



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “*M.Sc*”
مهندسی شیمی-فرآیند

عنوان :

بررسی تولید گاز سنتز در رآکتور کرونای پالسی

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش:

فهرست

صفحه	عنوان
۵	فهرست
ن	چکیده فارسی
۱	مقدمه
۳	فصل اول: کلیات
۴	۱-۱ پلاسما
۵	۲-۱ شرایط پایداری پلاسما
۵	۱-۲-۱ حفاظ دبای
۶	۲-۲-۱ طول دبای
۶	۳-۲-۱ کره دبای
۶	۴-۲-۱ فرکانس ارتعاشات
۶	۳-۱ مفاهیم
۶	۱-۳-۱ دانسیته پلاسما
۷	۲-۳-۱ دمای پلاسما
۸	۴-۱ انواع پلاسما
۸	۱-۴-۱ پلاسمای تعادلی
۹	۲-۴-۱ پلاسمای غیر تعادلی
۹	۵-۱ تخلیه الکتریکی
۱۰	۱-۵-۱ تخلیه الکتریکی تابشی
۱۱	۲-۵-۱ تخلیه الکتریکی کرونا
۱۳	۳-۵-۱ تخلیه الکتریکی DBD
۱۴	۴-۵-۱ تخلیه الکتریکی رادیو فرکانسی
۱۵	۵-۵-۱ تخلیه الکتریکی میکروویو
۱۶	۶-۵-۱ پلاسمای Gliding Arc
	۶-۱ کاربرد رآکتورهای پلاسما در مهندسی شیمی و انجام واکنش های
۱۸	شیمیایی
۱۹	۲ فصل دوم: گاز سنتز
۲۰	۱-۲ مقدمه

۲۰	تعریف	۲-۲
۲۰	روش های معمول تولید گاز سنتز	۳-۲
۲۰	رفرمینگ گاز طبیعی با بخار آب	۱-۳-۲
۲۲	اکسایش جزئی و غیر کاتالیزوری گاز طبیعی	۲-۳-۲
۲۳	اکسایش جزئی گاز طبیعی در مجاورت کاتالیزور	۳-۳-۲
۲۴	رفرمینگ خود گرمایی	۴-۳-۲
۲۴	تبدیل متان توسط دی اکسید کربن	۵-۳-۲
۲۵	روش های نوین در تولید گاز سنتز	۴-۲
۲۵	تولید گاز سنتز در رآکتورهای پلاسما	۵-۲
۲۶	پیشینه تحقیق	۱-۵-۲
۲۷	تولید گاز سنتز در رآکتورهای پلاسمای پالسی	۲-۵-۲
۳۹	نتایج	۳-۵-۲
۴۱	فصل سوم: آزمایش	۳
۴۲	شرح سیستم آزمایشگاهی طراحی شده	۱-۳
۴۲	خوراک دهی	۱-۱-۳
۴۳	رآکتور	۲-۱-۳
۴۳	نمونه گیری	۳-۱-۳
۵۰	طراحی آزمایشها	۲-۳
۵۰	پارامترهای موثر	۱-۲-۳
۵۳	مقدار پارامترها	۲-۲-۳
۵۶	طراحی آزمایش	۳-۲-۳
۵۸	حدود بالا و پایین	۴-۲-۳
۵۹	حذف پارامترها با تاثیر مشخص	۵-۲-۳
۶۰	اقدامات اولیه قبل از شروع آزمایش ها	۳-۳
۶۱	بررسی صحت عملکرد شیرهای کنترل	۱-۳-۳
۶۳	بررسی نشتی اتصالات و کپسولهای گاز	۲-۳-۳
۶۳	عبور گاز آرگون به منظور یکنواخت نمودن شرایط اولیه	۳-۳-۳
۶۳	اقدامات ایمنی	۴-۳
۶۴	روش محاسبه	۵-۳
۶۵	نحوه محاسبه درصد تبدیل متان و گزینش پذیری محصولات	۱-۵-۳
۶۶	محاسبه انرژی مصرفی در راکتور پلاسمای کرونا پالسی با فرکانس زیاد	۲-۵-۳

