بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی شیمی, نفت وگاز

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

گرایش جداسازی

عنوان:

تاثیرات توزیع کننده ثانویه گاز بر هیدرودینامیک راکتورهای بستر سیال

نگارش: مصطفی قاسمی

استاد راهنمای اول: دکتر مسعود نصیری زرندی

استاد راهنمای دوم: دکتر محمدحسن خانی

استاد مشاور: دکتر احد قائمی

بهمن ماه ۱۳۹۰

سپاس گزاری

در اینجا وظیفه خود می دانم که از کلیه افرادی که بنده را در انجام این پایان نامه یاری نموده اند تشکر و قدردانی نمایم. به خصوص اساتید گرامی دکتر مسعود نصیری و دکتر محمدحسن خانی و دکتر احد قائمی که با مساعدت های بیدریغ خود مرا در انجام این پایان نامه همراهی نمودند. همچنین وظیفه خود میدانم مراتب تقدیر خویش را از پژوهشکده چرخه سوخت سازمان انرژی اتمی و مسئولین محترم به دلیل حمایت های ویژه و فراهم نمودن تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز پروژه اعلام دارم.

تقدیم به

سرمایه های زندگیم

پدر و مادر عزیزم به سپاس زحمات بی دریغشان

و خواهر مهربانم

چکیده

در این آزمایشات علاوه بر توزیع کننده کف بستر از یک توزیع کننده ثانویه نیز برای ورود جریان گـاز بـه درون راکتورهای بستر سیال بهره گرفته شده است تا تأثیر استفاده از توزیع کننده ثانویه جریان گاز بر میزان و انـدازه قطر حباب‌ها در راکتور بستر سیال گاز-جامد مورد بررسی قرار گیرد. در این نوع خـاص از راکتـور بسـتر سـیال قسمتی از گاز توسط توزیع کننده کف بستر و بخش دیگری از آن توسط یـک نـازل ثانویـه وارد فضـای داخلـی راکتور می‌گردد. میزان دبی گاز ورودی و همچنین نسبت دبی گاز ورودی از توزیع کننـده ثانویـه بـه دبـی کـل ورودی در مراحل مختلف آزمایشات متغییر می‌باشد.

در این آزمایشات برای بررسی کاهش قطر حباب‌ها و سنجش نسبت قطر در حالت استفاده از توزیع کننده ثانویه به حالت معمول از روش انحراف استاندارد فشار بهره گرفته شده است. در این روش بـر اسـاس میـزان نوسـانات فشار و فشار مطلق در هر سطح مقطعی از راکتور می‌توان انحراف استاندارد فشار را محاسبه نمـود. هـر چنـد در این روش نمی‌توان قطر حباب‌ها را به صورت مطلق اندازه گیری نمود ولی این روش معیار مناسبی برای مقایسه اندازه حباب‌ها در حالات مختلف می‌باشد و می‌توان نسبت قطرها را در حالات مختلف با آن بررسـی نمـود و بـه درشت تر و یا ریزتر شدن حباب‌ها پی برد.

در مواردی از این آزمایشات کاهش قطر حباب‌ها به میزان ۵۰ درصد قطر اولیه می‌باشد که این امر باعث بهبـود تماس گاز-جامد می‌گردد. به طور کلی می توان از نتایج آزما یش ها مشاهده نمود که قطر حباب ها بـا افـزایش دبی توزیع کننده ثانویه در دبی کل ثابت کاهش می یابد و این کـاهش باعـث افـزایش تعـداد حبـاب هـا و نیـز افزایش سطح جانبی آن ها می گردد که این عوامل باعث افزایش در صد تبدیل مواد درون راکتور و بـه تبـع آن افزایش راندمان راکتور بستر سیال می گردند.

