بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی شیمی

شبیه سازی دینامیکی و بررسی هیدرودینامیکی راکتورهای سه فازی گاز–جامد–مایع به کمک دینامیک سیالات محاسباتی

از:

علی بصیری

استاد راهنما:

دکتر محمد علی صالحی

استادان مشاور:

دکتر بهروز عباسی سورکی

دکتر سید سیامک اشرف طالش

بهمن ماه ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

وهمه آنهایی که دوستشان دارم

تشکر و قدر دانی

سپاس بیکران ایزد منان را که در پرتو لایزالش توفیق آموختن میسر نمود تا منت‌پذیر آستان کبریایی‌اش باشم. امروز که به توفیق ایزد مهربان، راهی دیگر از زندگی را با موفقیت سپری کردم، پیشانی شکر بر سجده‌گاه عبودیت می‌سایم و بر خود واجب می‌دانم که از منت‌گذاران این راه قدر دانی نمایم و با شهادت قلم چند سطری را به پاس زحمات بی‌دریغشان بنگارم. این تلاش کوچک را با تمام عشق و اشتیاق تقدیم می‌کنم به پدر و مادر بزرگوارم ،آنان که امروز من آرزوی دیروزشان بود و از خداوند منان می‌خواهم عمری بیفزاید تا گوشه‌ای از زحماتشان را جبران کنم.

از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر محمدعلی صالحی که همواره از راهنمایی‌های ارزنده وحمایتهای بی دریغشان بهره‌مند بوده‌ام، صمیمانه سپاسگزارم.

از زحمات بی‌دریغ استاتید مشاور گرامی‌ام جناب آقای **دکتر بهروز عباسی سورکی و دکتر سید سیامک اشرف طالش** نهایت تشکر را می‌نمایم.

از داوران ارجمند، جناب آقای دکتر بهروز عباسی و آقای دکتر احمد دادوندکه زحمت بازخوانی این پایان نامه را بر عهده داشتند، تقدیر و تشکر می‌نمایم.در نهایت ازتمامی دوستان وهم کلاسی‌های عزیزم کمال تشکر را داشته و آرزومند بهترین‌ها در زندگی برایشان هستم.

شبیه سازی دینامیکی و بررسی هیدرودینامیکی راکتور سه فازی جامد-مایع-گاز به کمک دینامیک سیالات محاسباتی

علی بصیری

چکیده

بستر سیال سه فازی جامد ، مایع ، گاز در سال های اخیر ظهور کرده و رشد چشمگیری داشته به طوریکه یکی از پرکاربردترین تجهیزات در عملیات های سه فازی می باشد.اکثر این نوع تجهیزات در صنایع شیمیایی ، پالایش،پتروشیمی ، فرایند های پتروشیمی ، دارویی و صنایع غذایی مورد استفاده قرار می گیرند در بستر سیال سه فازی ،فاز مایع و گاز را از میان مواد جامد کروی شکل با یک سرعت مطلوب عبور می دهند تا زمانیکه ذرات جامد به صورت معلق درآیند.ذرات جامد در بستر سیال به وسیله یک سطح متخلخل(توزیع کننده صفحه ای فاز گاز) پشتیبانی می شوند. همچنین سرعت جریان گاز در حال عبور از توزیع کننده موجب انتقال مومنتوم به دیگرفازها ازجمله جامد می شود

در این پایان نامه به کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)به بررسی هیدرودینامیکی یک سیستم بستر سیال سه فازی پرداخته شده است.این مطالعه شامل بررسی اثر پارامترهایی نظیر سرعت فاز گاز،شرایط فیزیکی جزء سوم(فلز جامد) بر ماندگی فازهای جامد و گاز ،بررسی پروفایل سرعت های همه فازها، فشار استاتیکی قطره فشار جزعی قطره روی دیواره و جریان های انرژی می باشد.

