

به نام خدایی که در این مرد است



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای سیدمهدی جزایری رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان اثر هیدروژن سولفید به عنوان بازدارنده کک و منوکسید کربن در فرآیند شکست حرارتی اتان در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه دکتری مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر رامین کریم زاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدرضا امیدخواه نسرین	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سیدمحمدعلی موسویان	استاد	
استاد ناظر	دکتر سید نظام الدین اشرفی زاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدرضا امیدخواه نسرین	دانشیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت

مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.


ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی

سیدمهدی جزایری

تاریخ و امضاء



آئین نامه پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی پژوهشی دانشگاه است. بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ رساله ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به دفتر "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
"کتاب حاضر، حاصل رساله دکتری نگارنده سیدمهدی جزایری در رشته مهندسی شیمی است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی دکتر رامین کریمزاده، از آن دفاع شده است"

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اهداء کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت های بهای خسارت، دانشگاه مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سیدمهدی جزایری دانشجوی رشته مهندسی شیمی مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی

سیدمهدی جزایری

تاریخ و امضاء

۹.۶.۱۱



دانشکده مهندسی شیمی

رساله دوره دکتری رشته مهندسی شیمی

اثر سولفید هیدروژن بعنوان بازدارنده کک و منوکسید کربن در فرآیند شکست حرارتی اتان

سیدمهدی جزایری

استاد راهنما:

دکتر رامین کریمزاده

تیر ۹۰

«... و بسا چیزی را خوش ندارید و آن برای شما خیر است، و بسا چیزی را دوست

دارید و آن برای شما زیان دارد؛ و خدا [مصلحت شما را در همه امور] می‌داند و

شما نمی‌دانید.»

قسمتی از آیه ۲۱۶ سوره بقره

تقدیم به او که خواهد آمد.

تشکر و قدردانی

ستایش مخصوص خداوند بزرگ است که هیچ کاری بدون اراده او انجام پذیر نیست و هرچه هست و نیست از حکمت اوست.

در ابتدا قدردانی خالصانه خود را از بهترین‌های زندگی‌هایم، پدر، مادر و خواهران خوبم که در تمامی سختی‌ها در کنار من بوده و همواره با سخنان امیدبخش و دعای خیر خود آرامش را به من هدیه کردند ابراز می‌دارم. همچنین از همسر عزیزم که با درک شرایط و تحمل سختی‌ها نقش بسزایی در پیشرفت‌های اینجانب در زندگی داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

تشکر و قدردانی خود را از جناب آقای دکتر رامین کریم‌زاده ابراز می‌دارم، بنده در مراحل انجام رساله همواره از راهنمای‌ها و پشتیبانی‌های ارزنده و همه جانبه ایشان بهره‌مند بوده‌ام. از آقایان دکتر موسویان، دکتر اشرفی‌زاده، دکتر امیدخواه و دکتر زرین‌قلم که زحمت داوری رساله را به عهده داشتند کمال تشکر را دارم.

بدون حضور و یاری آقای کامران دانایی‌نیا انجام آزمایش‌ها بسیار دشوار بود، از ایشان بخاطر همراهی در انجام تمام آزمایش‌ها تشکر می‌کنم. از دوست عزیزم آقای احسان کارشکی که با کمک بموقع خود لطف بزرگی در حق من کردند تشکر می‌کنم.

و در نهایت تشکر ویژه خود را از دوستان عزیزم آقایان حمیدرضا گودینی و محمد قشقایی که با پشتیبانی‌های همه جانبه معنوی و علمی خود نقش بسیار مهمی در به پایان رسیدن این رساله داشتند ابراز می‌دارم. بدون حمایت‌های برادرانه، خالصانه، همه‌جانبه و همیشگی این دو عزیز ادامه و اتمام تحصیل اینجانب در دانشگاه تربیت مدرس غیرممکن بود. به دوستی با این دو بزرگوار افتخار می‌کنم و از خداوند برای آنها در تمام مراحل زندگی سلامتی، آرامش و موفقیت آرزو مندم.