۶۶	مرحله اول آزمایش ها	۶-۳
۶۶	تعیین فرکانس پالس بهینه	۱-۶-۳
۶۷	انجام مرحله اول آزمایش ها	۲-۶-۳
۶۷	بررسی اثر کیفی هر یک از متغیرها بر پاسخ سیستم	۳-۶-۳
۷۶	بررسی محدوده انتخاب شده برای متغیرها	۴-۶-۳
۷۶	تحلیل آماری نتایج مرحله اول	۵-۶-۳
۸۴	نتیجه گیری	۶-۶-۳
۸۵	سطح دوم آزمایش ها	۷-۳
۸۵	طراحی آزمایش های اصلی	۱-۷-۳
۸۷	فصل چهارم: نتیجه گیری و بحث	۴
۸۸	نتایج مرحله دوم آزمایش ها	۱-۴
۹۳	اثر کیفی و کمی هر یک از متغیرها در شرایط ثابت بر متغیرهای پاسخ	۱-۱-۴
	تعیین شرایط بهینه عملکرد سیستم پلاسمای پالسی طراحی شده برای تولید گاز سنتز	۲-۱-۴
۱۰۴		
۱۰۹	تحلیل آماری نتایج	۳-۱-۴
۱۱۹	بحثی پیرامون مقادیر بهینه متغیرها و تاثیر پارامترهای طراحی	۲-۴
۱۳۰	نتیجه گیری	
۱۳۲	پیشنهاد ها	
۱۳۳	منابع	
۱۳۷	چکیده لاتین	

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۱ حالت‌های ماده بر اساس دما و انرژی
۱۲	شکل ۲-۱ تخلیه الکتریکی هاله (صفحه- نقطه)
۱۲	شکل ۳-۱ یک سیستم تولید پلاسما از نوع کرونا
۱۴	شکل ۴-۱ تخلیه الکتریکی DBD
۱۶	شکل ۵-۱ تصویر شماتیک یک رآکتور پلاسمای رادیوفرکانسی چرخان و بدون الکتروود
۱۶	شکل ۶-۱ تخلیه الکتریکی Gliding Arc
۲۹	شکل ۱-۲ تبدیل متان و دی اکسید کربن در فرکانس پالس مختلف
۳۰	شکل ۲-۲ گزینش پذیری محصولات تبدیل متان نسبت به فرکانس پالس
۳۰	شکل ۳-۲ میزان تبدیل نسبت به شدت جریان ولتاژ ۲۸ کیلوولت ، فرکانس ۴۰ هرتز
۳۱	شکل ۴-۲ تاثیر فرکانس پالس بر پارامترهای مختلف
۳۱	شکل ۵-۲ گزینش پذیری محصولات تبدیل متان نسبت به شدت جریان
	شکل ۶-۲ تاثیر ولتاژ بر تبدیل دی اکسید کربن و متان و راندمان در مخلوطی با نسبت ۱:۱ از متان و دی اکسید کربن
۳۲	
۳۳	شکل ۷-۲ تغییرات تبدیل و بازدهی در برابر نسبت مولی در ولتاژ ۱۱،۱ کیلو ولت
۳۳	شکل ۸-۲ گزینش پذیری گاز سنتز و سایر هیدروکربن ها در برابر نسبت مولی
۳۴	شکل ۹-۲ وابسته گی نسبت گاز سنتز به میزان تبدیل خوراک
۳۴	شکل ۱۰-۲ میزان تبدیل متان و دی اکسید کربن و بازدهی انرژی نسبت به شدت جریان
۳۵	شکل ۱۱-۲ تاثیر سرعت تکرار پالس بر تبدیل متان
	شکل ۱۲-۲ تاثیر جنس کاتد بر روی تبدیل متان و گزینش پذیری محصولات را برای دو نوع استنلس استیل و پلاتین/استنلس استیل
۳۷	
۴۲	شکل ۱-۳ طرح سیستم آزمایشگاهی رآکتور پلاسمای پالسی
۴۴	شکل ۲-۳ نمایی از مجموعه آزمایشگاهی راکتور پلاسمای پالسی
۴۵	شکل ۳-۳ دستگاه مولد پالس ولتاژ و فرکانس زیاد
۴۶	شکل ۴-۳ جعبه مقاومتها

