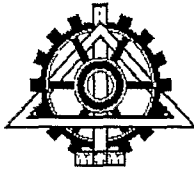


بہ نام خدا



دانشگاه تهران

دانشکده فنی



گروه مهندسی شیمی

## بررسی اثر دما بر هیدرودینامیک بسترهای سیال

نگارش: شبنم سنایی

استاد راهنما: دکتر نوید مستوفی

استاد مشاور: دکتر رحمت ستوده قره باغ

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

رشته مهندسی شیمی

بهمن ماه ۱۳۸۶

۴۷۷۴۱

کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران  
کتابخانه مهندسی شیمی

۱۳۸۷ / ۱۲ / ۰۵


## تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب ..سپنم سنایی)..... تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: سپنم سنایی

امضای دانشجو:



تقدیم به مادر و پدر عزیزم  
به پاس زحمات و صفاتش و محبت های بی دریغش

بهترین حادثه زندگی ام آن است که فرزندشان هستم و  
بزرگترین موفقیت آن که بتوانم مانند آنها زندگی کنم...

و

تقدیم به خواهرهایم  
به پاس حضور گرمش که آرامش به زندگی ام هدیه می کند  
با تمام وجود دوستش دارم و همواره بی دغدغه به او تکیه کرده ام...

از اساتید محترم و گرامی خود، آقایان دکتر نوید مستوفی و دکتر رحمت ستوده قره باغ و همچنین  
دوستان عزیزم در مرکز تحقیقاتی شبیه سازی و طراحی فرآیندها به ویژه جناب آقای مهندس  
حامد بشیری که با کمکهای بی دریغش یاریگرم بوده است، صمیمانه سپاسگزارم ...

## چکیده

مطالعه رفتار بسترهای سیال و بهبود بخشیدن به عملکرد آنها نیازمند شناخت ساخت بستر یا به عبارتی اطلاع از نحوه تغییرات پارامترهای هیدرودینامیکی درون بستر در شرایط متفاوت است. بر خلاف این حقیقت که عمده راکتورهای بستر سیال صنعتی در دماهای نسبتاً بالا کار می‌کنند، بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه بررسی رفتار آنها، در دماهای پایین صورت پذیرفته است. کمبود اطلاعات موجود در دماهای بالا، زمینه ساز لزوم بررسی تاثیر افزایش دما بر هیدرودینامیک بستر در این تحقیق شد. در این راستا از داده‌های تجربی موجود که با استفاده از روش ردگیری ذره رادیواکتیو بدست آمده‌اند، استفاده شده است. از آنجا که اختلاط و نفوذ بیشتر ذرات درون بستر می‌تواند زمینه ساز انتقال جرم و حرارت بیشتر شود، از میان پارامترهای هیدرودینامیکی بسترهای سیال، در این تحقیق اثر دما بر آن دسته از پارامترها که به نوعی نشانگر میزان اختلاط و نفوذ درون بستر (سرعت متوسط حرکات رو به بالا و رو به پایین، فرکانس پرش، فرکانس سیکل و ضرایب نفوذ محوری و شعاعی) هستند، بررسی شده است. نتایج حاکی از آن است که در کلیه پارامترهای بررسی شده افزایش دما تا  $30^{\circ}\text{C}$ ، می‌تواند منجر به افزایش اختلاط و نفوذ در بستر شود در حالی که ادامه افزایش دما روندی کاملاً معکوس ایجاد می‌نماید. با توجه به اینکه میزان اختلاط و نفوذ در بستر به شدت تحت تاثیر حرکت حباب‌ها است، چنین پیامدی را می‌توان به نحوه تغییر قطر متوسط حباب‌ها درون بستر با دما نسبت داد. مقادیر برآورد شده قطر متوسط حباب (با فرض مدلی که فاز امولسیون را به صورت یک مایع در نظر می‌گیرد)، آشکارا بیانگر این حقیقت است که افزایش دما تا  $30^{\circ}\text{C}$  باعث بزرگتر شدن حباب‌ها و در نتیجه اختلاط بیشتر درون بستر می‌شود در حالی که نتیجه ادامه افزایش دما، تولید حباب‌های کوچک‌تر و میزان اختلاط و نفوذ کمتر ذرات در بستر خواهد بود. لازم به ذکر است در این تحقیق برای اولین بار میزان کشش سطحی بین دو فاز حباب و امولسیون در بستر سیال برآورد شده است.

