



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc"
مهندسی شیمی – طراحی فرآیند

عنوان:

**مدلسازی استخراج از دانه های گیاهی با
استفاده از سیال فوق بحرانی دی اکسید کربن**

استاد راهنما:

استاد مشاور:

نگارش:

فهرست مطالب

| عنوان مطالب | شماره صفحه |
|--|------------|
| چکیده | ۱ |
| مقدمه | ۲ |
| روش کار و تحقیق..... | ۴ |
| فصل اول : دانه های روغنی گیاهی و سیالات فوق بحرانی | ۵ |
| ۱-۱- هدف | ۶ |
| ۲-۱- منابع روغنهای گیاهی شناخته شده | ۶ |
| ۱-۲-۱- روغن دانه آفتابگردان | ۷ |
| ۲-۲-۱- روغن سویا..... | ۱۲ |
| ۳-۲-۱- روغن بذرچای | ۱۳ |
| ۴-۲-۱- روغن گلرنگ | ۱۵ |
| ۳-۱- مروری بر سیالات فوق بحرانی | ۱۷ |
| ۱-۳-۱- تعریف و تاریخچه | ۱۷ |
| ۲-۳-۱- خصوصیات و مزایای یک سیال فوق بحرانی | ۱۹ |
| فصل دوم : مروری بر پژوهشهای انجام شده | ۲۵ |
| ۱-۱- مدل هسته کوچک شونده | ۲۷ |
| ۲-۲- مدل سلولهای شکسته و سالم | ۳۶ |

| | |
|--|----|
| فصل سوم : مدلسازی و آزمایش استخراج روغن آفتابگردان | ۴۴ |
| ۱-۳- معادلات موازنه جرم در روش هسته کوچک شونده | ۴۵ |
| ۲-۳- پارامترهای موردنیاز برای حل معادلات موازنه جرم | ۴۸ |
| ۱-۲-۳- چگالی سیال فوق بحرانی | ۴۸ |
| ۲-۲-۳- ویسکوزیته سیال فوق بحرانی | ۵۰ |
| ۳-۲-۳- ضریب نفوذ مولکولی | ۵۲ |
| ۴-۲-۳- وزن مولکولی روغن آفتابگردان | ۵۲ |
| ۵-۲-۳- ضریب نفوذ مؤثر در بستر و جامد | ۵۳ |
| ۶-۲-۳- ضریب انتقال جرم در بستر و ذره جامد | ۵۳ |
| ۷-۲-۳- ضریب پراکندگی محوری | ۵۶ |
| ۸-۲-۳- سطح ویژه بستر و سطح ویژه دانه | ۵۷ |
| ۳-۳- روش آزمایش و فرآیند روغنکشی به کمک هگزان | ۵۹ |
| فصل چهارم : بحث و نتایج | ۶۵ |
| ۱-۴- تأثیر دما و فشار بر پارامترهای به کاررفته در موازنه جرم | ۶۶ |
| ۲-۴- تأثیر پارامترهای مختلف بر بازدهی استخراج | ۶۶ |
| الف- اثر میزان جریان حلال | ۶۶ |
| ب- اثر دما | ۶۹ |
| ج- اثر فشار | ۷۴ |
| د- اثر اندازه ذره | ۷۷ |

- ۳-۴- بررسی رفتار غلظت روغن در داخل ذره جامد و حلال ۸۰
- ۴-۴- مقایسه رفتار و میزان استخراج روغن میان دانه های استوانه ای و کروی ۸۲
- منابع..... ۸۹
- چکیده انگلیسی ۹۳

فهرست جداول

| عنوان | شماره صفحه |
|--|------------|
| جدول ۱-۱- منابع اصلی روغنهای نباتی و مقدار روغن موجود در آنها | ۶ |
| جدول ۱-۲- مشخصات اسیدهای مهم تشکیل دهنده روغن آفتابگردان | ۱۱ |
| جدول ۱-۳- ترکیب درصد اسیدهای چرب روغن آفتابگردان | ۱۱ |
| جدول ۱-۴- ویژگیهای فیزیکی- شیمیایی روغن آفتابگردان | ۱۲ |
| جدول ۱-۵- ترکیب درصد مواد تشکیل دهنده دانه سویا خشک | ۱۲ |
| جدول ۱-۶- ترکیب درصد اسیدهای چرب روغن سویا | ۱۳ |
| جدول ۱-۷- خصوصیات انواع روغن بذرچای | ۱۴ |
| جدول ۱-۸- ویژگیهای فیزیکی- شیمیایی روغن گلرنگ | ۱۵ |
| جدول ۱-۹- ترکیب درصد اسیدهای چرب روغن گلرنگ | ۱۶ |
| جدول ۱-۱۰- مقایسه خصوصیات گاز و مایع با سیالات فوق بحرانی | ۱۹ |
| جدول ۱-۱۱- برخی از خواص فیزیکی دی اکسیدکربن | ۲۴ |
| جدول ۱-۱۲- قابلیت حلالیت دی اکسیدکربن در آب در فشار جزئی ۱ atm | ۲۴ |
| جدول ۲-۱- مقایسه بازدهی نتایج آزمایشگاهی و مدلسازی برای گیاهان گوناگون با استفاده از روش SCM | ۳۰ |
| جدول ۲-۲- غلظت تعادلی روغن دردانه های مختلف گیاهی در SC-CO ₂ | ۴۳ |
| جدول ۲-۳- مقایسه مقادیر بدست آمده از مدلسازی با مقادیر پیشنهادشده توسط هرگروه از محققان | ۴۳ |