چکیده: در این تحقیق نشست کک و تولید منوکسیدکربن در فرآیند شکست حرارتی اتان، در حضور گاز سولفیدهدیروژن و برروی نمونه‌های فلزی از جنس کروم، آهن و استیل مورد بررسی قرار گرفت، این کار به دو شیوه پیش‌سولفیده کردن سطح فلز قبل از شروع شکست حرارتی و استفاده پیوسته از سولفیدهدیروژن در حین شکست حرارتی صورت پذیرفت، در شکست حرارتی از نیتروژن و بخار آب به عنوان رقیق‌ساز استفاده شد. در آزمایش‌هایی که از نیتروژن به عنوان رقیق‌ساز استفاده شد، با پیش-سولفیده کردن سطح نمونه‌های فلزی، در تمامی شرایط عملیاتی و برای تمامی نمونه‌ها سرعت نشست کک نسبت به حالت اولیه کاهش یافت بطوریکه برای کروم تا ۷۰٪، آهن ۳۰٪ و برای استیل تا ۶۰٪ کاهش در سرعت نشست کک مشاهده شد. ولی در آزمایش‌هایی که از سولفیدهدیروژن بطور پیوسته استفاده شد نتایج بدست آمده نشان داد که در دماهای پایین وجود مقادیر کم از سولفیدهدیروژن باعث کاهش ۲۰٪ در سرعت نشست کک می‌شود در حالی که با افزایش دما و یا غلظت سولفیدهدیروژن سرعت نشست کک تا ۱۲۰٪ افزایش می‌یابد. در آزمایش‌هایی که از بخار آب به عنوان رقیق‌ساز استفاده شد با پیش‌سولفیده کردن سطح نمونه‌های فلزی سرعت نشست کک کاهش یافت، برای کروم ۲۰٪، آهن ۴۵٪ و استیل ۳۰٪ کاهش مشاهده گردید. ولی باز هم مانند حالت قبل استفاده پیوسته از سولفیدهدیروژن در بعضی شرایط باعث تا ۲۰٪ کاهش و در بعضی دیگر موجب افزایش سرعت نشست کک به میزان سه برابر شد. به عنوان نتیجه کلی می‌توان گفت که هرچه دما و غلظت سولفیدهدیروژن کمتر باشد میزان کاهش سرعت نشست کک کمتر خواهد بود، در این پژوهش بیشترین میزان کاهش در سرعت نشست کک در دمای ۸۲۵ درجه سانتیگراد و غلظت ۲۵ ppmw از سولفیدهدیروژن مشاهده گردید.

برای بررسی روند تغییرات سرعت نشست کک و محصولات تولیدی نسبت به پارامترهای عملیاتی، بخصوص غلظت سولفیدهدیروژن، همچنین آنالیز نتایج حاصل، از روش‌های طراحی آزمایش استفاده شد، از میان روش‌های مختلف دو روش طراحی آزمایش فاکتوریل کامل در سه سطح و روش طراحی آزمایش ترکیب مرکزی برای این کار انتخاب شده‌اند. همچنین در این تحقیق برای بررسی بهتر و پیش‌بینی

سرعت نشست کک، یک مدل برای نشست کک بر مبنای واکنش‌های سطحی ارائه شد که این مدل بخوبی نشست کک را پیش‌بینی می‌نماید، همچنین یک مدل تجربی برای نشست کک در حالتی که سولفید هیدروژن بطور پیوسته در محیط واکنش حضور دارد ارائه گردید. در مدل تجربی ارائه شده اثرات کاهش و افزایش سولفید هیدروژن بر روی سرعت نشست کک در نظر گرفته شد، در ادامه صحت و میزان همپوشانی این مدل‌ها با استفاده از داده‌های تجربی مورد بررسی قرار گرفت که در نتیجه مدل جزئی برای نشست کک و مدل تجربی برای بیان اثر سولفید هیدروژن بخوبی رفتارهای پیچیده و متناقض نشست کک را پیش‌بینی نمودند. در انتها پارامترهای هر کدام از این مدل‌ها نیز با استفاده از نتایج آزمایشگاهی محاسبه شدند.

در این تحقیق علاوه بر بررسی سرعت نشست کک، میزان منوکسید کربن تولیدی در حالتی که از بخار آب به عنوان رقیق‌ساز استفاده مورد بررسی قرار گرفت، در تمامی آزمایش‌هایی که از سولفید هیدروژن چه برای پیش‌سولفیده کردن و چه بصورت پیوسته استفاده شد، مقدار منوکسید کربن تولیدی بشدت کاهش یافت. بطوریکه با پیش‌سولفیده کردن سطح مقدار منوکسید کربن برای کروم ۹۵٪، آهن ۹۵٪ و استیل ۹۰٪ کاهش یافت، همچنین با اضافه کردن پیوسته سولفید هیدروژن مقدار منوکسید کربن تولید برای کروم تا ۹۰٪، آهن ۹۵٪ استیل ۹۰٪ کاهش یافت.

