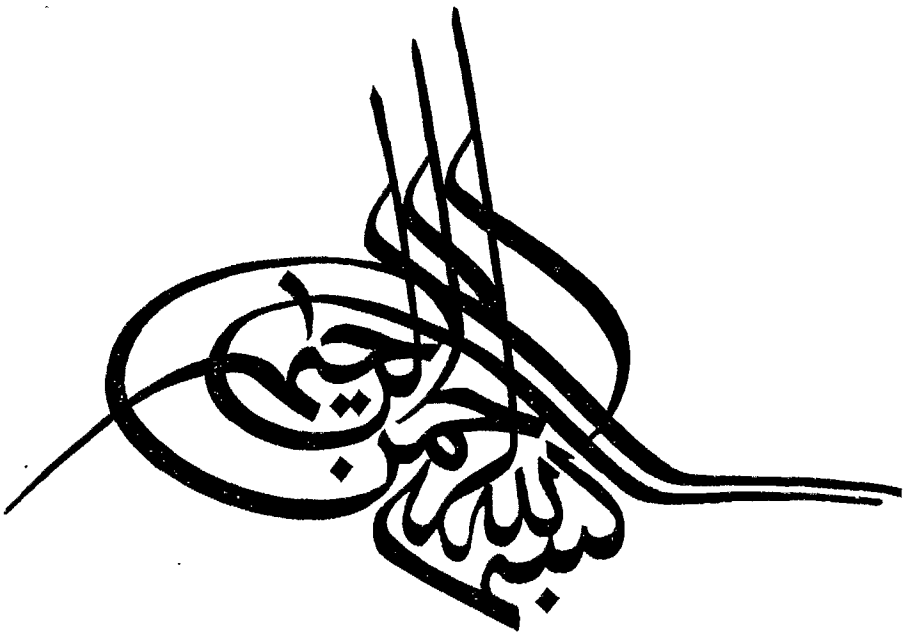

١١٥٤٦٥

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی شیمی (گاز)

شبیه سازی و بهینه یابی فرآیند غشایی بستر سیالی تبدیل گاز به مایع با استفاده از الگوریتم ژنتیک

به وسیله‌ی

حمیده الکایی بهجتی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک
۱۳۸۸/۴/ ۶

استاد راهنما

دکتر محمد رضا رحیم پور

اسفند ۱۳۸۷

۱۱۵۴۶۵

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب حمیده الکایی بهجتی (۸۵۰۴۴۹)دانشجوی رشته‌ی مهندسی شیمی گرایش مهندسی گاز دانشکده‌ی مهندسی شیمی اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام ونام خانوادگی: حمیده الکایی بهجتی

تاریخ و امضا: ۸۸/۰۳/۵

Hamideh Elekaei

به نام خدا

شبیه سازی و بهینه یابی فرآیند غشایی بستر سیالی تبدیل گاز به مایع با استفاده از الگوریتم ژنتیک

به وسیله‌ی

حمیده الکایی بهجتی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی

مهندسی شیمی(مهندسی گاز)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه عالی

دکتر محمدرضا رحیم پور، استاد بخش مهندسی شیمی (رئیس کمیته).....

دکتر عبدالحسین جهانمیری، استاد بخش مهندسی شیمی.....

دکتر فرهنگ دانشمند،دانشیار بخش مهندسی مکانیک.....

اسفند ۱۳۸۷

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به پاس زحمات بی دریغشان

سپاسگزاری

اکنون که این پایان نامه به پایان رسیده است بر خود لازم می دانم که از کلیه افرادی که به نحوی مرا در انجام این پایان نامه یاری رساندند، تشکر و قدردانی نمایم. بخصوص از استاد گرامی، جناب آقای دکتر محمد رضا رحیم پور که با همراهی و راهنمایی خویش مرا در انجام این پایان‌نامه یاری رساندند و همیشه و در تمام مدت علم آموزی خویش نزد ایشان، مطالب بسیار زیادی از ایشان آموختم. به خاطر تمام آموخته هایم از ایشان سپاسگزارم و همواره یکی از افتخارات اینجانب شاگردی ایشان بوده و خواهد بود. همچنین از اساتید محترم مشاور، جناب آقای دکتر فرهنگ دانشمند و جناب آقای دکتر عبدالحسین جهانمیری به خاطر زحماتشان بسیار تشکر و سپاسگزاری می نمایم.