## فصل اول : مقدمه ای بر بسترهای سیال

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- مزایا و معایب بسترهای سیال ۴
- ۳-۱- رژیم های جریان در بسترهای سیال ۵
- ۴-۱- فازهای قابل تفکیک در بسترهای سیال حبابی ۸
- ۱-۴-۱- فاز امولسیون ۹
- ۱-۱-۴-۱- طبقه بندی ذرات در بسترهای سیال ۹
- ۲-۴-۱- فاز حباب ۱۱
- ۱-۲-۴-۱- ذرات موجود در نواحی حمل شونده با حباب و دنباله حباب ۱۳
- ۲-۲-۴-۱- ذرات داخل حباب ۱۴
- ۳-۲-۴-۱- ذرات موجود در ابر اطراف حباب ۱۵
- ۵-۱- تاثیر دما بر رفتار بسترهای سیال ۱۷

## فصل دوم : داده های تجربی

- ۱-۲- روش ردگیری ذره رادیواکتیو ۲۳
- ۲-۲- آزمایش های تجربی ۲۵

## فصل سوم : بررسی تاثیر دما بر هیدرودینامیک بستر به کمک پردازش داده های تجربی

- ۳- پارامترهای هیدرودینامیکی بسترهای سیال ۲۹
- ۱-۱-۳- سرعت متوسط حرکت رو به بالا و حرکت رو به پایین در بستر ۳۱
- ۱-۱-۳- تفکیک قسمت های خطی از بخش غیر خطی مسیر

۳۲	طی شده توسط ردیاب
	۲-۱-۳- محاسبه متوسط سرعت حرکات رو به بالا و پایین
۳۵	شناسایی شده در بستر
۳۶	۲-۳- زمان پرش
۳۹	۱-۲-۳- مدت زمان پرش
۳۹	۲-۲-۳- فرکانس پرش
۳۹	۳-۳- سیکل
۴۱	۱-۳-۳- طول بستر
۴۲	۲-۳-۳- شناسایی سیکل های طی شده در بستر
۴۴	۳-۳-۳- فرکانس سیکل
۴۵	۴-۳- ضریب نفوذ
۴۵	۱-۴-۳- شبیه سازی شرایط تزریق ردیاب های مجازی به بستر
۴۸	۲-۴-۳- نحوه محاسبه ضریب نفوذ
	<b>فصل چهارم : نتایج و بحث</b>
۵۲	۴- نتایج حاصل از پردازش اطلاعات
۵۲	۱-۴- سرعت متوسط حرکت رو به بالا و حرکت رو به پایین در بستر
۵۲	۱-۱-۴- اثر تغییر سرعت ظاهری گاز
۵۳	۲-۱-۴- اثر تغییر دما
۵۵	۲-۴- زمان پرش
۵۵	۱-۲-۴- فرکانس پرش
۵۵	۱-۱-۲-۴- اثر تغییر سرعت ظاهری گاز



۵۶	۲-۱-۲-۴- اثر تغییر دما
۵۷	۲-۲-۴- مدت زمان پرش های شناسایی شده
۵۹	۳-۴- سیکل
۵۹	۱-۳-۴- اثر تغییر سرعت ظاهری
۶۰	۲-۳-۴- اثر تغییر دما
۶۱	۴-۴- ضریب نفوذ
۶۱	۱-۴-۴- بررسی تابعیت ضرایب نفوذ محوری و شعاعی از ارتفاع و شعاع بستر
۶۴	۲-۴-۴- اثر تغییر سرعت ظاهری گاز
۶۴	۳-۴-۴- اثر تغییر دما
۶۷	۵-۴- احتمال حضور ذرات در مقاطع مختلف بستر
۶۷	۱-۵-۴- بررسی اثر سرعت ظاهری گاز
۶۹	۲-۵-۴- بررسی اثر دما
۷۱	۶-۴- تحلیل نتایج حاصل از نحوه تاثیر دما بر هیدرودینامیک بستر
۷۱	۱-۶-۴- مدل VOF
۷۱	۲-۶-۴- محاسبه متوسط قطر حباب
۷۵	۱-۲-۶-۴- دمای ذره ای
۷۶	۳-۶-۴- تخمین مقدار کشش سطحی بین فاز حباب و امولسیون
۷۷	۷-۴- نتیجه گیری
۷۸	۸-۴- پیشنهاد ها
۸۰	علامت های اختصاری
۸۲	منابع

