دانشگاه آزاد اسلامی
واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (.M.Sc)
گرایش: مهندسی شیمی

عنوان:

شبیه‌سازی واحد تولید متانول خارک از گاز طبیعی با استفاده از نرم‌افزار Hysys و مقایسه نتایج حاصله با مقادیر کمپانی مرجع (LURGI)

استاد راهنما:
دکتر محمدعلی موسویان

استاد مشاور:
دکتر حسن زارع علی‌آبادی

نگارش:
سپیده عبداللهی

تابستان ۱۳۹۱

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc.)
گرایش: مهندسی شیمی

عنوان:

شبیه‌سازی واحد تولید متانول خارک از گاز طبیعی با استفاده از نرم‌افزار Hysys و مقایسه نتایج حاصله با مقادیر کمپانی مرجع (LURGI)

استاد راهنما:
دکتر محمدعلی موسویان

استاد مشاور:
دکتر حسن زارع علی‌آبادی

نگارش:
سپیده عبداللهی

تابستان ۱۳۹۱

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc.)
گرایش: مهندسی شیمی

عنوان:

شبیه‌سازی واحد تولید متانول خارک از گاز طبیعی با استفاده از نرم‌افزار Hysys و مقایسه نتایج حاصله با مقادیر کمپانی مرجع (LURGI)

نگارش:
سپیده عبداللهی

تابستان ۱۳۹۱

هیات داوران:

۱- جناب آقای دکتر محمدعلی موسویان- استاد راهنما
۲- جناب آقای دکتر حسن زارع علی‌آبادی- استاد مشاور
۳- جناب آقای دکتر علی اکبر روحانی- استاد داور

بسمه تعالی

تعهد نامه اصالت رساله پایان نامه

اینجانب **سپیده عبداللهی** دانش‌آموخته مقطع **کارشناسی ارشد ناپیوسته** در رشته **مهندسی شیمی- مهندسی فرآیند** که در تاریخ **۱۳۹۱/۶/۳۰** از پایان‌نامه خود تحت عنوان **"شبیه‌سازی واحد تولید متانول خارک از گاز طبیعی با استفاده از نرم-افزار Hysys و مقایسه نتایج حاصله با مقادیر کمپانی مرجع (LURGI)"** با کسب نمره **۱۹.۲۵** و درجه **عالی** دفاع نموده‌ام بدین وسیله متعهد می‌شوم:

۱- این پایان‌نامه/ رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مو اردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه،کتاب، مقاله و...) استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده‌ام.

۲- این پایان‌نامه/ رساله قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین‌تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب،ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می‌پذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با این جانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

سپیده عبدالهی

سپاس‌گذاری:

سپاس و ستایش یزدان پاک را که مرا مدد نمود تا دانش اندکم فزونی یابد تا گامی باشد برای متعالی ساختن و آلایش روح و راهی باشد برای خدمت به همنوع.

با تشکر از حمایت و زحمات استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر موسویان و نیز استاد ارجمند جناب آقای دکتر زارع و همچنین کلیه دوستان و عزیزانی که مرا در تهیه و تدوین این پایان‌نامه یاری نمودند.

تقدیم:

به اساتید بزرگوارم که پیشرفت‌های علمی و اخلاقی ما مرهون از خود گذشتگی و تلاش‌های بی-دریغ آنهاست و به پدر و مادر مهربانم که در مسیر علم و دانش چراغ همیشه روشن زندگی‌ام هستند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۱
مقدمه	۲
فصل اول: کلیات	۴
۱-۱ متانول	۵
۱-۱-۱ خواص فیزیکی متانول	۵
۱-۱-۲ واکنش‌های شیمیایی متانول	۶
۱-۲ تاریخچه متانول	۸
۱-۳ کاربردهای متانول	۸
۱-۴ مکانیسم واکنش تولید متانول	۱۲
۱-۵ روش‌های تولید متانول	۱۳
۱-۵-۱ تولید متانول از طریق تقطیر	۱۳
۱-۵-۲ تولید متانول از طریق سنتز	۱۳
۱-۵-۳ مقایسه روش‌های فشار پایین لورگی و ICI	۱۵
۱-۶ تکنولوژی‌های تولید متانول	۱۵
۱-۶-۱ گاز سنتز	۱۵
۱-۶-۲ تکنولوژی BASF	۱۶
۱-۷ شرح مختصری بر کاتالیزور و انواع کاربردی آن در فرآیند سنتز متانول	۱۷