چکیده

شبیه سازی و بهینه یابی فرآیند غشایی بستر سیالی تبدیل گاز به مایع با استفاده از الگوریتم ژنتیک

به وسیله‌ی

حمیده الکایی بهجتی

در کار حاضر، اثر حضور غشاء و سیال کردن بستر به طور همزمان در راکتور بستر ثابت سنتز فیشر-تروپش پژوهشگاه صنعت نفت بررسی شده است. در راکتور دوگانه بستر-سیال غشایی، ابتدا گاز سنتز خوراک وارد لوله های راکتور دوم می شود. جهت کنترل نسبت هیدروژن به مونوکسیدکربن در قسمت واکنش، دیواره لوله ها با لایه ای از غشای پالادیم-نقره پوشانده می شود ، در نتیجه هیدروژن در اثر اختلاف فشار جزئی هیدروژن بین لوله ها و پوسته ، به قسمت واکنش نفوذ می کند. گاز سنتز پیش گرم شده وارد لوله های راکتور اول می شود و در مجاورت بستر کاتالیستی ثابت شروع به واکنش می کند. گرمای حاصل از واکنش به آب اشباع خنک کننده ی موجود در پوسته انتقال می یابد. جریان گاز واکنشی راکتور اول شامل محصولات سنتز فیشر-تروپش، از انتها وارد پوسته ی راکتور دوم می شود و بصورت ناهمسو با گاز سنتز درون لوله، از پایین به بالای راکتور جریان می یابد و در نهایت محصولات از بالای راکتور به واحد کراکینگ با هیدروژن فرستاده می شود. در این پایان نامه ابتدا سیستم راکتوری پیشنهادی شبیه سازی عددی شد، سپس به منظور دستیابی به توزیع مطلوب محصولات و بهبود کارایی کل فرآیند، سیستم راکتوری به کمک الگوریتم ژنتیک مورد بهینه سازی قرار گرفت که نتیجه ی آن ۱۹،۶% افزایش در تولید گازولین(محصول مطلوب) است. بهبودی در عملکرد این راکتور به دلیل غلبه بر مشکلات زیر می باشد: افت فشار بالا، محدودیتهای انتقال جرم و وجود گرادیان های غلظت و حرارت در جهت شعاع. در نهایت واحد جی تی ال پالایشگاه فرآشبند در شرایط عملیاتی بهینه شبیه سازی شده و توان تولید گازولین و دیگر محصولات هیدروکربنی بدست آمده از گاز دورریز این پالایشگاه بررسی و محاسبه شده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: فرآیند سنتز فیشر-تروپش	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۱-۱-تاریخچه سنتز فیشر-تروپش	۳
۱-۲-تکنولوژی تبدیل گاز طبیعی به مایعات هیدروکربنی(GTL)	۴
۱-۲-۱-فرآیندهای تولید گاز سنتز	۴
۱-۲-۱-۱-تبدیل با بخار	۶
۱-۲-۱-۲- روش اکسیداسیون جزئی	۷
۱-۲-۱-۳-روش اکسیداسیون جزئی کاتالیستی	۸
۱-۲-۱-۴-ریفرمینگ اتوترمال	۸
۱-۲-۱-۵-ریفرمینگ مرکب	۹
۱-۲-۲- بخش جداسازی و بهبود کیفیت محصولات	۱۱
۱-۳-معرفی و مقایسه راکتورهای مختلف سنتز فیشر-تروپش	۱۳
۱-۳-۱- فرآیندهای LTFT & HTFT	۱۳
۱-۳-۲-راکتور سنتز فیشر- تروپش دما پایین	۱۴
۱-۳-۳-راکتور سنتز فیشر- تروپش دما بالا	۱۶
۱-۴-معرفی و مقایسه کاتالیست های سنتز فیشر-تروپش	۱۸
۱-۵-مکانیزم واکنش سنتز فیشر- تروپش	۲۰