## فصل اول

- شکل ۱-۱- برخی از مهم ترین کاربردهای بسترهای سیال در فرآیندهای صنعتی ۳
- شکل ۱-۲- رژیمهای مختلف جریان در بسترهای سیال ۸
- شکل ۱-۳- حباب، امولسیون و مجموعه ذرات (خوشه) درون بستر ۱۱
- شکل ۱-۴- فرم شماتیکی از به هم پیوستن حباب ها ۱۲
- شکل ۱-۵- دو ناحیه حمل شونده با حباب و دنباله حباب ۱۴
- شکل ۱-۶- نحوه حرکت حباب درون بستر سیال ۱۴
- شکل ۱-۷- شمایی از حباب های سریع یا ابری ۱۶
- شکل ۱-۸- نحوه ورود ذرات موجود در امولسیون به ابر اطراف حباب ۱۶

## فصل دوم

- شکل ۲-۱- نمونه قرارگیری آشکارسازها در اطراف بستر (الف) نمای بالا (ب) نمای جانبی ۲۵
- شکل ۲-۲- شمایی از راکتور بستر سیال مورد استفاده در آزمایش ها و ردیاب های اطراف آن ۲۶

## فصل سوم

- شکل ۳-۱- جایگاه دو گونه متفاوت حرکت (حرکت رو به بالا و رو به پایین) درون بسترهای سیال ۲۹
- شکل ۳-۲- تفکیک بخش های خطی مسیر حرکت ردیاب (الف) مسیر حرکت ردیاب در راستای Z بر حسب زمان ، (ب) تفکیک خطوط متعلق به حرکت رو به بالا و حرکت رو به پایین در بستر ۳۴
- شکل ۳-۳- تابع توزیع سرعت در دمای  $25^{\circ}C$  و سرعت ظاهری  $0.52m/s$  ۳۶

- شکل ۳-۴- نمونه ای از پرش شناسایی شده در بستر ۳۸
- شکل ۳-۵- شمایی از سیکل طی شده توسط ردیاب در بسترسیال (الف): حرکت ردیاب ۴۰
- در یک سیکل، (ب): یک سیکل طی شده
- شکل ۳-۶- تفکیک طول بستر از بخش رقیق یا منطقه آزاد آن ۴۱
- شکل ۳-۷- نحوه برآورد طول بستر ۴۲
- شکل ۳-۸- نمونه ای از سیکل شناسایی شده در مسیر حرکت ذره ردیاب ۴۴
- شکل ۳-۹- نمونه ای از نحوه نفوذ ۱۰۰۰ ردیاب مجازی در بستر  
(در محدوده  $0/25m < z < 0/2m$  و  $0/189m < r < 0/22m$ ) در دمای
- ۲۵ °C و سرعت ظاهری گاز  $0/76 m/s$  ۴۷
- شکل ۳-۱۰- مربع انحراف استاندارد بر حسب زمان در دو راستای Z و r ۵۰

#### فصل چهارم

- شکل ۴-۱- متوسط سرعت حرکت رو به بالا در بستر بر حسب دما در سرعت های متفاوت گاز ۵۴
- شکل ۴-۲- متوسط سرعت حرکت رو به پایین در بستر بر حسب دما در سرعت های متفاوت گاز ۵۴
- شکل ۴-۳- فرکانس پرش بر حسب دما در سرعت های ظاهری متفاوت ۵۶
- شکل ۴-۴- تعداد پرش ها بر حسب مدت زمان آنها در دماها و سرعت های ظاهری متفاوت ۵۸
- شکل ۴-۵- فرکانس سیکل های شناسایی شده در بستر بر حسب دما در سرعت های ظاهری متفاوت ۶۱
- شکل ۴-۶- نمونه ای از نحوه محاسبه ضرایب نفوذ در  $0/156m < r < 0/078m$  ۶۱
- در راستای Z (الف): اولین بازه از راستای Z ، (ب): آخرین بازه از راستای Z ۶۳