- جدول ۳-۱- مقایسه مقادیر چگالی بدست آمده توسط Salgin با داده های محاسبه شده در این تحقیق ۵۰
- جدول ۳-۲- مقایسه مقادیر ویسکوزیته محاسبه شده با داده های بدست آمده توسط Roy et.al ۵۱
- جدول ۳-۳- درصد جرمی متوسط و وزن مولکولی اسیدهای چرب موجود در روغن آفتابگردان ۵۳
- جدول ۳-۴- مقادیر پیشنهادشده برای ضریب A ۵۵
- جدول ۳-۵- پارامترهای موردنیاز به منظور مدلسازی در دماها و فشارهای مختلف برای دانه استوانه ای ۵۸
- جدول ۳-۶- مشخصات فیزیکی هگزان ۶۰
- جدول ۳-۷- داده های آزمایشگاهی استخراج روغن به روش سوکسله برای دانه های به قطر ۰/۱-۲/۱۸ میلیمتر. ۶۲
- جدول ۴-۱- تغییرات بازدهی استخراج روغن براساس تغییرات میزان جریان حلال ۶۸
- جدول ۴-۲- تغییرات بازدهی مطلوب در ۸۰ دقیقه پس از شروع استخراج با تغییرات میزان جریان حلال ۶۹
- جدول ۴-۳- تغییرات بازدهی مطلوب در ۸۰ دقیقه پس از شروع استخراج با تغییرات دما و فشار ۷۷
- جدول ۴-۴- تغییرات بازدهی استخراج روغن براساس تغییرات اندازه ذره ۷۹
- جدول ۴-۵- تغییرات بازدهی مطلوب در ۸۰ دقیقه پس از شروع استخراج با تغییرات اندازه دانه ۷۹
- جدول ۴-۶- میزان بازدهی استخراج روغن با تغییرات جریان حلال در دانه های کروی ۸۳
- جدول ۴-۷- پارامترهای موردنیاز به منظور مدلسازی در دماها و فشارهای مختلف برای دانه کروی ۸۴
- جدول ۴-۸- پارامترهای موردنیاز به منظور مدلسازی در دماها و فشارهای مختلف برای دانه استوانه ای ۸۵
- جدول ۴-۹- مقادیر بازدهی استخراج روغن از دانه کروی با تغییر اندازه ذره جامد در ۳۱۳ K، ۴۰MPa ۸۶

فهرست اشکال

| عنوان | شماره صفحه |
|--|------------|
| شکل ۱-۱- دیاگرام فازی و نقطه سه گانه دی اکسید کربن | ۲۳ |
| شکل ۱-۳- شمایی از دستگاه استخراج به روش سوکسله | ۶۳ |
| شکل ۲-۳- درصد استخراج روغن با هگزان بر حسب زمان | ۶۳ |
| شکل ۳-۳- بازدهی استخراج به روش سوکسله بر حسب زمان | ۶۳ |
| شکل ۴-۳- لگاریتم بازدهی استخراج به روش سوکسله بر حسب لگاریتم زمان | ۶۳ |
| شکل ۵-۳- میزان روغن استخراج شده به روش سوکسله بر حسب زمان | ۶۴ |
| شکل ۱-۴- اثر میزان جریان حلال بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان | ۶۸ |
| شکل ۲-۴- اثر میزان جریان حلال بر میزان بازدهی مطلوب روغن آفتابگردان | ۶۸ |
| شکل ۳-۴- اثر دما بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۲۰ مگا پاسکال | ۷۰ |
| شکل ۴-۴- اثر دما بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۳۰ مگا پاسکال | ۷۰ |
| شکل ۵-۴- اثر دما بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۴۰ مگا پاسکال | ۷۰ |
| شکل ۶-۴- اثر دما بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۵۰ مگا پاسکال | ۷۱ |
| شکل ۷-۴- اثر دما بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۶۰ مگا پاسکال | ۷۱ |
| شکل ۸-۴- اثر دما بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۲۰ مگاپاسکال | ۷۲ |
| شکل ۹-۴- اثر دما بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۳۰ مگاپاسکال | ۷۲ |
| شکل ۱۰-۴- اثر دما بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۴۰ مگاپاسکال | ۷۲ |