یک ستون بستر سیال سه فازی که به ارتفاع ۱متر و قطر ۲۰سانتیمتر که حاوی فاز مایع می باشد به طوریکه فاز جامد با جزء حجمی های متفاوت درون فاز مایع پخش شده و فاز گاز با سرعت های مختلف از درون یک پخش کننده فاز گاز(اسپارژر) به قطر ۲ سانتیمتر وارد ستون می شود.نتایج حاکی از این می باشند که با افزایش سرعت فاز گاز از ۰/۰۲تا ۰/۰۸متر بر ثانیه ،میزان ماندگی فاز جامد کاهش پیدا می کند و ماندگی فاز گاز با افزایش همراه است. همچنین بررسی شعاعی ماندگی فازها حاکی از آن است که میزان ماندگی در مرکز ستون بیشتر از دیواره ها می باشد که این تغییر در ماندگی فاز گاز بیشتر است.سرعت شعاعی در ستون های باقطر کوچکتر بیشتر از ستون های با قطر بزرگتر است.

کلیدواژه

هیدرودینامیک بستر سیال،ماندگی فازها ، ستون های بستر سیال سه فازی ، دینامیک سیالات محاسباتی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....ت

فهرست جداول.....ح

فهرست شکل‌ها.....خ

فهرست علایم اختصاری.....ذ

چکیده‌ی فارسی.....ز

چکیده‌ی انگلیسی.....س

فصل اول

۱-مقدمه ۲

۱-۲- بستر سیال سه فازی.....۲

۱-۲- مزیت های سیستم های بستر سیال سه فازی.....۳

۱-۳- کاربرد سیستم های بستر سیال سه فازی.....۴

۱-۴- معایب سیستم های بستر سیال سه فازی.....۵

۱-۵- شیوه‌های عملیات بستر سیال سه فازی و نظامهای جاری.....۶

۱-۶- تاثیر متغییر ها بر کیفیت سیال سازی.....۶

۱-۷- خصوصیات ظاهری سیستم های سه فازی.....۹

۱-۸- مروری بر پیشینه‌ی تحقیق.....۹

۱-۸-۱- بررسی تجربی.....۹

۱-۸-۲- کمّی‌سازی ساختار جریان.....۹

۱-۸-۳-تشخیص نظام جریان...../.....۱۰

۱-۸-۴- بررسی مبنای مدل CFD.....۱۰

۱-۹- بررسی کنونی.....۱۳

۱-۱۰- ساختار پایان نامه.....۱۳

فصل دوم

۲- ۱-دینامیک سیالات محاسباتی CFD..... ۱۵

۲-۲- مزیت های CFD..... ۱۶

۲-۳-کاربرد CFD..... ۱۷

۲-۴محدودیت‌های CFD..... ۱۸

۲-۵ کارکرد کدهای CFD ۱۸

۲-۵-۱ پیش پردازش..... ۱۹

۲-۵-۲– حلال..... ۱۹

۲-۵-۳- پس پردازش..... ۲۰

۲-۶ - انجام مدل‌های چند سیالی ۲۰

۲-۶-۱دیدگاه اولر – لاگرانژ..... ۲۱

۲-۶-۲- دیدگاه اولر – اولر..... ۲۲

۲-۶-۲-۱- مدل حجمی سیال VOF..... ۲۲

۲-۶-۲-۲- مدل مخلوط..... ۲۳

۲-۶-۲-۳-مدل اولرین ۲۳

۲-۷راهیابی برای مدل های چند فازی ۲۴

۲-۸ مدل جریان محاسباتی ۲۴

۲-۸-۱- قانون بندش (خاتمه) در آشفتگی..... ۲۸

۲-۸-۲- نیروی دارگ بین فازی..... ۲۸

۲-۸-۳- قانون بندش (خاتمه) برای فشار جامد..... ۳۰

۲-۸-۴ مدل آشفتگی..... ۳۰

۲-۹- Discritization..... ۳۱

۲-۱۰- محاسبه جریان‌های انرژی..... ۳۱

۲-۱۰-۱ انرژی ورودی سیستم بستر سیال (E_i) به وسیله ورود گاز و مایع.....۳۴
۲-۱۰-۲ انرژی ترک شده از بستر سیال (E_{out}) به وسیله جریان خروجی گاز و مایع.....۳۴
۲-۱۰-۳ انرژی استفاده شده توسط فاز جامد(E_T).....۳۵
۲-۱۰-۴ انرژی هدر رفته در طی آشفتگی فاز مایع(E_e) ۳۵
۲-۱۰-۵ محاسبه نرخ خالص انرژی توزیع شده در طی اصطکاک در بین سطوح فاز مایع و جامد.....۳۵
۲-۱۰-۶ انرژی هدر رفته در بین سطوح گاز- مایع (E_{Bgl}).....۳۵