۱-۵-۱-واکنش آب- گاز ۲۶
۱-۶- متغیرهای واکنش فیشر-تروپش ۲۹
فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده ۳۰
۲-۱- مروری بر مطالعات انجام شده ۳۱
۲-۲-تشریح فرایند راکتور سنتز فیشر-تروپش در پژوهشگاه صنعت نفت ۳۲
فصل سوم: راکتور بستر سیال غشایی ۳۹
۳-۱- پدیده سیال شدن بستر ۴۰
۳-۱-۱- سیالیت ۴۰
۳-۱-۲- رفتار مایع مانند یک بستر سیال ۴۲
۳-۱-۳-مزایا و معایب بسترهای سیال برای عملیات صنعتی ۴۳
۳-۱-۴-کیفیت سیالیت ۴۵
۳-۲-افزودن هیدروژن با استفاده از غشاء ۴۶
۳-۲-۱-غشاء پالادیم- نقره ۴۷
۳-۲-۲-شدت نفوذ هیدروژن از بین غشاء ۵۰
۳-۳-تشریح فرایند راکتور سنتز فیشر-تروپش بستر-سیال غشایی ۵۱
فصل چهارم: شبیه سازی راکتور دومرحله ای بستر- سیال غشایی سنتز فیشر-تروپش ۵۴
۴-۱- مدل ریاضی راکتور بستر سیال غشایی دومرحله ای سنتز فیشر-تروپش ۵۵
۴-۱-۱-راکتور خنک شونده توسط آب (راکتور اول) ۵۵
۴-۱-۲-راکتور خنک شونده توسط گاز(راکتور دوم) ۵۷
۴-۱-۲-۱-سمت پوسته(سمت واکنش) ۵۸
۴-۱-۲-۲-سمت لوله(سمت گاز سنتز خوراک) ۶۰
۴-۲- سینتیک واکنشها ۶۰
۴-۳-روابط ریاضی راکتور بستر-ثابت (راکتور اول) ۶۲

۴-۴-روابط ریاضی راکتور غشایی بستر-سیال ۶۴
۴-۵-اثبات صحت مدل ۶۶
۴-۶- حل دستگاه معادلات ۶۶
فصل پنجم: نتایج حاصل از شبیه سازی ۶۸
۵-۱- بررسی نمودارهای حاصل از شبیه سازی راکتور دومرحله ای غشایی بستر-سیالی سنتز فیشر-تروپش ۶۹
۵-۲- آنالیز حساسیت پارامتری ۷۷
۵-۲-۱- تأثیر نسبت طولی راکتورها ۷۷
۵-۲-۲- تأثیر دمای آب اشباع خنک کننده ۷۸
۵-۲-۳- تأثیر نسبت H_2/CO ورودی ۸۰
۵-۲-۴-تأثیرفلاکس جرمی خوراک ورودی به راکتوراول ۸۱
۵-۲-۵- تأثیر فشار ۸۲
فصل ششم: الگوریتم ژنتیک ۸۴
۶-۱- مفاهیم بهینه سازی ۸۵
۶-۱-۱- بررسی روش های بهینه سازی ۸۶
۶-۱-۱-۱- روش های شمارشی ۸۶
۶-۱-۱-۲- روش های محاسباتی ۸۶
۶-۱-۱-۳- روش های تصادفی ۸۷
۶-۲- الگوریتم ژنتیک ۸۷
۶-۲-۱-پیش زمینه زیستی ۸۹
۶-۲-۲-مقایسه بین الگوریتم ژنتیک با تکامل زیستی ۹۰
۶-۲-۳- واژه شناسی الگوریتم ژنتیک ۹۱
۶-۲-۴- ساختار عمومی الگوریتم ژنتیک ۹۳
۶-۲-۵-تفاوت الگوریتم ژنتیک باروش های دیگر بهینه سازی ۹۴