۱-۷-۱ غیر فعال شدن کاتالیزورها	۱۹
۱-۷-۱-۱مکانیسم غیر فعال شدن کاتالیزور	۱۹
۱-۷-۱-۲ واکنش‌های فساد	۱۹
۱-۷-۱-۳ نفوذ حفره‌ای	۲۰
۱-۷-۲ معایب کاتالیست‌های متداول سنتز متانول (کاتالیست‌های پایه $\boldsymbol{Cu/ ZnO}$)	۲۰
۱-۷-۳ انواع کاتالیست‌های کاربردی در فرآیند سنتز متانول	۲۳
۱-۷-۳-۱ کاتالیست‌های فشار بالا	۲۳
۱-۷-۳-۲ کاتالیست‌های فشار پایین	۲۴
۱-۷-۴ مطالعات جدید در مورد کاتالیزورهای فرآیند سنتز متانول	۲۶
۱-۷-۵ روش‌های جدید سنتز متانول در دمای پایین	۲۶
۱-۸ واحدهای تولید متانول در ایران	۲۸
۱-۹ وضعیت بازار جهانی متانول	۲۹
۱-۱۰ پتروشیمی خارک	۳۲
۱-۱۰-۱واحدهای فرآیندی مجتمع پتروشیمی خارک	۳۳
۱-۱۱ مروری بر مقالات مرتبط	۳۴
فصل دوم: فرآیند تولید متانول	۳۶
۲-۱ شرح فرآیند واحد تولید متانول پتروشیمی خارک	۳۷
۲-۱-۱ واحد تراکم گاز خوراک	۳۸

۲-۱-۲ واحد ریفرمینگ با بخار	۳۸
۲-۱-۳ واحد فشرده‌سازی گاز سنتز	۴۴
۲-۱-۴ واحد سنتز متانول	۴۷
۲-۱-۵ واحد تقطیر متانول	۵۰
۲-۲ بررسی واکنش‌های شیمیایی واحد تولید متانول خارک	۵۵
۲-۲-۱ بررسی واکنش‌های شیمیایی ریفرمر	۵۵
۲-۲-۲ بررسی واکنش‌های راکتور سنتز متانول	۵۶
فصل سوم: بررسی رفتار ترمودینامیکی محلول ها	۵۹
۳-۱ مدل ترمودینامیکی	۶۰
۳-۲ معادلات حالت (روش $\emptyset - \emptyset$)	۶۰
۳-۲-۱ معادله PR	۶۳
۳-۲-۲ معادله PRSV	۶۴
۳-۳ ضرایب دوتایی یا پارامتر تاثیرات متقابل دوتایی	۶۶
۳-۴ ضریب فوگاسیته	۶۷
۳-۵ ضریب اکتیویته	۶۷
۳-۶ اکتیویته مدل (روش $\boldsymbol{\gamma - \emptyset}$)	۶۸
۳-۶-۱ مدل NRTL	۷۱
۳-۶-۲ مدل UNIQUAC	۷۲

۳-۷ ثابت تعادل ترمودینامیکی	۷۳
۳-۸ آنتالپی	۷۴
فصل چهارم: شبیه سازی واحدهای تولید متانول پتروشیمی خارک	۷۶
۴-۱ مقدمه	۷۷
۴-۱-۱ مدل‌سازی و شبیه‌سازی	۷۷
۴-۱-۲ کاربردهای شبیه‌سازی	۷۷
۴-۱-۳ نرم‌افزار Aspen Hysys	۷۸
۴-۲ شبیه‌سازی واحدهای تولید متانول پتروشیمی خارک با نرم‌افزار Aspen Hysys	۷۹
۴-۲-۱ فرضیات	۷۹
۴-۲-۲ مدل ترمودینامیکی	۸۰
۴-۲-۳ شبیه‌سازی واحد ریفرمینگ با بخار	۸۱
۴-۲-۳-۱ داده‌های ورودی	۸۱
۴-۲-۳-۲ تجهیزات	۸۲
۴-۲-۳-۳ دیاگرام شبیه‌سازی شده واحد ریفرمینگ با بخار	۸۳
۴-۲-۳-۴ نتایج نرم‌افزار	۸۶
۴-۲-۴ شبیه‌سازی واحد فشرده‌سازی گاز سنتز	۸۶
۴-۲-۴-۱ داده‌های ورودی	۸۶
۴-۲-۴-۲ تجهیزات	۸۶