۴۶	اسیلوسکوپ	شکل ۳-۵
۴۷	ابعاد رآکتور پلاسمای کرونای پالسی مورد استفاده در آزمایش	شکل ۳-۶
۴۸	رآکتور کرونای پلاسمای پالسی	شکل ۳-۷
۴۸	شیر کنترل <i>MFC</i>	شکل ۳-۸
۴۹	منبع تغذیه شیر های کنترل	شکل ۳-۹
۶۱	نمودار و رگرسیون شدت جریان خروجی بر حسب درصد باز بودن شیر برای شیر C-۶۷	شکل ۳-۱۰
۶۲	نمودار و رگرسیون شدت جریان خروجی بر حسب درصد باز بودن شیر برای شیر C-۲۶	شکل ۳-۱۱
۶۲	درصد خطای باز بودن شیر برای متان	شکل ۳-۱۲
۶۲	درصد خطای باز بودن شیر برای اکسیژن	شکل ۳-۱۳
۶۷	تاثیر فرکانس پالس بر میزان تبدیل متان و انرژی مصرفی	شکل ۳-۱۴
۷۳	اثر هر یک از متغیرهای سیستم در شرایط بالا یا پایین بودن سایر متغیرها بر درصد تبدیل متان	شکل ۳-۱۵
۷۳	اثر هر یک از متغیرهای سیستم در شرایط بالا یا پایین بودن سایر متغیرها بر انتخاب پذیری CO	شکل ۳-۱۶
۷۴	اثر هر یک از متغیرهای سیستم در شرایط بالا یا پایین بودن سایر متغیرها بر انتخاب پذیری H ₂	شکل ۳-۱۷
۷۵	اثر هر یک از متغیرهای سیستم در شرایط بالا یا پایین بودن سایر متغیرها بر نسبت H ₂ :CO محصول	شکل ۳-۱۸
۷۵	اثر هر یک از متغیرهای سیستم در شرایط بالا یا پایین بودن سایر متغیرها بر انرژی مصرفی به ازای متر مکعب متان تبدیل شده	شکل ۳-۱۹
۹۳	اثر ولتاژ بر درصد تبدیل متان در راکتور	شکل ۴-۱
۹۴	اثر شدت جریان خوراک بر درصد تبدیل متان در راکتور	شکل ۴-۲
۹۵	اثر نسبت خوراک بر درصد تبدیل متان در راکتور	شکل ۴-۳
۹۶	اثر ولتاژ بر انتخاب پذیری CO	شکل ۴-۴
۹۷	اثر شدت جریان بر انتخاب پذیری CO	شکل ۴-۵
۹۸	اثر نسبت CH ₄ :O ₂ بر انتخاب پذیری CO	شکل ۴-۶
۹۹	اثر ولتاژ بر انتخاب پذیری H ₂ در حالت	شکل ۴-۷
۱۰۰	اثر شدت جریان خوراک بر انتخاب پذیری H ₂	شکل ۴-۸
۱۰۱	اثر نسبت CH ₄ :O ₂ خوراک بر انتخاب پذیری H ₂	شکل ۴-۹
۱۰۲	اثر ولتاژ بر نسبت H ₂ :CO در محصول	شکل ۴-۱۰

۱۰۳	اثر شدت جریان خوراک بر نسبت $H_2:CO$ در محصول	شکل ۱۱-۴
۱۰۴	اثر نسبت $CH_4:O_2$ بر نسبت $H_2:CO$ در محصول	شکل ۱۲-۴
۱۰۵	درصد تبدیل متان در ۲۷ آزمایش مرحله دوم	شکل ۱۳-۴
۱۰۶	انتخاب پذیری CO در ۲۷ آزمایش مرحله دوم	شکل ۱۴-۴
۱۰۷	انتخاب پذیری H_2 در ۲۷ آزمایش مرحله دوم	شکل ۱۵-۴
۱۰۸	نسبت $H_2:CO$ در ۲۷ آزمایش مرحله دوم	شکل ۱۶-۴
۱۰۹	انرژی مصرفی در ۲۷ آزمایش مرحله دوم	شکل ۱۷-۴
۱۱۷	تطبیق مدل آماری با نتایج آزمایشی در تبدیل متان	شکل ۱۸-۴
۱۱۷	تطبیق آماری مدل با نتایج آزمایشی برای گزینش پذیری مونوکسید کربن	شکل ۱۹-۴
۱۱۸	تطبیق آماری مدل با نتایج آزمایشی برای نسبت $H_2:CO$	شکل ۲۰-۴
۱۱۸	تطبیق آماری مدل با نتایج آزمایشی برای انرژی مصرفی	شکل ۲۱-۴
۱۱۹	تغییرات میزان تبدیل بر حسب ولتاژ در شدت جریان خوراک ثابت 250 ml/min و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	شکل ۲۲-۴
۱۲۰	تغییرات میزان تبدیل بر حسب ولتاژ در شدت جریان خوراک ثابت 375 ml/min و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	شکل ۲۳-۴
۱۲۰	تغییرات میزان تبدیل بر حسب ولتاژ در شدت جریان خوراک ثابت 500 ml/min و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	شکل ۲۴-۴
۱۲۱	تغییرات گزینش پذیری مونوکسید کربن بر حسب شدت جریان خوراک در ولتاژ ثابت ۵ کیلوولت و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	شکل ۲۵-۴
۱۲۱	تغییرات گزینش پذیری مونوکسید کربن بر حسب شدت جریان خوراک در ولتاژ ثابت ۷٫۵ کیلوولت و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	شکل ۲۶-۴
۱۲۱	تغییرات گزینش پذیری مونوکسید کربن بر حسب شدت جریان خوراک در ولتاژ ثابت ۱۰ کیلوولت و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	شکل ۲۷-۴
۱۲۲	تغییرات گزینش پذیری مونوکسید کربن بر حسب ولتاژ در شدت جریان خوراک ثابت 250 ml/min و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	شکل ۲۸-۴
۱۲۳	تغییرات گزینش پذیری مونوکسید کربن بر حسب ولتاژهای مختلف جریان خوراک ثابت 250 ml/min و ولتاژهای مختلف	شکل ۲۹-۴
۱۲۳	تغییرات نسبت $H_2:CO$ بر حسب نسبت $CH_4:O_2$ در شدت جریان خوراک ثابت 250 ml/min و ولتاژهای مختلف	شکل ۳۰-۴
۱۲۴	تغییرات نسبت $H_2:CO$ بر حسب نسبت $CH_4:O_2$ در شدت جریان خوراک ثابت 375 ml/min و ولتاژهای مختلف	شکل ۳۱-۴
۱۲۴	تغییرات نسبت $H_2:CO$ بر حسب نسبت $CH_4:O_2$ در شدت جریان خوراک ثابت 500 ml/min و ولتاژهای مختلف	شکل ۳۲-۴
۱۲۵	تغییرات نسبت $H_2:CO$ بر حسب نسبت $CH_4:O_2$ در شدت جریان خوراک ثابت 500 ml/min و ولتاژهای مختلف	شکل ۳۳-۴