۶-۳- اجزای الگوریتم ژنتیک ۹۵
۶-۳-۱- جمعیت ۹۵
۶-۳-۱-۱- کد دهی مسئله ۹۶
۶-۳-۲- تابع هدف و تابع برازندگی ۹۸
۶-۳-۳- فرایند گزینش ۹۸
۶-۳-۳-۱- فضای نمونه برداری ۹۹
۶-۳-۳-۱-۱- فضای نمونه برداری معمولی ۹۹
۶-۳-۳-۱-۲- فضای نمونه برداری گسترش یافته ۱۰۰
۶-۳-۳-۲- مکانیسم نمونه برداری ۱۰۰
۳-۳-۲-۱- نمونه برداری احتمالی ۱۰۰
۶-۳-۳-۲-۲- نمونه برداری دقیق ۱۰۱
۶-۳-۳-۲-۳- نمونه برداری مرکب ۱۰۲
۶-۳-۴- عملگرهای ژنتیکی ۱۰۲
۶-۳-۴-۱- تقاطع ۱۰۲
۶-۳-۴-۲- جهش ۱۰۴
۶-۴- همگرایی الگوریتم ژنتیک ۱۰۵
۶-۴-۱- معیار توقف محاسبات الگوریتم ژنتیک ۱۰۶
۶-۵-حل مسئله نمونه ۱۰۶
فصل هفتم: بهینه سازی راکتور دومرحله ای بستر سیال غشایی ۱۱۵
۷-۱- مسئله بهینه سازی ۱۱۶
۷-۲-نتایج بهینه سازی راکتور پیشنهادی ۱۱۷
۷-۲-۱- مقایسه راکتور بهینه شده دومرحله ای بستر-سیال غشایی با سایر سیستم های سنتز فیشر-تروپش ۱۲۰

۷-۳-نتیجه گیری ۱۲۹
۷-۴-پیشنهادات ۱۲۹
فصل هشتم: شبیه سازی واحدهای ۱۰۰ و ۳۰۰ پالایشگاه فرآشبند به همراه شبیه سازی واحد جی تی ال پالایشگاه ۱۳۰
۸-۱- معرفی پالایشگاه فرآشبند ۱۳۱
۸-۱-۱- واحد تثبیت مایعات گازی ۱۳۱
۸-۲-شبیه سازی واحدهای پالایشگاه فرآشبند ۱۳۲
۸-۲-۱-شبیه سازی واحد۱۰۰و۳۰۰ پالایشگاه فرآشبند به کمک نرم افزار Hysys ۱۳۲
۸-۲-۲- شبیه سازی واحد جی تی ال ۱۳۵
۸-۳-نتایج حاصل ازشبیه سازی عددی در حالت پایا ۱۴۰
مراجع ۱۴۷

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

جدول(۱-۱)شرایط رایط عملیاتی یک فرآینداکسیداسیون جزئی بر مبنای خوراک گاز طبیعی ۷

جدول(۱-۲)ترکیب گاز سنتز بدست آمده از فرایندهای مختلف ریفرمینگ ۱۰

جدول(۱-۳) قراردادهای اسامی سوخت و ترکیبات ۱۲

جدول(۱-۴) α مورد نیاز برای ماکزیمم کردن یک برش نفتی و حداقل دمای راکتور برای اجتناب از تشکیل مایع ۱۴

جدول(۱-۵)مقایسه قیمت های فلزات ۱۹

جدول(۱-۶)مقایسه ویژگی های دو کاتالیست آهن و کبالت ۲۰

جدول(۱-۷)مکانیسم فرض شده سنتز هیدروکربن از مونواکسیدکربن و هیدروژن ۲۴

جدول(۱-۸)واکنش های ابتدایی برای انتقال آب- گاز ۲۹

جدول(۲-۱)مشخصات راکتور و کاتالیست و جریان خوراک ورودی ۳۴

جدول(۲-۲)سینتیک ارائه شده در پژوهشگاه صنعت نفت ۳۷

جدول(۳-۱)مشخصات راکتورپیشنهادی ۵۳

جدول(۳-۲) مشخصات غشاء ۵۳

جدول(۴-۱)پارامترهای سینتیکی معادله سرعت هر واکنش ۶۲

جدول(۴-۲) حجم و جرم مولکولی بحرانی اجزاء ۶۳

جدول(۴-۳)مقایسه نتایج مدل سیستم خنک شونده با آب با داده های واحد آزمایشگاهی پژوهشگاه ۶۶