واژه های کلیدی: راکتور بستر سیال، توزیع کننده ثانویه، انحراف استاندارد فشار، قطر حبـاب‌هـا در راکتور بستر سیال

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست شکل‌ها و نمودارها	**ح**
فهرست جداول	**د**
فهرست علائم و نشانه ها	**ز**
فصل اول: ضرورت و اهداف پژوهش	
۱-۱- بیان مسئله	۱
۱-۲- اهداف پژوهش	۱
۱-۳- ضرورت پژوهش	۲
۱-۴- شرح مختصر پروژه	۲
۱-۵- پیشینه پژوهش	۳
۱-۶- مراحل انجام پروژه	۶
۱-۷- ساختار تحقیق	۶

۱-۸- راکتورهای بستر سیال ۷

فصل دوم: هیدرودینامیک بسترهای سیال

۲-۱- مقدمه ۱۰
۲-۲- پدیده سیالیت ۱۰
۲-۳- مشکل افزایش سرعت ۱۲
۲-۴- مکانیزم سیالیت بستر ۱۳
۲-۵- پارامترهای موثر در سیال سازی ۱۳
۲-۵-۱- اندازه ذرات ۱۴
۲-۵-۲- دانسیته ی ذرات ۱۵
۲-۵-۳- زبری ۱۶
۲-۵-۴- تخلخل بستر ۱۶
۲-۵-۵- اثر ظرف ۱۶
۲-۶- طبقه بندی گلدارت ۱۷
۲-۷- حرکت ذرات درون بستر سیال ۱۸
۲-۸- افت فشار درون بستر ۱۹
۲-۹- حرکت ذرات در سیال ۲۱
۲-۹-۱- معادلات حرکت یک بعدی ذره در بستر سیال ۲۱
۲-۹-۲- حرکت ذره در میدان گریز از مرکز ۲۲
۲-۱۰- روش‌های اندازه گیری حداقل سرعت سیال سازی ۲۳
۲-۱۰-۱- روش تعیین تجربی حداقل سرعت سیالیت به روش افت فشار ۲۳
۲-۱۰-۲- روش اندازه‌گیری حداقل سرعت سیالیت بر اساس تخلخل ۲۴
۲-۱۰-۳- روش تئوری اندازه گیری حداقل سرعت سیالیت با استفاده از افت فشار ۲۵
۲-۱۱- سرعت حد ۲۷
۲-۱۲- ضریب دراگ ۲۸
۲-۱۳- انواع سیالیت ۲۹

۲-۱۳-۱- رژیم سیالیت ملایم ۳۰
۲-۱۳-۲- رژیم سیالیت حبابی ۳۱
۲-۱۳-۳- رژیم سیالیت لخته ای ۳۲
۲-۱۳-۴- رژیم سیالیت درهم ۳۲
۲-۱۳-۵- رژیم سیالیت سریع ۳۳
۲-۱۳-۶- رژیم حمل بادی ۳۳
۲-۱۴- برآورد رژیم جریان ۳۴
۲-۱۵- بررسی تفصیلی سیالیت حبابی ۳۵
۲-۱۵-۱- رفتار حباب‌ها ۳۶
۲-۱۵-۲- اندازه و شکل حباب‌ها ۳۶
۲-۱۵-۳- تأثیر پخش کننده‌ها ۴۰
۲-۱۵-۴- اثرات ناحیه ابر اطراف حباب ۴۱
۲-۱۵-۵- ناحیه دنباله و تأثیرات آن ۴۲
۲-۱۵-۶- نفوذ ذرات جامد درون حباب‌ها ۴۳
۲-۱۵-۷- رفتار گاز و ذرات جامد در فاز امولسیون ۴۴
۲-۱۵-۸- انتقال جرم در بستر سیال حبابی ۴۵
۲-۱۵-۸-۱- انتقال جرم بین ذرات جامد و گاز ۴۵
۲-۱۵-۸-۲- انتقال جرم بین حباب و امولسیون ۴۸
۲-۱۶- مزایای بسترهای سیاله ۵۰
۲-۱۷- معایب بسترهای سیاله ۵۱

فصل سوم: بررسی انواع مدل‌ها

۳-۱-مقدمه ۵۲
۳-۲- مدل دو فازی ۵۳
۳-۳-مدل بستر حبابی ۵۶
۳-۴-انواع مدل‌ها ۵۸

۳-۵- مدل دیویدسون و هریسون ۶۰
۳-۶- مدل‌های دو فازی همسو_همسو و همسو_مخلوط شونده ۶۱
۳-۷-معادلات مدل‌های P-P و P-M ۶۳
۳-۸- مدل DTP ۶۵
۳-۸-۱- فرضیات مدل DTP ۶۵
۳-۸-۲- موازنه جرم در فاز حباب برای نمونه گاز ۶۶
۳-۸-۳- هیدرودینامیک مدل DTP ۶۷
۳-۹- بررسی تأثیر پدیده های مختلف بر اندازه حباب‌ها ۶۸
۳-۹-۱- تأثیر میزان دبی کل بر نسبت قطر حباب‌ها ۶۸
۳-۹-۲- تأثیر نسبت دبی توزیع کننده ثانویه به دبی کل بر نسبت قطر حباب‌ها ۶۹
۳-۹-۳- تأثیر ارتفاع بستر بر نسبت قطر حباب‌ها ۷۰

