‌ها و مقادیر نسبت حجمی در هر سطح مقطع ثابت می‌باشد ممکن است بطور موثر این نیازها را برآورده کند.

در رابطه با تاثیر توربلانس بر روی جریان دو فاز گاز–جامد چنین می‌توان گفت: اصولاً جریان‌های دوفاز تحت تاثیر شدیدتر قرار میگیرند. مانند ترکیب در محیط زیست، پخش و پراکندگی ذرات کوچک در اتمسفر، انتقال ذرات درون لوله‌ها و کانال‌ها، جدایی در سیکلون و انتقال گل و لای در بستر رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها. توربلانس نقش مهمی در این پدیده‌ها که انتقال بازی می‌کند. به منظور بهبود راندمان این فرآیندها و کیفیت محصولات نهایی فهمیدن و درک مکانیزم‌هائی که رژیم جریان را بر هم می‌زند لازم

می‌باشد توربلانس به نفوذ و پراکندگی ذرات کمک می‌کند و ذرات هم ممکن است که توربلانس را تحت تاثیر خودشان قرار دهند. (کوپل کردن دو روش).

حضور ذرات در جریان سیال توربلانس ممکن است سطوح توربلانس و ساختار توربلانس را تغییر دهد. کارهای تجربی بوسیله Tsuji and morikawa (1982)، Rashidi (1990)، kulick et al (1994) و Kaftori (1998) نشان می‌دهند که ذرات با توجه به اندازه و قطرشان ممکن است که سطوح توربلانس را افزایش و یا کاهش دهند. ذرات کوچک اضمحلال انرژی توربلانی را افزایش و ذرات بزرگ ممکن است سبب تولید توربلانت فوق‌العاده شوند.

نخستین گام در مطالعه جریان دو فاز گاز–جامد بررسی حرکت تک‌ذره جامد درون سیال و نحوه تقابل نیروهای این دو عنصر با هم می‌باشد. از اولین و کاملترین معادلات جامعی که مجموعه نیروهای وارد بر ذره را مورد بررسی قرار می‌دهد می‌توان به معادله BBO (Basset 1888, Boussinesq 1903, Oseen 1972) اشاره کرد. این معادلات پس از سیر تکاملی خود توسط آقایان Maxy 1993 و Voigor 1994 تکمیل و برای جریان‌های دو فاز گاز–جامد که شامل چندین ذره می‌باشد بکار گرفته شد.

شکلی از جریان دو فاز گاز – جامد که در این پروژه مورد بررسی قرار می‌گیرد ذرات معلق و سنگین سیمان می‌باشد که تحت عنوان انتقال پنوماتیک در لوله مطرح می‌شود. جریان دو فاز فوق در صنعت و در طبیعت از ارزش و کاربردهای ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و پدیده انتقال پنوماتیک در جابجائی ذرات ریز مختلف از جمله سیمان، ذرات ریز مواد سمی و ... به کار می‌رود.

تحلیل جریان و بدست آوردن میدان سرعت و فشار برای یک لوله به قطر $D=192mm$ و طول $L=20D$ در سه وضعیت صورت می‌گیرد که در حالت اول لوله افقی می‌باشد و جهت جاذبه زمین بر سرعت حرکت ذرات و هوا عمود می‌باشد و باعث بوجود آمدن حالت خاصی نسبت به دو حالت بعدی می‌شود. در حالت دوم حالت عمودی می‌باشد و در آن جاذبه زمین در راستای حرکت فاز ذرات و گاز می‌باشد اما در جهت

مخالف که نسبت به حالت افقی از پیچیدگیهای کمتری برخوردار می‌باشد و حالت سوم حالت شیبدار می‌باشد که با افق زاویه 45^{o} می‌سازد.