تغییرات انرژی مصرفی بر حسب ولتاژ در شدت جریان خوراک ثابت

۱۲۶	۲۵۰ ml/min و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	
	تغییرات انرژی مصرفی بر حسب ولتاژ در شدت جریان خوراک ثابت	شکل ۴-۳۴
۱۲۶	۳۷۵ ml/min و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	
	تغییرات انرژی مصرفی بر حسب ولتاژ در شدت جریان خوراک ثابت	شکل ۴-۳۵
۱۲۷	۵۰۰ ml/min و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	
	تغییرات انرژی مصرفی بر حسب شدت جریان خوراک در ولتاژ ۵ کیلوولت	شکل ۴-۳۶
۱۲۷	و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	
	تغییرات انرژی مصرفی بر حسب شدت جریان خوراک در ولتاژ ۷،۵	شکل ۴-۳۷
۱۲۸	کیلوولت و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	
	تغییرات انرژی مصرفی بر حسب شدت جریان خوراک در ولتاژ ۱۰	شکل ۴-۳۸
۱۲۸	کیلوولت و نسبت های $CH_4:O_2$ مختلف	

فهرست جداول

صفحه	عنوان	جدول
۳۶	مقایسه چند روش برای تبدیل متان با توجه به خوراک و میزان گزینش پذیری محصولات	۱-۲
۳۸	مقایسه چند روش پلاسمایی برای تولید گاز سنتز و تبدیل متان با توجه به ورودی و نوع محصول	۲-۲
۳۸	مقایسه چند روش پلاسمایی برای تبدیل متان	۳-۲
۴۲	مقایسه روش های پلاسمای گرمایی (آرک)، اکسیداسیون جزئی (POC) و پلاسمای پالسی فرکانس بالا	۴-۲
۵۰	مقادیر ضریب تبدیل برای گاز های مختلف	۱-۳
۵۸	طرح آزمایش فاکتوریال کامل در دو سطح بالا و پایین با چهار فاکتور	۲-۳
۵۹	حدود بالا و پایین فاکتورهای مورد بحث برای سطح اول آزمایش ها	۳-۳
۵۹	طراحی آزمایش برای تعیین فرکانس پالس بهینه	۴-۳
۶۰	متغیرهای عملیاتی در ۱۶ آزمایش مرحله اول	۵-۳
۶۱	رابطه درصد باز بودن شیرها و شدت جریان خروجی از آزمایش (میلی لیتر بر دقیقه)	۶-۳
۶۳	درصد باز شدن شیرها برای سطوح مختلف آزمایش	۷-۳
۶۶	تعیین فرکانس پالس بهینه برای استغاده در همه سطوح آزمایش	۸-۳
۶۹	شدت جریان خروجی و نتایج حاصل از آنالیز کروماتوگرافی گازی	۹-۳
۷۰	شدت جریان مولی اجزاء در خروجی راکتور	۱۰-۳
۷۱	انتخاب پذیری محصولات و درصد تبدیل	۱۱-۳
۷۲	انرژی مصرفی و نسبت $H_2:CO$ در محصول	۱۲-۳
۷۸	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی تبدیل متان	۱۳-۳
۸۰	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی گزینش پذیری مونوکسید کربن	۱۴-۳
	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی گزینش پذیری	۱۵-۳

