بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم سیده محبوبه تیموری سندسی پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان افزایش پایداری کاتالیست های زئولیتی در شکست حرارتی کاتالیستی نفتا توسط عناصر واسطه در تاریخ ۱۳۹۰/۱/۲۹ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر جعفر توفیقی داریان	استاد	
استاد ناظر	دکتر حسن پهلوانزاده	استاد	
استاد ناظر	دکتر مجتبی صدر عاملی	استاد	
استاد ناظر	دکتر متین پروری	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر حسن پهلوانزاده	استاد	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده 1: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده 2: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

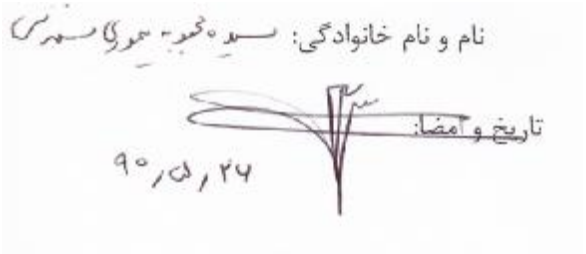
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده دررشته **مهندسی شیمی** است که در سال 1390در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر جعفر توفیقی داریان، از آن دفاع شده است.»

ماده 3: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده 4: در صورت عدم رعایت ماده 3، 50% بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده 5: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده 4 را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده 6: اینجانب **سیده محبوبه تیموری سندسی** دانشجوی رشته **مهندسی شیمی** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.



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، دانش آموختگان 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 1- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / 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.

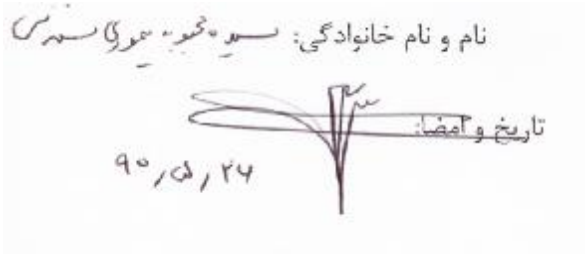
ماده 2- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

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

ماده 3- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده 4- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده 5- این دستورالعمل در 5 ماده و یک تبصره در تاریخ 1384/4/25 در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی شیمی – طراحی فرآیند

افزایش پایداری کاتالیست‌های زئولیتی اصلاح شده توسط عناصر واسطه در شکست کاتالیستی نفتا

نگارنده:

سیده محبوبه تیموری سندسی

استاد راهنما:

دکتر جعفر توفیقی داریان

فروردین 90

تقدیم به

مادر مهربان و فداکارم

و

روح بزرگوار پدرم

تقدیر و تشکر

خداوند بزرگ را شاکرم که به من فرصت تجربه کردن سفر زندگی را اعطا نمود و همواره مرا در مسیر درست قرار داد.

تشکر و قدردانی خویش را از جناب آقای دکتر جعفر توفیقی که بزرگترین حامی من در مسیر انجام این پژوهش بوده و در به ثمر رساندن آن از هیچ مساعدتی دریغ نورزیده اعلام می دارم.

از همکار گرانقدر، آقای مهندس کامیار کیوانلو به خاطر همفکری و کمک‌های بی‌شائبه‌شان در انجام این تحقیق تشکر می‌کنم.

چکیده:

