





دانشگاه اصفهان
دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی

**مطالعه آزمایشگاهی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی حذف گوگرد از بنزین توسط قرص‌های
ژئولیت نانو حفره در یک راکتور بسته**

استادان راهنما:

دکتر فخری سیدین-آزاد

دکتر امیر رحیمی

پژوهشگر

مریم منتظرالقائم

شهریورماه ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه
اصفهان است.



دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی شیمی



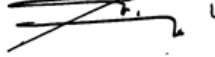

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی خانم مریم منتظرالقائم

تحت عنوان

مطالعه آزمایشگاهی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی حذف گوگرد از بنزین توسط قرص‌های زئولیت

نانو حفره در یک راکتور بسته

در تاریخ ۸۹/۶/۲۳ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه ...عالی... به تصویب نهایی رسید.

 امضا	دکتر فخری سیدین-آزاد با مرتبه‌ی علمی دانشیار	۱- استاد راهنمای پایان نامه
 امضا	دکتر امیر رحیمی با مرتبه‌ی علمی دانشیار	۲- استاد راهنمای پایان نامه
 امضا	دکتر علی نجاتی با مرتبه‌ی علمی استادیار	۳- استاد داور داخل گروه
 امضا	دکتر محمدرضا احسانی با مرتبه‌ی علمی دانشیار	۴- استاد داور خارج از گروه


امضای سرپرست گروه

شکر و قدردانی:

سپاس بیکانه و حرر که از اوبرا خواسته ام نوری بر دلم تاباند و ذره ای از علم را در وجودم شمع نماید. حمد و سپاس آن بیکران خالق متعال را که توفیق تحصیل به من عنایت فرمود. او که با افاضه فرصتی جهت تحصیل علم، جان را به نور معرفت خویش فرین نمود و در این راه بیش از هر چیز قدر و منزلت انسان را بر خویش نمایان ساخت که دانش مانیت جز ذره ای در خزانه حکمت او. در آغازین صفحات این رساله بر خود واجب می دانم که از زحمات تمامی معلمان، دبیران و اساتادی که از ابتدای تحصیل خوشه چین خرمن دانش آن بابوده ام، قدردانی کنم.

سپاس بی پایان خود را به محضر استاد کرانایه، فرزانه و ارجمندم جناب آقای دکتر امیر رحیمی ابراز می نمایم که رسم پژوهش و اندیشیدن را صبورانه به من آموختند و سخاوتمندانه اندیشه هایم را نقد و راهبیهایی دقیق خود را در امر اجرایی تحقیق حاضر مبذول داشته و همواره راهنما، حامی و مشوق این حقیر در تمامی دوران تحصیلم در دانشگاه بوده اند و حق عظیمی برگردن من دارند و در پیچ محطه ای از مساعدت فکری و راهنمایی خود دریغ ننموده و تا اتمتای راه هدایتگر اندیشه ام بوده اند.

سپاس فراوان خود را به محضر استاد بزرگوار، کرانقدر و دلوزم سرکار خانم دکتر فخری سیدین-آزاد، اسوه علم و فضیلت تقدیم می دارم که بار، بنمودهای صمیمانه و ارزنده، روشنگر راه این تحقیق بوده و خالصانه ترین قدردانی ها را از صمیم قلب نثار و وجود ارزشمند ایشان می نمایم.

سر تعظیم بر بلندی نظر و راهبیهایی شفقانه این بزرگواران و عزیزان فرود آورده از خداوند می خواهم که زندگی پرثمرشان را افزونی بخشد تا همواره روشنی بخش تشنگان علم و ادب باشند.

از واحد تحقیق و توسعه و واحد آزمایشگاه در پالایشگاه اصفهان به جهت حمایت های مالی و بهکاری صمیمانه در اجرایی این تحقیق سپاسگزارم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آهنایی که مویشان سپیدی گرفت تا سپید روی بانم،

آهنایی که توانشان رفت تا به توانایی برسم،

آهنایی که وجودشان برایم همه مهر است و مهر،

و نثار من به پایشان همه بیج است و بیج...

در برابر وجود کرایشان زانوی ادب بر زمین می نهم و بادلی ملو از عشق و محبت بر دستا نشان بوسه می زنم.

و تقدیم به یگانه برادرم

که وجود سبزش همواره امید بخش زندگی ام بوده است.