فصل سوم

۳-روش عددی ۳۷
۳-۱- دامنه‌ی محاسباتی.....۳۸
۳-۲ - تولید شبکه‌ی محاسباتی ۳۸
۳-۳- بررسی کیفیت شبکه.....۳۹
۳-۴- معادلات حاکم بر میدان جریان و دما.....۳۹
۳-۵- بررسی خاصیت استقلال از شبکه ۴۱
۳-۶- خواص ترموفیزیکی ۴۲
۳-۷- شرایط مرزی ۴۳
۳-۷-۱- شرط مرزی ورودی ۴۳
۳-۷-۲- شرط مرزی خروجی.....۴۳
۳-۷-۳- شرط مرزی دیواره.....۴۳
۳-۸ حل عددی و گسسته‌سازی.....۴۴
۳-۹ همگرایی.....۴۴
۳-۱۰ منابع خطا.....۴۵
۳-۱۰-۱خطای رایانه.....۴۵
۳-۱۰-۲ خطای گسسته‌سازی.....۴۵
۳-۱۰-۳ خطای مدل‌سازی.....۴۶

۳-۱۰-۴ خطای همگرایی.....۴۶

۳-۱۱- صحت سنجی نتایج.....۴۶

فصل چهار

۴-مقدمه.....۴۹

۴-۱-بررسی اثر زمان.....۴۹

۴-۲-دینامیک فازها.....۵۰

۴-۳ بررسی پروفایل سرعت فازهای گاز و جامد.....۵۱

۴-۳-۱ بررسی تاثیر چگالی فاز جامد بر پروفایل سرعت فاز جامد.....۵۲

۴-۳-۲ بررسی تاثیر چگالی فاز جامد بر پروفایل سرعت فاز گاز.....۵۳

۴-۳-۳ بررسی آزمایشگاهی تغییرات شعاعی سرعت.....۵۳

۴-۳-۴ بررسی تغییرات شعاعی سرعت فاز های گاز و جامد.....۵۴

۴-۴ بررسی ماندگی فازجامد.....۵۶

۴-۵ بررسی ماندگی فازگاز.....۵۷

۴-۶ بررسی تاثیر جزء حجمی ذرات برماندگی فازها.....۵۸

۴-۷ بررسی تاثیر چگالی ذرات برماندگی فازها.....۵۹

۴-۸ بررسی افت فشار.....۶۰

فصل پنجم

۵-مقدمه.....۶۲

۵-۱ جمع بندی و نتایج.....۶۲

۵-۲پیشنهادها.....۶۳

فهرست جدول ها

جدول ۳-۱ میزان ماندگی فازگاز باسرعت ورودی ۰,۰۲متر بر ثانیه در ازای تغییر مش بندی.....۴۲

جدول ۳-۲ مشخصات کلی فاز های مورد استفاده در شبیه سازی.....۴۲

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱فلوچارت راهبردی CFDبر مبنای اصول فیزیکی.....۲۶

شکل ۲-۲تکنیکهای تبعیض المان ها.....۳۲

شکل۳-۱ نمایش دهنده فلوچارت کلی شبیه سازی به کمک Fluent.....۳۷

شکل۳-۲ شماتیک برج بستر سیال در مساله‌ی حاضر: (الف) مدل فیزیکی (ب) مش بندی سیستم.....۳۸

شکل ۳-۳ تعامل نرم‌افزار فلوئنت با نرم‌افزارهای تولید شبکه و ساختار کلی عملکرد آن.....۴۱

شکل ۳-۴ مقایسه نتایج عددی کار حاضر با نتایج آزمایشگاهی برای تاثیر سرعت بر ماندگی فاز گاز.....۴۶

شکل ۳-۵ تصویری از نتایج نهایی با تکرار برای شبیه سازی به کمک Fluent.....۴۷

شکل۴-۱ کانتور جزء حجمی فاز جامد در ستون بستر سیال سه فازی مورد نظر پس از گذشت زمان ۲۰ثانیه بطوریکه سرعت فازگاز ورودی ۰,۰۲متر بر ثانیه می باشد.....۴۹

شکل۴-۲ کانتورهای جزء حجمی جامد،مایع و گازدر حالتی که سرعت گاز ورودی ۰,۰۲متر بر ثانیه،فاز مایع ساکن و ذرات جامد با۰,۱۵ حجمی و چگالی ۵۰۰۰کیلوگرم بر متر مکعب.....۵۰

