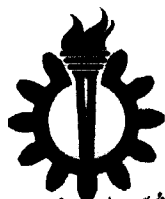
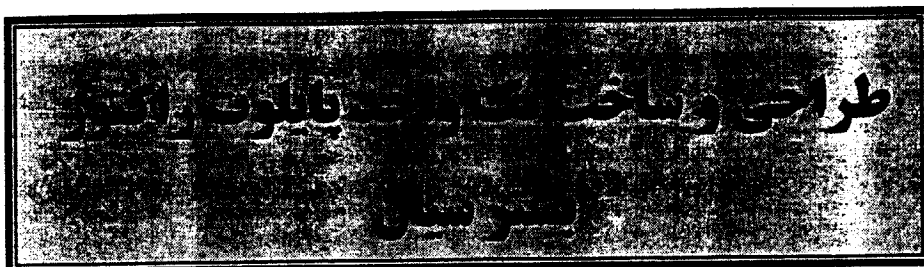


بنام خدا



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی شیمی



۱۳۸۰ / ۱۲ / ۱۹

حسین دلداری

016575

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی شیمی - طراحی فرایند

۳۹۹۰۲

اساتید راهنما:

دکتر سید مهدی علوی

دکتر شاهرخ شاه حسینی

بهمن ۱۳۸۰

۳۹۹۰۲

تقدیم با عشق به پدر و مادر

بزرگوارم که تمام موفقیت‌های زندگی

را مرهون لطف و زحمات این دو

بزرگوار می‌دانم

چکیده:

فرایند سیال‌سازی یک عملیات واحد است که در آن یک بستر پر شده از ذرات جامد که به وسیله یک صفحه پخش کننده حمایت شده است، در اثر عبور یک سیال که می‌تواند گاز، مایع و یا گاز-مایع باشد، با یک سرعتی بالاتر از سرعت حداقل سیالیت رفتار سیال‌گونه پیدا می‌کند. ویژگی‌های مناسب سیستم بستر سیال شامل امکان کنترل دقیق دما، انتقال خوب حرارت، ایمنی بالا و عدم محدودیت در اندازه باعث شده است که این تکنیک به طور وسیعی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گیرد که از آن جمله می‌توان به استفاده از این تکنیک در راکتورهای کاتالیستی اشاره کرد. یکی از کاربردهای صنعتی راکتورهای کاتالیستی بستر سیال تولید انیدرید مالئیک از طریق اکسیداسیون هیدروکربنهای C_4 در مجاورت کاتالیزور VPO است. انیدرید مالئیک یکی از مواد مهم میانی صنایع شیمیائی بوده که به طور وسیعی در ساخت آلکید رزینها، فایبرگلاس، پلاستیکهای تقویت شده و ... کاربرد دارد.

در ساخت پایلوت راکتور بستر سیال به علت جلوگیری از ایجاد نواحی مرده توسط ذرات کاتالیزور و پخش خوب گاز از پخش کننده‌های منفذدار و جهت جداسازی ذرات کاتالیزور از جریان گاز خروجی از راکتور از سیکلونهای با راندمان جداسازی بالا استفاده شده است.

ستز انیدرید مالئیک از خوراک شامل ۱٪ حجمی گاز ۱-بوتن در راکتور بستر سیال در دماهای مختلف بستر کاتالیستی و در سرعتهای مختلف جریان خوراک ورودی به بستر بررسی شده است. بیشترین میزان گزینش پذیری و بهره واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک در دمای بستر حدود $390^{\circ}C$ و در سرعت خوراک ورودی حدود $U = 3U_{mf}$ ملاحظه گردید. در بهترین شرایط عملیاتی مقدار گزینش پذیری در حدود ۳۰٪ برای تولید انیدرید مالئیک به دست آمد.