بلندای وجودشان همیشه استوار

بچ چیز تمام نئده است،

بچ پلانی به راستی پلانی نیست،

در هر سرانجام مفهوم یک آغاز نهفته است...

چکیده:

در این تحقیق، جذب ترکیب گوگردی تیوفن، از بنزین مدل هیدروسولفورزدایی شده با استفاده از زئولیت‌های تعویض یون یافته‌ی Ce-Y و Ni-Y از نظر تئوری و آزمایشگاهی بررسی شده است. بدین منظور، ابتدا زئولیت Na-Y سنتز شده و نوع زئولیت و خلوص آن از طریق آنالیز XRD شناسایی شده است. آنالیز XRF به منظور تعیین نسبت $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ انجام گرفته است. حجم حفره، سطح ویژه و تخلخل جاذب‌ها نیز توسط آنالیزهای مربوطه تعیین شده‌اند. زئولیت‌های Ni-Y و Ce-Y از طریق روش تعویض یون حالت جامد (SSIE) جهت گوگردزدایی از بنزین مدل تهیه شده‌اند. به منظور طراحی فرآیند جذب در مقیاس صنعتی، جاذب‌های پودری تهیه شده با استفاده از چسباننده به شکل قرص‌های متخلخل تبدیل گردیده‌اند. سپس جذب انتخابی تیوفن از بنزین مدل با غلظت‌های اولیه‌ی ۱۹۴، ۱۱۶ و ۷۲ ppmw^۱، گوگرد، در یک سیستم ناپیوسته در دما و فشار محیط توسط زئولیت‌های تعویض یون یافته مورد بررسی قرار گرفته است. زمان تعادل جذب هر دو جاذب زئولیتی برای بنزین مدل با غلظت اولیه ۱۹۴ ppmw و ۱۱۶ ppmw گوگرد، ۱۴ ساعت و برای بنزین مدل با غلظت اولیه ۷۲ ppmw گوگرد، ۶ ساعت بدست آمده است. به منظور ارزیابی عملکرد حذف تیوفن از سوخت مدل، جاذب‌های Ni-Y، Ce-Y و Na-Y مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مقدار درصد حذف گوگرد بدست آمده نشان می‌دهد که جاذب Ce-Y (۸۱/۷٪) جهت گوگردزدایی از بنزین نسبت به جاذب‌های Ni-Y (۷۵/۲٪) و Na-Y (۵۱/۷٪) موثرتر است.

از دیگر اهداف این تحقیق بررسی مشخصات جذب تیوفن بر روی زئولیت‌های تعویض یون یافته از نقطه نظر تعادل، سینتیک و مدل‌سازی ریاضی فرآیند جذب می‌باشد. داده‌های تعادلی جذب تیوفن بر روی زئولیت‌های Ce-Y و Ni-Y با شش ایزوترم شناخته شده شامل ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ، سیپز، تات، تمکین و جووانویچ تطبیق داده شده و پارامترهای آن‌ها نیز تعیین شده‌اند. مدل‌های سینتیک درجه اول، درجه دوم، درجه n، درجه n اصلاح شده، مدل بر اساس نیرو محرکه خطی و مدل نفوذ درون ذره به منظور ارزیابی سینتیک جذب و تعیین مکانیزم جذب گوگرد بر روی زئولیت Ce-Y به شکل پودر و قرص مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای متناظر و ضریب همبستگی هر مدل نیز بدست آمده‌اند. ضرایب انتقال جرم برای زئولیت Ce-Y در هر دو حالت پودر و قرص توسط مدل بر اساس نیرو محرکه خطی به ترتیب $k = 4 \times 10^{-11}$ m/s و $k = 3.1 \times 10^{-12} \left[\exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) + \frac{1}{t+10^{-4}} \right]$ تعیین گردیده است. همچنین، یک مدل ریاضی به منظور ارزیابی رفتار دینامیک جذب گوگرد بر روی قرص‌های جاذب در یک سیستم ناپیوسته ارائه گردیده است. معادلات مدل براساس قوانین بقا توسعه داده شده و به کمک روش عددی حل شده‌اند. مدل ریاضی، به خوبی رفتار و عملکرد سیستم مورد مطالعه را پیش‌بینی می‌نماید. با تطبیق نتایج مدل ریاضی توسعه داده شده با داده‌های آزمایشگاهی موجود پارامترهای مدل شامل ضریب انتقال جرم و ضریب نفوذ بدست آمده‌اند.