در این پژوهش بمنظور بررسی پایداری کاتالیست‌های HZSM-5 اصلاح شده توسط عناصر واسطه در شکست حرارتی – کاتالیستی نفتا مجموعه‌ای از کاتالیست‌ها توسط طراحی آماری RSM و روش باکس بهنکن طراحی گردید. از عنصر آهن بعنوان عنصر واسطه و از فسفر به عنوان عامل پایدار کننده شبکه زئولیت استفاده شد. با توجه به نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی شکست حرارتی-کاتالیستی به عنوان واکنش غالب برای تولید پروپیلن در نظر گرفته شد حال آنکه در تولید اتیلن نقشی نداشت. با توجه به دمای عملیاتی واکنش (680°C) شکست حرارتی با بخار بعنوان مکانیسم غالب برای تولید اتیلن فرض گردید. همچنین بمنظور بررسی تاثیر عناصر بارگذاری شده و نیز نسبت مولی Si/Al بر ساختار، اسیدیته و فعالیت کاتالیستی مجموعه‌ای از آزمون‌ها شامل SEM، EDX، XRD، BET، NH_3-TPD و TG-DTA بر روی تعدادی از کاتالیست‌ها صورت گرفت. بر اساس تحلیل NH_3-TPD، بارگذاری و افزایش Si/Al باعث کاهش تعداد کل سایت‌های اسیدی شد. تنها در نمونه (25) Fe(10)-P(1/1)/HZSM-5 بارگذاری آهن و فسفر باعث افزایش تعداد کل سایت‌های اسیدی شد که این مطلب موید شکل‌گیری سایت‌های اسیدی جدید در ساختار کاتالیست (25) Fe(10)-P(1/1)/HZSM-5 است. مقایسه نتایج تحلیل TGA و آزمون‌ها موید این مطلب است که تنها عامل ناپایداری کاتالیست، مکانیسم برگشت پذیر تشکیل کک نمی‌تواند باشد زیرا در میان کاتالیست‌ها، کاتالیست با مقدار کم کک دارای مقدار بالای افت در بازده پروپیلن پس از 20 ساعت از انجام واکنش می‌باشد حال آنکه کاتالیست‌هایی با مقادیر بالاتر کک دارای افت کمتری در بازده پروپیلن می‌باشد. در نتیجه، مکانیسم برگشت ناپذیر آلومینیوم‌زدایی نیز یکی دیگر از عوامل ناپایداری کاتالیست می‌باشد. در میان کاتالیست‌های موجود، (130) Fe(2)-P(2)/HZSM-5 بیشترین پایداری را در میان کاتالیست‌ها از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: شکست حرارتی، شکست کاتالیستی، نفتا، اولفین سبک، HZSM-5 اصلاح شده، Fe/HZSM-5، P/HZSM-5

فهرست مطالب

فصل اول - مقدمه

1-1 روش‌های صنعتی برای تولید اولفین‌های سبک.....2

1-1-1 شکست حرارتی با بخار.....3

1-1-1-1 مکانیسم فرآیند شکست با بخار.....3

1-1-1-2 کوره شکست.....4

1-1-1-3 پارامترهای عملیاتی.....5

1-1-1-4 معایب شکست با بخار.....9

1-1-2 شکست کاتالیستی.....10

1-1-2-1 کاتالیست‌های مورد استفاده در فرآیند شکست کاتالیستی.....10

1-1-2-2 زئولیت.....11

1-1-2-3 مکانیسم شکست کاتالیستی.....15

فصل دوم - مروری بر منابع

1-2 زئولیت HZSM-5 اصلاح شده..... 19

2-2 افزایش پایداری زئولیت HZSM-5.....26

فصل سوم - تجهیزات آزمایشگاهی، مواد و روش ها

1-3 تجهیزات آزمایشگاهی.....31

1-1-3 شرح واحد آزمایشگاهی.....31

1-1-1-3 بخش تغذیه.....32

2-1-1-3 سامانه پیش گرم‌کن.....33

3-1-1-3 کوره و راکتور شکست حرارتی.....33

3-1-1-4 جداسازی مایعات از محصولات گازی.....34
3-1-1-5 دستگاه کروماتوگرافی گاز.....34
3-2 مواد.....35
3-3 طراحی آزمایش آماری.....38
3-4 روش.....41
3-4-1 روش ساخت کاتالیست.....41
3-4-2 شرح آزمایش.....42
3-4-2-1 محاسبات بازده محصولات.....44
3-5 مشخصه یابی کاتالیست‌های دو فلزی.....45
3-5-1 آزمون BET. 45
3-5-2 آزمون TGA.....46
3-5-3 آزمون NH_3-TPD.....46
3-5-4 آزمون XRD.....46
3-5-5 طیف نگاری EDX.....47
3-5-6 آزمون SEM.....47

