بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی شیمی - پدیده‌های انتقال

عنوان:

بررسی اثر هندسه بر پارامترهای هیدرودینامیکی راکتورهای هواخیز با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

استاد راهنما:

دکتر رهبر رحیمی

استاد مشاور:

دکتر مرتضی زیودار

تحقیق و نگارش:

حسین قاسمی

بهمن ۱۳۸۸

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان بررسی اثر هندسه بر پارامترهای هیدرودینامیکی راکتورهای هواخیز با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی بخشی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- پدیده‌های انتقال، توسط دانشجو حسین قاسمی با راهنمایی استاد پایان نامه دکتر رهبر رحیمی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن برای اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد.

حسین قاسمی

این پایان نامه ۸ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر رهبر رحیمی		
استاد مشاور:	دکتر مرتضی زیودار		
داور ۱:	دکتر جعفر صادقی		
داور ۲:	دکتر فرشاد فرشچی تبریزی		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر مهدی اژدری مقدم		

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب حسین قاسمی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: حسین قاسمی

امضاء

تقدیم به

پدر

و

مادر

عزیزتر از جانم

که در تمامی لحظات همواره یار و پشتیبان من بوده‌اند.

سپاسگزاری

با تشکر و سپاس ویژه از استاد گرامی جناب آقای دکتر رهبر رحیمی به پاس زحمات بی دریغ ایشان در انجام و پیشرفت پروژه و همچنین از دوستان عزیزم آقایان سهیل رزمجو قلایی، حامد قره باغی، محمد دشتبان، علی زارعی، افشین رزمجویی، محمد دربندی، بابک محمدیان‌فر، امیر حسین‌زاده، حسین حسینی و طالب زارعی به جهت حمایت‌های همه جانبه و هم‌فکری‌های‌شان در انجام این پژوهش کمال تشکر را دارم.

چکیده:

مهمترین پارامترهای اثرگذار بر رفتار هیدرودینامیک راکتور هواخیز، ماندگی گاز و سرعت چرخش مایع می‌باشد. علم دینامیک سیالات محاسباتی مجموعه تکنیک‌های حل عددی معادلات حاکم بر راکتور می‌باشد که جهت بررسی هیدرودینامیک راکتور مورد استفاده قرار گرفته است.

شبیه‌سازی هیدرودینامیک سه هندسه متفاوت از راکتور هواخیز در بازه‌ای از سرعت‌های ظاهری گاز ورودی به راکتور از 10^{-3} تا ۰/۱۲ m/s به‌صورت سه بعدی و در شرایط ناپایا برای سیستم دوفازی آب و هوا انجام شده است. هندسه ۱ دارای جداکننده گاز مایع بوده و هندسه ۲ و ۳ فاقد جداکننده می‌باشد. هندسه ۳ نسبت به هندسه ۲ دارای ابعاد بزرگتری می‌باشد. ارتفاع هندسه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۳/۰۶، ۱/۲ و ۲/۲ m است. قطر بالابرنده در هندسه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۰/۱، ۰/۰۹۳ و ۰/۱۰۶ m است. شرایط عملیاتی، فشار ۱ و ۱۰ atm می‌باشد. مدل دوفازی بر پایه دیدگاه اویلر – اویلر و مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ و $RNG\ k-\varepsilon$ برای شبیه‌سازی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مدل استفاده شده در هندسه ۱ توافق خوبی با نتایج تجربی دارد. در هندسه ۱، سرعت متوسط مایع در بالابرنده و ناودانی و ماندگی فاز گاز، با افزایش سرعت گاز ورودی افزایش یافته و با افزایش فشار کاهش می‌یابد. به‌دلیل عملکرد مناسب جداکننده گاز – مایع، ماندگی گاز در ناودانی صفر بوده و رژیم جریان در راکتور همگن می‌باشد که موجب بیشینه شدن نیروی محرکه چرخش می‌گردد.

در هندسه ۲ با افزایش سرعت گاز رژیم جریان تغییر کرده و رژیم ناهمگن می‌گردد، جریان لخته‌ای تشکیل شده و به‌دلیل استفاده از مدل دراگ حبابی خطای زیادی ایجاد می‌شود. در هندسه ۲ و۳ در برخی از سرعت‌های گاز ورودی به راکتور با افزایش سرعت گاز، سرعت چرخش مایع کاهش می‌یابد. دلیل این پدیده افزایش ماندگی گاز در ناودانی و کاهش نیروی محرکه چرخش مایع می‌باشد.