شکل۴-۳ تصویر سرعت برداری فاز جامد در ستون بستر سیال هوا(فاز گاز) باسرعت ۰,۰۲متر بر ثانیه وارد سیستم می شود و ذرات جامد باچگالی ۲۴۷۰کیلوگرم بر متر مکعب در داخل فاز مایع پراکنده شده.....۵۱

شکل (۴-۴) تصویر پروفایل سرعت فاز جامد بطوریکه ستون پر از آب می باشد و هوا(فاز گاز) باسرعت ۰,۰۲متر بر ثانیه وارد سیستم می شود و ذرات جامد به ترتیب با چگالی های متفاوت ۵۰۰۰،۴۰۰۰،۳۰۰۰،۲۴۷۰کیلوگرم بر متر مکعب و ۰,۱۵حجمی در داخل فاز مایع پراکنده شده است.....۵۲

شکل (۴-۵) بررسی و مقایسه تغییرات سرعت محوری فاز جامد در راستای شعاع با نتایج کیارد در سال ۱۹۹۹ و شبیه سازی انجام شده در یک ستون بستر سیال سه فاز که پر از آب می باشد و هوا(فاز گاز) باسرعت ۰,۰۲متر بر ثانیه وارد سیستم می شود و ذرات جامد باچگالی ۲۴۷۰کیلوگرم بر متر مکعب و ۰,۱۵حجمی می باشند.....۵۳

کل (۴-۶) تغییرات شعاعی سرعت فاز جامد در زمانی که چگالی ذرات ۲۴۷۰کیلوگرم بر متر مکعب در فواصل مختلفی از ستون به ارتفاع های ۰,۸،۰,۶،۰,۴،۰,۲،۰متر.....۵۴

شکل (۴-۷) تغییرات شعاعی سرعت فاز جامد در زمانی که چگالی ذرات ۳۰۰۰کیلوگرم بر متر مکعب در فواصل مختلفی از ستون به ارتفاع های ۰,۲,۰,۴,۰,۶,۰,۸متر.....۵۵

شکل (۴-۸) تغییرات شعاعی سرعت فاز جامد در زمانی که چگالی ذرات ۴۰۰۰کیلوگرم بر متر مکعب در فواصل مختلفی از ستون به ارتفاع های ۰,۲,۰,۴,۰,۶,۰,۸متر.....۵۵

شکل (۴-۹) تغییرات شعاعی سرعت فاز جامد در زمانی که چگالی ذرات ۵۰۰۰کیلوگرم بر متر مکعب در فواصل مختلفی از ستون به ارتفاع های ۰,۲,۰,۴,۰,۶,۰,۸متر.....۵۶

شکل(۴-۱۰) نشان دهنده تغییرات ماندگی فاز جامد در راستای شعاعی ستون بستر سیال سه فازی ۵۶

شکل (۴-۱۱) نشان دهنده اثر افزایش سرعت فاز گاز بر ماندگی فاز جامد می باشد.....۵۷

شکل(۴-۱۲) نشان دهنده تغییرات ماندگی فاز گاز در راستای شعاعی ستون بستر سیال سه فازی می باشد.....۵۷

شکل (۴-۱۳) نشان دهنده اثر افزایش سرعت فاز گاز بر ماندگی فاز گاز می باشد.....۵۸

شکل (۴-۱۴) بررسی تاثیر افزایش جزء حجمی فازجامد بر ماندگی فاز جامد.....۵۸

شکل (۴-۱۵)بررسی تاثیر افزایش جزء حجمی بر ماندگی فاز گاز.....۵۹

شکل(۴-۱۶) مقایسه تاثیر تغییرات چگالی فاز جامد بر ماندگی فاز گاز.....۵۹

شکل (۴-۱۷)مقایسه تاثیر تغییرات چگالی فاز جامد بر ماندگی فاز گاز.....۶۰

شکل (۴-۱۸) تصویر تغییرات فشار فاز مخلوط، هوا(فاز گاز) باسرعت ۰,۰۲متر بر ثانیه وارد سیستم می شود و ذرات جامد باچگالی ۲۴۷۰کیلوگرم بر متر مکعب.....۶۰