فصل چهارم - نتایج و بحث

4-1 تاثیر Si/Al و عناصر بارگذاری شده بر ساختار کاتالیست.....49
4-1-1 آزمون SEM و EDX.....49
4-1-2 آزمون BET.....52
4-1-3 آزمون XRD.....53
4-2 تاثیر Si/Al و عناصر بارگذاری شده بر اسیدیته کاتالیست.....54
4-2-1 آزمون NH_3-TPD.....54

4-2-1-1 تاثیر نسبت مولی Si/Al بر خاصیت اسیدی کاتالیست.....55
4-2-1-2 تاثیر عناصر آهن و فسفر بارگذاری شده بر خاصیت اسیدی کاتالیست.....56
4-3 تاثیر Si/Al، آهن و فسفر بارگذاری شده بر فعالیت کاتالیستی.....58
4-3-1 آزمون TGA.....59
4-3-2 آزمون DTA.....60
4-4 بررسی نتایج آزمایشگاهی.....62
4-4-1 متان.....67
4-4-2 پارافین.....68
4-4-3 اتیلن.....70
4-4-4 پروپیلن.....71
4-4-4-1 آزمون واریانس و معادله بازده پروپیلن تولید شده در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا.....72
4-4-4-2 تاثیر پارامترهای اصلی و برهم کنش بین پارامترهای اصلی بر بازده پروپیلن 75
4-4-5 ناپایداری کاتالیست.....79
4-4-5-1 آزمون واریانس برای پروپیلن کاهش یافته در شکست حرارتی – کاتالیستی نفتا.....80
4-4-5-2 تاثیر پارامترهای اصلی و برهم کنش بین پارامترهای اصلی بر پایداری کاتالیست.....82
4-5 نتیجه‌گیری.....90
4-6 پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی.....90
مراجع.....91

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول 1-1 انواع کاتالیست های مورد استفاده در شکست نفتا 11

جدول 3-1 خصوصیات زئولیت‌های مورد استفاده برای ساخت کاتالیست..... 35

جدول 3-2 مشخصات آهن مورد استفاده برای ساخت کاتالیست..... 36

جدول 3-3 مشخصات فسفر مورد استفاده برای ساخت کاتالیست..... 36

جدول 3-4 خصوصیات فیزیکی و درصد ترکیب نفتا 37

جدول 3-5 ماتریس طراحی آزمایش به روش باکس بهنکن 40

جدول 3-6 مقادیر کدها برای هر سطح از عوامل..... 41

جدول 3-7 شرایط عملیاتی واکنش‌های شکست حرارتی-کاتالیستی 44

جدول 4-1 آنالیز BET کاتالیست‌های اصلاح شده با فسفر و آهن در نسبت‌های مولی Si/Al متفاوت..... 53

جدول 4-2 تعداد سایت‌های اسیدی ضعیف، قوی و تعداد کل سایت‌های اسیدی زئولیت‌های اصلاح شده 58

جدول 4-3 نتایج بدست آمده از آزمون TG-DTA..... 62

جدول 4-4 نتایج شکست حرارتی نفتا 62

جدول 4-5 نتایج اولیه شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا 64

جدول4-6 نتایج نهایی شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا 66

جدول 4-7 نتایج آنالیز واریانس برای بازده پروپیلن 73

جدول 4-8 آزمون واریانس برای پایداری کاتالیست..... 80

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار 4-1 منحنی XRD کاتالیست‌ها شامل: الف) Fe(6)-P(1.1)/HZSM-5(250)، ب)Fe(6)-P(1.1)/HZSM-5(25)، ج)Fe(2)-P(1.1)/HZSM-5(130)، د)Fe(6)-P(1.1)/HZSM-5(130)، ح)Fe(6)-P(0.2)/HZSM-5(130)، خ) Fe(2)/HZSM-5(250)، ط)Fe(2)/HZSM-5(130)، ظ)Fe(2)/HZSM-5(25)..... 54