صفحه

فهرست جداول

جدول ۱-۱- خلاصه ای از نتایج بدست آمده در زمینه تاثیر دما بر هیدرودینامیک

۱۹

بسترهای سیال

۶۱

جدول ۱-۴- طول بستر

۷۵

جدول ۲-۴- مقادیر دمای ذره ای

## فصل اول

مقدمه ای بر بسترهای سیال

سیال سازی فرآیندی است که در آن ذرات جامد با معلق شدن در یک گاز یا مایع به حالت شبه سیال تبدیل می شوند. امروزه پدیده سیال سازی توسعه روز افزونی داشته و جایگزین مناسبی برای بسیاری از فرآیندهای قدیمی صنعتی به شمار می آید. امتیازات چشمگیر این پدیده که بارزترین آن بالا بودن میزان انتقال جرم و حرارت و همدمايي است، دلیل اصلی برتری این فرآیند نسبت به فرآیندهای مشابه گذشته می باشد. بسترهای سیال به جهت آن که زمینه ساز تماس مؤثر بین جامد و سیال هستند در صنایع شیمیایی از اهمیت بسیاری برخوردارند که کاربرد آنها در صنایع نفت، پتروشیمی، شیمیایی، معدنی، بیوشیمیایی، دارویی، غذایی و غیره بیانگر این حقیقت است.

با وجود مزایای متعدد بسترهای سیال، کمبود اطلاعات قابل اطمینان درباره عملکرد حقیقی درون بستر، کاربرد وسیع چنین راکتورهایی را در مقیاس صنعتی محدود کرده است. بر این اساس هرگونه فعالیت در راستای شناخت هر چه بیشتر عملکرد بسترهای سیال قدمی مؤثر در جهت طراحی دقیق و استفاده بهینه از این راکتورها در صنعت خواهد بود. محدوده وسیع کاربردهای صنعتی بسترهای سیال در زمینه های ذکر شده زیر نیز گویای لزوم بررسی هر چه بیشتر هیدرودینامیک بسترهای سیال است [۱]:

- عملیات فیزیکی (مبادله حرارت، جامدسازی یک مذاب جهت ایجاد گرانول، روکش کردن اشیاء فلزی با پلاستیک، خشک کردن جامدات، روکش کردن اشیاء و رشد دادن ذرات و ...)
- واکنش های شیمیایی (انیدرید فتالیک، واکنش فیشر-تروپش، آکریلو نیتریل به وسیله فرآیند سوهیو، انیدرید مالئیک، واکنش های کاتالیزوری، پلیمریزاسیون الفین ها و ...)
- شکستن هیدرو کربن ها ( شکست کاتالیزوری سیال FCC، کک سازی سیال و کک سازی فلکسی، شکست حرارتی و ...)

- احتراق و خاکستر کردن ( احتراق سیالی ذغال سنگ، خاکستر سازی مواد پس ماند جامد و .. )

- ایجاد ذغال و گاز ( ایجاد گاز از ذغال سنگ و کک، کربن فعال، گازسازی از پس ماند

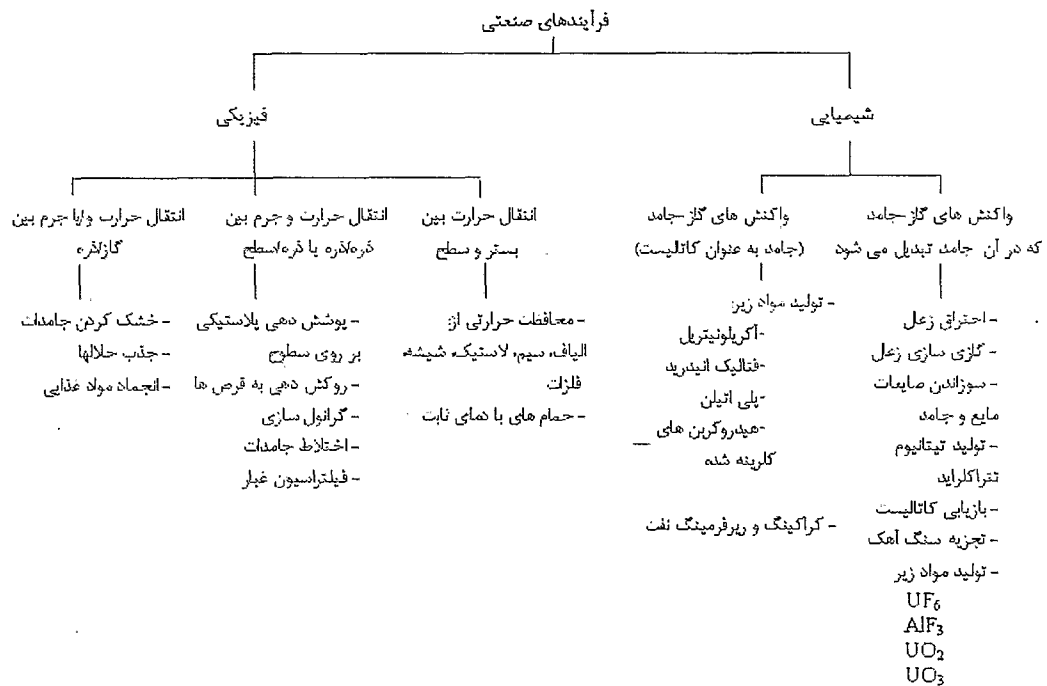
جامد و ... )