کلیدواژه‌ها: جذب سطحی، زئولیت تعویض یون شده، تیوفن، بنزین، تعادل، سینتیک، مدل‌سازی ریاضی

^۱ Parts Per Million by Weight

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

مقدمه..... ۱

فصل دوم: فرآیندهای گوگردزدایی و مروری بر مطالعات قبلی

- ۱-۲- بخش اول: فرآیندهای گوگردزدایی..... ۵
- ۱-۲-۱- فرآیند هیدرودسولفوریزاسیون (HDS)..... ۶
- ۱-۲-۲- فرآیند HDS توسط کاتالیزورهای پیشرفته..... ۷
- ۱-۲-۳- فرآیند HDS دارای راکتورهای ویژه..... ۷
- ۱-۲-۴- فرآیند HDS همراه با بهبود خواص سوخت..... ۸
- ۱-۲-۴-۱- آروماتیکی کردن (حلقوی کردن) و HDS..... ۹
- ۱-۲-۴-۲- HDS و افزایش عدد اکتان..... ۹
- ۱-۲-۵- فرآیند تقطیر کاتالیستی (CDHDS)..... ۹
- ۱-۲-۶- فرآیند آلکیلاسیون..... ۱۰
- ۱-۲-۷- فرآیند استخراج مایع-مایع..... ۱۱
- ۱-۲-۸- فرآیند اکسیداسیون انتخابی..... ۱۲
- ۱-۲-۹- فرآیند جداسازی رسوبی..... ۱۳
- ۱-۲-۱۰- فرآیند جذب سطحی..... ۱۳
- ۱-۲-۱۰-۱- گوگردزدایی جذبی..... ۱۴
- ۱-۲-۱۰-۲- فرآیند IRVAD..... ۱۵
- ۱-۲-۱۰-۳- فرآیند گوگردزدایی جذبی واکنشی (S-Zorb)..... ۱۵
- ۲-۲- بخش دوم: زئولیت‌ها..... ۱۶
- ۱-۲-۲- مقدمه..... ۱۶
- ۲-۲-۲- تاریخچه‌ی زئولیت..... ۱۸

۱۸.....	۱-۲-۲-۲- زئولیت‌های طبیعی
۱۸.....	۲-۲-۲-۲- زئولیت‌های سنتزی
۱۹.....	۳-۲-۲- سنتز زئولیت‌ها
۲۰.....	۴-۲-۲- شناسایی زئولیت‌ها
۲۰.....	۱-۴-۲-۲- پراش پرتو ایکس (XRD)
۲۱.....	۲-۴-۲-۲- طیف سنج فلورسانس اشعه ایکس (XRF)
۲۱.....	۳-۴-۲-۲- آنالیز BET
۲۲.....	۵-۲-۲- تبادل یون در زئولیت‌ها
۲۴.....	۶-۲-۲- کاربردهای زئولیت‌ها
۲۴.....	۳-۲- بخش سوم: مروری بر مطالعات آزمایشگاهی انجام شده
۳۴.....	۴-۲- بخش چهارم: مروری بر مطالعات انجام شده با موضوع مدل‌سازی

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳۸.....	۱-۳- مواد مورد استفاده جهت سنتز زئولیت
۳۹.....	۲-۳- وسایل و تجهیزات مورد استفاده جهت سنتز زئولیت
۴۰.....	۳-۳- سنتز زئولیت Na-Y
۴۰.....	۱-۳-۳- تهیه ی ژل هسته زا
۴۰.....	۲-۳-۳- تهیه ژل خوراک
۴۱.....	۳-۳-۳- تبلور هسته‌ها
۴۱.....	۴-۳- تبادل یون بر روی زئولیت
۴۲.....	۱-۴-۳- انتخاب فلز مناسب
۴۳.....	۲-۴-۳- تبدیل زئولیت Na-Y به زئولیت H-Y
۴۳.....	۳-۴-۳- تبادل کاتیون فلز بر روی زئولیت H-Y
۴۴.....	۵-۳- تهیه قرص جاذب