فصل چهارم: دستگاه‌ها و آزمایشات

۴-۱- مقدمه ۷۳
۴-۲- شرح فرایند ۷۳
۴-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات ۷۳
۴-۳-۱- راکتور بستر سیال دارای توزیع کننده ثانویه ۷۵
۴-۳-۲- سیستم تغذیه هوا ورودی ۷۵
۴-۳-۳- سیستم ثبت فشار ۷۶
۴-۳-۴- نازل ثانویه ۷۶
۴-۴- روش انجام آزمایشات ۷۷
۴-۵- آزمایشات ۷۹
۴-۵-۱- سری اول آزمایشات ۷۹
۴-۵-۲- سری دوم آزمایشات ۷۹
۴-۶- روش اندازه گیری نسبت قطر حباب‌ها ۸۱

فصل پنجم: بحث و نتایج

۵-۱- مقدمه ۸۳
۵-۲- تعیین حداقل دبی سیال سازی ۸۳
۵-۳- بررسی تغییرات حداکثر افت فشار (ΔP_{tot}) بر حسب Q_s ۸۴
۵-۴- محاسبه انحراف استاندارد فشار و بدست آوردن نسبت قطر حباب‌ها در حالات مختلف ۸۵
۵-۵- ارایه مدل ۹۰

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری ۹۲
۶-۲- نوآوری و ارایه مدل برای پیش بینی نسبت قطر حباب‌ها ۹۳
۶-۳- پیشنهادات ۹۴

مراجع ۹۵

فهرست شکل‌ها و نمودارها

عنوان **صفحه**

شکل ۱- ۱: مراحل پژوهش ۶
شکل ۱-۲: راکتور بستر سیال ۷
شکل ۱-۳: قابلیت جابجایی آسان ذرات کاتالیست در راکتورهای بستر سیال ۸
شکل ۲-۱:روند سیال سازی ۱۱
شکل۲- ۲: رفتارهای شبه مایع ذرات در بستر سیال ۱۱
شکل ۲- ۳: تأثیرات افزایش و کاهش سرعت سیال بر بسترهای سیاله ۱۲
شکل ۲- ۴:منحنی تغییرات افت فشار بستر سیال گاز- جامد با تغییرات سرعت ۱۳
شکل ۲- ۵: دیاگرام دسته بندی ذرات توسط گلدارت ۱۸
شکل ۲- ۶ :منحنی تغییرات افت فشار نسبت به سرعت ظاهری ۲۰
شکل۲- ۷: نمودار افت فشار نسبت به سرعت ظاهری در توزیع یکنواخت اندازه ذرات ۲۳
شکل۲- ۸: نمودار افت فشار نسبت به سرعت ظاهری در توزیع گسترده اندازه ذرات ۲۴
شکل ۲- ۹ : روش‌های مختلف تعیین تجربی حداقل سرعت سیالیت ۲۵
شکل ۲- ۱۰: مینیمم سرعت سیال سازی و سرعت حد در ۲۰ درجه سانتیگراد و فشار اتمسفریک ۲۷
تخلخل بستر=۰/۵ و کرویت ذرات= ۰/۸
شکل ۲- ۱۱: ضریب دراگ برای ذرات کروی و ذرات با شکل نامنظم ۲۸
شکل ۲- ۱۲:رژیم‌های سیالیت ۳۰
شکل ۲- ۱۳: تعیین رژیم جریان برای تمام دامنه تماس گاز- جامد ۳۴
شکل ۲- ۱۴: نمودار تعیین رژیم جریان بر اساس اعداد رینولدز و ارشمیدس ۳۵
شکل ۲-۱۵:رفتار حباب‌ها در بالای توزیع کننده های متخلخل ۳۷
شکل ۲- ۱۶:رفتار حباب‌ها در بالای چند نمونه از پخش کننده ها :(الف) صفحه متخلخل، (ب) صفحه مشبک، ۴۰
(ج) شیپوره منفذی، (د) شیپوره کلاهکی حبابی
شکل ۲- ۱۷:حباب کروی ایده ال ۴۲
شکل ۳- ۱: نمودار شماتیک مدل دو فازی و حالت‌های توسعه یافته آن ۵۴