از مهمترین کاربردهای این تحلیل بررسی پدیده انتقال پنوماتیکی و تعیین میزان افت فشار بشکل تابعی از جرم جامد که توسط گاز حمل می‌شود می‌باشد. در هر یک از سه حالت فوق تاثیر سرعت فاز گاز بر میدان حرکت و میزان افت فشار، مقدار دبی جرمی فاز جامد و مقدار درصد جرمی منتقل شده و یا ته‌نشین شده آن بدست آمده است. در یک حالت با ثابت نگه‌داشتن سرعت فاز گازی مقدار دبی جرمی فاز جامد و مقدار درصد جرمی آن که منتقل شده و یا ته‌نشین می‌شود، بدست آمده است. حالت دیگر با ثابت نگه‌داشتن سرعت فاز گازی مقدار دبی جرمی فاز جامد را افزایش داده و نتایج حاصله با حالت اول مقایسه می شود و در حالت دیگر مجدداً با ثابت نگه داشتن پارامتر جرم جامد ، افزایش سرعت گاز تحلیل را انجام و نتایج را با دیگر حالات فوق مقایسه می‌کنیم. همچنین از روش تحلیل عددی پدیده کاهش درگ را که از نظر تجربی آنرا به اثبات رسانده‌اند [26] نشان می‌دهیم و آن را با روش تجربی مقایسه می‌کنیم. در مرحله بعدی و در حالت افقی انتقال پنوماتیک قطر ذرات جامد را بعنوان پارامتر تغییر داده و تاثیر آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم و نتایج تحلیل آن با یکدیگر مقایسه می‌شود.

تحلیل دیگری که در حالت افقی انجام می‌شود افزایش سرعت ورودی گاز در لوله برای مقادیر بزرگتر از $13\,m/s$ بمنظور تاثیر پارامترهای سرعت بر روی درصد رسوب ذرات در سرعت‌های بالاتر گاز می‌باشد. این تدبیر نشان می دهد که با سرعت‌های بالاتر فاز گازی در نقطه ورودی، درصد حمل و انتقال فاز جامد خیلی بیشتر می‌شود اما از آنجائی که تامین سرعت‌های بالا برای گاز مستلزم صرف هزینه‌ها و امکانات فراوان است، از نظر اقتصادی قابل توجیه نمی‌باشد. لذا برای سرعتهای خیلی بالا (بزرگتر از $30\,m/s$) بهتر آن است که بجای افزایش سرعت گاز، قطر ذرات راحتی الامکان کوچک نماییم.

همان‌طور که ذکر شد پدیده انتقال پنوماتیک شامل حمل کردن ذرات و انتقال آنها از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر در صنعت و در فرآیندهای انتقال مواد با قطر کم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. شرح کامل این روش (یا تکنیک) و عوامل موثر بر آن و همچنین رژیم‌های مختلف جریان درون یک لوله در فصل هفتم بطور کامل بحث و بررسی می‌شود.

در این تحلیل جریان دو فاز گاز - جامد از دو دیدگاه اویلری و لاگرانژی برای فاز گاز و دیدگاه لاگرانژی برای فاز جامد مورد بررسی عددی قرار گرفته است که در ادامه به ذکر نتایج این بررسی که به کمک مدل توربلانی $K-\varepsilon$ انجام گردیده می‌پردازیم.

در فصل اول پروژه که اهمیت کمتری برخوردار می‌باشد به بررسی فاز جامد به لحاظ چگونگی اندازه و قطر ذرات پرداخته می‌شود.

در فصل دوم به ارائه تمام نیروهای وارد بر یک ذره درون جریان و نیز پارامترهای مختلف مربوطه به جریان پرداخته می‌شود.

در فصل سوم و چهارم به ارائه مبانی تحلیل جریانهای چند فاز پرداخته و در ادامه آن در فصل پنجم به ارائه معادلات حاکم بر جریان دو فاز گاز - جامد پرداخته خواهد شد.

و بالاخره در فصل ششم با توجه به شرایط موضوع به بررسی مدل‌های توربولانی و معرفی پارامترهای توربولانی شناخته شده پرداخته شده است.

در فصل هفتم شتاب انتقال پنوماتیک و انواع روشهای موجود در این انتقال بررسی می‌شود. این فصل بطور عمده به تحلیل عددی میدان جریان درون لوله اختصاص یافته است که با استفاده از فلوئنت صورت میگیرد و در نهایت نتایج آنها ارائه خواهد شد.