۴۵.....	۳-۵-۱- دستگاه قرص ساز.....
۴۵.....	۳-۶-۱- تعیین مشخصات جاذب‌های سنتز شده.....
۴۵.....	۳-۶-۱- شناسایی زئولیت Na-Y سنتز شده توسط XRD.....
۴۶.....	۳-۶-۲- تجزیه عنصری زئولیت Na-Y سنتز شده توسط XRF.....
۴۶.....	۳-۶-۳- آنالیز BET.....
۴۶.....	۳-۷- تهیه بنزین مدل.....
۴۷.....	۳-۸- بررسی عملکرد جاذب.....
۴۸.....	۳-۹- اندازه‌گیری گوگرد.....
۴۸.....	۳-۹-۱- تجهیزات.....
۴۹.....	۳-۹-۲- مواد و شناساگرها.....
۵۰.....	۳-۹-۳- روش کار.....

فصل چهارم: مدل‌سازی

۵۲.....	۴-۱- تعادل جذب.....
۵۳.....	۴-۱-۱- ایزوترم لانگمویر.....
۵۴.....	۴-۱-۲- ایزوترم فرن‌دلیچ.....
۵۴.....	۴-۱-۳- ایزوترم تات.....
۵۵.....	۴-۱-۴- ایزوترم سیبیز (لانگمویر-فرن‌دلیچ).....
۵۵.....	۴-۱-۵- ایزوترم تمکین.....
۵۶.....	۴-۱-۶- ایزوترم جووانویچ.....
۵۶.....	۴-۲- سینتیک جذب.....
۵۷.....	۴-۲-۱- مدل سینتیک جذب درجه اول.....
۵۷.....	۴-۲-۲- مدل سینتیک جذب درجه دوم.....
۵۸.....	۴-۲-۳- مدل سینتیک جذب درجه n.....
۵۸.....	۴-۲-۴- مدل سینتیک جذب درجه n اصلاح شده.....

۵۹.....	۴-۲-۵- مدل سینتیک جذب بر پایه نیروی محرکه خطی.....
۶۰.....	۴-۲-۶- مدل نفوذ درون ذره.....
۶۱.....	۴-۳-۳- مدل سازی دینامیکی جذب.....
۶۲.....	۴-۳-۱- موازنه جرم جزئی تیوفن (A) موجود در سیال اطراف قرص.....
۶۳.....	۴-۳-۲- موازنه جرم جزئی تیوفن (A) برای سیال درون استوانه جاذب.....
۶۴.....	۴-۳-۳- موازنه جرم جزئی در جامد.....
۶۴.....	۴-۳-۴- رابطه تعادلی.....
۶۵.....	۴-۴- نفوذ مولکولی (مایعات).....
۶۵.....	۴-۵- حل عددی معادلات.....
۶۶.....	۴-۵-۱- گسسته سازی معادلات.....
۶۷.....	۴-۶- بررسی موازنه جرم گوگرد.....

فصل پنجم: نتایج و بحث

۶۸.....	۵-۱- شناسایی جاذب های سنتز شده.....
۷۲.....	۵-۲- مقایسه ی جاذب ها.....
۷۳.....	۵-۳- ایزوترم های جذب.....
۷۶.....	۵-۴- سینتیک جذب.....
۷۶.....	۵-۴-۱- مدل سینتیک جذب درجه اول.....
۷۸.....	۵-۴-۲- مدل سینتیک جذب درجه دوم.....
۷۹.....	۵-۴-۳- مدل سینتیک جذب درجه n.....
۸۰.....	۵-۴-۴- مدل سینتیک جذب درجه n اصلاح شده.....
۸۱.....	۵-۴-۵- مدل سینتیک جذب بر پایه نیروی محرکه خطی.....
۸۳.....	۵-۴-۶- مدل نفوذ درون ذره.....
۸۵.....	۵-۴-۷- مقایسه ی دقت مدل های سینتیکی.....