فهرست علائم اختصاری

مساحت سطح شبکه ..... $A.\ (m^2.)$

قطر ستون ..... $D.(m)$

قطر جامد در بستر ..... D_p

قطر حباب یا قطره فاز ..... d_p

انرژی هدر رفته توسط فاز مایع ..... E_D

انرژی فاز مایع هدر رفته در آشفتگی ..... E_e

انرژی ورودی به فاز مایع ..... E_i

اترژی جنبشی فاز گاز ..... E_{kg}

انرژی جنبشی فاز مایع ..... E_{kl}

انرژی خارج شده ا زبستر سیال به وسیله فاز گاز و مایع ..... E_{out}

انرژی پتانسیل فاز گاز ..... E_{Pg}

انرژی پتانسیل فاز جامد ..... E_{kS}

انرژی پتانسیل فاز مایع خارج شده از بستر سیال ..... E_{Pl}

انرژی هدر رفته در طی اصطکاک سطوح جامدومایع ..... E_{Bls}

انرژی هدر رفته در طی اصطکاک فاز مایع و گاز ..... E_{Blg}

انرژی مصرفی توسط فاز جامد ..... E_T

بردار شار ..... F

تابع دراگ ..... f

شتاب گرانش ..... g

مدول های جامد کشسان ..... $G\ (\varepsilon_s)$

مدول های کشسانی پایه ..... $G.$

انرژی جنبشی آشفتگی تولیدی در طی گرادیان سرعت متوسط ..... G_K

انرژی جنبشی آشفتگی تولیدی در طی نیروی ارشمیدسی ..... G_b

ارتفاع بستر سیال..... H

ارتفاع استاتیکی بستر جامد..... H_s

انرژی جنبشی آشفتگی..... κ

فاکتور دراگ فازدر فاز مایع..... K_{sl}

ترم نیروهای بی فازی جامد،گاز و مایع..... $M_{i,l}, M_{i,g}, M_{i,s}$

فشار جامد..... P_s

تغییرات تبدیل بردار..... Q

عدد رینولدز..... R_e

سرفت محلی فاز گاز..... $\overline{u_g}$

سرعت محلی فاز مایع..... $\overline{u_l}$

سرعت محلی فاز جامد..... $\overline{u_s}$

حجم شبکه ها..... V

سرعت ظاهری فاز گاز و مایع..... V_l , V_g

متوسط زمانی فاز جامد..... v_s

سرعت برشی بین فاز گاز و مایع..... V_{bs}

جزء حجمی فاز مایع..... α_l

نرخ هدر رفتگی آشفتگی..... ε

جزء حجمی فاز گاز،جامد ومایع..... $\varepsilon_l , \varepsilon_g , \varepsilon_s$

بیشترین بستر جامد..... ε_{sm}

چگالی..... ρ_k

ویسکوزیته..... μ_g , μ_l, μ_s

فصل اول

مقدمه و مروری بر پیشینه‌ی تحقیق

۱-مقدمه

سیال سازی عملیاتی است که در ان ذرات جامد از طریق تماس با گاز ، مایع و یا هر دو از درون حالتی از سیال جابه‌جا می-شوند. در حالت سیال کشش گرانشی بر ذرات بلوری شکل جامد با نیروی دراگ فاز مایع برروی آن برابر می‌شود و در نتیجه ذرات جامد به حالت نیمه معلق باقی می‌مانند. در سرعت خاصی از فاز مایع، نیروهای دراگ رو به بالای فاز مایع برروی ذرات جامدات درست برابر با نیروهای گرانشی رو به پایین شده ولذا باعث معلق شدن ذرات جامد درون مایع می‌گردند . در این میزان سرعت گفته می‌شود که بستر سیال شده و رفتاری سیالی گونه از خود نشان می‌دهد .

دردهه ۱۹۲۰ ، ژنراتورگازی بستر سیال توسط فریتز وینکلر آلمانی ایجاد گردید که اولین استفاده تجاری هم در ابعاد بزرگ از بستر سیال را به نمایش در آورد[۱]. رآکتور بستر سیال نیز نخستین بار از طریق فرآیند کراکینگ کاتالیزوری مایع توسط شرکت نفت استاندارد نیوجرسی در سال ۱۹۴۲ وارد صنعت پتروشیمی گردید . در اینجا کاتالیزور برای تبدیل مواد خام نفتی به اجزاء ساده‌تر از طریق فرآیند موسوم به کراکینک مورد استفاده قرار گرفت . خلق چنین فناوری امکان افزایش تولید مواد سوختی گوناگون را در ایالات متحده آمریکا بیش از پیش فراهم ساخت .