مقایسه مقادیر اندازه گیری شده میزان تبدیل ۱-بوتن و گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های استفاده شده در مدل‌سازی راکتور بستر سیال نشان داد که مدل K & L و Grace نسبت به سایر مدل‌ها پیش‌بینی بهتری از عملکرد راکتور بستر سیال کاتالیستی دارند که این امر به علت استفاده از فرضیاتی است که چندان دور از واقعیت نبوده و تصویر درستی از فرایندهای فیزیکی و شیمیائی روی داده در راکتور بستر سیال کاتالیستی از خود نشان می‌دهند

تقدیر و تشکر:

با سپاس و قدردانی فراوان از جناب آقای دکتر علوی که از راهنماییهای ارزشمند و خالصانه ایشان در انجام این تحقیق بهره‌مند شدم و با تشکر از جناب آقای دکتر شاه‌حسینی که پیش‌نویس رساله را به دقت مورد بررسی قرار داده و نظرات ارزشمندی جهت تصحیح و بهبود آن ابراز داشتند. برخود لازم می‌دانم که از جناب آقای حسین فلاح که در جهت ساخت و تکمیل طرح پایلوت زحمات زیادی را متحمل شدند نیز صمیمانه تشکر نمایم.

فهرست مطالب:

فصل اول: فرایند بستر سیال و مدل‌های ریاضی آن

۱	۱-۱- مقدمه‌ای بر راکتورهای بستر سیال
۵	۲-۱- فرایند سیال سازی
۱۱	۳-۱- مدل‌های بستر سیال حبابی
۱۶	۱-۳-۱- مدل Darton
۱۹	۲-۳-۱- مدل Grace
۲۱	۳-۳-۱- مدل Werther
۲۴	۴-۳-۱- مدل Partridge & Rowe
۲۸	۵-۳-۱- مدل Kato & Wen
۳۳	۶-۳-۱- مدل Kunii & Levenspiel
۳۷	۷-۳-۱- مدل Fryer & Potter
۴۱	۸-۳-۱- مدل فیلمی
۴۳	۴-۱- تولید انیدرید مالئیک از هیدروکربنهای چهار کربنه
۴۶	۵-۱- کاتالیزورهای اکسیداسیون هیدروکربنهای چهار کربنه
۵۱	۶-۱- مکانیزم تبدیل هیدروکربنهای چهار کربنه به انیدرید مالئیک
۵۳	۷-۱- سینتیک واکنش اکسیداسیون هیدروکربنهای C_4 به انیدرید مالئیک بر روی کاتالیزور VPO
۵۳	۱-۷-۱- مدل سینتیکی Hofman et.al.
۵۶	۲-۷-۱- مدل سینتیکی Centi et.al.
۵۷	۳-۷-۱- مدل سینتیکی Brkic-Trifiro
۵۹	۴-۷-۱- مدل سینتیکی ارائه شده بر اساس کاتالیزور مورد استفاده در این تحقیق
۶۲	۸-۱- نتیجه‌گیری
	فصل دوم: توصیف طرح پایلوت راکتور بستر سیال و سایر تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده
۶۳	۱-۲- مقدمه

۶۳	۲-۲- تجهیزات مورد استفاده در ساخت کاتالیزور
۶۶	۲-۳- پیلوت راکتور بستر ثابت (Fixed Bed)
۶۹	۲-۴- دستگاه آنالیز خوراک و محصول
۷۴	۲-۵- طرح پیلوت راکتور بستر سیال
۷۶	۲-۵-۱- توصیف عمومی سیستم راکتور بستر سیال
۷۷	۲-۵-۲- توصیف سیستم اندازه‌گیری و تنظیم دبی و فشار گازها
۷۹	۲-۵-۳- پیش‌گرمکن هوا و هیدروکربن
۸۴	۲-۵-۴- بخش پخش کننده بستر سیال
۸۷	۲-۵-۵- راکتور بستر سیال
۹۰	۲-۵-۶- طراحی سیکلونها
۹۶	۲-۶- نتیجه‌گیری
فصل سوم : ساخت کاتالیزور VPO و بررسی سنتز تولید انیدرید مالئیک در راکتورهای بستر ثابت و بستر سیال	
۹۸	۳-۱- مقدمه
۹۹	۳-۲- ساخت کاتالیزور
۱۰۳	۳-۳- تست کاتالیزورهای ساخته شده با استفاده از راکتور بستر ثابت
۱۱۲	۳-۴- راه اندازه‌گیری پیلوت راکتور بستر سیال و رفع معایب آن
۱۱۷	۳-۵- اندازه‌گیری میزان سرعت حداقل سیالیت ذرات کاتالیزور در راکتور بستر سیال
۱۱۹	۳-۶- کلسینه و احیاء کردن کاتالیزور VPO پایه‌دار در راکتور بستر سیال
۱۱۹	۳-۷- بررسی سنتز انیدرید مالئیک از گاز ۱-بوتن در پیلوت راکتور بستر سیال
۱۲۵	۳-۸- نتیجه‌گیری
فصل چهارم: مقایسه نتایج و ارزیابی مدلها	
۱۲۷	۴-۱- مقدمه
۱۲۷	۴-۲- مقایسه عملکرد راکتور بستر ثابت و بستر سیال
۱۳۰	۴-۳- مقایسه نتایج تجربی و نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل‌های راکتور بستر سیال
۱۴۱	۴-۴- نتیجه‌گیری