کلمات کلیدی: شکست حرارتی اتان، سرعت نشست کک، مکانیزم نشست کک، سولفید هیدروژن،

فهرست مطالب

الف	فهرست علامت‌ها و نشانه‌ها
ج	فهرست جدول‌ها
ه	فهرست شکل‌ها
فصل اول : مقدمه و تعریف مسئله	
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۲- فرآیند شکست حرارتی
۵	۱-۳- نشست کک و تولید منوکسید کربن
۶	۱-۳-۱- نشست کک
۹	۱-۳-۲- تولید منوکسید کربن
۱۱	۱-۴- استفاده از افزودنی‌ها در فرآیند شکست حرارتی
۱۳	۱-۵- مواد افزودنی گوگردی
۱۹	۱-۶- گاز سولفید هیدروژن به عنوان ماده افزودنی
۲۵	۱-۷- هدف و نوآوری
فصل دوم : مکانیزم نشست کک	
۲۷	۱-۲- مقدمه
۲۸	۲-۲- مکانیزم نشست کک
۲۹	۳-۲- مدل‌های جزئی
۳۳	۴-۲- مکانیزم تجربی نشست کک در حضور سولفید هیدروژن
فصل سوم : سیستم آزمایشگاهی	
۳۹	۱-۳- مقدمه
۴۰	۲-۳- شرح دستگاه آزمایشگاهی

۴۲	۳-۲-۱-بخش تغذیه
۴۳	۳-۲-۲-کوره شکست حرارتی
۴۴	۳-۲-۳-پیش گرم کردن مواد
۴۴	۳-۲-۴-راکتور شکست حرارتی
۴۹	۳-۲-۵-اندازه گیری میزان نشست کک
۵۰	۳-۲-۶-سیستم مبرد و جداسازی محصولات
۵۱	۳-۲-۷-آنالیز محصولات گازی
۵۱	۳-۳-طراحی آزمایش‌ها

فصل چهارم : نتایج و بحث

۶۶	۴-۱-مقدمه
۶۷	۴-۲-آنالیز نتایج
۶۷	۴-۲-۱-پیش سولفیده کردن در حضور نیتروژن
۶۷	۴-۲-۱-۱-سرعت نشست کک
۷۶	۴-۲-۱-۲-آنالیز آماری نتایج بدست آمده
۷۷	۴-۲-۱-۳-محصولات پیش سولفیده
۷۸	۴-۲-۲-اضافه کردن پیوسته در حضور نیتروژن
۷۸	۴-۲-۲-۱-سرعت نشست کک
۸۵	۴-۲-۲-۲-آنالیز آماری نتایج بدست آمده
۸۶	۴-۲-۲-۳-محصولات اضافه کردن پیوسته
۸۸	۴-۲-۳-پیش سولفیده کردن در حضور بخار آب
۸۸	۴-۲-۳-۱-سرعت نشست کک
۹۵	۴-۲-۳-۲-آنالیز آماری نتایج بدست آمده

۹۶	۳-۳-۲-۴- محصولات پیش سولفیده
۱۰۰	۴-۲-۴- اضافه کردن پیوسته در حضور بخار آب
۱۰۰	۱-۴-۲-۴- سرعت نشست کک
۱۱۳	۲-۴-۲-۴- آنالیز آماری نتایج بدست آمده
۱۱۴	۳-۴-۲-۴- محصولات اضافه کردن پیوسته
۱۱۹	۳-۴- مدل سینتیکی نشست کک
۱۱۹	۱-۳-۴- نشست کک با رقیق ساز نیتروژن
۱۱۹	۱-۱-۳-۴- مدل جزئی
۱۲۳	۲-۱-۳-۴- مدل تجربی
۱۲۶	۲-۳-۴- رقیق ساز بخار آب