شکل ۳- ۲:شماتیک مدل بستر حبابی ۵۶
شکل ۳- ۳:دیاگرام ساختار مدل‌های دو فازی P-P و P-M ۶۲
شکل ۳- ۴:دیاگرام ساختار مدل DTP ۶۵
نمودار ۳-۵ : نمودارهای تغییرات نسبت قطر حباب‌ها در دو ارتفاع مختلف در دبی‌های کل متفاوت ۷۱
شکل ۴-۱:شماتیک راکتور بستر سیال دارای توزیع کننده ثانویه فراکتال مورد استفاده در آزمایشات ۷۴
شکل ۴-۲: سنسور PT۴۴۰ مورد استفاده در آزمایش ها ۷۶
شکل ۴-۳: نمایش سنسور ثانویه از نمای بالا و روبرو ۷۷
نمودار ۵-۱ :مقادیر تجربی افت فشار بر حسب ۸۴
نمودار ۵-۲ :تغییرات ΔP_{tot} بر حسب Q_s ۸۵
نمودار۵-۳ : نمودار تغییرات انحراف استاندارد فشار بر حسب دبی توزیع کننده ثانویه در دبی‌های کل و ارتفاع‌های متفاوت ۸۸
نمودار ۵-۴ : نمودار تغییرات نسبت قطر حباب‌ها بر اساس (Q_s/Q_t) در دبی‌های کل و ارتفاع‌های مختلف ۹۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲- ۱:تخلخل بستر برای پرکن‌های با اشکال مختلف ۱۷

جدول۲-۲:روابط تعیین قطر اولیه حباب‌ها در بالای صفحات توزیع کننده ۳۸

جدول۲- ۳:روابط تعیین قطر حباب در راکتورهای بستر سیال گازی ۳۹

جدول ۲- ۴: مقایسه ضریب انتقال جرم بین ذره و سیال ۴۶

جدول ۲- ۵: روابط ضریب انتقال جرم بین حباب و امولسیون ۵۰

جدول ۳-۱: مدل‌های مختلف بستر سیال به همراه مشخصات و شرایط عملیاتی و معادلات موازنه جرم مربوط به آن ۵۹

جدول ۳- ۲ :روابط تعیین U_{mf} بر اساس افت فشار ۶۴

جدول ۳- ۴: ثابت‌های معادلات کویی و همکارانش ۶۷

جدول ۴-۱: مراحل مختلف آزمایشات ۷۸

۱-۱- بیان مسئله

راکتورهای بستر سیال یکی از پر کاربردترین راکتورهای مورد استفاده در صنعت می‌باشد و به طور خاص در فرایند های گاز- جامد به دلیل خواص شبه سیالی جامد کاربرد فراوانی دارند. یکی از مشکلات عمده راکتورهای بستر سیال گاز- جامد "به هم پیوستگی حباب‌های گاز"[۱] در هنگام صعود و رشد آن‌ها و به طبع آن ایجاد حباب‌های بزرگ‌تر می‌باشد که باعث عدم تماس مناسب میان گاز موجود در حباب‌ها با ذرات جامد درون بستر می‌گردد[۱]. گاز در حال صعود از حباب‌ها به عنوان مسیر میانبر استفاده نموده و بدون تماس با ذرات جامد از میان حباب عبور می‌کند. در واقع با کوچک‌تر شدن حباب‌ها و نیز کاهش به هم پیوستگی آن‌ها، قطر حباب‌های ایجاد شده کاهش یافته و در نتیجه سطح تماس میان ذرات جامد و حباب‌های گاز افزایش می‌یابد و این مسئله افزایش راندمان و نیز در صد تبدیل مواد درون راکتور را به همراه دارد.