۱-۱- بستر سیال سه فازی

بستر سیال سه فازی سیستمی است که برای انجام مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی چند فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد . در این رآکتور ، گاز و مایع از درون ماده جامد بلوری شکلی در سرعتهای به قدر کافی بالا عبور داده می‌شود تا ذرات جامد در حالت سیال معلق گردد. ذرات جامد موجود در بستر سیال توسط یک سطح متخلخل (به اصطلاح توزیع کننده در حالت استاتیک) پشتیبانی می‌شوند . سپس مایع با فشار از طریق توزیع کننده به درون جامد عبور داده می‌شود . در سرعتهای پایین جریان مایع ، فاز جامد بر روی سطح اولیه باقی می‌ماند به طوری که سیال از میان آنها عبور کند . با افزایش سرعت سیال ، بستر سیال نیز به حدی می‌رسد که نیروی وارده از سوی سیال بر ذرات جامد برابر با وزن جامدات می‌شود و به تعادل می‌رسند . این مرحله را اصطلاحاً مرحله ابتدایی سیال سازی می‌گویند و سرعت مایع متناظر را نیز حداقل سرعت سیال سازی می‌نامند. در لحظه ای که حداقل سرعت افزایش می‌یابد ، محتوای بستر شروع به گسترش و حرکت دورانی به اطراف همانند یک دیگ آب در حال جوش می‌نمایند که در این حالت سیستم بستر سیال شده است [۲].

رآکتور بستر سیال سه فازی به طور گسترده‌ای در صنایع شیمیایی، پتروسیمی ، پالایش ، دارویی، بیوتکنولوژی ، مواد غذایی و محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرند . رایج ترین کاربرد سیستم‌های فاز گاز – مایع – جامد در صنایع فرآوری هیدرو می‌باشد که در آن مجموعه‌ای از واکنشهای میان هیدروژن و فاز نفتی با کاتالیزور جامد دیده می‌شود . دیگر واکنشهای سه

فازی محصول شامل اکسیداسیون کاتالیزوری و واکنشهای هیدراسیون است . در سیستمهای سیال سازی سه فازی ، فاز به اشکال گوناگون زیر واکنش می‌دهد :

- واکنشهایی که در ان گاز ، مایع و جامد یا واکنش دهنده هستند یا محصولات واکنش .
- واکنشهای گاز – مایع باید با یک کاتالیزور جامد امجام شود .
- دو فاز واکنشی و یک فاز سوم به صورت خنثی.
- تمامی سه فاز خنثی هستند به گونه ای که در یک عملیات واحد حضور دارند .

با توجه به چگالی و کسر حجمی ذرات جامد ، رآکتورهای سه فازی به رآکتورهای ستون دوغابی و رآکتورهای بستر سیال تقسیم بندی می‌شوند . در رآکتورهای ستون دوغابی، چگالی ذرات جامد اندکی بیشتر از مایع است و اندازه ذرات بین ۵ تا ۱۵۰ میلی‌متر متغییر هستند و کسر حجمی ذرات زیر ۰/۱۵ است ، حال آنکه فاز مایع همراه با ذرات جامد بصورت یک مایع یکدست دارای مخلوط عمل آورده می‌شود . اما در رآکتورهای بستر سیال ، چگالی ذرات بسیار بالاتر از چگالی مایع بوده و اندازه ذرات معمولاً بالا (حدود ۱۵۰ میلی متر) و کسر حجمی ذرات نیز از ۰/۶ (مرحله بسته بندی شده) تا ۰/۲ نزدیک به مرحله حامل رقیق متغییر است [۳].