فصل پنجم: نتیجه گیری کلی و پیشنهادات

- ۱-۵- نتیجه گیری کلی ۱۴۳
- ۲-۵- پیشنهادات ۱۴۶
- فهرست منابع ۱۴۸

پیوست A: نحوه مدل سازی راکتور بستر سیال ساخته شده بر اساس تعدادی از مدل های معرفی شده

- A۱-۱- مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل Darton A۱
- A۵-۲- مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل Grace A۵
- A۷-۳- مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل Werther A۷
- A۱۰-۴- مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل P & R A۱۰
- A۱۱-۵- مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل K & L A۱۱
- A۱۴-۶- مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل F & P A۱۴

پیوست B: برنامه های کامپیوتری مربوط به مدل سازی راکتور بستر سیال ساخته شده

- B۱-۱- برنامه کامپیوتری مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل Darton B۱
- B۴-۱-۲- برنامه کامپیوتری مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل Grace B۴
- B۸-۲-۲- برنامه کامپیوتری تابع مدل Grace با نام func B۸
- B۹-۱-۳- برنامه کامپیوتری مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل Werther B۹
- B۱۲-۲-۳- برنامه کامپیوتری تابع مدل Werther با نام werth B۱۲
- B۱۲-۱-۴- برنامه کامپیوتری مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل P & R B۱۲
- B۱۷-۲-۴- برنامه کامپیوتری تابع مدل P & R با نام rowe B۱۷
- B۱۸-۱-۵- برنامه کامپیوتری مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل K & L B۱۸
- B۲۱-۲-۵- برنامه کامپیوتری تابع مدل K & L با نام kunii B۲۱
- B۲۱-۶- برنامه کامپیوتری مدل سازی راکتور بستر سیال بر اساس مدل F & P B۲۱

فهرست اشکال:

- شکل ۱-۱: طرح UOP از واحد کراکینگ کاتالیستی به روش بستر سیال (FCC) ۲
- شکل ۱-۲: مثالهایی از رفتار سیال گونه بستر سیال نسبت به یک بستر ثابت ۷
- شکل ۱-۳: انواع تماس ذرات جامد با یک سیال در داخل بستر سیال ۹
- شکل ۱-۴: بسترهای سیال گردشی ۹
- شکل ۱-۵: گروه بندی ذرات جامد بر اساس تقسیم بندی Geldart ۱۰
- شکل ۱-۶: شمای عمومی از تئوری دو فازه ۱۲
- شکل ۱-۷: دیاگرامهای شماتیک فازهای انتخاب شده در مدل‌های راکتور بستر سیال ۱۳
- شکل ۱-۸: شمائی از مدل Darton در یک راکتور بستر سیال ۱۸
- شکل ۱-۹: دیاگرام شماتیک از شدت جریانهای گاز و میزان غلظتها در هر مرحله مدل Partridge&Rowe ۲۶
- شکل ۱-۱۰: فلوجارت محاسبات کامپیوتری بر اساس مدل Kato & Wen ۳۳
- شکل ۱-۱۱: دیاگرام شماتیک مدل K-L برای یک بستر حبابی ۳۴
- شکل ۱-۱۲: شمای عمومی مدل Fryer & Potter در یک راکتور بستر سیال حبابی ۳۸
- شکل ۱-۱۳: شمائی از مدل فیلمی راکتور بستر سیال ۴۱
- شکل ۱-۱۴: تولید انیدرید مالئیک از اکسیداسیون نرمال بوتن‌ها در راکتور بستر سیال بر اساس فرایند Mitsubishi ۴۶
- شکل ۱-۱۵: شمائی از ذرات ریز کاتالیزور VPO تهیه شده با مقاومت فرسایشی بالا ۵۱
- شکل ۲-۱: شمائی از دستگاه رفلاکس کردن پیش کاتالیست ۶۴
- شکل ۲-۲: شمائی از دستگاه تبخیر کننده دوار ۶۵
- شکل ۲-۳: دستگاه قرص ساز فشاری ۶۶
- شکل ۲-۴: شمای کلی واحد آزمایشگاهی راکتور بستر ثابت ۶۷
- شکل ۲-۵: نقشه راکتور بستر ثابت ۶۸
- شکل ۲-۶: شمای کلی سیستم گاز کروماتوگراف مورد استفاده ۷۱