کلمات کلیدی: راکتور هواخیز - سرعت چرخش مایع - فشار عملیاتی – ماندگی گاز - دینامیک سیالات محاسباتی

عنوان مطالب

عنوان مطلب **صفحه**

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- اهداف پروژه..... ۲

۱-۳- چگونگی انجام شبیه‌سازی‌ها..... ۳

۱-۴- مطالب ارائه شده در پایان نامه..... ۳

فصل دوم: راکتورهای هواخیز با جریان داخلی..... ۵

۲-۱- مقدمه..... ۶

۲-۲- ستون‌های حباب‌کار..... ۶

۲-۳- انواع ستون‌های دوفازی حباب - مایع..... ۷

۲-۴- راکتورهای هواخیز..... ۱۰

۲-۵- دسته بندی..... ۱۱

۲-۶- مقایسه راکتور هواخیز با ستون حباب‌کار..... ۱۲

۲-۷- انواع راکتورهای هواخیز با جریان داخلی..... ۱۳

۲-۸- توزیع‌کننده‌های گاز و محل قرارگیری در راکتورهای هواخیز..... ۱۴

۲-۹- رژیم‌های جریانی..... ۱۸

۲-۱۰- هیدرودینامیک راکتورهای هواخیز..... ۱۹

۲-۱۰-۱- ماندگی گاز..... ۱۹

۲-۱۰-۲- سرعت چرخش مایع..... ۲۱

۲-۱۱- بررسی پارامترهای موثر بر سرعت چرخش مایع..... ۲۲

۲-۱۱-۱- سرعت گاز ۲۲
۲-۱۱-۲- اثر هندسه راکتور و خواص سیال ۲۳
۲-۱۱-۳- اثر توزیع‌کننده گاز ۲۴
۲-۱۲- بررسی عوامل مؤثر بر هیدرودینامیک راکتور هواخیز ۲۵
۲-۱۲-۱- اثر حضور مواد جامد و افزایش ویسکوزیته ۲۵
۲-۱۲-۲- اثر هندسه راکتور ۲۶
۲-۱۲-۳- اثر خواص مایع ۲۸
۲-۱۳- مروری بر کارهای انجام شده بوسیلهCFD ۲۹
۲-۱۴- نتیجه‌گیری ۳۰
فصل سوم: معادلات حاکم بر راکتور هواخیز با جریان داخلی ۳۱
۳-۱- مقدمه ۳۲
۳-۲- جریان‌های دو فازی ۳۳
۳-۲-۱- جریان گاز – مایع یا مایع - مایع ۳۳
۳-۲-۲- جریان گاز - جامد ۳۴
۳-۲-۳- جریان جامد - مایع ۳۴
۳-۳- مدل‌های چند فازی ۳۵
۳-۳-۱- دیدگاه اولری - لاگرانژی ۳۵
۳-۳-۲- دیدگاه لاگرانژی - لاگرانژی ۳۵
۳-۳-۳- دیدگاه اولری - اولری ۳۶
۳-۳-۳-۱- مدل VOF ۳۶
۳-۳-۳-۲- مدل مخلوط ۳۶
۳-۳-۳-۳- مدل اولری ۳۷
۳-۴- معادلات حاکم ۳۷
۳-۴-۱- معادله پیوستگی ۳۸
۳-۴-۲- معادله اندازه حرکت ۳۸

۳-۵- نیروهای بین فازی ۳۹
۳-۵-۱- نیروی دراگ ۳۹
۳-۵-۱-۱- مدل شیلر و نیومن ۴۰
۳-۵-۲- نیروی جرم مجازی (اضافی) ۴۱
۳-۵-۳- نیروی بالابرنده ۴۲
۳-۶- آشفتگی ۴۲
۳-۶-۱- مدل‌های آشفتگی ۴۴
۳-۶-۱-۱- مدل‌های دو معادله ای $\boldsymbol{k-\varepsilon}$ ۴۵
۳-۶-۱-۲- مدل $\boldsymbol{RNG\ k-\varepsilon}$ ۴۷
۳-۷- روش حل معادلات ۴۷
۳-۸- شبکه‌بندی ۴۸
۳-۹- نتیجه‌گیری ۵۰
فصل چهارم: هندسه راکتورهای هواخیز با لوپ داخلی و پارامترهای شبیه‌سازی ۵۱
۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- هندسه استفاده شده جهت برسی اثر فشار ۵۲
۴-۳- هندسه‌های شبیه‌سازی شده بدون جداکننده ۵۴
۴-۳-۱- هندسه شماره ۲ ۵۴
۴-۳-۲- هندسه شماره ۳ ۵۵
۴-۴- شبکه‌بندی راکتور هواخیز ۵۶
۴-۴-۱- هندسه شماره ۱ ۵۶
۴-۴-۲- هندسه شماره ۲ ۵۷
۴-۴-۳- هندسه شماره ۳ ۵۸
۴-۵- شرایط مرزی ۶۰
۴-۶- خواص سیال ۶۱
۴-۷- روش حل ۶۲