۴-۲-۴-۳ دیاگرام شبیه‌سازی شده واحد فشرده‌سازی گاز سنتز	۸۷
۴-۲-۴-۴ نتایج نرم‌افزار	۸۹
۴-۲-۵ شبیه‌سازی واحد سنتز متانول	۸۹
۴-۲-۵-۱ داده‌های ورودی	۸۹
۴-۲-۵-۲ تجهیزات	۸۹
۴-۲-۵-۳ دیاگرام شبیه‌سازی شده واحد سنتز متانول	۹۰
۴-۲-۵-۴ نتایج نرم‌افزار	۹۲
۴-۲-۶ شبیه‌سازی واحد تقطیر متانول	۹۲
۴-۲-۶-۱ داده‌های ورودی	۹۲
۴-۲-۶-۲ تجهیزات	۹۳
۴-۲-۶-۳ دیاگرام شبیه‌سازی شده واحد تقطیر متانول	۹۳
۴-۲-۶-۴ نتایج نرم‌افزار	۹۶
۴-۳ نتایج شبیه‌سازی واحد تولید متانول پتروشیمی خارگ به کمک نرم‌افزار Aspen Hysys	۹۶
۴-۳-۱ نتایج شبیه‌سازی واحد ریفرمینگ با بخار	۹۷
۴-۳-۲ نتایج شبیه‌سازی واحد فشرده‌سازی گاز سنتز	۱۰۲
۴-۳-۳ نتایج شبیه‌سازی واحد سنتز متانول	۱۰۲
۴-۳-۴ نتایج شبیه‌سازی واحد تقطیر متانول	۱۰۵
۴-۳-۵ بررسی برخی پارامترهای عملیاتی مؤثر در فرآیند	۱۱۹
۴-۳-۵-۱ بررسی اثر دما بر راکتور ریفرمر	۱۱۹

۴-۳-۵-۲ بررسی اثر فشار بر راکتور ریفرمر	۱۲۳
۴-۳-۵-۳ بررسی اثر فشار بر راکتور سنتز متانول	۱۲۵
۴-۳-۵-۴ بررسی اثر دما بر راکتور سنتز متانول	۱۲۸
۴-۳-۵-۵ بررسی اثر دما بر برج (T-5001) واحد تقطیر	۱۳۱
۴-۳-۵-۶ بررسی اثر دما بر برج (T-5002) واحد تقطیر	۱۳۴
۴-۳-۵-۷ بررسی اثر جریان برگشتی بر عملکرد برج (T-5001) واحد تقطیر	۱۳۷
۴-۳-۶ بررسی اثر مدل ترمودینامیکی در شبیه‌سازی فرآیند	۱۴۱
۴-۳-۶-۱ بررسی اثر تغییر مدل ترمودینامیکی بر راکتور سنتز متانول	۱۴۴
۴-۳-۶-۲ بررسی اثر تغییر مدل ترمودینامیکی بر برج تقطیر T-5002	۱۴۴
فصل پنجم: بحث و بررسی نتایج شبیه‌سازی	۱۴۵
۵-۱ نتیجه‌گیری	۱۴۶
۵-۲ پیشنهادات	۱۴۷
فهرست منابع فارسی	۱۴۹
فهرست منابع غیر فارسی	۱۵۰
فهرست نمادها و علائم	۱۵۲
پیوست A	۱۵۴
چکیده انگلیسی	

فهرست جداول

عنوان		صفحه
۱-۱.	جدول: مشخصات فیزیکی متانول	۶
۱-۲.	جدول: نوع کاتالیست مورد استفاده در تکنولوژی‌های مختلف تولید متانول	۱۷
۱-۳.	جدول: تشکیل محصولات جانبی تحت فرآیند فشار بالا و پایین سنتز متانول	۲۵
۱-۴.	جدول: سموم کاتالیست $Cu/ ZnO/ Al_2O_3$	۲۵
۱-۵.	جدول: طرح‌ها و مجتمع‌های در دست اجرا شرکت ملی پتروشیمی	۲۹
۱-۶.	جدول: پیش‌بینی درصد تولید متانول طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶	۳۰
۱-۷.	جدول: عرضه و تقاضای جهانی متانول	۳۲
۲-۱.	جدول: ترکیب خوراک ورودی به واحد ۲۰۰	۳۹
۳-۱.	جدول: معادلات حالت پیشنهادی مناسب برای انواع سیستم‌های فرآیندی	۶۲
۳-۲.	جدول: مدل‌های اکتیویته کاربردی برای انواع سیستم‌های فرآیندی	۷۳
۴-۱	جدول: مشخصات جریان ورودی به مبدل حرارتی E-2001	۸۲
۴-۲	جدول: مشخصات جریان ورودی به کمپرسور C-3001	۸۶
۴-۳	جدول: مشخصات جریان ورودی به مبدل حرارتی E-4001 (جریان ۴۰۱)	۸۹
۴-۴	جدول. مشخصات جریان ورودی به مبدل حرارتی E-4001 (جریان ۴۰۲)	۸۹