- ۷۲ شکل ۷-۲: شمای شیر تزریق در دو حالت نمونه‌گیری و تزریق
- ۷۴ شکل ۸-۲: طرح ساده‌ای از آشکارساز یونیزاسیون شعله (FID)
- ۷۵ شکل ۹-۲: شکل شماتیک سیستم راکتور بستر سیال
- ۷۷ شکل ۱۰-۲: تصویری از رگلاتور فشار هوا و تله آبگیری آن
- ۸۱ شکل ۱۱-۲: شمائی از محفظه هوا و پیش‌گرمکن آن
- ۸۳ شکل ۱۲-۲: شمائی از پیش‌گرمکن هیدروکربن
- ۸۴ شکل ۱۳-۲: شمائی از پخش‌کننده بستر سیال
- ۸۸ شکل ۱۴-۲: شمائی از راکتور بستر سیال و ناحیه رهائی آن
- ۹۰ شکل ۱۵-۲: منحنی تغییرات افت فشار بستر ثابت و بستر سیال با سرعت خوراک ورودی
- ۹۱ شکل ۱۶-۲: شمائی از یک سیکلون جریان معکوس
- ۹۴ شکل ۱۷-۲: نمائی از پارامتر TDH در بسترهای سیال
- ۱۰۳ شکل ۱-۳: نمودار میله‌ای توزیع اندازه ذرات کاتالیزور با پایه
- ۱۰۶ شکل ۲-۳: منحنی کالیبراسیون ماده انیدرید مالئیک در دستگاه گازکروماتوگراف
- ۱۰۷ شکل ۳-۳: منحنی ثبت شده مربوط به خوراک تزریق شده ۱٪ حجمی ۱-بوتن در هوا
- ۱۰۸ شکل ۴-۳: نمونه‌ای از منحنی ثبت شده مربوط به محصول خروجی از راکتور
- شکل ۵-۳: منحنی مربوط به تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن با زمان اقامت خوراک در راکتور بستر ثابت بر اساس کاتالیزور VPO پایه‌دار در دمای ۳۲۰°C
- ۱۰۸
- شکل ۶-۳: منحنی مربوط به تغییرات میزان گرینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک با زمان اقامت خوراک در راکتور بستر ثابت بر اساس کاتالیزور VPO پایه‌دار در دمای ۳۲۰°C
- ۱۰۹
- شکل ۷-۳: منحنی مربوط به تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن با زمان اقامت خوراک در راکتور بستر ثابت بر اساس کاتالیزور VPO پایه‌دار در دمای ۳۵۰°C
- ۱۰۹
- شکل ۸-۳: منحنی مربوط به تغییرات گرینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک با زمان اقامت خوراک در راکتور بستر ثابت بر اساس کاتالیزور VPO پایه‌دار در دمای ۳۵۰°C
- ۱۱۰
- شکل ۹-۳: منحنی مربوط به تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن با دمای راکتور بستر ثابت بر اساس کاتالیزور بدون پایه ساخته شده در محیط آبی
- ۱۱۱

