

۴

۸۷/۱۰/۲۵
۸۷/۱۰/۲۵



۱۰۸۵۹۲

۱۷/۱/۱۰۳۱۵۹
۱۷/۱/۲۵



دانشگاه تهران و پژوهشگاه
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی شیمی (فرآیندهای جداسازی)

عنوان:

شبیه سازی فرآیند تقطیر واکنشی سنتز ETBE

استاد راهنما:

دکتر مرتضی زیودار

استاد مشاور:

دکتر رهبر رحیمی

تحقیق و نگارش:

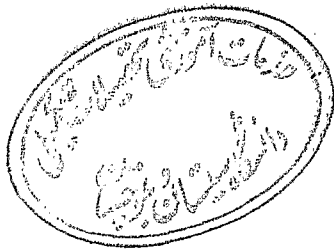
میثم عسکرپور کبیر

موسسه اطلاعات و ارتباطات
شبهه مرکزی

شهریور ۱۳۸۷

۱۳۸۷ / ۱۰ / ۲۱

۱۰۸۵۹۲



بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان شبیه سازی فرآیند تقطیر واکنشی سنتز ETBE قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی توسط دانشجو میثم عسکرپور کبیر تحت راهنمایی استاد پایان نامه مرتضی زیودار تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

میثم عسکرپور کبیر

این پایان نامه ۹ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۱۳۷۸/۷/۲۶ توسط هیئت داوران بررسی و درجه عالی به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما: دکتر مرتضی زیودار		
استاد مشاور: دکتر رهبر رحیمی		
داور ۱: دکتر حسین آتشی		
داور ۲: دکتر مسعود حق شناس فرد		
نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر قدرت الله رودینی		



تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب میثم عسکرپور کبیر تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

میثم عسکرپور کبیر

امضاء

تقدیم به روح بلند استادم

دکتر محمد خشنودی، که همواره برای ساختن دنیایی بهتر تلاش کرد.

تقدیم به پدرم

که هرچه دارم مرهون فداکاریهایش است.

تقدیم به مادرم

که معنای تمام محبت است.

تقدیم به برادرانم: محسن، مقداد و مهدی

که از صمیم قلب دوستشان دارم.

سپاسگزاری

از زحمات اساتید گرانقدرم جناب دکتر مرتضی زیودار و دکتر رهبر رحیمی که مرا در انجام این پایان نامه یاری کردند تشکر می‌کنم. همچنین از دکتر کیانوش رزاقی، مهندس رضا کولیوند، ابراهیم سمیعی پور، مهندس جواد حلوانی، مهدی اسلامخواه و سایر دوستانی که مرا در این دوره از زندگی ام یاری کردند بسیار سپاسگزارم.

چکیده:

اتیل ترشتری بوتیل اتر، یک افزودنی سوخت جدید است که دارای خاصیت ترکیب پذیری متیل ترشتری بوتیل اتر و تجدید پذیری اتانول است در حالیکه مضرات زیست محیطی متیل ترشیتری بوتیل اتر را ندارد. در سالهای اخیر توجه زیادی نسبت به اتیل ترشتری بوتیل اتر، به عنوان یک افزایش دهنده عدد اکتان شده است. سنتز اتیل ترشتری بوتیل اتر (ETBE¹) به روش تقطیر واکنشی دارای مزایای بسیاری مانند درصد تبدیل بالاتر، بازده انرژی مطلوب تر، هزینه اولیه پایین تر و... می باشد. در این پایان نامه به شبیه سازی برج تقطیر واکنشی فرآیند سنتز اتیل ترشتری بوتیل اتر پرداخته شده است. نرم افزار اصلی در این شبیه سازی Aspen Plus می باشد. اما با توجه به محدودیتهای این نرم افزار در تعریف سینتیک واکنش از یک مدل کاربر که در محیط نرم افزار Fortran کدنویسی شده است کمک گرفته شده است. برای اطمینان از صحت شبیه سازی، در ابتدا به شبیه سازی یک فرآیند مدلسازی و شبیه سازی شده پرداخته شده و پس از اطمینان از صحت نتایج، یک برج تقطیر واکنشی صنعتی شبیه سازی شده است. در شبیه سازی ابتدایی میزان خطای دمایی شبیه سازی در حدود ۲/۵ درصد ثبت شد و پس از شبیه سازی برج صنعتی و مقایسه آن در دو حالت معمولی و تقطیر واکنشی نشان داده شد که میزان تبدیل در فرآیند تقطیر واکنشی بالاتر و میزان انرژی مورد نیاز برای ریویولر بسیار کمتر می باشد.