۵-۵-۵-۵-۵ دینامیک جذب.....	۹۰
۵-۵-۱-۵-۵ پارامترهای مدل.....	۹۰
۵-۵-۲-۵-۵ نتایج حاصل از مدل سازی و شبیه سازی.....	۹۲
۵-۵-۲-۱-۵-۵ نمودارهای تغییرات غلظت و ظرفیت جذب برای جاذب Ce-Y و غلظت ورودی بنزین ۱۹۴ ppmw گوگرد.....	۹۲
۵-۵-۲-۲-۵-۵ نمودارهای تغییرات غلظت و ظرفیت جذب برای جاذب Ce-Y و غلظت ورودی بنزین ۱۱۶ ppmw گوگرد.....	۹۷
۵-۵-۲-۳-۵-۵ نمودارهای تغییرات غلظت و ظرفیت جذب برای جاذب Ce-Y و غلظت ورودی بنزین ۷۲ ppmw گوگرد.....	۱۰۱
۵-۵-۲-۴-۵-۵ نمودارهای تغییرات غلظت و ظرفیت جذب برای جاذب Ni-Y و غلظت ورودی بنزین ۱۹۴ ppmw گوگرد.....	۱۰۶
۵-۵-۲-۵-۵ نمودارهای تغییرات غلظت و ظرفیت جذب برای جاذب Ni-Y و غلظت ورودی بنزین ۱۱۶ ppmw گوگرد.....	۱۱۰
۵-۵-۲-۶-۵-۵ نمودارهای تغییرات غلظت و ظرفیت جذب برای جاذب Ni-Y و غلظت ورودی بنزین ۷۲ ppmw گوگرد.....	۱۱۴
۵-۵-۲-۷-۵-۵ ضریب انتقال جرم متغیر.....	۱۱۹

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۶-۱-۱-۶ نتیجه گیری.....	۱۲۵
۶-۲-۶-۲ پیشنهادها.....	۱۲۶
منابع و ماخذ.....	۱۲۸

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۲) فرآیندهای گوگردزدایی.....	۶
شکل (۲-۲) شماتیک فرآیند CDHDS.....	۱۰
شکل (۳-۲) واکنش تیوفن با آلکیل.....	۱۱
شکل (۴-۲) نمای ساده‌ای از گوگردزدایی استخراجی.....	۱۲
شکل (۵-۲) نمایی از فرآیند IRVAD.....	۱۵
شکل (۶-۲) نمای ساده‌ای از فرآیند گوگردزدایی جذب واکنشی.....	۱۶
شکل (۷-۲) اندازه‌ی حفرات برای چهارچوبه‌های مختلف زئولیتی.....	۱۷
شکل (۸-۲) نمایی از روش سنتز زئولیت‌ها.....	۱۹
شکل (۹-۲) نمایی از مراحل تهیه ژل و تبلور.....	۲۰
شکل (۱۰-۲) گوگردزدایی از سوخت جت واقعی بر روی زئولیت‌های تعویض یونی مختلف.....	۲۶
شکل (۱-۳) قرص‌های جاذب ساخته شده.....	۴۴
شکل (۲-۳) نمایی از دستگاه قرص ساز مورد استفاده.....	۴۵
شکل (۳-۳) سیستم ناپیوسته مورد استفاده جهت تعیین ایزوترم‌های جذب و بررسی عملکرد دینامیک جاذب.....	۴۷
شکل (۴-۳) تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمایش UOP 357-80.....	۴۹
شکل (۱-۴) سیستم استوانه‌ای جاذب.....	۶۲
شکل (۱-۵) الگوی XRD زئولیت Na-Y.....	۶۹
شکل (۲-۵) الگوهای XRD برای (a) زئولیت Na-Y، (b) زئولیت H-Y، (c) زئولیت Ni-Y، (d) زئولیت Ce-Y.....	۷۰
شکل (۳-۵) مقایسه عملکرد جاذب‌های مورد مطالعه جهت حذف تیوفن.....	۷۲
شکل (۴-۵) ایزوترم‌های تعادلی برای حذف تیوفن از بنزین.....	۷۴
شکل (۵-۵) ایزوترم‌های تعادلی برای حذف تیوفن از بنزین.....	۷۴
شکل (۶-۵) مدل سینتیک درجه اول برای جذب تیوفن بر روی جاذب Ce-Y در حالت پودر.....	۷۷
شکل (۷-۵) مدل سینتیک درجه اول برای جذب تیوفن بر روی جاذب Ce-Y در حالت قرص.....	۷۷