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادها

۱۳۰	۱-۵- نتیجه گیری
۱۳۲	۲-۵- پیشنهادها
۱۳۳	مراجع

پیوستها

الف	گاز سولفیدهیدروژن
ب	میزان خطای آزمایشها و محاسبات

فهرست علامتها و نشانه‌ها

نشانه	واحد	تعریف
C	ppmw	غلظت سولفیدهیدروژن (وزنی)
E	cal/mol	انرژی فعال‌سازی
k, K	1/ppmw or 1/ppmw ²	ثابت سرعت واکنش
p	bar	فشار جزئی
P	bar	فشار کل
Q	mL/min	دبی حجمی
R	1.987 cal/K/mol	ثابت گازها
r	mg/cm ² /hr	سرعت نشست کک
n	mol	تعداد مول‌ها
V	cm ³	حجم راکتور
T	°C	دمای واکنش
x		ترکیب درصد سولفیدهیدروژن در نیتروژن
X		سطح کد شده متغیرها
Y		پاسخ سیستم
حروف یونانی		
θ		سهم هر جزء از سطح
α		ضریب تابعیت نسبت رقیق‌ساز در ثابت
α		سرعت واکنش k
β		عدد ثابت در معادله α
γ		عدد ثابت در معادله α

بالانویس‌ها

+1	حد بالای متغیرها
0	حد میانی متغیرها
-1	حد پایین متغیرها
n	توان غلظت

زیرنویس‌ها

0	حالت اولیه
c	کک
i	شمارنده
*	فلز بدون پوشش

کوتاه‌نوشت‌ها

ANOVA	Analysis of Variance	آنالیز پراکندگی
DR	Diluent Ratio	نسبت رقیق‌ساز به هیدروکربن
SR	Steam Ratio	نسبت بخار آب به هیدروکربن
RGA	Refinery-Gas Analyzer	آنالیزور گازهای پالایشگاهی
ppmw	Part Per Million Weight	جزء وزنی در میلیون
SS	Stainless Steel	استیل ضد زنگ
RT	Residence Time	زمان اقامت
MW	Molecular Weight	جرم مولکولی

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱. انواع مواد افزودنی در فرآیند شکست حرارتی و اثرات و مشکلات ناشی از بکارگیری آنها ۱۲
- جدول ۱-۲. خلاصه ای از کارهای انجام شده بر روی استفاده از مواد گوگردی در شکست حرارتی ۱۸
- جدول ۱-۲. واکنش‌های سطحی در مدل جزئی ۳۰
- جدول ۲-۲. رابطه سرعت نشست کک براساس مکانیزم جزئی و واکنش محدودکننده ۳۳
- جدول ۱-۳. محدودیت پارامترها در آزمایش‌ها ۴۷
- جدول ۲-۳. سطوح فاکتورها در طراحی فاکتوریل کامل، رقیق‌ساز نیتروژن ۵۶
- جدول ۳-۳. آزمایش‌های فاکتوریل کامل در پیش‌سولفیده با سولفیدهدیروژن، رقیق‌ساز نیتروژن ۵۷
- جدول ۴-۳. آزمایش‌های فاکتوریل کامل در اضافه کردن مداوم سولفیدهدیروژن، رقیق‌ساز نیتروژن ۵۸
- جدول ۵-۳. سطوح فاکتورها در طراحی ترکیب مرکزی، رقیق‌ساز بخار آب ۶۰
- جدول ۶-۳. آزمایش‌های طراحی ترکیب مرکزی در پیش‌سولفیده با سولفیدهدیروژن، رقیق‌ساز بخار آب ۶۱
- جدول ۷-۳. آزمایش‌های طراحی ترکیب مرکزی در اضافه کردن مداوم سولفیدهدیروژن، رقیق‌ساز بخار آب ۶۲
- جدول ۸-۳. سطوح فاکتورها در طراحی فاکتوریل کامل، رقیق‌ساز بخار آب، بدون افزودنی ۶۴
- جدول ۹-۳. آزمایش‌های فاکتوریل کامل شکست حرارتی، رقیق‌ساز بخار آب، بدون افزودنی ۶۴
- جدول ۱-۴. آنالیز آماری سرعت نشست کک بر روی نمونه پیش‌سولفیده ۷۶
- جدول ۲-۴. ضرائب مدل بدست آمده برای سرعت نشست کک بر روی نمونه پیش‌سولفیده ۷۷
- جدول ۳-۴. آنالیز آماری سرعت نشست کک، اضافه کردن پیوسته در حضور نیتروژن ۸۵