۱-۲- اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش بالا بردن راندمان و نیز درصد تبدیل مواد واکنش دهنده درون راکتور بستر سیال و نیز دستیابی به راکتور بستر سیال اصلاح یافته در زمینه تماس گاز- جامد می‌باشد که در واقع این امر با کاهش قطر حباب‌ها و افزایش تعداد آن‌ها و به دنبال آن افزایش اختلاط و حذف فضاهای مرده[۲] درون راکتور و نیز کاهش گازهای عبوری از مسیرهای میانبر اتفاق می‌افتد.

از آنجا که راکتورهای بستر سیال کاربردهای فراوانی در صنعت دارند این امر باعث تولید حجم بیشتری از محصول با کیفیت بالاتر گردیده و از نظر اقتصادی می‌تواند مرقون به صرفه باشد.همچنین از نظر علمی این روش برای کاهش قطر حباب‌ها می‌تواند موجب تحقیقات علمی بیشتر و دستیابی به راکتورهای با فناوری بالاتر در این زمینه گردد.

---

[۱] Collection

[۲] Dead space

این پروژه طی یک همکاری میان دانشکده مهندسی نفت و شیمی دانشگاه سمنان و پژوهشکده چرخه سوخت سازمان انرژی اتمی انجام گردیده است و هدف اصلی آن افزایش راندمان راکتورهای بستر سیال گاز- جامد می‌باشد.

۱-۳- ضرورت پژوهش

با توجه به اینکه راکتورهای بستر سیال از اصلی‌ترین راکتورهای مورد استفاده در فرایند های گاز- جامد می‌باشند و با توجه به حجم بالای استفاده از این راکتورها در صنایع شیمیایی و پتروشیمی، افزایش راندمان این راکتورها می‌تواند به اقتصادی‌تر شدن پروژه‌ها ونیز دستیابی به مطالعاتی در مورد هیدرودینامیک راکتورهای بستر سیال به ما کمک کرده و زمینه ای برای ایجاد و تکمیل راکتورهای با فناوری بالاتر باشد. همچنین با وجود تعداد بالایی از روابط موجود برای پیش بینی قطر حباب در راکتورهای بستر سیال فاقد توزیع کننده ثانویه تا کنون رابطه ای برای پیش بینی قطر حباب‌ها در راکتورهای بستر سیال دارای نازل ثانویه ارائه نگردیده که با توجه به نیاز به روابط ریاضی پیش بینی قطر حباب‌ها برای مدل سازی و شبیه سازی این راکتورها انجام مطالعاتی در این راستا را ضروری می‌نماید.

۱-۴- شرح مختصر پروژه

اگرچه راکتور بستر سیال در مقایسه با سایر راکتورها دارای مزایایی مثل انتقال جرم و حرارت خوب، دمای کم واکنش، ظرفیت تولید بالا، زمان اقامت کافی برای واکنش، راندمان بالای مصرف گاز و بازدهی بالای تبدیل برخوردار است ولی وجود جریان‌های جانبی[۱] گاز از داخل حباب‌ها موجب کاهش درجه تماس بین گاز و جامد شده و در نتیجه کاهش بازدهی مصرف گاز می‌گردد [۲] .

در این طرح اثر تزریق دوم گاز بر هیدرودینامیک راکتور بستر سیال به منظور کاهش قطر حباب‌ها و جریان‌های میانبر مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. در این روش بخشی از گاز توسط توزیع کننده اول در سرعت حداقل سیالیت وارد راکتور شده و بخش دیگری از آن توسط توزیع کننده دوم با سرعتی متفاوت مستقیماً به فاز امولسیون تزریق خواهد شد. بدین ترتیب با این روش ضمن حفظ مزیت خود اختلاطی این راکتورها، از هدر رفت گازهای واکنشگر در اثر نفوذ از فاز امولسیون[۲] به فاز حباب کاسته می‌شود و می‌توان با افزایش بازدهی تماس گاز- جامد رسیدن به تبدیل بالا در راکتوری با نسبت طول به قطر کمتر را امکان پذیر ساخت. همچنین

---

۱ Bypassing
۲ Emulsion

در این راکتور نیازی به تعبیه اجزای داخلی جهت خرد کردن حباب‌های بزرگ وجود ندارد و در نتیجه از هزینه های کلی واحد کاسته می‌شود.