- شکل (۸-۵) مدل سینتیک درجه دوم برای جذب تیوفن بر روی جاذب Ce-Y در حالت پودر..... ۷۸
- شکل (۹-۵) مدل سینتیک درجه دوم برای جذب تیوفن بر روی جاذب Ce-Y در حالت قرص..... ۷۹
- شکل (۱۰-۵) مقایسه مدل جذب ارائه شده و داده‌های تجربی برای جاذب Ce-Y به فرم پودر..... ۸۱
- شکل (۱۱-۵) مقایسه مدل جذب ارائه شده و داده‌های تجربی برای جاذب Ce-Y به فرم قرص..... ۸۲
- شکل (۱۲-۵) مدل سینتیک نفوذ درون ذره برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در حالت پودر..... ۸۳
- شکل (۱۳-۵) مدل سینتیک نفوذ درون ذره برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در حالت قرص..... ۸۴
- شکل (۱۴-۵) نمودار مدل‌های سینتیک مختلف برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در حالت پودر..... ۸۸
- شکل (۱۵-۵) نمودار مدل‌های سینتیک مختلف برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در حالت قرص..... ۸۸
- شکل (۱۶-۵) خطای نسبی مدل‌های سینتیک مختلف بر حسب زمان برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در حالت پودر..... ۸۹
- شکل (۱۷-۵) خطای نسبی مدل‌های سینتیک مختلف بر حسب زمان برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در حالت قرص..... ۸۹
- شکل (۱۸-۵) تغییرات غلظت تیوفن در توده سیال نسبت به زمان..... ۹۳
- شکل (۱۹-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۹۴
- شکل (۲۰-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۹۴
- شکل (۲۱-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۹۵
- شکل (۲۲-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۹۶
- شکل (۲۳-۵) تغییرات غلظت تیوفن در توده سیال نسبت به زمان..... ۹۷
- شکل (۲۴-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۹۸
- شکل (۲۵-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۹۹
- شکل (۲۶-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۱۰۰

- شکل (۲۷-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۱۰۰
- شکل (۲۸-۵) تغییرات غلظت تیوفن در توده سیال نسبت به زمان..... ۱۰۱
- شکل (۲۹-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۱۰۲
- شکل (۳۰-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۱۰۳
- شکل (۳۱-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۱۰۴
- شکل (۳۲-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۱۰۴
- شکل (۳۳-۵) رابطه بین ضریب نفوذ و غلظت برای جاذب Ce-Y..... ۱۰۵
- شکل (۳۴-۵) تغییرات غلظت تیوفن در توده سیال نسبت به زمان..... ۱۰۶
- شکل (۳۵-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۱۰۷
- شکل (۳۶-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۱۰۸
- شکل (۳۷-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۱۰۹
- شکل (۳۸-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۱۰۹
- شکل (۳۹-۵) تغییرات غلظت تیوفن در توده سیال نسبت به زمان..... ۱۱۱
- شکل (۴۰-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۱۱۲
- شکل (۴۱-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۱۱۲
- شکل (۴۲-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف..... ۱۱۳
- شکل (۴۳-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی..... ۱۱۴
- شکل (۴۴-۵) تغییرات غلظت تیوفن در توده سیال نسبت به زمان..... ۱۱۵

شکل (۴۵-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف.....	۱۱۶
شکل (۴۶-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی.....	۱۱۶
شکل (۴۷-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف.....	۱۱۷
شکل (۴۸-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی.....	۱۱۸
شکل (۴۹-۵) رابطه بین ضریب نفوذ و غلظت برای جاذب Ni-Y.....	۱۱۹
شکل (۵۰-۵) تغییرات غلظت تیوفن در توده سیال نسبت به زمان.....	۱۲۰
شکل (۵۱-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف.....	۱۲۱
شکل (۵۲-۵) تغییرات غلظت گوگرد در فاز سیال موجود در حفره‌های جاذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی.....	۱۲۱
شکل (۵۳-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به شعاع در زمان‌های مختلف.....	۱۲۲
شکل (۵۴-۵) تغییرات ظرفیت جذب نسبت به زمان در نقاط مختلف شعاعی.....	۱۲۳