نمودار 4-2 منحنی NH_3-TPD زئولیت‌های پایه و بارگذاری شده جهت بررسی تاثیر نسبت مولی Si/Al..... 56

نمودار 4-3 منحنی NH_3-TPD زئولیت‌های پایه و بارگذاری شده جهت بررسی تاثیر آهن و فسفر بر اسیدیته کاتالیست..... 57

نمودار 4-4 منحنی TGA کاتالیست‌های اصلاح شده پس از 20 ساعت از انجام واکنش..... 60

نمودار 4-5 منحنی DTA کاتالیست‌های اصلاح شده پس از 20 ساعت از انجام واکنش 61

نمودار 4-6 بازده پروپیلن کاتالیست‌های اصلاح شده توسط آهن بر حسب زمان واکنش..... 63

نمودار 4-7 بازده اولیه و نهایی متان در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا 68

نمودار4-8 بازده اولیه و نهایی پارافین های تولید شده در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا..... 70

نمودار 4-9 بازده اولیه و نهایی اتیلن در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا 71

نمودار 4-10 مقادیر واقعی آزمایشگاهی بازده پروپیلن در مقابل مقادیر پیش بینی شده توسط مدل آماری باکس بهنکن..... 74

نمودار 4-11 تاثیر نسبت مولی Si/Al بر بازده پروپیلن در Fe=10wt.% و P=1/1wt.%..... 75

نمودار 4-12 تاثیر مقدار فسفر بارگذاری شده بر بازده پروپیلن در Fe=10wt.% و Si/Al=25..... 77

نمودار 4-13 تاثیر همزمان آهن و فسفر بر بازده پروپیلن در Si/Al=25 78

نمودار 4-14 مقادیر واقعی آزمایشگاهی بازده پروپیلن در مقابل مقادیر پیش بینی شده توسط مدل آماری باکس بهنکن..... 81

نمودار 4-15 تاثیر نسبت مولی Si/Al بر مقدار پروپیلن کاهش یافته در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا در Fe=2wt.% و P=2wt.%.....82

نمودار 4-16 تاثیر مقدار آهن بارگذاری شده بر مقدار پروپیلن کاهش یافته در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا در P=2wt.% و Si/Al=130..... 84

نمودار 4-17 تاثیر مقدار فسفر بارگذاری شده بر مقدار پروپیلن کاهش یافته در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا در Si/Al=130 و Fe=2wt.% 85

نمودار 4-18 تاثیر همزمان فسفر و نسبت مولی Si/Al بر پروپیلن کاهش یافته در Fe= 2 wt.%.....86

نمودار 4-19 تاثیر مقدار آهن و فسفر بارگذاری شده بر مقدار پروپیلن کاهش یافته در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا در Si/Al=137/5 .....۸۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 3-1 نمای کلی پایلوت آزمایشگاهی مورد استفاده در شکست حرارتی-کاتالیستی نفتا.....32

شکل 4-1 تصاویر SEM الف) HZSM-5 (Si/Al=130) ب) P(2)/HZSM-5 (Si/Al=130)-Fe(10).....
50 ....

شکل 4-2 طیف نگاری EDX الف) HZSM-5 (Si/Al=130) ب) P(2)/HZSM-5 (Si/Al=130)-Fe(10) 51

شکل 4-3 منحنی سه بعدی بازده پروپیلن بر حسب آهن و فسفر در Si/Al=25 79

شکل 4-4 منحنی سه بعدی پروپیلن کاهش یافته بر حسب آهن و نسبت مولی Si/Al در Fe=2wt.%.....87