۱-۵- پیشینه پژوهش

استفاده از فراکتال تزریق ثانویه گاز درون راکتورهای بستر سیال در سال ۲۰۰۸ توسط کریستنسن[۱] و همکارانش مورد ارزیابی قرار گرفت [۱]. البته پیش از آن مطالعات فراوانی بر روی هیدرودینامیک راکتورهای بستر سیال بدون توزیع کننده ثانویه انجام شده بود و روابط متعددی نیز برای پیش بینی قطر حباب با توجه به نوع پودر و ارتفاع حباب از کف بستر ارائه گردیده است.

کریستنسن و همکارانش اثر تزریق بخشی از گاز توسط توزیع کننده ثانویه را بر روی زمان ماند و اختلاط حباب‌های گاز مورد بررسی قرار دادند.این بررسی‌ها حاکی از کاهش قطر حباب‌های گاز و نیز کاهش bypassing گاز بود.

همچنین در سال ۲۰۰۹ پوگات[۲] و همکارانش مطالعاتی را بر روی اختلاط حباب‌های گاز در حضور فراکتال ثانویه تزریق گاز به درون راکتور بستر سیال انجام دادند [۳].

اندازه و حجم حباب‌های موجود یکی از موارد مهم در راکتورهای بستر سیال به شمار می‌رود. این مسئله می‌تواند بر روی تعداد حباب‌ها و نیز سطح جانبی آن‌ها و نیز بر میزان اختلاط و ضرایب انتقال و سطح کل تماس میان فازها تأثیر گذارد. در صنعت برای کاهش قطر حباب‌ها از روش‌هایی همچون قرار دادن bafle و staging [۴]و نیز استفاده از راکتورهای بستر سیال باریک (نسبت طول به قطر بالا)[۳], جریانات پالسی[۴] [۵], همزن مکانیکی [۶] و روش‌های الکتریکی و مغناطیسی [۷-۹] بهره می‌گیرند که هر یک از این روش‌ها دارای معایب و پیچیدگی‌هایی می‌باشند.

برای مثال در راکتورهای بستر سیال باریک امکان بروز پدیده لخته ای شدن و کاهش سطح تماس موثر گاز-جامد وجود دارد. همچنین استفاده از همزن مکانیکی نیاز به هزینه های بالای تعمیر و نگهداری دارد و به دلیل خرد کردن پودرها تأثیرات منفی بر روی آن‌ها می‌گذارد. بستر‌های سیال پالسی نیز به دلیل نیاز به ژنراتور تولید پالس هزینه های واحد را بالا می‌برند.

---

[۱] Christensen
[۲] Pougatch
[۳] Narrow Fluidized Bed
[۴] pulse currents

بنابراین روش جایگزینی که می‌توان برای این روش‌ها در نظر گرفت استفاده از توزیع کننده ثانویه جریان گاز می‌باشد.

همچنین به دلیل مزایای فراوان رژیم حبابی نسبت به رژیم‌های ملایم و درهم، به دلیل بازدهی بالا و نیز بالا بودن ضرایب انتقال در این رژیم به رژیم جریان ملایم و نیز عدم وجود پدیده حمل ذرات و همراه بری[۱] و عدم نیاز به سیلیکون‌ها برای جداسازی ذرات جامد از گاز خروجی در رژیم‌های ملایم و درهم بوده و ضمن برخورداری از مزایای رژیم درهم مانند اختلاط مناسب، معایب آن‌را که شامل زمان اقامت[۲] کم و حمل ذرات می‌باشد را نیز تا حدودی مرتفع نموده و با وجود بالا بودن ضرایب پدیده های انتقال به دلیل ایجاد اختلاط توسط حباب‌ها، از سطح تماس و زمان اقامت کافی نیز برخوردار است.

در این پروژه نیز سعی ما بر این بوده تا با کار کردن در این محدوده بتوانیم تأثیر حضور توزیع کننده ثانویه را بر قطر حباب‌ها مورد بررسی قرار دهیم.

البته با وجود مزایای فراوان، رژیم حبابی با برخی مشکلات نیز همراه می‌باشد. در برخی مواقع حباب‌های ایجاد شده به دلیل پدیده ائتلاف[۳] در حین صعود به یکدیگر چسبیده و رشد کرده و بزرگ‌تر می‌شوند و این امر به دلیل مسئله عبور گاز از درون حباب‌ها[۴]، موجب کاهش بازدهی تماس گاز- جامد و نیز از دست رفتن سطح تماس میان فازها و در پی آن کاهش سرعت انتقال جرم می‌گردد.