در طی شبیه سازی فرآیند متداول سنتز ETBE مشخص شد که هر چه دمای خوراک بیشتر باشد به طول کمتری از راکتور برای رسیدن به یک میزان تبدیل معین نیاز است و همچنین ثابت شد که افزایش بیش از حد دبی خوراک باعث افزایش سرعت عبور مواد از داخل راکتور می گردد و در نتیجه زمان اقامت مخلوط واکنش کم شده و از میزان تبدیل ایزوبوتیلن می کاهد. از طرف دیگر، کاهش دبی، میزان تولید را کاهش می دهد. در نتیجه مقدار بهینه ۱۸ مترمکعب بر ساعت برای دبی خوراک مشخص گردید.

کلمات کلیدی: اتیل ترشتری بوتیل اتر - شبیه سازی - تقطیر واکنشی - نرم افزار شبیه ساز Aspen

¹ Ethyl tert-butyl ether (ETBE)

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- پیشگفتار	۲
۲-۱- تاریخچه و دلیل استفاده از افزودنی های سوخت:	۲
۳-۱- تترا اتیل سرب	۴
۴-۱- روشهای افزایش عدد اکتان بنزین بدون استفاده از تترا اتیل سرب	۵
۱-۴-۱- استفاده از فرآیندهای شیمیایی	۵
۲-۴-۱- استفاده از مواد افزودنی اکسیژن دار	۶
۵-۱- خواص شیمیایی، فیزیکی و زیست محیطی MTBE و ETBE	۷
۱-۵-۱- متیل ترشتری بوتیل اتر (MTBE):	۷
۲-۵-۱- بررسی وضعیت MTBE در ایران	۱۰
۳-۵-۱- اتیل ترشتری بوتیل اتر (ETBE)	۱۱
۶-۱- نتیجه گیری	۱۲
۲- فصل دوم: تقطیر واکنشی	۱۴
۱-۲- پیشگفتار	۱۵
۲-۲- تقطیر واکنشی و تقطیر معمولی	۱۶
۳-۲- فواید تقطیر واکنشی	۱۹
۴-۲- محدودیت ها و مشکلات تقطیر واکنشی	۲۰
۵-۲- ملاحظات طراحی عملی	۲۰

- ۲-۵-۱ - ملاحظات مربوط به نصب، نگهداری و تعویض کاتالیزور ۲۰
- ۲-۵-۲ - تماس موثر بین مایع و ذرات کاتالیزور ۲۱
- ۲-۵-۳ - تماس مناسب بین مایع- بخار در منطقه واکنشی ۲۱
- ۲-۵-۴ - افت فشار پایین در قسمت ساختاریافته واکنشی کاتالیزوری ۲۱
- ۲-۶-۱ - ملاحظات طراحی برای کاتالیست های مورد استفاده در تقطیر واکنشی ۲۱
- ۲-۶-۲ - تقطیر واکنش هتروژن در برج های تقطیر واکنشی ۲۱
- ۲-۶-۳ - سینی ها یا ناودانها برج تقطیر مربوط به نگهداشتن ذرات کاتالیست ۲۶
- ۲-۷-۱ - فرآیندهای بالقوه برای به کار گیری تقطیر واکنشی (RD) ۲۸
- ۲-۸-۱ - اتری شدن (ETBE, MTBE, TAME) ۲۹
- ۲-۹-۱ - نتیجه گیری: ۳۰
- ۳- فصل سوم: سنتز ETBE ۳۲
- ۳-۱-۱ - پیشگفتار ۳۳
- ۳-۲-۱ - واکنشهای تولید ETBE و MTBE ۳۳
- ۳-۳-۱ - واکنشهای جانبی تولید MTBE ۳۳
- ۳-۳-۱-۱ - دیمیرزاسیون و الیگومریزاسیون ایزوبوتن و بوتادین ۳۳
- ۳-۳-۲-۱ - واکنش ایزوبوتن با آب ۳۴
- ۳-۴-۱ - کاتالیزورهای مورد استفاده ۳۶
- ۳-۵-۱ - بررسی سینتیک واکنش تولید ETBE ۳۸
- ۳-۶-۱ - منابع خوراک برای تولید ETBE و MTBE در ایران ۴۵
- ۳-۷-۱ - فرآیندهای تولید ETBE و MTBE ۴۶
- ۳-۷-۱-۱ - فرآیند تولید با استفاده از کاتالیزور اسید سولفوریک ۴۶
- ۳-۷-۲-۱ - فرآیند تولید با استفاده از راکتورهای بستر ثابت ۴۸
- ۳-۷-۳-۱ - فرآیند تولید ETBE ۴۹
- ۳-۷-۴-۱ - فرآیند تولید با استفاده از تقطیر واکنشی ۵۰
- ۳-۸-۱ - مروری بر کارهای انجام شده در زمینه سنتز ETBE ۵۱