- شکل ۳-۱۰: منحنی مربوط به تغییرات میزان گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک با دمای راکتور بستر ثابت بر اساس کاتالیزور بدون پایه ساخته شده در محیط آبی ۱۱۱
- شکل ۳-۱۱: (a) طرح ساده‌ای از المنت استفاده شده بر روی مسیر نمونه‌گیری محصول راکتور (b) نمایی از نحوه پیچیدن المنت به دور لوله نمونه‌گیری محصول راکتور ۱۱۴
- شکل ۳-۱۲: تصویری از نمای روبروی پایلوت راکتور بستر سیال ساخته شده ۱۱۵
- شکل ۳-۱۳: تصویری از نمای پشت راکتور بستر سیال ساخته شده و دستگاه آنالیز ۱۱۶
- شکل ۳-۱۴: منحنی تغییرات افت فشار بستر کاتالیزوری با افزایش و کاهش سرعت هوای ورودی ۱۱۸
- شکل ۳-۱۵: دیاگرام مربوط به تعیین رژیم سیالیت بستر سیال در سیستم تماسی گاز-جامد ۱۲۰
- شکل ۳-۱۶: منحنی تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن بر حسب دمای راکتور بستر سیال در سرعت‌های گاز ۱۲۲
- $$U = 3.3U_{mf}, U = 5U_{mf} \text{ و } U = 7U_{mf}$$
- شکل ۳-۱۷: منحنی تغییرات میزان گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر حسب دمای راکتور بستر سیال در سرعت‌های ۱۲۲
- $$U = 3.3U_{mf}, U = 5U_{mf} \text{ و } U = 7U_{mf}$$
- شکل ۳-۱۸: منحنی تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن بر حسب سرعت خوراک گازی ورودی به بستر سیال در دماهای مختلف ۱۲۳
- شکل ۳-۱۹: منحنی تغییرات میزان گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر حسب سرعت خوراک ورودی به راکتور بستر سیال در دماهای مختلف ۱۲۳
- شکل ۳-۲۰: منحنی تغییرات میزان گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر حسب میزان تبدیل ۱-بوتن در راکتور بستر سیال در سرعت‌های ۱۲۴
- $$U = 3.3U_{mf}, U = 5U_{mf} \text{ و } U = 7U_{mf}$$
- شکل ۳-۲۱: منحنی تغییرات میزان بهره واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر حسب دمای راکتور بستر سیال در سرعت‌های ۱۲۴
- $$U = 3.3U_{mf}, U = 5U_{mf} \text{ و } U = 7U_{mf}$$
- شکل ۴-۱: مقایسه نتایج مربوط به تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن بر حسب دما در راکتورهای بستر ثابت و بستر سیال ۱۲۷
- شکل ۴-۲: مقایسه نتایج مربوط به تغییرات میزان گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر حسب دما در راکتورهای بستر ثابت و بستر سیال ۱۲۸

شکل ۴-۳: مقایسه نتایج تجربی تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن بر حسب دمای بستر سیال کاتالیستی با

نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک ورودی $U = 3.3U_{mf}$ ۱۳۱

شکل ۴-۴: مقایسه نتایج تجربی تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن بر حسب دمای بستر سیال کاتالیستی با

نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک ورودی $U = 5U_{mf}$ ۱۳۲

شکل ۴-۵: مقایسه نتایج تجربی تغییرات میزان تبدیل ۱-بوتن بر حسب دمای بستر سیال کاتالیستی با

نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک ورودی $U = 7U_{mf}$ ۱۳۲

شکل ۴-۶: نمودار نشان دهنده مقادیر تخمین زده شده میزان تبدیل گاز ۱-بوتن در راکتور بستر سیال

توسط مدل‌های مختلف در مقابل مقادیر تجربی در سرعت خوراک $U = 5U_{mf}$ ۱۳۳

شکل ۴-۷: مقایسه نتایج تجربی تغییرات گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر

حسب دمای بستر سیال با نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک $U = 3.3U_{mf}$ ۱۳۴

شکل ۴-۸: مقایسه نتایج تجربی تغییرات گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر

حسب دمای بستر سیال با نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک $U = 5U_{mf}$ ۱۳۵

شکل ۴-۹: مقایسه نتایج تجربی تغییرات گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر

حسب دمای بستر سیال با نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک $U = 7U_{mf}$ ۱۳۵

شکل ۴-۱۰: نمودار نشان دهنده مقادیر تخمین زده شده میزان گزینش پذیری واکنش نسبت به تولید

انیدرید مالئیک در راکتور بستر سیال توسط مدل‌های مختلف در مقابل مقادیر تجربی در سرعت

خوراک $U = 5U_{mf}$ ۱۳۶

شکل ۴-۱۱: مقایسه نتایج تجربی تغییرات میزان بهره واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر حسب

دمای بستر سیال با نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک $U = 3.3U_{mf}$ ۱۳۷

شکل ۴-۱۲: مقایسه نتایج تجربی تغییرات میزان بهره واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر حسب

دمای بستر سیال با نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک $U = 5U_{mf}$ ۱۳۸