۱-۲- مزیت های سیستم های بستر سیال سه فازی

بسترهای سیال سه فازی بسیار بیشتر از راکتورهای متداول قبلی استفاده می‌شوند و مزایای جدیدی را به همراه داشته‌اند . در زیر برخی از مزایای رآکتورهای بستر سیال سه فازی آمده است [۴] :

- میزان بالاتر واکنش در حجم واحد رآکتور را سبب می‌شود .
- مهمترین مزایای چنین رآکتورهایی عبارتند از اینکه توربولنس بالاتری دارند در حالیکه انعطاف بهتری در بهم زدن داشته و دارای ریکاوری گرمایی و کنترل دمایی هستند .
- آمیزش بهتر و در نتیجه از ایجاد نقاط داغ موضعی جلوگیری می‌کنند.
- بستر سیال سه فازی موجب توزیع بهتر فاز گاز شده و لذا فضای دورویه گازی – مایع بیشتری را فراهم می‌سازد .
- قابلیت پس زنی محصول به طور مستقیم و ایجاد واکنش دهنده‌های جدید در مخزن واکنش به بهبود کارآمدی تولیدی به دلیل بر طرف کردن شرایط آغاز ین در مورد فرآیندهای مجموعه‌ای کمک بسیاری می‌کند .
- این رآکتورها امکان استفاده ذرات کاتالیزوری رقیق را فراهم می‌سازد که نفوذ درون ذره‌ای را به حداقل می‌رساند . هرچه ذرات جامد کوچکتر باشد ، سطح تماس بیشتری را برای تماس نزدیکتر فازها ایجاد می‌کند و عملکرد رآکتور بالا می‌رود.

- این گونه رآکتورها می‌توانند برای کاتالیزورهای خنثی ساز قوی و واکنش‌های سه فازی استفاده شوند که در آنها فاز جامد کاتالیزور و درعین حال واکنش دهنده است (مثلاً میعان کاتالیزوری ذغال سنگ).
- سیستمهای بستر سیال حبابی و چرخشی در حال حاضر از اهمیت روز افزونی در فناوری برای تولید برق و در صنایع فرآوری شیمیایی و معدنی برخوردار هستند .
- به کمک فناوری بستر سیال بیش از فناوریهای قدیمی‌تر می‌تواند به منافع اقتصادی ، عملیاتی و زیست محیطی دست پیدا کرد .

۱-۳- کاربرد سیستم های بستر سیال سه فازی

بستر سیال سه فازی گاز - مایع – جامد در سالهای اخیر به عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارهای عملیات سه فازی می‌باشد . استفاده گسترده از چنین ابزاری در صنایع شیمیایی ، پتروشیمی و فرآیندها حاکی از اهمیت فوق العاده آن در صنعت می‌باشد [۵] .سیستم های بستر سیال اهداف گوناگونی را در صنعت از جمله واکنشهای کاتالیزوری و غیر کاتالیزوری تسهیل کننده دنبال می‌کنند . بسترهای سیال سه فازی به طور موفقیت آمیزی برای فرآیندهای صنعتی بسیاری همچون فرآیند نفت – هیدروژن برای هیدروژناسیون و هیدرودی سولفوراسیون نفت ته نشین شده ، فرآیند هیدروژن ذغال سنگ برای میعان ذغال سنگ و فرآیند فیشر تروپش مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربردهای دیگر بستر سیال به قرار زیر است :

- جذب توربولنت برای دی سولفوراسیون گازی .
- فرآیند بیواکسیداسیون در عملیات فاضلاب .
- عملیات فیزیکی چون خشک کردن و سایر اشکال انتقال عمده .
- فرآیندهای بیوتکنولوژیکی چون تخمیر و عملیات ایروبیک فاضلاب .
- تولید متانول و تبدیل گلوکز به اتانول .
- صنایع دارویی و معدنی
- اکسیداسیون نفتالین به ایندرید فاتالیک (کاتالیزوری)
- کک سازی پسماندهای پتروشیمی (غیر کاتالیزوری)

۱-۴- معایب سیستم های بستر سیال سه فازی:

مانند هر طراحی دیگری ، رآکتور بستر سیال نیز دارای معایبی است که هر طرح رآکتور باید آنها را مدنظر قرار دهد .

ابعاد مخزنی بزرگ:

به دلیل گسترش مواد بستر درون رآکتور اغلب به مخزن بزرگتری در مقایسه با رآکتور بستر بسته نیاز می‌باشد . این مخزن بزرگتر به معنای صرف هزینه‌های مقدماتی بالاتر می‌باشد .