- ۹-۳- مروری بر کارهای انجام شده در زمینه شبیه سازی فرآیند تولید تقطیر واکنشی ETBE: ۵۲...
- ۱۰-۳- ترمودینامیک تولید MTBE و ETBE: ۵۵.....
- ۱۰-۳-۱- معادله حالت SRK: ۵۶.....
- ۱۰-۳-۲- مدل UNIFAC: ۵۷.....
- ۱۱-۳- جمع بندی و نتیجه گیری: ۵۸.....
- ۴- فصل چهارم: شبیه سازی فرآیند ۵۹.....
- ۱-۴- پیشگفتار: ۶۰.....
- ۲-۴- معادلات ریاضی حاکم بر راکتور: ۶۱.....
- ۲-۴-۱- موازنه جرم: ۶۱.....
- ۲-۴-۲- موازنه انرژی: ۶۲.....
- ۳-۴- معادلات ریاضی حاکم بر سیستم تقطیر واکنشی: ۶۳.....
- ۳-۴-۱- موازنه جرم: ۶۴.....
- ۳-۴-۲- روابط تعادلی بین فاز بخار و مایع و روابط مجموع: ۶۵.....
- ۳-۴-۳- موازنه انرژی: ۶۵.....
- ۴-۴- پیاده سازی مدل در Aspen Plus: ۶۵.....
- ۴-۴-۱- مدل کاربر فرترن: ۶۵.....
- ۴-۴-۲- نوشتن مدل کاربر فرترن: ۶۶.....
- ۴-۴-۳- کامپایل مدل کاربر فرترن: ۶۷.....
- ۴-۴-۴- پشتیبانی مدل کاربر فرترن در محیط Aspen Plus: ۶۷.....
- ۵-۴-۴- زیربرنامه سینتیک واکنش: ۶۸.....
- ۶-۴-۴- بلوکهای فراخوانی پارامترهای خاص در مدل کاربر واکنش: ۶۹.....
- ۷-۴-۴- زیربرنامه سینتیک برای مدل کاربر تقطیر واکنش: ۶۹.....
- ۸-۴-۴- بلوکهای متداول Aspen Plus برای دسترسی به اطلاعات مواد: ۶۹.....
- ۵-۴- شبیه سازی در محیط Aspen Plus 2004: ۷۲.....
- ۱-۵-۴- کلیات و مقدماتی در باره نرم افزار: ۷۲.....