۴-۵	جدول: مشخصات جریان ورودی به درام D-5001	۹۲
۴-۶	جدول: مشخصات جریان خوراک ورودی به برج تقطیر T-5001	۹۲
۴-۷	جدول. مقایسه دبی مولی و جرمی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر لورگی در واحد ۲۰۰	۹۷
۴-۸	جدول: مقایسه ترکیب اجزاء حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر لورگی ریفرمر بخار	۹۸
۴-۹	جدول: مقایسه دبی مولی و جرمی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر لورگی در واحد ۵۰۰	۱۰۵
۴-۱۰	جدول: مقایسه ترکیب اجزاء حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر لورگی جریان ۵۰۲	۱۰۶
۴-۱۱	جدول: مقایسه ترکیب اجزاء حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر لورگی جریان ۵۰۳	۱۰۶
۴-۱۲	جدول: مقایسه ترکیب اجزاء حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر لورگی جریان ۵۰۹	۱۰۷
۴-۱۳	جدول: مقایسه ترکیب اجزاء مولی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر لورگی جریان ۵۰۸	۱۰۷
۴-۱۴	جدول: مقایسه ترکیب اجزاء مولی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر لورگی جریان ۵۰۴	۱۰۸
۴-۱۵	جدول: بررسی اثر تغییر مدل ترمودینامیکی بر دبی مولی و دبی جرمی در جریان ۵۰۳ برج تقطیر T-5001	۱۴۲
۴-۱۶	جدول: بررسی اثر تغییر مدل ترمودینامیکی بر ترکیب اجزاء مولی در جریان ۵۰۳ برج تقطیر T-5001	۱۴۳
۴-۱۷	جدول: بررسی اثر تغییر مدل ترمودینامیکی بر دبی مولی و دبی جرمی در جریان خوراک برج تقطیر T-5001	۱۴۳

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
۲-۲. شکل: پیش‌بینی قیمت متانول برای سال‌های آتی	۳۰
۲-۳. شکل: روند قیمت متانول و ارزش انرژی	۳۱
۲-۴. شکل: روند قیمت متانول از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹	۳۱
۳-۱. شکل: نقشه فرآیندی واحد ۲۰۰ (شبکه مبدل های حرارتی و ریفرمر بخار)	۴۱
۳-۲. شکل: نقشه فرآیندی واحد ۲۰۰ (سرد سازی گاز سنتز)	۴۳
۳-۳. شکل: نقشه فرآیندی واحد ۳۰۰ (فشرده سازی سازی گاز سنتز)	۴۶
۳-۴. شکل: نقشه فرآیندی واحد ۴۰۰ (سنتز متانول)	۴۹
۳-۵. شکل: نقشه فرآیندی واحد ۵۰۰ (تقطیرمتانول)	۵۲
۵-۱. شکل: دیاگرام شبیه‌سازی شده مبدل های حرارتی و کوره ریفورمر با بخار	۸۴
۵-۲. شکل: دیاگرام شبیه سازی شده فرآیند سردسازی گاز سنتز	۸۵
۵-۳. شکل: دیاگرام شبیه‌سازی شده واحد فشرده‌سازی گاز سنتز	۸۸
۵-۴. شکل: دیاگرام شبیه‌سازی شده واحد سنتز متانول	۹۱
۵-۵. شکل: دیاگرام شبیه سازی شده برج ۵۰۰۱ واحد تقطیر متانول	۹۴
۵-۶. شکل: دیاگرام شبیه‌سازی شده برج تقطیر متانول خالص(برج۵۰۰۲) واحد تقطیر متانول	۹۵
۵-۷. شکل: نمودار دما – ارزش حرارتی برای شبکه مبدل‌های حرارتی (LNG)	۹۹