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۳) مواد مورد استفاده.....	۳۹
جدول (۲-۳) کاتیون‌های مناسب جهت تشکیل پیوند π با ترکیبات تیوفنی.....	۴۲
جدول (۳-۳) ظرفیت‌های پیشنهادی جهت انجام آزمایش.....	۵۰
جدول (۱-۵) نتایج نیمه کمی آنالیز XRF زئولیت Na-Y.....	۷۰
جدول (۲-۵) سطح ویژه BET، حجم حفره و تخلخل برای جاذب‌های سنتز شده به شکل پودر و قرص.....	۷۱
جدول (۳-۵) دانسیته و تخلخل برای جاذب‌های سنتز شده.....	۷۱
جدول (۴-۵) پارامترها و ضرایب همبستگی مدل‌های جذب ارائه شده برای جاذب‌های Ce-Y و Ni-Y.....	۷۵
جدول (۵-۵) ثوابت مدل سینتیک درجه اول و درجه دوم برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در حالت قرص و پودر.....	۷۹
جدول (۶-۵) ثوابت مدل سینتیک درجه n و درجه n اصلاح شده برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در دو حالت پودر و قرص.....	۸۰
جدول (۷-۵) پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی.....	۸۳
جدول (۸-۵) ثوابت مدل سینتیک نفوذ درون ذره برای جذب تیوفن بر روی زئولیت Ce-Y در هر دو حالت پودر و قرص جاذب.....	۸۵
جدول (۹-۵) مقادیر تجربی و محاسبه شده q_t و خطای نسبی برای مدل‌های سینتیکی مختلف برای زئولیت Ce-Y در حالت پودر.....	۸۶
جدول (۱۰-۵) مقادیر تجربی و محاسبه شده q_t و خطای نسبی برای مدل‌های سینتیکی مختلف برای زئولیت Ce-Y در حالت قرص.....	۸۷
جدول (۱۱-۵) پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه ضریب نفوذ مولکولی.....	۹۱
جدول (۱۲-۵) پارامترها و ثوابت مورد نیاز در شبیه‌سازی.....	۹۱
جدول (۱۳-۵) ضریب نفوذ و ضریب انتقال جرم برای جاذب Ce-Y.....	۱۰۵
جدول (۱۴-۵) ضریب نفوذ و ضریب انتقال جرم برای جاذب Ni-Y.....	۱۱۸
جدول (۱۵-۵) ضریب نفوذ و ضریب انتقال جرم برای جاذب Ce-Y.....	۱۲۰

کوتاه نوشتها :

a	m^2/g	مساحت سطح ویژه
B	mg/g	ثابت ایزوترم تمکین
C	mg/g	ثابت مدل سینتیک نفوذ درون ذره
C_0	ppmw	غلظت اولیه گوگرد در محلول
C^*	ppmw	غلظت تعادلی گوگرد در فاز سیال
C_A	ppmw	غلظت گوگرد در سیال درون حفره‌های جاذب
C_A^b	ppmw	غلظت گوگرد در فاز سیال
C_b	ppmw	غلظت گوگرد در توده سیال
C_e	ppmw	غلظت تعادلی گوگرد در محلول
C_{in}^b	ppmw	غلظت اولیه گوگرد در محلول
D_A	m^2/s	ضریب نفوذ تیوفن
D_{AB}	m^2/s	ضریب نفوذ A در یک محلول بسیار رقیق از آن در حلال
G_0	g.m/mg.s	ثابت ضریب انتقال جرم
k	mg sol/g ads	ثابت ایزوترم فرنلیچ
K	m/s	ضریب انتقال جرم
k_1	min^{-1}	ثابت سرعت مدل سینتیک جذب درجه اول

k_2	g/mg.min	ثابت سرعت مدل سینتک جذب درجه دوم
k_{ad}	$\text{min}^{-1}(\text{mg/g})^{1-n}$	ثابت سرعت مدل سینتک جذب درجه n
k_d	$\text{mg.min}^{0.5}/\text{g}$	ثابت مدل سینتیک نفوذ درون ذره
k_m	$\text{min}^{-1}(\text{mg/g})^{1-n}$	ثابت سرعت مدل سینتک جذب درجه n اصلاح شده
L	m	ارتفاع ستون جاذب
M_A	kg/kgmol	جرم مولکولی تیوفن
m_0	g	مقدار گوگرد اولیه موجود در بنزین
m_b	g	مقدار گوگرد موجود در توده بنزین بعد از جذب
MB	kg/kgmol	جرم مولکولی حلال
m_p	g	جرم جاذب
n	-	ثابت ایزوترم فرندلیچ
q	mg/g	غلظت گوگرد در فاز جامد
q_e	mg/g	ظرفیت جذب تعادلی
q_m	mg/g	ثابت ایزوترم لانگمویر
q_t	mg/g	ظرفیت جذب لحظه‌ای
R	m	شعاع قرص
t	-	ثابت ایزوترم تات
T	K	درجه حرارت