- ۷۳-۲-۵-۴ انتخاب معادلات حالت و مدل‌های ترمودینامیکی.....
- ۷۴-۳-۵-۴ تعریف ترکیبات موجود در فرآیند.....
- ۷۴-۴-۵-۴ نحوه تعریف کردن جریان مواد، انرژی و کار.....
- ۷۵-۵-۵-۴ نحوه تعریف کردن دستگاه‌های یک فرآیند.....
- ۷۵-۶-۵-۴ شبیه سازی فرآیند تقطیر معمولی سنتز ETBE.....
- ۸۰-۷-۵-۴ شبیه سازی فرآیند سنتز ETBE به روش تقطیر واکنشی.....
- ۸۳-۵- فصل پنجم: بحث و نتایج.....
- ۸۴-۱-۵- پیشگفتار:.....
- ۸۴-۲-۵- شبیه سازی یک فرآیند برج پابلوت.....
- ۸۶-۳-۵- نتایج شبیه سازی برج پابلوت.....
- ۸۹-۴-۵- شبیه سازی برج تقطیر صنعتی:.....
- ۹۳-۵-۵- نتایج شبیه سازی فرآیند تقطیر معمولی سنتز ETBE با استفاده از داده های صنعتی.....
- ۹۴-۶-۵- پروفیل‌های دما و غلظت در طول راکتور.....
- ۹۷-۱-۶-۵- اثر تغییرات دمای خوراک بر میزان تولید ETBE.....
- ۹۸-۲-۶-۵- اثر تغییرات دبی خوراک بر میزان تولید ETBE.....
- ۹۹-۳-۶-۵- اثر تغییرات نسبت اتانول به ایزوبوتن بر میزان تولید ETBE.....
- ۱۰۰-۷-۵- نتایج شبیه سازی برج تقطیر متداول تولید ETBE.....
- ۱۰۰-۱-۷-۵- پروفیل‌های دما و غلظت در طول برج تقطیر متداول.....
- ۱۰۱-۸-۵- نتایج شبیه سازی برج تقطیر واکنشی تولید ETBE.....
- ۱۰۱-۱-۸-۵- پروفیل‌های دما، غلظت، فشار و جریان در طول برج تقطیر واکنشی.....
- ۱۰۴-۹-۵- مقایسه فرایند تقطیر واکنشی و فرایند متداول.....
- ۱۰۶-۶- فصل ششم: نتیجه گیری.....
- ۱۰۷-۱-۱-۶- جمع بندی.....
- ۱۰۸-۲-۱-۶- پیشنهادات.....

۱۰۹.....	مراجع
۱۱۱.....	پیوست ها
۱۱۲.....	پیوست (الف)- فرآیندهای بررسی شده و قابل بررسی در زمینه تقطیر واکنشی
۱۲۲.....	پیوست (ب)- لیست متغیرها و بلوک های از پیش تعریف شده در مدل کاربر فرترن
۱۳۳.....	پیوست (ج)- یک نمونه از زیر برنامه سینتیک واکنش

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان جدول
۸	جدول (۱-۱) - خواص فیزیکی و شیمیایی MTBE
۱۲	جدول (۳-۱) - خواص اکسیژنیتهها
۳۹	جدول (۱-۳) - خواص فیزیکی کاتالیزور Lewatit K2631
۴۰	جدول (۲-۳) - شرایط عملیاتی آزمایش های تعیین سینتیک ETBE
۴۱	جدول (۳-۳) - نوع معادله های تست شده برای سنتز فاز مایع ETBE
۴۲	جدول (۴-۳) - مدل های سینتیکی نوع ۵ تست شده برای سنتز فاز مایع ETBE
۵۳	جدول (۵-۳) - داده های ورودی به برج در تحقیقات Sneesby و همکارانش
۵۳	جدول (۶-۳) - داده های خروجی از برج در تحقیقات Sneesby و همکارانش
۵۴	جدول (۷-۳) - مشخصات برج استفاده شده در شبیه سازی دینامیک برج تقطیر واکنشی ETBE
۵۴	جدول (۸-۳) - داده های خروجی شبیه سازی پایا و پویای برج تقطیر واکنشی سنتز ETBE
۵۵	جدول (۹-۳) - خواص و مشخصات برج شبیه سازی شده به وسیله MATLAB
۵۷	جدول (۱۰-۳) - آژوتروپ های مهم در سیستم سنتز ETBE
۷۰	جدول (۱-۴) - لیست بلوک های متداول برای دسترسی به اطلاعات مواد
۷۶	جدول (۲-۴) - اجزاء موجود در فرآیند سنتز معمولی ETBE
۷۷	جدول (۳-۴) - مشخصات فیزیکی جریان های خنک کننده راکتورها در سنتز معمولی
۷۸	جدول (۴-۴) - مشخصات جریان مواد ورودی ۱ در تقطیر معمولی
۷۹	جدول (۵-۴) - مشخصات راکتورهای R-2201 و R-2202 در سنتز معمولی
۷۹	جدول (۶-۴) - شرایط عملیاتی برج تقطیر معمولی K-1501