	(E-2001, E-2002, E-2003, E-2004, E-2005)	
۵-۸.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-2006	۹۹
۵-۹.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-2007	۱۰۰
۵-۱۰.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-2008	۱۰۰
۵-۱۱.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-2009	۱۰۱
۵-۱۲.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-2010	۱۰۱
۵-۱۳.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-3001	۱۰۲
۵-۱۴.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-4001	۱۰۳
۵-۱۵.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-4002	۱۰۴
۵-۱۶.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی بخار – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-4003	۱۰۴
۵-۱۷.	شکل: نمودار تغییرات دما روی سینی‌های شماره ۱ تا ۴۰ برج تقطیر T-5001	۱۰۹
۵-۱۸.	شکل: نمودار تغییرات فشار روی سینی‌های شماره ۱ تا ۴۰ برج تقطیر T-5001	۱۱۰
۵-۱۹.	شکل: نمودار تغییرات دبی مولی در دو فاز مایع و بخار روی سینی‌های شماره ۱ تا ۴۰ برج تقطیر T-5001	۱۱۰
۵-۲۰.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی متانول و آب در فاز بخار روی سینی‌های شماره ۱ تا ۴۰ برج تقطیر T-5001	۱۱۱
۵-۲۱.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی متانول و آب در فاز مایع روی سینی‌های شماره ۱ تا ۴۰ برج تقطیر T-5001	۱۱۱
۵-۲۲.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی $\boldsymbol{CO, CO_2, H_2, CH_4}$ در فاز مایع روی سینی‌های شماره ۱ تا ۴۰ برج تقطیر T-5001	۱۱۲
۵-۲۳.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی $\boldsymbol{CO, CO_2, H_2, CH_4}$ در فاز بخار روی سینی‌های شماره ۱ تا ۴۰ برج تقطیر T-5001	۱۱۳
۵-۲۴.	شکل: نمودار تغییرات دما روی سینی‌های شماره ۱ تا ۸۵ برج تقطیر T-5002	۱۱۴
۵-۲۵.	شکل: نمودار تغییرات فشار روی سینی‌های شماره ۱ تا ۸۵ برج تقطیر T-5002	۱۱۴

۵-۲۶.	شکل: نمودار تغییرات دبی مولی در دو فاز مایع و بخار روی سینی‌های شماره ۱ تا ۸۵ برج تقطیر T-5002	۱۱۵
۵-۲۷.	شکل: نمودار تغییرات دبی جرمی در دو فاز مایع و بخار روی سینی‌های شماره ۱ تا ۸۵ برج تقطیر T-5002	۱۱۵
۵-۲۸.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی $\boldsymbol{CO, CO_2, H_2, CH_4}$ در فاز مایع روی سینی های شماره ۱ تا ۸۵ برج تقطیر T-5002	۱۱۶
۵-۲۹.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی متانول و آب در فاز مایع روی سینی‌های شماره ۱ تا ۸۵ برج تقطیر T-5002	۱۱۷
۵-۳۰.	شکل: نمودار تغییرات کسر مولی متانول و آب در فاز بخار روی سینی‌های شماره ۱ تا ۸۵ برج تقطیر T-5002	۱۱۷
۵-۳۱.	شکل: نمودار تغییرات دما – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-5003	۱۱۸
۵-۳۲.	شکل: نمودار تغییرات دما – ارزش حرارتی در پوسته و تیوب مبدل حرارتی E-5004	۱۱۹
۵-۳۳.	شکل: نمای شماتیک راکتور ریفورمر فرآیند در نرم افزار Aspen Hysys	۱۲۰
۵-۳۴.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان محصولات ($\boldsymbol{CO}$ و $\boldsymbol{H_2}$) خروجی از راکتور نسبت به تغییر دمای جریان خروجی از راکتور (دمای واکنش)	۱۲۱
۵-۳۵.	شکل: پروفایل تغییرات جزء مولی محصولات ($\boldsymbol{CO}$ و $\boldsymbol{H_2}$) خروجی از راکتور نسبت به تغییر دمای جریان خروجی از راکتور (دمای واکنش)	۱۲۱
۵-۳۶.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان مواد اولیه ($\boldsymbol{CH_4}$ و $\boldsymbol{H_2O}$) خروجی از راکتور نسبت به تغییر دمای جریان خروجی از راکتور (دمای واکنش)	۱۲۲
۵-۳۷.	شکل (۴-۳۷). پروفایل تغییرات جزء مولی مواد اولیه ($\mathbf{CH_4}$ و $\mathbf{H_2O}$) خروجی از راکتور نسبت به تغییر دمای جریان خروجی از راکتور (دمای واکنش)	۱۲۲
۵-۳۸.	شکل: پروفایل تغییرات جزء مولی مواد اولیه ($\boldsymbol{CH_4}$ و $\boldsymbol{H_2O}$) خروجی از راکتور نسبت به تغییر فشار جریان خوراک	۱۲۴
۵-۳۹.	شکل: پروفایل تغییرات جزء مولی مواد محصول ($\boldsymbol{CO}$ و $\boldsymbol{H_2}$) خروجی از راکتور نسبت به تغییر فشار جریان خوراک	۱۲۵
۵-۴۰.	شکل: نمای شماتیک راکتور سنتز متانول فرآیند در نرم‌افزار Aspen Hysys	۱۲۶
۵-۴۱.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان مولی متانول خروجی از راکتور نسبت به تغییر فشار جریان خوراک	۱۲۶