لوازم پمپاژ و درجه فشار :

لزوم فشار مایع برای معلق ساختن ذرات جامد، وجود سرعت بالاتری از مایع را درون رآکتور ضروری می‌سازد . لذا این امر قدرت بیشتر پمپاژ و در نتیجه هزینه‌های بالاتر انرژی را به دنبال دارد . علاوه بر این ، دریچه فشار همراه با بسترهای عمیق نیز نیازمند قدرت بیشتری از پمپاژ هستند.

شناوری ذرات :

سرعتهای بالای گاز درون چنین رآکتورهایی اغلب منجر به شناور یذیری ذرات بلوری درون مایع میشود. این ذرات سپس به همراه مایع از رآکتور خارج می‌شود .در اینجا باید از یکدیگر جدا شوند که این امر با توجه به طراحی و عملکرد راکتور ، کار بسیار دشواری است .

فرسایش اجزاء داخلی :

رفتار مایع گونه ذرات بلوری جامد در بستر سیال باعث خوردگی مخزن رآکتور می‌شود. این امر متضمن هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری لوله‌ها و مخزن رآکتور می‌باشند . عدم درک کنونی : درک کنونی رفتار واقعی مواد در یک بستر سیال عملاً بسیار محدود است. پیش‌بینی و محاسبه جریانهای گرمازا و پیچیده درون بستر تقریباً کار دشوار نیست . لذا به دلیل نبود درک درست این امر، وجود دستگاه پایلوت برای فرآیندهای جدید ضروری به نظر می‌رسد . حتی در صورت وجود دستگاههای پایلوت نیز افزایش مقیاس بسیار دشوار بوده و ممکن است آنچه را که در آزمایش پایلوت مشاهده گردید کاملاً منعکس نکند .

۱-۵-شیوه‌های عملیات بستر سیال سه فازی و نظامهای جاری

بر اساس تفاوتهای موجود در مسیرهای جریانی گاز و مایع و در الگوهای تماس میان ذرات و گاز و مایع اطراف ، انواع گوناگونی از عملیات سیال سازی فاز گاز – مایع – جامد امکانپذیر می‌باشد . سیال سازی گاز – مایع –جامد را می‌توان به چهار شیوه عملیاتی عمده دسته‌بندی کرد. این شیوه‌ها شامل سیال سازی سه فازی همزمان همراه با فاز مایع به عنوان فاز مستمر ، سیال سازی سه فازی همزمان با فاز مستمر گاز ، سیال سازی سه فازی معکوس و سیال سازی با یک جاذب تماس توربولنت(TCA) می‌باشد . با توجه به ماهیت پیچیده سیال سازی سه فازی ، شیوه گوناگونی برای ارزیابی عملیات و پارامترهای طراحی برای هر روش عملیات موجود می‌باشد . عملیات جامدات با پایه مایع شکلی از سیال سازی است که سرعت مایع بیش از حداقل سرعت سیال سازی می‌باشد . عملیات جامدات با پایه حبابی هم شکلی از سیال سازی است که سرعت مایع کمتر از حداقل سرعت سیال سازی بوده و مایع می‌تواند حتی در حالتی ثابت باشد . سیال سازی سه فازی جریان مخالف با فاز مستمر گاز به عنوان یک جاذب تماس توربولنت[۱]، جاذب بسته بندی شده سیال ، کنتاکتور بستر سیار با توربولنت تلقی می‌گردد[۶].

۱-۶- تاثیر متغییر ها بر کیفیت سیال سازی

برخی از متغییرهای تأثیر گذار بر کیفیت سیال سازی به شرح زیر می‌باشند :

- سرعت جریان مایع : باید به اندازه‌ای باشد که ذرات جامد را به حالت معلق در آورد ولی نباید به حدی بالا باشد که در مایع ایجاد شیار کند .
- ورودی مایع : باید به گونه‌ای طراحی شود که مایع وارد شده به بستر به خوبی پخش شود .
- ارتفاع بستر : در صورت ثابت ماندن سایر متغییرها، ارتفاع بیشتر بستر ، سیال سازی مؤثر را مشکل می‌سازد
- اندازه ذره : حفظ کیفیت سیال سازی با ذرات دارای طیف گسترده‌تر اندازه بسیار آسان‌تر از ذرات دارای ابعاد یکسان می‌باشد.
- چگالی‌های گاز، مایع و جامد: هرچه چگالی سنجی گاز نزدیک‌تر باشد، حفظ سیال‌سازی روان آسان‌تر است.

[۱] Turbulent