۴-۸- شرایط عملیاتی ۶۳
۴-۹- نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها ۶۴
۴-۱۰- بررسی اثر فشار ۶۴
۴-۱۰-۱- کانتور ماندگی گاز ۶۵
۴-۱۰-۲- بردارهای سرعت فاز مایع و حباب‌های گاز ۶۶
۴-۱۰-۳- نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها ۷۰
۴-۱۰-۳-۱- ماندگی گاز ۷۰
۴-۱۰-۳-۲- سرعت چرخش مایع ۷۲
۴-۱۱- هندسه شماره ۲ ..... ۷۴
۴-۱۱-۱- ماندگی گاز ۷۵
۴-۱۱-۲- بردارهای سرعت گاز و مایع ۷۵
۴-۱۱-۳- متوسط ماندگی گاز ۷۷
۴-۱۱-۴- سرعت متوسط مایع در راکتور ۸۱
۴-۱۲- هندسه شماره ۳ ..... ۸۱
۴-۱۲-۱- کانتور ماندگی گاز ۸۲
۴-۱۲-۲- بردارهای سرعت مایع و گاز ۸۲
۴-۱۲-۳- مقایسه مقادیر ماندگی گاز و سرعت مایع با نتایج تجربی ۸۶
۴-۱۳- نتیجه‌گیری ۸۷

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۸

۵-۱- مقدمه ۸۹
۵-۲- اثر سرعت گاز ورودی بر هیدرودینامیک راکتور هواخیز ۸۹
۵-۲-۱- ماندگی گاز ۸۹
۵-۲-۲- سرعت چرخش مایع و سرعت صعود گاز ۹۱
۵-۳- اثر فشار بر پارامترهای هیدرودینامیکی راکتور هواخیز ۹۳
۵-۴- پیشنهادات ۹۴