- جدول (۴-۷) - خصوصیات خوراکهای ورودی به برج تقطیر واکنشی ۸۱
- جدول (۴-۸) - شرایط عملیاتی حاکم بر برج تقطیر واکنشی ۸۱
- جدول (۵-۱) - شرایط و مشخصات برج پایلوت ۸۵
- جدول (۵-۲) - مشخصات فیزیکی راکتورها ۸۹
- جدول (۵-۳) - داده های ترکیب درصد مولی خروجی از راکتورها ۹۱
- جدول (۵-۴) - داده های دمایی مربوط به راکتورها (درجه سانتیگراد) ۹۳
- جدول (۵-۵) - جزء مولی جریان خروجی پایین برج ۱۰۴
- جدول (۵-۶) - جزء مولی جریان خروجی بالای برج ۱۰۴
- جدول (۵-۷) - انرژی مورد نیاز برای ریبولر ۱۰۵
- جدول (ب-۲) - لیست بلوکهای از پیش تعریف شده در بلوکهای فراخوانی پارامترهای خاص در مدل کاربر ۱۲۷.
- جدول (ب-۳) - لیست متغیرهای از پیش تعریف شده برای مدل کاربر سینتیک واکنش برج تقطیر واکنشی ۱۳۰

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
۵	شکل (۱-۱)- پیکربندی شیمیایی تترا اتیل سرب
۸	شکل (۲-۱)- ساختار شیمیایی MTBE
۱۲	شکل (۳-۱)- پیکربندی شیمیایی اتیل ترشتری بوتیل اتر (ETBE)
۱۵	شکل (۱-۲)- بازیافت آمونیاک در فرآیند Solvay
۱۷	شکل (۲-۲)- مقایسه ساده تجهیزات فرآیند معمولی و تقطیر واکنشی
۱۸	شکل (۳-۲)- مقایسه تجهیزات تولید متیل استات با روش معمولی و تقطیر واکنشی
۱۹	شکل (۴-۲)- تصویر کلی برج تقطیر واکنشی (الف) سنتز MTBE (ب) هیدراسیون اتیلن اکساید به اتیلن گلیکول. (ج) تشکیل کیومن. (د) تولید پروپیلن اکساید.
۲۲	شکل (۵-۲)- تنظیمات مختلف tea-bag
۲۳	شکل (۶-۲)- لوله های توری سیمی حاوی کاتالیزور
۲۳	شکل (۷-۲)- کاتالیزور bales، تحت لیسانس CR&L
۲۴	شکل (۸-۲)- ساندویچهای کاتالیزور ساختاریافته
۲۵	شکل (۹-۲)- رینگ راشینگ فعالسازی کاتالیزوری
۲۶	شکل (۱۰-۲)- الف- آکنه ساختاریافته با پوشش کاتالیزوری. ب- لوله های کاتالیزور یکپارچه شیاردار
۲۷	شکل (۱۱-۲)- کاتالیست های پوشیده شده که در مسیر جریان مایع واقع شده اند
۲۷	شکل (۱۲-۲)- تماس غیر همسو کاتالیزوری بخار- مایع در برجهای سینی دار
۲۸	شکل (۱۳-۲)- لایه های آکنده متناوب و سینی های غیر واکنشی
۳۰	شکل (۱۴-۲)- نمای فرآیند تولید MTBE با تقطیر واکنش