جدول(۷-۱) پارامترهای بهینه شده برای OFMDFTR ۱۱۸
جدول(۸-۱) درصد ترکیبات جریان گاز feed fresh gas ۱۳۶
جدول(۸-۲) ترکیب درصد جریان syngas ۱۳۷
جدول(۸-۳) ترکیب درصد خروجی جداکننده ۱۳۹

فهرست شکل ها و نمودارها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل(۱-۱)مفهوم فرآیند CPOX ۸
شکل(۱-۲)مفهوم فرآیند ATR ۹
شکل (۱-۳)راکتور بستر ثابت چند لوله ای ۱۶
شکل(۱-۴)راکتور پیشرفته دما بالا فیشر- تروپش ۱۸
شکل(۱-۵)اجزاء درگیر در جذب سطحی در سنتز فیشر- تروپش ۲۲
شکل(۱-۶)مکانیسم کربید برای سنتز فیشر- تروپش ۲۲
شکل(۱-۷)واکنش های ثانویه اولفین ها ۲۲
شکل(۱-۸)نمایی از واکنش مونواکسید کربن و هیدروژن ۲۶
شکل(۱-۹)مکانیسم واکنش انتقال آب- گاز بر اساس اجزاء قالبی ۲۷
شکل(۱-۱۰)مکانیسم آب- گاز بر اساس اکسیداسیون مستقیم ۲۸
شکل(۲-۱)شماتیک راکتور بستر-ثابت سنتز فیشر-تروپش پژوهشگاه صنعت نفت ۳۲
شکل(۲-۲)(الف)اثر نسبتH_2/CO بر میزان تولید گازولین،(ب)نسبتH_2/CO در طول راکتور، (ج)اثر تزریق هیدروژن برنسبت H_2/COو(د)اثر تزریق هیدروژن بر میزان تولید گازولین ۳۳
شکل(۳-۱)نمونه های متفاوت تماس ذرات با سیال در بستر ۴۱
شکل(۳-۲)رفتار مایع مانند بسترهای سیال گاز ۴۳
شکل(۳-۳)غشاء پالادیم (الف) سطح خارجی و (ب) سطح مقطع ۵۰
شکل(۳-۴)شماتیک راکتور دوگانه ی بستر-سیال غشائی برای سنتز فیشر-تروپش ۵۲
شکل(۴-۱)المان حجمی از راکتور خنک شونده با آب ۵۵
شکل(۴-۲)نمایش رژیم جریان حبابی و مدل دو فازی آن ۵۷

شکل(۴-۳)المان حجمی از راکتور خنک شونده با آب ۵۸
شکل(۵-۱)تغییرات جزء مولی (الف) گازولین، (ب)متان، (پ)پروپان، (ت) اتان، (ث)اتیلن، (ج) نرمال و ایزو بوتان، (چ) دی اکسید کربن، (ح)هیدروژن (خ)مونوکسید کربن و (د)آب. ۷۱
شکل(۵-۲) (الف) بازده تولید محصولات هیدروکربنی و (ب) درصد تبدیل واکنش دهنده ها در طول راکتور ۷۲
شکل(۵-۳)پروفایل نسبت واکنش دهنده ها در طول راکتور دومرحله ای ۷۲
شکل(۵-۴)پروفایل دمای(الف)گاز فرآیندی و(ب)سیالات خنک کننده در طول راکتور دومرحله ای ۷۴
شکل(۵-۵) تغییرات شدت مولی نفوذ هیدروژن با دمای گاز خوراک ۷۵
شکل(۵-۶)تغییرات اختلاف توان نیم فشارهای جزئی هیدروژن در لوله و پوسته در طول راکتور دوم ۷۶
شکل(۵-۷)روند تغییرات شدت نفوذ مولی هیدروژن در راکتور دوم ۷۶
شکل(۵-۸)میزان انتخاب پذیری محصولات سنتز فیشر-تروپش در سیستم راکتوری پیشنهادی ۷۷
شکل(۵-۹)تأثیر نسبت طولی راکتورها بر (الف)بازده تولید گازولین، (ب)درصد تبدیل هیدروژن و(ج) دمای گاز واکنشی ۷۸
شکل(۵-۱۰)اثر دمای آب اشباع بر (الف)دمای گاز فرآیندی، (ب)بازده تولید گازولین و (ج)بازده تولید CO_2 ۷۹
شکل(۵-۱۱)اثر نسبت H_2/CO ورودی روی (الف)تولید C_5^+،(ب)تولید CO_2، (ج)درصد تبدیل H_2 و (د) درصد تبدیل CO ۸۱
شکل(۵-۱۲)اثر فلاکس جرمی خوراک بر(الف)تولید C_5^+،(ب)درصد تبدیل H_2 ۸۲
شکل(۵-۱۳)اثرفشارداخل راکتور بر(الف)تولیدC_5^+،(ب)دمای گاز سنتز در لوله و(ج)شدت نفوذ هیدروژن ۸۳
شکل(۶-۱)اشکال مختلف عملگر جابجایی ۱۰۳
شکل(۶-۲)نمایش یک چرخ رولت ۱۰۷
شکل(۷-۱)تابع هدف در شرایط بهینه شده و نشده در طول راکتور ۱۱۸
شکل(۷-۲)اثر تایج بهینه سازی را بر(الف)قطر حباب (ب)سرعت صعود حباب (ج)ضریب ۱۲۰