فهرست مراجع ۹۶

پیوست ها ۹۹

پیوست الف) روش اندازه‌گیری سرعت چرخش مایع توسط ردیاب ۱۰۰

پیوست ب) مدل‌های اشفتگی ۱۰۲

پیوست ج) الگوریتم‌های گسسته سازی معادلات حاکم ۱۰۵

پیوست د) کدهای بکار رفته در نرم افزار Fluent ۱۱۶

فهرست جدول‌ها

جدول صفحه

جدول۲-۱. برخی از کاربردهای ستون‌های دوفازی حباب – مایع [۷] ۸

جدول ۲-۲. روابط تجربی سرعت چرخش مایع و زمان اختلاط [۳] ۲۴

جدول۳-۱. مقادیر استاندارد پارامترهای مدل k-ε ۴۷

جدول۳-۲. مقادیر پارامترهای مدل $RNG\ k-\varepsilon$ ۴۷

جدول ۳-۳. مشخصات رایانه‌های استفاده شده ۴۹

جدول ۴-۱. خصوصیات هندسه(شماره۱) ارائه شده توسط Van Baten et al [۱۱] ۵۳

جدول ۴-۲. خصوصیات هندسه شماره ۲ [۲۷] ۵۵

جدول ۴-۳. خصوصیات هندسه شماره۳ ارائه شده توسط Blazej و همکاران [۱۸]. ۵۶

جدول۴-۳. بازه‌های زمانی انتخاب شده جهت انجام شبیه‌سازی‌های ناپایا ۶۳

جدول ۴-۴. الگوریتم‌های استفاده شده جهت حل معادلات ۶۴

فهرست شکل‌ها

شکل صفحه

شکل ۲-۱. رژیم‌های حباب‌کار در ستون‌های حباب‌کار ۷

شکل ۲-۲. شمایی از چند ستون حبابی پرکاربرد [۷] ۹

شکل ۲-۳. شمایی از چند ستون سه فازی [۷] ۱۰

شکل۲-۴. راکتور هواخیز با جریان داخلی و جریان خارجی ۱۲

شکل۲-۵. بازه عملیاتی سرعت ظاهری گاز و مایع در بالابرنده در ۱۳

برج‌های حباب‌کار و راکتورهای هواخیز [۳] ۱۳

شکل ۲-۶. انواع راکتورهای هواخیز با جریان داخلی ۱۵

شکل ۲-۷. چند نوع توزیع کننده استاتیک [۱۵] ۱۶

شکل ۲-۸. مکان قرار گرفتن توزیع کننده و اثر آن بر نحوه توزیع گاز در راکتور ۱۷

شکل ۲-۹. رژیم‌های جریانی در راکتور هواخیز ۱۹

شکل۲-۱۰. تاثیر سرعت چرخش مایع بر پارامترهای مهم در راکتورهای هواخیز [۳] ۲۲

شکل۲-۱۱. هندسه‌های بررسی شده توسط Lu و همکاران[۲۴] ۲۷

شکل ۲-۱۲- افزایش نواحی ساکن مایع در زیر تیغه‌ها ۲۸

با افزایش سرعت ظاهری گاز ورودی[۲۷] ۲۸

شکل ۳-۱. مراحل حل یک مسئله CFD ۳۳

شکل۳-۲. انواع سلول‌های قابل قبول توسط نرم افزار FLUENT ۴۹

شکل ۴-۱. هندسه شماره ۱ استفاده شده در کار Van Baten et al [۱۱] ۵۳

شکل ۴-۲. هندسه استفاده شده توسط Vorapongsathorn و همکاران [۲۷] ۵۴

شکل۴-۳. هندسه استفاده شده توشط Blazej و همکاران [۱۸] ۵۵

شکل۴-۴. شبکه‌بندی هندسه شماره ۱ ۵۷

شکل ۴-۵ بررسی تاثیر اندازه شبکه بر نتایج ماندگی گاز در سرعت ۰/۰۳ m/s در ارتفاع ۱ متر ۵۸

شکل۴-۶. شبکه‌بندی ایجاد شده برای هندسه شماره ۲ ۵۹

شکل۴-۷. شبکه‌بندی هندسه شماره ۳ ..... ۶۰
شکل ۴-۸. ماندگی گاز در هندسه شماره۱ راکتور هواخیز در سرعت ظاهری گاز ورودی ۰/۱ m/s و پس از ۱۰۰ ثانیه در فشار ۱۰ atm ۶۶
شکل۴-۹. بردارهای سرعت مایع در هندسه شماره ۱ راکتور هواخیز در سرعت ظاهری گاز ورودی ۰/۱ m/s پس از ۱۰۰ ثانیه در فشار ۱۰ atm ۶۸
شکل۴-۱۰. بردارهای سرعت حباب‌های گاز در هندسه شماره ۱ راکتور هواخیز در سرعت ظاهری گاز ورودی ۰/۱m/s پس از ۱۰۰ ثانیه در فشار ۱۰ atm ۶۹
شکل ۴-۱۱. توزیع شعاعی ماندگی گاز در بالابرنده در هندسه شماره ۱ و در فشار ۱atm در ارتفاع ۱/۷۵ m از پایین راکتور پس از ۱۰۰ ثانیه ۷۱
شکل ۴-۱۲. توزیع شعاعی ماندگی گاز در بالابرنده در هندسه شماره ۱ و در فشار ۱۰ atm در ارتفاع ۱/۷۵ m از پایین راکتور پس از ۱۰۰ ثانیه ۷۱
شکل ۴-۱۳. مقایسه مقادیر متوسط ماندگی گاز در بالابرنده هندسه شماره ۱ و در فشارهای ۱ atm و ۱۰ atm پس از ۱۰۰ ثانیه ۷۲
شکل ۴-۱۴. متوسط سرعت چرخش مایع در بالابرنده در هندسه شماره ۱ پس از ۱۰۰ ثانیه ۷۳
شکل۴-۱۵. سرعت متوسط مایع در ناودانی در هندسه شماره ۱ پس از ۱۰۰ ثانیه ۷۳
شکل ۴-۱۶. کانتور ماندگی گاز در هندسه شماره ۲ در سرعت ظاهری گاز ورودی ۰/۰۱۶ m/s پس از ۶۲ ثانیه در فشار ۱ atm ۷۶
شکل ۴-۱۷. بردارهای سرعت مایع در هندسه شماره ۲ با سرعت ظاهری گاز ورودی ۰/۰۱۶ m/s و پس از ۶۲ ثانیه در فشار ۱ atm ۷۸
شکل ۴-۱۸. بردارهای سرعت حباب گاز در هندسه شماره ۲ با سرعت ظاهری گاز ورودی ۰/۰۱۶ m/s و پس از ۶۲ ثانیه در فشار ۱ atm ۷۹
شکل ۴-۱۹. متوسط ماندگی گاز در بالابرنده هندسه شماره ۲ پس از ۶۲ ثانیه در فشار ۱ atm ۸۰
شکل ۴-۲۰. ماندگی کلی گاز در راکتور هندسه شماره ۲ پس از ۶۲ ثانیه در فشار ۱ atm ۸۰
شکل ۴-۲۱. سرعت متوسط مایع در راکتور هندسه شماره ۲ پس از ۶۲ ثانیه در فشار ۱ atm ۸۱