- جدول ۴-۴. ضرائب مدل بدست آمده برای سرعت نشست کک، اضافه کردن پیوسته در حضور نیتروژن ۸۶
- جدول ۴-۵. آنالیز آماری سرعت نشست کک، پیش سولفیده کردن در حضور بخار آب ۹۵
- جدول ۴-۶. ضرائب مدل بدست آمده برای سرعت نشست کک بر روی نمونه پیش سولفیده در حضور بخار آب ۹۵
- جدول ۴-۷. آنالیز آماری سرعت نشست کک، اضافه کردن پیوسته در حضور بخار آب ۱۱۳
- جدول ۴-۸. ضرائب مدل بدست آمده برای سرعت نشست کک ، اضافه کردن پیوسته در حضور بخار آب ۱۱۴
- جدول ۴-۹. پارامترهای مدل سینتیکی، واکنش R1 محدود کننده سرعت ۱۱۹
- جدول ۴-۱۰. پارامترهای مدل سینتیکی، واکنش R2 محدود کننده سرعت ۱۲۰
- جدول ۴-۱۱. پارامترهای سینتیکی مدل تجربی بدون حضور سولفید هیدروژن ۱۲۴
- جدول ۴-۱۲. پارامترهای سینتیکی مدل تجربی در حالت پیش سولفیده ۱۲۴
- جدول ۴-۱۳. تابعیت دمایی پارامترهای سینتیکی مدل تجربی در حضور سولفید هیدروژن ۱۲۶
- جدول ۴-۱۴. تابعیت نسبت رقیق ساز پارامترهای سینتیکی مدل تجربی در حضور سولفید هیدروژن ۱۲۷

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱. شمای کلی از فرآیند شکست حرارتی ۳
- شکل ۱-۲: شماتیک فرآیند نشست کک کاتالیستی در طی شکست حرارتی هیدروکربن‌ها ۷
- شکل ۱-۳: مکانیزم رشد کک بوسیله مکانیزم ناهمگن غیر کاتالیستی ۸
- شکل ۱-۴. تولید منوکسید کربن در شکست حرارتی نفتا ۱۰
- شکل ۱-۵. نشست کک در شکست حرارتی نرمال نونان ۱۴
- شکل ۱-۶. اثر جنس راکتور و نحوه آماده سازی اولیه بر سرعت رشد کک ۱۴
- شکل ۱-۲. نمایی شماتیک از مکانیزم تجربی نشست کک در حضور سولفید هیدروژن ۳۵
- شکل ۱-۳. شمایی کلی از سیستم آزمایشگاهی ۴۱
- شکل ۲-۳. کنترل کننده شدت جریان گاز ۴۲
- شکل ۳-۳. ترازو و پمپ پرستالتیک برای تزریق آب ۴۳
- شکل ۳-۴. کوره شکست حرارتی ۴۳
- شکل ۳-۵. پیش گرم کن مواد ۴۴
- شکل ۳-۶. راکتور همزده از جنس کوارتز ۴۸
- شکل ۳-۷. پیش گرم کن و راکتور درون کوره ۴۸
- شکل ۳-۸. نمونه‌های فلزی مورد استفاده برای نشست کک ۴۹
- شکل ۳-۹. نمونه‌های فلزی درون راکتور ۴۹
- شکل ۳-۱۰. مبدل دولوله‌ای برای خنک‌سازی ناگهانی ۵۰
- شکل ۳-۱۱. کندانسور مورد استفاده برای خنک‌سازی محصولات خروجی ۵۰
- شکل ۳-۱۲. دستگاه کروماتوگرافی گازی ۵۱