انتقال جرم و(د) ضریب انتقال حرارت
شکل(۷-۳)پروفایل غلظت (الف) گازولین (ب) پروپان (ج) CO_2 و (د) متان در طول سیستم های CFFTR , FDFTR , FMDFTR, OFMDFTR ۱۲۲
شکل(۷-۴)مقایسه بازده تولید (الف)C_5^+ (ب) C_2H_6 (پ) C_2H_8 CH_4(ت) CO_2 (ث) (ج) C_2H_4(چ)ایزوبوتان و(ح)نرمال بوتان در طول راکتورهای CFFTR, FDFTR, FMDFTR, OFMDFTR ۱۲۴
شکل(۷-۵)مقایسه میزان تبدیل(الف) H2و (ب)CO در طول ۴ سیستم مختلف راکتوری ۱۲۵
شکل(۷-۶)پروفایل دمای گاز فرایندی در طول ۴ سیستم مختلف راکتوری ۱۲۶
شکل(۷-۷) پروفایل دمای گازسنتز خوراک درطول راکتورهای دومرحله ای ۱۲۷
شکل(۷-۸)پروفایل شدت نفوذ هیدروژن در طول سیستم راکتوری پیشنهادی درشرایط بهینه شده و بهینه نشده ۱۲۸
شکل(۷-۹)مقایسه انتخاب پذیری اجزاء در طول ۴ سیستم راکتوری ۱۲۸
شکل(۸-۱)نمودار فرآیند پالایشگاه جنوب ۱۳۳
شکل(۸-۲)نمودار واحد تثبیت مایعات گازی پالایشگاه ۱۳۳
شکل(۸-۳)جریان های ورودی آغار و دالان ۱۳۴
شکل(۸-۴)جمع آوری مایعات جداشده وجدا سازی مجدد آن ۱۳۴
شکل(۸-۵)شبیه سازی واحد ۳۰۰ پالایشگاه ۱۳۵
شکل(۸-۶)اکسیداسیون گاز طبیعی به کمک آب ۱۳۶
شکل(۸-۷)آماده سازی گاز سنتز برای ورود به راکتور فیشر- تروپش ۱۳۷
شکل(۸-۸) ورود گاز سنتز به راکتور فیشر- تروپش ۱۳۸
شکل (۸-۹) جداسازی محصولات نهایی فیشر- تروپش ۱۳۹
شکل(۸-۱۰) تقسیم بندی محصول نهایی فیشر- تروپش ۱۴۰
شکل(۸-۱۱) چگونگی ارسال جریان برگشتی ۱۴۰
شکل(۸-۱۲)پروفایل دبی تولید گازولین در طول راکتور ۱۴۱
شکل(۸-۱۳)تغییرات جزء مولی متان در طول راکتور ۱۴۱
شکل(۸-۱۴)تغییرات جزء مولی اتان در طول راکتور ۱۴۲
شکل(۸-۱۵)تغییرات جزء مولی پروپان در طول راکتور ۱۴۲