شکل ۴-۲۲. کانتور ماندگی گاز در هندسه شماره ۳ در سرعت ظاهری گاز ورودی $1/14\times10^{-3}$ m/s پس از ۱۰۰ ثانیه در فشار ۱ atm ۸۳
ج) ناحیه ۳ ..... ۸۴
ب) ناحیه ۲ ..... ۸۴
الف) ناحیه ۱ ..... ۸۴
شکل ۴-۲۳. بردارهای سرعت مایع در هندسه شماره ۳ در سرعت ظاهری گاز ورودی $1/14\times10^{-3}$ m/s پس از ۱۰۰ ثانیه در فشار ۱ atm ۸۴
شکل ۴-۲۴. بردارهای سرعت گاز در هندسه شماره ۳ در سرعت ظاهری گاز ورودی $1/14\times10^{-3}$ m/s پس از ۱۰۰ ثانیه در فشار ۱ atm ۸۵
شکل ۴-۲۵. ماندگی متوسط گاز در بالابرنده هندسه شماره ۳ در سرعت ظاهری گاز ورودی $1/14\times10^{-3}$ m/s پس از ۱۰۰ ثانیه در فشار ۱ atm ۸۶
شکل ۴-۲۶. سرعت متوسط مایع در راکتور هندسه شماره ۳ در سرعت ظاهری گاز ورودی $1/14\times10^{-3}$ m/s پس از ۱۰۰ ثانیه در فشار ۱ atm ۸۷
شکل الف-۱. پاسخ ردیاب ورودی به راکتور ۱۰۰

فهرست نماد

نشانه‌ها	توضیح
A_d	سطح مقطع ناودانی
A_{r}	سطح مقطع بالابرنده
B	ارتفاع قضای بالای بالابرنده
C_D	ضریب دراگ
d_c	قطر راکتور
d_d	قطر ناودانی
d_r	قطر بالابرنده
F_{lift}	نیروی بالابرنده
F_k	نیروی بین فازی
F_{vm}	نیروی جرم اضافی
g	شتاب گرانش
G	تولید آشفتگی
H	ارتفاع راکتور
h_{D}	ارتفاع پراکنده شدن گاز - مایع
H_{DT}	ارتفاع بالابرنده
H_L	ارتفاع مایع هوادهی نشده
k	انرژی جنبشی لحظه‌ای
K	انرژی جنبشی متوسط
L_D	ارتفاع بالابرنده
M	جرم مولکولی
p	فشار
Pe	عدد پکلت
Q_G	دبی گاز ورودی
R	ثابت جهانی گازها
Re	عدد رینولدز

S_K	چشمه
T	دما
t_c	زمان متوسط یک چرخش کامل مایع
$\acute{u}$	مولفه نوسانی سرعت
U	متوسط دائمی سرعت
U_B	سرعت بالا رفتن حباب
U_G	سرعت ظاهری فاز گاز
U_{Gr}	سرعت ظاهری گاز در بالابرنده
$\overline{\overline{U}}_{Lc}$	سرعت متوسط چرخش مایع
U_{Ld}	سرعت ظاهری مایع در ناودانی
U_{Lr}	سرعت ظاهری مایع در بالابرنده
V_G	حجم فاز گاز
V_{Ld}	سرعت ظاهری مایع در ناودانی
V_L	حجم فاز مایع
V_{Lr}	سرعت خطی مایع در بالابرنده
x_c	طول مسیر چرخش

نمادهای یونانی

نشانه‌ها	توضیح
α	فاکتور رهاسازی
ε	ماندگی کلی گاز
ε_d	ماندگی گاز در ناودانی
ε_{g}	ماندگی گاز
ε_k	ماندگی فاز k
ε_l	ماندگی مایع
ε_r	ماندگی گاز در بالابرنده
ϑ	پارامتر رژیم جریان
μ	لزجت
υ_{t}	لزجت سینماتیکی آشفته
ρ_k	دانسیته فاز k
τ_{k}	تنش برشی فاز k
φ	پارامتر نماینده خاصیتی از جریان
ω	پارامتر تابع هندسه راکتور
Γ	ضریب نفوذ

فصل اول

مقدمه