شکل 4-5 منحنی پروپیلن کاهش یافته بر حسب آهن و فسفر در Si/Al=137/5.....89

فصل اول

مقدمه

اولفین‌های سبک در صنعت پتروشیمی

در شیمی آلی اولفین[1]، به هیدروکربن اشباع نشده متشکل از حداقل یک باند دوگانه کربن- کربن اتلاق می‌شود. از قرار گرفتن ساده ترین آلکن غیر حلقوی با داشتن تنها یک باند دوگانه کربن-کربن و فاقد هرگونه گروه دیگری، یک سری متقارن از هیدروکربن‌ها با فرمول کلی C_nH_{2n} به نام اولفین بوجود می‌آید. در مقایسه با هیدروکربن‌های پارافینی، اولفین‌ها دارای واکنش‌پذیری بالاتری می‌باشند. واکنش‌پذیری آسان با مواد ارزان قیمتی همچون آب، اکسیژن، هیدروکلریک اسید، کلرین و تشکیل مواد شیمیایی باارزش و نیز تولید پلیمرهایی نظیر پلی اتیلن و پلی پروپیلن از جمله خصوصیات و کاربردهای شاخص اولفین‌های سبک می‌باشد. کاربرد وسیع اولفین‌های سبک در صنایع مختلفی نظیر مواد پلاستیکی، فیبرهای مصنوعی و لاستیک‌ها، سبب افزایش اهمیت این مواد در صنعت پتروشیمی شده است. افزایش تقاضای جهانی برای پلی اولفین‌ها از جمله پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن، سبب افزایش اهمیت این مواد واسطه در صنعت پتروشیمی شده است.

1- 1 روش‌های صنعتی برای تولید اولفین‌های سبک

در ابتدا، اولفین‌های سبک از طریق فرآیندهای شیمیایی و متفاوت از شکست حرارتی برش‌های نفتی، تولید می‌شدند. به عنوان مثال، اتیلن از طریق آب‌زدایی اتیل الکل و یا از طریق هیدروژن‌دهی جزئی استیلن [1] تولید می‌شد. با افزایش تقاضا برای اولفین‌های سبک، گرایش به سمت خوراک‌های نفتی افزایش یافت. شکست حرارتی با بخار به عنوان یکی از فرآیندهای مهم در صنعت پتروشیمی می‌باشد که از گاز طبیعی و برش‌های نفتی (گازهای طبیعی، نفتا و نفت گاز) برای تولید اولفین سبک استفاده می‌کنند.

[1] Olefin

1-1-1 شکست حرارتی با بخار

شکست حرارتی در حضور بخار با تولید سالانه 150 میلیون تن اتیلن و پروپیلن در سطح جهان، به عنوان متداول‌ترین فرآیند تجاری– صنعتی، جهت تولید اولفین‌های سبک محسوب می‌شود [2]. شکست در حضور بخار و در دمای بالا صورت می‌گیرد. کاهش فشار جزئی هیدروکربن وکمک به کاهش میزان کک تولید شده در هنگام تجزیه حرارتی هیدروکربن‌ها[1] [3]، از جمله دلایل اصلی استفاده از بخار می‌باشد. خوراک مورد استفاده در فرآیند شکست با بخار در محدوده هیدروکربن‌های پارافینی سبک (مانند اتان و پروپان بدست آمده از منابع مختلف گاز طبیعی) تا برش‌های نفتی مختلف (نفتا یا نفت گاز) می‌باشد. محصولات بدست آمده از شکست با بخار در درجه اول اتیلن و پروپیلن و در درجه دوم با توجه به نوع خوراک، برش C_4 غنی از بوتادین، برش C_5^+ با مقادیر زیاد آروماتیک و در نهایت هیدروژن می‌باشد. واکنش شکست با بخار با دمای واکنش °C 700-1000، بصورت قابل توجهی گرماگیر می‌باشد. علاوه بر این، مدت زمان اقامت در محدوده ثانیه تا کسری از ثانیه می‌باشد [3]. شرایط مورد نیاز برای افزایش بازده اتیلن و پروپیلن، با در نظر گرفتن فاکتورهایی از قبیل جنس بدنه راکتور و نیز تشکیل کک در داخل راکتور، محدود می‌شود.

1-1-1-1 مکانیسم فرآیند شکست با بخار

مکانیسم واکنش شکست با بخار که با شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد آغاز می‌شود، واکنشی زنجیره‌ای شامل واکنش‌های آغازین (شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد)، انتشار و پایانی (واکنش بین رادیکال‌های آزاد) می‌باشد. به عنوان مثال، مکانیسم واکنش شکست با بخار با خوراک اتان به صورت زیر نشان داده شده است.