شکل(۸-۱۶)تغییرات جزء مولی ایزو بوتان در طول راکتور ۱۴۳
شکل(۸-۱۷)تغییرات جزء مولی نرمال بوتان در طول راکتور ۱۴۳
شکل(۸-۱۸)تغییرات جزء مولی دی اکسید کربن در طول راکتور ۱۴۴
شکل(۸-۱۹) تغییرات جزء مولی گازولین در طول راکتور ۱۴۴
شکل(۸-۲۰)تغییرات تبدیل درصد مونواکسیدکربن درطول راکتور ۱۴۵
شکل(۸-۲۱)تغییرات تبدیل درصد هیدروژن در طول راکتور ۱۴۵
شکل(۸-۲۲)پروفایل دمای گاز واکنشی در طول راکتور ۱۴۶

فهرست نشانه های اختصاری

نشانه	واحد	تعریف
Ac	m^2	سطح مقطع لوله
A_i	m^2	مساحت داخلی لوله
A_s	m^2	سطح جانبی لوله
A_{shell}	m^2	سطح مقطع پوسته
a_b	m^2	سطح مشترک بین حباب و امولسیون
a_v	$m^2.m^{-3}$	سطح ویژه کاتالیست
c_{Pg}	$J.mol^{-1}.k^{-1}$	گرمای ویژه گاز در فشار ثابت
c_{pH}	$J.mol^{-1}.k^{-1}$	گرمای ویژه هیدروژن در فشار ثابت
c_{Ps}	$J.mol^{-1}.k^{-1}$	گرمای ویژه کاتالیست در فشار ثابت
c_t	$mol.m^{-3}$	غلظت کل
D_i	m	قطر داخلی لوله
A_{shell}	m^2	سطح مقطع پوسته
a_b	m^2	سطح مشترک بین حباب و امولسیون
a_v	$m^2.m^{-3}$	سطح ویژه کاتالیست
c_{Pg}	$J.mol^{-1}.k^{-1}$	گرمای ویژه گاز در فشار ثابت
D_{ij}	$m^2.s^{-1}$	ضریب نفوذ مولکولی جزءi درj
$D^i{}_m$	$m^2.s^{-1}$	ضریب نفوذ مولکولی جزءi درمخلوط
D_o	m	قطر خارجی لوله
d_p	m	قطر ذرات کاتالیستی

h_f	$W.m^{-2}.K^{-1}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین فاز گاز و جامد
h_i	$W.m^{-2}.K^{-1}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین سیال و دیواره
h_o	$W.m^{-2}.K^{-1}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین سیال خنک کننده و دیواره
F_t	$Mol.s^{-1}$	دبی مولی پوسته
K	$W.m^{-1}.K^{-1}$	ضریب انتقال حرارت نفوذی سیال
K_w	$W.m^{-1}.K^{-1}$	ضریب انتقال حرارت نفوذی دیواره
k_{gi}	$m.s^{-1}$	ضریب انتقال جرم بین فاز گاز و جامد
k_{bei}	$m.s^{-1}$	ضریب انتقال جرم بین فاز حباب و امولسیون
L	m	طول راکتور
M_i	$g.mol^{-1}$	جرم مولکولی
N	-	تعداد اجزاء
P	bar	فشار کل
P_a	bar	فشار اتمسفریک
$P_H^{'}$	bar	فشار جزئی هیدروژن در قسمت لوله
P_H^{sh}	bar	فشار جزئی هیدروژن در قسمت پوسته
$\bar{P}$	$mol\ m^{-1}s^{-1}Pa^{-1/2}$	نفوذپذیری هیدروژن در لایه Pd-Ag
P_0	$mol\ m^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$	ضریب نفوذپذیری هیدروژن
R	$J.mol^{-1}.K^{-1}$	ثابت جهانی گازها
Re	-	عدد رینولدز
R_i	m	شعاع داخلی غشاء
R_o	m	شعاع خارجی غشاء
r_i	$mol.kg^{-1}.s^{-1}$	نرخ واکنش هر جزء
r_{bi}	$mol.kg^{-1}.s^{-1}$	نرخ واکنش در فاز حباب
Sc_i	-	عدد اشمیت
T	K	دمای سیال
T_s	K	دمای فاز جامد
T_{sat}	K	دمای آب اشباع