شکل ۴-۱۳: مقایسه نتایج تجربی تغییرات میزان بهره واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک بر حسب

دمای بستر سیال با نتایج پیش‌بینی شده توسط مدلها در سرعت خوراک $U = 7U_{mf}$ ۱۳۸

شکل ۴-۱۴: نمودار نشان دهنده مقادیر تخمین زده شده میزان بهره واکنش نسبت به تولید انیدرید مالئیک در راکتور بستر سیال توسط مدل‌های مختلف در مقابل مقادیر تجربی در سرعت خوراک

۱۳۵

$$U = 5U_{mf}$$

فهرست جداول:

- جدول ۱-۱: تعدادی از کاربردهای بستر سیال به عنوان راکتورهای شیمیایی ۳
- جدول ۱-۲: ثابتهای معادله (۱-۱۰۱) و مقادیر گرمای واکنش ۵۵
- جدول ۱-۳: ثابتهای سرعت و انرژی اکتیواسیون در مدل Centi et.al. ۵۷
- جدول ۱-۴: مقادیر پارامترهای مدل Brekic-Trifiro در دمای (۳۵۰°C) ۵۹
- جدول ۱-۵: مقادیر ثابتهای سرعت محاسبه شده در دماهای مختلف بر اساس مدل سینتیکی ارائه شده برای کاتالیزور مورد استفاده (بر حسب $\frac{1}{\text{sec}}$) ۶۱
- جدول ۱-۶: مقادیر ثابتهای مربوط به معادلات سرعت مدل سینتیکی ارائه شده برای کاتالیزور مورد استفاده ۶۱
- جدول ۲-۱: مشخصات فیزیکی پرکن استوانه‌ای ۸۲
- جدول ۲-۲: مشخصات فیزیکی عایق به کار رفته ۸۲
- جدول ۲-۳: آنالیز غربالی شن مورد استفاده در پخش کننده ۸۶
- جدول ۲-۴: روشهای استاندارد برای طراحی سیکلونها ۹۲
- جدول ۳-۱: آنالیز وزنی برش C_4 واحد BBR پتروشیمی اراک ۹۸
- جدول ۳-۲: مشخصات پایه سیلیکای مورد استفاده ۱۰۰
- جدول ۳-۳: آنالیز غربالی کاتالیزور پایه‌دار ساخته شده ۱۰۲
- جدول ۳-۴: دمای قسمتهای مختلف دستگاه گازکروماتوگراف ۱۰۵
- جدول ۳-۵: شرایط عملیاتی گازهای مورد استفاده در دستگاه گازکروماتوگراف ۱۰۵
- جدول ۳-۶: تغییرات افت فشار بستر کاتالیزوری بر اساس دبی حجمی هوای ورودی به بستر ۱۱۸

نشانه‌های لاتین:

A_c : سطح مقطع اشغال شده بستر به وسیله فاز ابر

A_{cat} : سطح اشغال شده توسط حباب در مرحله n ام تعریف شده در مدل Darton

A_c : سطح مقطع اشغال شده بستر به وسیله فاز امولسیون

A_t : سطح مقطع راکتور بستر سیال

A_0 : سطح پخش کننده بستر سیال به ازاء هر سوراخ موجود آن

A_T : عدد ارشمیدس

a : ارتفاع بخش ورودی سیکلون

a_b : سطح ویژه یک حباب تنها

\bar{a}_b : مقدار متوسط سطح ویژه حباب در کل بستر

a_c, a_p : پارامترهای معادله پنگ رایبسون

a_s : پارامتر تعریف شده در معادله (۲-۱۹)

a_t : پارامتر تعریف شده بر اساس معادله (۲-۴)

B : قطر لوله خروجی ذرات جامد جدا شده در سیکلون

b : پهنای قسمت ورودی سیکلون

b_c : پارامتر معادله پنگ رایبسون

C : پارامتر هندسی سیکلون

C_{A0} : غلظت ورودی واکنشگر A ورودی به بستر

C_{Ab} : غلظت واکنشگر A در فاز حباب

C_{Ae} : غلظت واکنشگر A در فاز امولسیون

C_{av} : غلظت میانگین در مدل Fryer & Potter

C_B : غلظت گاز ۱-بوتن

C_b : غلظت واکنشگر گازی در فاز حباب

C_{bH} : غلظت واکنشگر گازی فاز حباب در بالای بستر