- کلسیناسیون

- واکنش های همراه با جامدات ( تشویه سنگ های سولفید، سیلیکون برای صنایع نیمه هادی و

نسل خورشیدی، کلرینه و فلورینه کردن اکسیدهای فلزی، احیاء اکسید آهن، بیوسیالیت و ... )

شکل ۱-۱ نیز خلاصه ای از اهم کاربردهای بسترهای سیال را در فرآیندهای صنعتی نشان می دهد.



شکل ۱-۱- برخی از مهم ترین کاربردهای بسترهای سیال در فرآیندهای صنعتی [۲]

## ۱-۲- مزایا و معایب بسترهای سیال

از برجسته ترین مزایای بسترهای سیال برای عملیات صنعتی می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- جریان مایع مانند ذرات اجازه می دهد که عملیات به صورت اتوماتیک و بطور ساده کنترل شود.

- مخلوط شدن سریع جامدات منتج به یک شرایط همدمايي در کل راکتور می شود، در این صورت عملیات می تواند به سادگی و مطمئن کنترل شود.

- کل بستر به سبب اختلاط زیاد، نسبت به تغییرات سریع دما مقاومت نشان می دهد. به این مفهوم که در مقابل تغییرات سریع شرایط، به آرامی عکس العمل نشان می دهد و یک محدوده مطمئن وسیعی برای پرهیز از افزایش سریع دما برای واکنش های بسیار گرمازا ایجاد می نماید.

- گردش ذرات جامد بین دو بستر سیال امکان تبادل حرارت را در واکنش های شدیداً گرمازا فراهم می کند.

- برای عملیات در مقیاس بزرگ مناسب هستند.

- سرعت انتقال جرم و حرارت در مقایسه با سایر روشهای تماس، بالا است.

- شدت انتقال حرارت بین یک بستر سیال و یک جسم غوطه ور در بستر بالا است بنابراین تبادل حرارت در داخل بسترهای سیال به سطح انتقال کمتری نیازمند است.

با وجود مزایای متعدد بسترهای سیال، نقاط ضعفی نیز در عملکرد آنها موجود است که شناخت هر چه بیشتر هیدرودینامیک بستر گامی مؤثر در راستای فائق آمدن بر این معایب خواهد بود. از جمله این موارد می توان به نمونه های زیر اشاره نمود:

- برای بسترهای سیال حبابی شامل ذرات بسیار ریز، تعریف بسیار مشکل جریان گاز، همراه با انحرافات زیاد از حالت جریان پیستونی باعث بهره پایین تماس می گردد. این مشکل به



خصوص برای واکنش های گازی با درصد تبدیل بالا یا واکنش های زنجیری با گزینش پذیری مطلوب جدی تر می شود.

- مخلوط شدن سریع ذرات در داخل بستر منتهی به زمانهای اقامت غیر یکنواخت از ذرات در داخل راکتور می شود. این مورد در عملیات مداوم فرآوری ذرات، سبب ایجاد محصول غیر یکنواخت و عملکرد ضعیف به ویژه در تبدیل بالا می گردد. برای واکنش های کاتالیزوری حرکت ذرات متخلخل کاتالیزور که مولکولهای گاز به صورت مرتب در آنها وارد و خارج می شوند، عاملی جهت اختلاط برگشتی<sup>۱</sup> واکنشگرهای گازی و در نتیجه کم شدن بهره و عملکرد می شود.