مطالعات مربوط به توزیع کننده فراکتال[۵] جریان ثانویه گاز نشان دهنده این مطلبند که استفاده از توزیع فراکتال گاز در قلب راکتور ، باعث کاهش قابل ملاحظه ای در قطر و همچنین به هم پیوستگی حباب‌ها می‌گردد[۱۰,۱].

مطالعات کریستنسن همچنین نشان دهنده کاهش قطر حباب‌ها در صورت حضور فیزیکی توزیع کننده جریان ثانویه در قلب راکتور و در صورت عدم جریان گاز در آن می‌باشد [۱۱]. کاهش در میزان قطر حباب‌ها باعث افزایش سطح تماس میان فازها و در پی آن افزایش تبادل گاز میان حباب‌ها و فاز امولسیون که متشکل از ذرات جامد و گاز است گردیده و بهبود شرایط واکنش و نیز افزایش تبدیل مواد واکنش دهنده را در پی خواهد داشت. کاهش در اندازه قطر حباب‌ها گاهی اوقات بهبود ۸۴ % میزان تبدیل [۱۲] و همچنین بهبود گزینش پذیری[۶] را را به همراه دارد [۱۳].

---

[۱] Entrainment
[۲] Residence time
[۳] collection
[۴] Gas by passing
[۵] Fractal
[۶] Selectivity

در واقع می‌توان این‌گونه بیان نمود که تزریق یکنواخت گاز در تمامی فضای راکتور به وسیله توزیع کننده کف بستر و توزیع کننده ثانویه به طور همزمان به جای تزریق گاز به تنهایی از توزیع کننده کف بستر به درون راکتور، باعث کاهش قطر حباب‌های ایجاد شده و تماس بهتر گاز-جامد و بهبود قابل توجه گزینش پذیری[۱] و درصد تبدیل مواد واکنش دهنده در واکنش‌ها و مخصوصاً واکنش‌های محدود شونده از لحاظ انتقال جرم می‌گردد [۱۴,۱۵].

بر این گاز ویژگی‌های هیدرودینامیکی راکتور بستر سیال با توزیع کننده ثانویه گاز مورد مطالعه قرار می‌گیرد و روابطی برای تعیین بینی میزان کاهش اندازه حباب‌ها در اثر استفاده از توزیع کننده ثانویه گاز ارائه خواهد شد با توجه به مدل سازی و شبیه سازی راکتورهای بستر سیال جهت به دست آوردن روابط ریاضی جهت توصیف رفتار گاز- جامد و پیش بینی عملکرد این راکتور و نیاز به داشتن روابط مطمئن جهت پیش بینی قطر حباب‌ها جهت مدل‌سازی این راکتورها، ارائه روابطی برای پیش بینی قطر حباب‌ها در راکتورهای بستر سیال با توزیع کننده ثانویه گاز ضروری می‌باشد.

تاکنون روابط متعددی برای پیش بینی قطر حباب‌ها در راکتورهای بستر سیال معمولی «بدون توزیع کننده ثانویه» ارائه شده که برخی از آن‌ها در فصل‌های قبل معرفی گردیده است. که هر یک از آن‌ها در شرایط مختلفی مانند انواع پودرها و انواع مختلف توزیع کننده ها می‌باشند.

یکی دیگر از وظایف حباب‌ها در راکتورهای بستر سیال ایجاد اختلاط می‌باشد که این امر نیز با کاهش قطر حباب‌ها و افزایش تعداد آن‌ها به شکل قابل توجهی بهبود خواهد یافت و این امر باعث حذف فضاهای مرده درون بستر و کارایی بالاتر راکتور گردیده و نیاز به قرار دادن همزن را که دارای هزینه های عملیاتی و نگهداری بالا می‌باشد را مرتفع می‌سازد.

بنابراین استفاده از نازل ثانویه برای تزریق بخشی از گاز به درون راکتور به دلیل عدم نیاز به صرف انرژی مازاد و حتی کاهش میزان افت فشار کل $(\Delta P)_{tot}$ در اغلب موارد و همچنین سادگی فرآیند استفاده و هزینه ساخت پایین بسیار مرقون به صرفه بوده و دارای پیچیدگی خاصی نمی‌باشد. در این مقاله برای بررسی و سنجش نسبت قطر حباب‌ها از روش انحراف استاندارد فشار بهره گرفته شده است. انحراف استاندارد یکی از رایج‌ترین روش‌های اندازه گیری پارامترهای مختلف و پیش بینی پدیده های در حال وقوع در بسترهای سیال می‌باشد [۱۶].