- شکل ۴-۱۱- اثر دما بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۵۰ مگاپاسکال ۷۳
- شکل ۴-۱۲- اثر دما بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان در فشار ۶۰ مگاپاسکال ۷۳
- شکل ۴-۱۳- اثر فشار بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان در دمای ۳۱۳ کلوین ۷۵
- شکل ۴-۱۴- اثر فشار بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان در دمای ۳۳۳ کلوین ۷۵
- شکل ۴-۱۵- اثر فشار بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان در دمای ۳۵۳ کلوین ۷۵
- شکل ۴-۱۶- اثر فشار بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان در دمای ۳۱۳ کلوین ۷۶
- شکل ۴-۱۷- اثر فشار بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان در دمای ۳۳۳ کلوین ۷۶
- شکل ۴-۱۸- اثر فشار بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان در دمای ۳۵۳ کلوین ۷۷
- شکل ۴-۱۹- اثر اندازه ذرات بر میزان بازدهی مدل استخراج روغن آفتابگردان ۷۸
- شکل ۴-۲۰- اثر اندازه ذرات بر میزان بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان ۷۹
- شکل ۴-۲۱- تغییرات غلظت روغن داخل ذره جامد در لایه های مختلف بستر ۸۰
- شکل ۴-۲۲- تغییرات غلظت حلال در لایه های مختلف بستر ۸۱
- شکل ۴-۲۳- بازدهی استخراج روغن آفتابگردان از دانه های کروی شکل با تغییر میزان جریان حلال ۸۲
- شکل ۴-۲۴- بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان از دانه های کروی شکل با تغییر میزان جریان حلال ۸۳
- شکل ۴-۲۵- بازدهی استخراج روغن آفتابگردان از دانه های کروی شکل با تغییر اندازه ذره جامد ۸۶
- شکل ۴-۲۶- بازدهی مطلوب استخراج روغن آفتابگردان از دانه های کروی شکل با تغییر اندازه ذره جامد ۸۶

چکیده

آفتابگردان (*Helianthus annuus*) بعد از سویا دومین دانه روغنی یکساله است که به منظور استخراج روغن آن در دنیا کشت می شود. روغن آفتابگردان (sunflower oil) یک روغن غیر فرار است که به دلیل داشتن مقادیر زیاد اسیدهای چرب غیراشباع در دمای اتاق مایع بوده و در غذا به عنوان روغن سرخ کردنی و در فرمولاسیون مواد آرایشی-بهداشتی به عنوان یک نرم کننده استفاده می شود.

در این تحقیق استخراج روغن از دانه های آفتابگردان با استفاده از فرآیند استخراج به کمک سیال فوق بحرانی با روش هسته کوچک شونده (shrinking core) در یک ستون استخراج پر شده در دماهای ۳۱۳، ۳۳۳ و ۳۵۳ کلوین و فشارهای ۲۰ تا ۶۰ مگاپاسکال با قطر ذره ۲/۱۸-۰/۲۳ میلیمتر و با میزان جریان ۱-۶ cm³/min مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین اثر پارامترهای عملیاتی مانند دما، فشار، قطر ذرات و میزان جریان حلال بر راندمان استخراج بررسی گردیده و بوسیله روابط گوناگون پارامترهای موجود در مدل مانند ضریب نفوذ موثر در ذرات D_{ep} ، ضریب انتقال جرم در بستر و ضریب انتقال جرم در ذره، k_f و k'_f ، ضریب پراکندگی محوری D_L ، محاسبه شده است. نتایج بدست آمده بیانگر این موضوع می باشد که ضریب انتقال جرم در بستر در دما و فشارهای مختلف در فاصله $۸/۸۶ \times 10^{-۶}$ - $۳/۹۳ \times 10^{-۶}$ m/s قرار دارد که این مقادیر در محدوده نتایج بدست آمده توسط بیشتر محققان می باشد. همچنین میزان بازدهی استخراج به کمک روش سوکسله در پایان زمان فرآیند (۲۰۰ دقیقه) ۹۲/۳ درصد و میزان بازدهی در مدلسازی توسط روش فوق بحرانی در مدت زمان مشابه بین ۸۹/۹۶ تا ۹۰/۸۷ درصد بدست آمده است به طوریکه تغییرات دما و فشار در انتهای استخراج تاثیری زیادی بر روند افزایش بازدهی ندارد. میزان بازدهی مطلوب که نتیجه مقادیر مدلسازی و آزمایش است نیز در فاصله ۹۳/۴-۹۲/۵ درصد می باشد به طوریکه خلوص محصول با استفاده از این روش بسیار بالاتر از روش سوکسله است.