- شکل ۴-۱. مقایسه سرعت نشست کک در دو حالت بدون افزودنی و پیش‌سولفیده کردن در نسبت رقیق‌سازهای (a) ۰/۵ (b) ۰/۷ (c) ۰/۹
- ۶۸
- شکل ۴-۲. اثرات اصلی دما و نسبت رقیق‌ساز بر روی سرعت نشست کک بر روی نمونه‌های (a) کروم (b) آهن و (c) استیل
- ۷۰
- شکل ۴-۳. برهمکنش بین دما و نسبت رقیق‌ساز برای نمونه‌های (a) کروم (b) آهن و (c) استیل
- ۷۲
- شکل ۴-۴. کانتورهای سرعت نشست کک ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{hr}^{-1}$) بر حسب دما و نسبت رقیق‌ساز برای نمونه‌های (a) کروم (b) آهن و (c) استیل
- ۷۳
- شکل ۴-۵. کانتورهای درصد کاهش سرعت نشست کک با استفاده از پیش‌سولفیده کردن بر حسب دما و نسبت رقیق‌ساز برای نمونه‌های (a) کروم (b) آهن و (c) استیل
- ۷۴
- شکل ۴-۶. اثرات اصلی دما و نسبت رقیق‌ساز بر روی بازده اتیلن
- ۷۷
- شکل ۴-۷. درصد تغییر سرعت نشست کک در حضور ۲۵ ppmw از سولفیدهدیروژن بر حسب دما و نسبت رقیق‌ساز برای نمونه‌های (a) کروم (b) آهن و (c) استیل
- ۷۹
- شکل ۴-۸. درصد تغییر سرعت نشست کک در حضور ۵۰ ppmw از سولفیدهدیروژن بر حسب دما و نسبت رقیق‌ساز برای نمونه‌های (a) کروم (b) آهن و (c) استیل
- ۸۱
- شکل ۴-۹. اثرات اصلی پارامترهای عملیاتی بر روی سرعت نشست کک نمونه‌های (a) کروم (b) آهن و (c) استیل
- ۸۲
- شکل ۴-۱۰: سرعت نشست کک در دمای ۸۷۵ درجه سانتیگراد نمونه‌های (a) کروم (b) آهن و (c) استیل
- ۸۴
- شکل ۴-۱۱. اثرات اصلی پارامترها بر روی بازده اتیلن در خروجی
- ۸۷
- شکل ۴-۱۲. برهمکنش بین پارامترها و اثر آن بر روی بازده اتیلن
- ۸۸
- شکل ۴-۱۳. مقایسه سرعت نشست کک در دو حالت بدون افزودنی و پیش‌سولفیده کردن در نسبت رقیق‌ساز ۰/۶ برای (a) کروم (b) آهن (c) استیل
- ۹۰

- شکل ۴-۱۴. اثرات اصلی دما و نسبت بخارآب برروی سرعت نشست کک در نمونه کروم ۹۲
- شکل ۴-۱۵. اثرات اصلی دما و نسبت بخارآب برروی سرعت نشست کک در نمونه آهن ۹۳
- شکل ۴-۱۶. اثرات اصلی دما و نسبت بخارآب برروی سرعت نشست کک در نمونه استیل ۹۴
- شکل ۴-۱۷. اثرات اصلی دما و نسبت بخارآب برروی بازده اتیلن ۹۷
- شکل ۴-۱۸. مقایسه میزان تولید منوکسیدکربن در دو حالت بدون افزودنی و پیش‌سولفیده کردن در نسبت رقیق‌ساز ۰/۶ برای (a) کروم (b) آهن و (c) استیل ۹۹
- شکل ۴-۱۹. اثر اضافه کردن پیوسته سولفیدهدیروژن برروی سرعت نشست کک در دمای ۸۳۲ درجه سانتیگراد و نسبت رقیق‌ساز (a) ۰/۶ و (b) ۰/۸ ۱۰۱
- شکل ۴-۲۰. اثر اضافه کردن پیوسته سولفیدهدیروژن برروی سرعت نشست کک در دمای ۸۶۸ درجه سانتیگراد و نسبت رقیق‌ساز (a) ۰/۶ و (b) ۰/۸ ۱۰۲
- شکل ۴-۲۱. تغییرات سرعت نشست کک برحسب دما، نسبت بخارآب و غلظت سولفیدهدیروژن برای نمونه کروم ۱۰۳
- شکل ۴-۲۲. تغییرات سرعت نشست کک برحسب نسبت بخارآب و غلظت سولفیدهدیروژن برای نمونه آهن ۱۰۴
- شکل ۴-۲۳. تغییرات سرعت نشست کک برحسب دما، نسبت بخارآب و غلظت سولفیدهدیروژن برای نمونه استیل ۱۰۵
- شکل ۴-۲۴. اثرات اصلی دما، نسبت بخارآب و غلظت سولفیدهدیروژن برروی سرعت نشست کک در نمونه کروم ۱۰۷
- شکل ۴-۲۵. اثرات اصلی دما، نسبت بخارآب و غلظت سولفیدهدیروژن برروی سرعت نشست کک در نمونه آهن ۱۰۸
- شکل ۴-۲۶. اثرات اصلی دما، نسبت بخارآب و غلظت سولفیدهدیروژن برروی سرعت نشست کک در نمونه استیل ۱۰۹