- ذرات شکننده، خرد شده و توسط گاز به بیرون حمل می شوند که بایستی جایگزین شوند.  
- خوردگی لوله ها و ظروف به وسیله اصطکاک با ذرات می تواند جدی باشد.  
- برای عملیات غیر کاتالیزوری در دمای بالا جهت پرهیز از چسبندگی و به هم پیوستگی ذرات نیاز به پایین آوردن دما است که خود باعث کاهش قابل ملاحظه سرعت واکنش می گردد [۱].

### ۳-۱- رژیم های جریان در بسترهای سیال

در یک بستر ثابت، سیال از درون بستر حاوی ذرات ریز به صورتی که در شکل ۱-۲- (a) نشان داده شده است، به آرامی از میان فضاهای خالی بین ذرات ثابت عبور می کند. چنانچه سرعت کمی افزایش یابد، بستر به حالت انبساط یافته تبدیل می شود که در آن بعضی از ذرات در مناطق محدودی لرزش و حرکت می کنند. چنانچه افزایش سرعت ادامه یابد، زمانی خواهد رسید که همه ذرات توسط گاز یا مایعی که به طرف بالا حرکت می کند به صورت تقریباً معلق در می آیند. در این نقطه نیروی اصطکاکی بین ذره و سیال درست متوازن و در جهت عکس وزن ذرات می باشد و افت فشار در طول هر

<sup>۱</sup> Back mixing

قسمتی از بستر تقریباً برابر با وزن سیال و ذرات در آن قسمت خواهد شد در چنین حالتی بستر تقریباً سیال شده محسوب شده و از آن به عنوان یک بستر سیال اولیه یا یک بستر در حداقل سیالیت<sup>۱</sup> نام برده می شود ( شکل ۱-۲-۱(b) ).

در سیستم های مایع-جامد، با افزایش سرعت نسبت به حداقل سیالیت، یک انبساط یکنواخت و مداوم در بستر حاصل می گردد که نتیجه آن این است که ناهمگونی یا فضاهای خالی در مقیاس بزرگ تحت شرایط نرمال مشاهده نمی گردد. بستری با این شرایط با عناوین بستر سیال همگون یا بستر سیال ملایم<sup>۲</sup> معرفی می شود ( شکل ۱-۲-۱(c) ). در سیستم های گاز-جامد، چنین حالتی تنها تحت شرایطی که ذرات بسیار کوچک و گاز متراکم در فشار باشد، دیده می شود. بطور کلی سیستم های گاز-جامد رفتاری کاملاً متفاوت دارند بدین صورت که با یک افزایش در شدت جریان نسبت به حداقل سیالیت، ناپایداری زیادی توأم با حباب ها و کانالهای گازی مشاهده می شود. در شدت جریانهای بالاتر، بهم ریختگی پر آشوب تر و حرکت ذرات شدیدتر می شود. به علاوه بستر خیلی بیشتر از حجم در حداقل سیالیت انبساط پیدا نمی کند. چنین بستری بستر سیال متراکم ، ناهمگون یا بستر سیال حبابی<sup>۳</sup> نامیده می شود ( شکل ۱-۲-۱(d) ). در یک شرایط بسیار استثنایی، سیستم های مایع-جامد هم رفتاری شبیه به بسترهای حبابی دارند. این حالت در مورد ذرات بسیار متراکم سیال شده توسط مایعات کم دانسیته اتفاق می افتد.

در بسترهای گاز-جامد و مایع-جامد، مادامی که فصل مشترک مشخصی بین سطح و منطقه آزاد وجود داشته باشد بسترهای سیال متراکم محسوب می شوند. در سیستم های گاز-جامد، حباب های گازی به هنگام صعود در اثر به هم پیوستن رشد می کنند و در یک بستر به اندازه کافی عمیق و کم قطر ممکن است در نهایت به اندازه قطر ظرف برسند. در بسترهای شامل ذرات بسیار ریز، این ذرات به آرامی از