[1] $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$

مرحله آغازین

$$CH_3CH_3 \rightarrow 2CH_3^{\circ}$$

مرحله انتشار

$$CH_3^{\circ} + CH_3CH_3 \rightarrow CH_4 + CH_3CH_2^{\circ}$$

$$CH_3CH_2^{\circ} \rightarrow CH_2 = CH_2 + H^{\circ}$$

$$CH_3CH_2^{\circ} + CH_2 = CH_2 \rightarrow CH_3CH_2CH_2CH_2^{\circ}$$

مرحله پایانی

$$CH_3^{\circ} + CH_3CH_2^{\circ} \rightarrow CH_3CH_2CH_3$$

$$CH_3CH_2^{\circ} + CH_3CH_2^{\circ} \rightarrow CH_2 = CH_2 + CH_3CH_3$$

2-1-1-1 کوره شکست

کوره شکست شامل راکتوری با آرایش خاصی از لوله‌ها می‌باشد که در داخل کوره حرارتی قرار گرفته است. در این بخش، از مشعل‌های کوره جهت تامین حرارت مورد نیاز برای انجام عملیات شکست استفاده می‌شود. یک کوره شکست از سه بخش جابجائی، تشعشعی و دودکش تشکیل می‌گردد. در قسمت جابجائی، خوراک توسط حرارت گازهای داغ خروجی از کوره پیش گرم می‌شود. سپس با بخار آب رقیق کننده مخلوط شده و وارد قسمت تابش می‌شود. در منطقه تشعشع، دمای جریان به سرعت افزایش یافته و واکنش‌های شکست حرارتی اتفاق می‌افتد. در این ناحیه توزیع دمای مخلوط بخار آب و هیدروکربن، با

کنترل شدت حرارت مشعل‌ها تنظیم می‌شود. گازهای حاصل از احتراق از منطقه تشعشعی وارد منطقه جابجائی شده و در حین عبور از آن، بخار و خوراک را گرم می‌کند. به علت انتقال حرارت گازهای حاصل از احتراق در این ناحیه، این گازها سرد می‌شوند. گازهای سرد شده وارد دود کش شده و سپس با استفاده از یک موتور چرخاننده و ایجاد مکش در داخل کوره، به بیرون هدایت می‌شوند.

از جمله پارامترهای عملیاتی موثر که بر چگونگی توزیع محصولات تولیدی در راکتور شکست، تاثیر می‌گذارند می‌توان به ترکیب و مقدار خوراک، دما و فشار راکتور، میزان بخار رقیق کننده، زمان ماند در راکتور و همچنین میزان کک تولید شده اشاره کرد.

3-1-1-1 پارامترهای عملیاتی

خوراک

یکی از عوامل موثر بر محصولات شکست کاتالیستی خوراک می‌باشد. محصولات حاصل از شکست شامل اولفین‌ها، دی اولفین‌ها، آروماتیک‌ها، متان و هیدروژن می‌باشد. هر گاه هدف از انجام عملیات شکست تولید اولفین باشد، خوراکی مطلوب است که تولید سایر هیدروکربن‌ها را به حداقل برساند. به عنوان مثال هرگاه هدف اصلی تولید اتیلن باشد مناسب‌ترین گزینه برای خوراک، اتان و پس از آن پروپان می‌باشد. هر چه خوراک از اتان به سمت برش‌های سنگین‌تر که درصد هیدروژن کمتری دارند پیش رود، میزان اتیلن تولیدی کاهش می‌یابد. به همین ترتیب درصد پروپیلن و یا محصولات تولیدی دیگر نیز می‌تواند عامل مهمی در انتخاب نوع خوراک باشد.

همچنین ترکیب خوراک بر روی شرایط واکنش اثر می‌گذارد. هر چه وزن مولکولی خوراک بالاتر باشد، دمای عملیاتی کمتری جهت شکستن پیوندهای بین مولکولی نیاز است و پیوندها راحتتر شکسته می‌شوند.