در این روش فشار در مقاطع مورد نظر از راکتور به وسیله دستگاه‌های اندازه گیری ثبت شده و سپس مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. از قابلیت‌های این روش می‌توان به پیش بینی رژیم سیالیت توانایی سنجش نسبت قطر حباب‌ها، بررسی سرعت حرکت حباب‌ها و motion the bed surface اشاره نمود [۱۷].

---

[۱] Selectivity

۱-۶- مراحل انجام پروژه

پروژه مورد نظر به طور کلی در سه فاز مجزا و مستقل انجام گردیده است که مراحل آن به طور خلاصه در نمودار زیر نمایش داده شده است.

شکل ۱- ۱: مراحل پژوهش

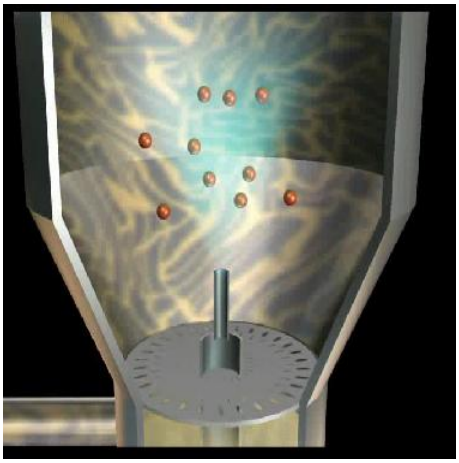
۱-۷- ساختار تحقیق

مطالب این پژوهش در خلال شش فصل گردآوری شده است. در فصل اول به بیان مسئله، اهداف و پیشینه پژوهش و نیز بررسی انواع راکتورها پرداخته شده است. در فصل دوم ابتدا به بررسی هیدرودینامیک راکتورهای بستر سیال و سپس به شکل مفصل به بررسی سیالیت حبابی در آن پرداخته می‌شود. در ادامه به توضیح مختصری در مورد مدل سازی و نیز پدیده های موثر بر اندازه قطر حباب‌ها در بسترهای سیال پرداخته شده است. انجام پژوهش که عبارت است از تکمیل راکتور، بررسی و شناسایی مواد، بررسی تجهیزات اندازه گیری قطر حباب‌ها و نحوه انجام آزمایش ها است به طور کامل در فصل چهارم ارائه گردیده و نحوه انجام آزمایش‌ها

برای بررسی پارامترهای مورد نیاز نیز به طور مجزا در این فصل شرح داده شده است. نتایج آزمایش‌های انجام گرفته و بحث حول آن‌ها در فصل پنجم گردآوری شده است و نهایتاً در فصل ششم نتیجه‌گیری و جمع‌بندی نتایج آزمایش‌ها صورت گرفته و سپس پیشنهادهایی برای ادامه انجام پژوهش‌های بعدی ارائه شده است.

۱-۸- راکتورهای بستر سیال[۱]

راکتورهای بستر سیال از لحاظ عملکردی پیوسته می‌باشند. در این راکتورها بر خلاف راکتورهای بستر ثابت که کاتالیست های جامد به صورت ثابت روی هم قرار می‌گیرند. کاتالیست[۲] در فضای داخل راکتور به علت سرعت بالای سیال ورودی به صورت معلق درآمده و با واکنشگرها در تماس قرار می‌گیرند (شکل ۱- ۲). حرکت مداوم مواد داخل راکتور یک سیستم سوسپانیسونی و معلق را داخل راکتور ایجاد می‌کند.



شکل ۱-۲: راکتور بستر سیال

ممکن است کاتالیست در راکتور بستر سیال به کندی و یا به سرعت غیر فعال شود. با توجه به دفعات و زمان غیر فعال شدن کاتالیست می‌توان از ویژگی معلق بودن ذرات کاتالیست در راکتورهای بستر سیال و قابلیت جابجایی آسان آن‌ها استفاده کرد (شکل ۱-۳) و یک بخش احیاء کننده کاتالیست در مجاورت راکتور مستقر نمود.

---

[۱] Fluidized bed
[۲] Catalyst