<sup>۱</sup> Minimum Fluidization

<sup>۲</sup> Smooth Fluidization

<sup>۳</sup> Bubbling Fluidization

کنار دیواره اطراف حباب گازی صعود کننده به سمت پایین جریان دارند. این حالت را لخته ای<sup>۱</sup> می نامند ( شکل ۱-۲-۱ (e)). برای ذرات درشت و سخت قسمتی از بستر که بالای حباب قرار دارد شبیه ضربه یک پیستون به بالای بستر رانده می شود. ذرات پس از ضربه به سمت پایین می بارند که نهایتاً پخش می شوند. حدوداً در این زمان ضربه دیگری شکل می گیرد و این حرکت تناوبی و دوره ای ناپایدار تکرار می شود. این حالت بستر لخته ای مسطح<sup>۲</sup> نامیده می شود ( شکل ۱-۲-۱ (f)). زمانی که ذرات بسیار ریز در یک سرعت جریان کافی گاز سیال می شوند، سرعت حد ذرات افزایش پیدا می کند، سطح فوقانی بستر محو می شود همراه بری ذرات قابل ملاحظه می گردد و به جای حباب ها یک حرکت درهم توده های ذرات و حباب های گازی در اندازه و شکل های مختلف دیده می شود. این بستر سیال درهم<sup>۳</sup> است که در شکل ۱-۲-۱ (g) نشان داده شده است. با یک افزایش در سرعت گاز ذرات همراه با گاز به خارج حمل می شوند. در این حالت بستر به عنوان بستر سیال فاز-رقیق<sup>۴</sup> همراه با حمل بادی ذرات معرفی می شود ( شکل ۱-۲-۱ (h)).

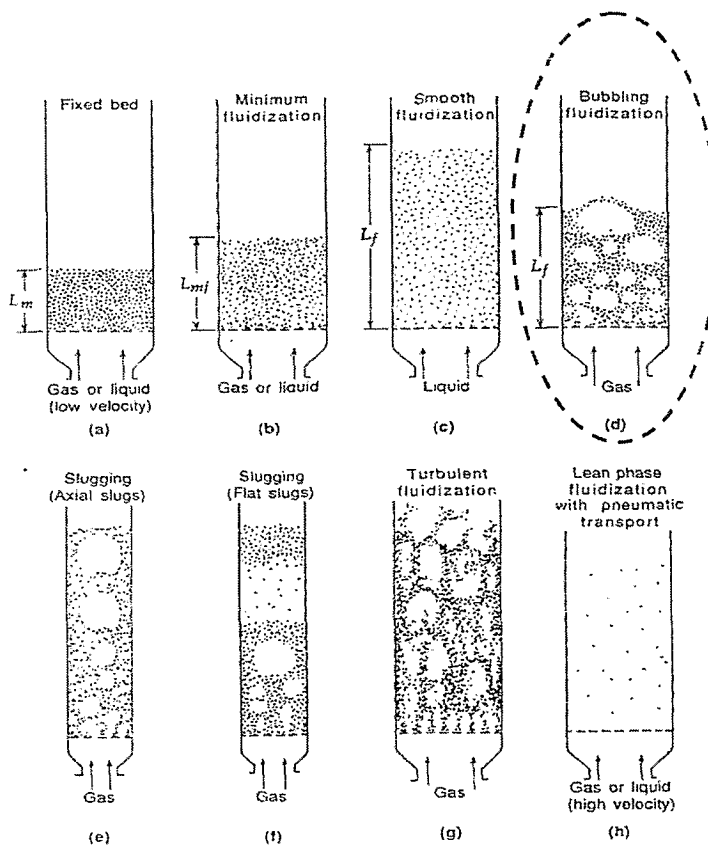
---

<sup>۱</sup> Slugging

<sup>۲</sup> Flat Slugs

<sup>۳</sup> Turbulent Fluidization

<sup>۴</sup> Lean Phase Fluidization



شکل ۱-۲- رژیمهای مختلف جریان در بسترهای سیال [۱]

در میان کلیه رژیمهای معرفی شده، رژیم مورد بحث در این پروژه، رژیم حبابی است که در شکل ۱-۲ با خطوط نقطه چین از سایر رژیمها تفکیک شده است.

#### ۱-۴- فازهای قابل تفکیک در بسترهای سیال حبابی

یک بستر سیال حبابی متراکم دارای دو فاز اصلی مجزا شامل بخش کم تراکم ذرات و بخش متراکم است. بخش کم تراکم ذرات در بستر سیال که در واقع فضاهای خالی حاوی گاز هستند، حبابهای گازی یا بطور ساده حباب نامیده می شوند. در مقابل آن ناحیه ای که دارای تراکم بیشتر است فاز