۸۱		
۸۲	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی نسبت $H_2:CO$	جدول ۳-۱۶
۸۳	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی انرژی مصرفی	جدول ۳-۱۷
۸۵	سطوح متغیرهای سیستم در آزمایش های مرحله دوم	جدول ۳-۱۸
۸۶	متغیرهای سیستم در ۲۷ آزمایش مرحله دوم	جدول ۳-۱۹
۸۹	شدت جریان خروجی و نتایج حاصل از آنالیز کروماتوگرافی گازی	جدول ۴-۱
۹۰	شدت جریان مولی اجزاء در خروجی راکتور	جدول ۴-۲
۹۱	میزان تبدیل و گزینش پذیری محصولات	جدول ۴-۳
۹۲	توان، انرژی مصرفی و نسبت $H_2:CO$ در محصولات	جدول ۴-۴
۱۱۱	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی تبدیل متان	جدول ۴-۵
	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی گزینش پذیری مونوکسید	جدول ۴-۶
۱۱۲	کربن	
۱۱۳	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی گزینش پذیری هیدروژن	جدول ۴-۷
۱۱۴	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی نسبت $H_2:CO$	جدول ۴-۸
۱۱۵	نتایج تحلیل آماری تاثیر پارامترهای طراحی بر روی انرژی مصرفی	جدول ۴-۹

چکیده:

گاز سنتز (مخلوط گازهای هیدروژن و مونوکسید کربن) گازی بی رنگ و بی بو و سمی است که به عنوان ماده میانی مهمی در فرآیندهای پتروشیمی مانند واکنش های تبدیل گاز به مایع (GTL)، متانول، آمونیاک و غیره به کار می رود. روش های موجود برای تولید گاز سنتز به دلیل نیازمندی به شرایط خاص معمولاً بسیار پر هزینه است. بنابراین به کارگیری یک روش جایگزین سهل و کم هزینه می تواند جذاب باشد. بعنوان مثال استفاده از پلاسما سرد (پالسی و غیر پالسی) می تواند یکی از این گزینه های جذاب باشد. در این پروژه راکتور پلاسما پالسی کرونای مثبت با راکتور نقطه-صفحه ای برای تبدیل گاز متان در حضور اکسیژن به گاز سنتز به کار گرفته شده است. بعد از برپایی یک مجموعه آزمایشگاهی، تاثیر پنج پارامتر فرکانس پالس (۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز)، ولتاژ (۵ تا ۱۰ کیلوولت)، فاصله الکترودها (۵ تا ۱۰ میلیمتر)، نسبت $CH_4:O_2$ (۲ تا ۴) و دبی گاز ورودی به راکتور (۲۵۰ تا ۵۰۰ سی سی در دقیقه) در دو مرحله و ۳ سطح بر میزان درصد تبدیل متان، گزینش پذیری هیدروژن و مونوکسید کربن، نسبت $H_2:CO$ و توان مصرفی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش ها بر اساس روش فاکتوریل کامل (full factorial) طراحی شدند. نتایج بدست آمده نشان می دهد که: ولتاژ، نسبت $CH_4:O_2$ ، دبی گاز ورودی به راکتور، بر روی درصد تبدیل متان، نسبت $CH_4:O_2$ ، دبی گاز ورودی و ولتاژ بر روی گزینش پذیری مونوکسید کربن، نسبت $CH_4:O_2$ بر روی نسبت $H_2:CO$ و نسبت $CH_4:O_2$ و دبی گاز ورودی به راکتور بر روی انرژی مصرفی به ترتیب ذکر شده موثر هستند. در حالت بهینه سیستم میزان تبدیل متان ۴۳،۳۷٪، گزینش پذیری مونوکسید کربن ۵۰،۲۴٪، گزینش پذیری هیدروژن ۷۵،۱۱٪، نسبت $H_2:CO$ ۲،۹۹ و انرژی مصرفی 18.18 conv. می باشد.

کلمات کلیدی: راکتور پلاسما پالسی، پلاسما پالسی با فرکانس بالا، کرونای مثبت، گاز سنتز، تبدیل متان، طرح آزمایش فاکتوریل کامل