- شکل (۱-۳) ساختار شکلی رزین تبادل یونی ۳۷
- شکل (۲-۳) ساختار شکلی رزین تبادل یونی ۳۷
- شکل (۳-۳) ساختار شماتیک دستگاه نصب شده توسط Carles Fite و همکارانش ۳۸
- شکل (۴-۳) راههای متفاوت محاسبه تغییرات انرژی آزاد استاندارد گیبس در فاز مایع ۴۴
- شکل (۵-۳) مقایسه ثابت تعادل ترمودینامیکی بدست آمده از روشهای مختلف با داده های تجربی ۴۴
- شکل (۶-۳) شمای کلی فرآیند تولید MTBE با کاتالیزور اسید سولفوریک ۴۷
- شکل (۷-۳) شمای فرآیند تولید MTBE با راکتورهای بستر ثابت ۴۹
- شکل (۸-۳) فرآیند سنتز معمولی ETBE (بدون بازیافت اتانول) ۴۹
- شکل (۹-۳) سنتز ETBE از طریق تقطیر واکنشی ۵۱
- شکل (۱-۴) امان جریان درون راکتور قالبی ۶۲
- شکل (۲-۴) - نمایی از یک مرحله تعادلی ۶۴
- شکل (۳-۴) - محیط کلی نرم افزار Aspen Plus 2004 ۷۲
- شکل (۴-۴) - پنجره انتخاب معادله حالت ۷۳
- شکل (۵-۴) - پنجره اجزاء فرآیند ۷۴
- شکل (۶-۴) - جعبه مشخصات جریان ماده ۷۵
- شکل (۷-۴) - PFD فرآیند سنتز معمولی ETBE ۷۶
- شکل (۸-۴) - PFD فرآیند سنتز ETBE به روش تقطیر واکنشی ۸۰
- شکل (۱-۵) - برج تقطیر واکنشی پایلوت شبیه سازی شده ۸۵
- شکل (۲-۵) - پروفایل دما در طول برج برای برج پایلوت ۸۷
- شکل (۴-۵) - پروفیل تغییرات دما در طول راکتور R-1201 ۹۴
- شکل (۵-۵) - پروفیل تغییرات دما در طول راکتور R-1202 ۹۵
- شکل (۶-۵) - پروفیل تغییرات دما در طول راکتور R-1204 ۹۵
- شکل (۷-۵) - پروفیل تغییرات غلظت در طول راکتور R-1201 ۹۶
- شکل (۸-۵) - پروفیل تغییرات غلظت در طول راکتور R-1202 ۹۶
- شکل (۹-۵) - پروفیل تغییرات غلظت در طول راکتور R-1204 ۹۷

- شکل (۵-۱۰) - اثر تغییرات دمای خوراک بر میزان تولید ETBE ۹۸
- شکل (۵-۱۱) - اثر تغییرات دبی خوراک بر میزان تولید ETBE ۹۸
- شکل (۵-۱۲) - اثر تغییرات نسبت مولی اتانول به ایزوبوتن در خوراک بر میزان تولید ETBE ۹۹
- شکل (۵-۱۳) - نمودار تغییرات دما در طول برج معمولی ۱۰۰
- شکل (۵-۱۴) - نمودار تغییرات غلظت در طول برج معمولی سنتز ETBE ۱۰۱
- شکل (۵-۱۵) - نمودار تغییرات دما در طول برج تقطیر واکنشی ۱۰۲
- شکل (۵-۱۶) - نمودار تغییرات فشار در طول برج تقطیر واکنشی ۱۰۲
- شکل (۵-۱۷) - نمودار تغییرات غلظت مواد در طول برج تقطیر واکنشی ۱۰۳
- شکل (۵-۱۸) - جریان مایع و بخار در برج تقطیر واکنشی ۱۰۳

فهرست علائم

نشانه	علامت
ظرفیت گرمایی ویژه مواد	c_{p_i}
دبی مولی جریان خوراک ورودی به هر مرحله	F
انرژی گیبس	G
دبی مولی جریان جانبی بخار به خارج از برج	G
آنتالپی جریان مایع	H_L
آنتالپی جریان بخار	H_V
گرمای حاصل از واکنش	ΔH_r
ثابت تعادل واکنش	K
پارامتر برهم کنش دوتایی در معادله حالت SRK	k
دبی مولی جریان مایع بین مراحل	L
جرم کاتالیست (کیلو گرم)	m
جرم مواد در مخلوط واکنش	m_i
فشار (پاسکال)	P
فشار بحرانی	P_c
کیفیت خوراک	q
بار حرارتی کندانسور	Q_C
بار حرارتی ریبویلر	Q_R
گرمای ورودی یا خروجی از هر مرحله	Q_j
سرعت واکنش	R
ثابت گازها	R

پارامتر سطحی هر ماده در معادله حالت UNIQUAC	r
دما (کلوین)	T
دمای بحرانی	T_c
دمای دیواره تیوپهای راکتور	T_w
دبی مولی جریان جانبی مایع به خارج از برج	U
دبی مولی جریان بخار بین مراحل	V
جزء مولی در فاز مایع	x
جزء مولی در فاز بخار	y
ضریب تراکم پذیری	z
ضریب بی مرکزی	ω
ضریب قطبیت	η
ضریب اکتیویته	γ
جزء مولی مواد	x
جزء سطحی مواد	θ
جزء حجمی مواد	ϕ
پارامتر برهم کنش دوتایی در معادله حالت UNIQUAC	τ

فصل اول:

مقدمه