۵-۴۲.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان مولی هیدروژن و منواکسیدکربن خروجی از راکتور نسبت به تغییر فشار جریان خوراک	۱۲۷
۵-۴۳.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان مولی آب و دی اکسیدکربن خروجی از راکتور نسبت به تغییر فشار جریان خوراک	۱۲۷
۵-۴۴.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان اجزاء ($\boldsymbol{CO_2}$ و $\boldsymbol{H_2O}$) در جریان خروجی از راکتور نسبت به تغییر دمای راکتور	۱۲۸
۵-۴۵.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان اجزاء ($\boldsymbol{CH_3OH}$) در جریان خروجی از راکتور نسبت به تغییر دمای راکتور	۱۲۹
۵-۴۶.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان اجزاء ($\boldsymbol{CO}$ و $\boldsymbol{H_2}$) در جریان خروجی از راکتور نسبت به تغییر دمای راکتور	۱۲۹
۵-۴۷.	شکل: نمودار سه بعدی تغییرات شدت جریان مولی متانول تولیدی نسبت به تغییر دما و فشار	۱۳۰
۵-۴۸.	شکل: نمای شماتیک برج تقطیر (T-5001) در نرم افزار Aspen Hysys	۱۳۱
۵-۴۹.	شکل: پروفایل تغییرات انرژی مصرفی ریبویلر و کندانسور نسبت به تغییر دمای جریان خروجی بالای برج	۱۳۲
۵-۵۰.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان و جزء مولی متانول در جریان بالای برج نسبت به تغییر دمای جریان خروجی بالای برج	۱۳۳
۵-۵۱.	شکل: پروفایل تغییرات دمای سینی بالا و سینی پائین برج نسبت به تغییر دمای جریان خروجی بالای برج	۱۳۳
۵-۵۲.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان و جزء مولی متانول در جریان (بخار خروجی جداکننده) بالای برج نسبت به تغییر دمای جریان خروجی بالای برج	۱۳۴
۵-۵۳.	شکل: برج تقطیر T-5002	۱۳۵
۵-۵۴.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان متانول در جریان بالای برج نسبت به تغییر دمای جریان خروجی بالای برج	۱۳۶
۵-۵۵.	شکل: پروفایل تغییرات انرژی مصرفی کندانسور و سطح انتقال حرارت مبدل حرارتی نسبت به تغییر دمای جریان خروجی بالای برج	۱۳۶
۵-۵۶.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان و جزء مولی متانول در جریان بالای برج نسبت به تغییر دمای جریان خروجی بالای برج	۱۳۷
۵-۵۷.	شکل: برج تقطیر T-5001	۱۳۸

۵-۵۸.	شکل: پروفایل تغییرات انرژی مصرفی ریبویلر و جزء مولی متانول در جریان بالای برج نسبت به تغییر شدت جریان برگشتی	۱۳۸
۵-۵۹.	شکل: پروفایل تغییرات شدت جریان متانول در جریان بالای برج و شدت جریان متانول در جریان پایین برج نسبت به تغییر شدت جریان برگشتی	۱۳۹
۵-۶۰.	شکل: پروفایل تغییرات انرژی مصرفی ریبویلر و کندانسور نسبت به تغییر شدت جریان برگشتی	۱۴۰
۵-۶۱.	شکل: پروفایل تغییرات دمای سینی بالا وسینی پائین برج نسبت به تغییر شدت جریان برگشتی	۱۴۱