دانشکده شیمی

پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی (Ph.D) در رشته شیمی تجزیه

موضوع :

سنتز، شناسایی و ارزیابی خواص زئولیت و نانو زئولیت ZSM-۵ (MFI-type) اصلاح شده با عناصر گروه اصلی سوم به روش جانشینی هم‌ریختی

اساتید راهنما:

دکتر سید ناصر عزیزی

دکتر حسین کاظمیان

پژوهشگر:

مریم ابریشم‌کار

شهریورماه ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده شیمی

پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی (Ph.D) در رشته شیمی تجزیه

موضوع :

سنتز، شناسایی و ارزیابی خواص زئولیت و نانو زئولیت ZSM-۵ (MFI-type) اصلاح شده با عناصر گروه اصلی سوم به روش جانشینی هم‌ریختی

اساتید راهنما :

دکتر سید ناصر عزیزی

دکتر حسین کاظمیان

اساتید داور:

دکتر محمدرضا گنجعلی

دکتر مجید تقی‌زاده

دکتر جهانبخش رئوف

دکتر محمدحسین فاطمی

پژوهشگر:

مریم ابریشم‌کار

شهریورماه ۱۳۸۹

یاد و سپاس:

سپاس خدای را که خود را به ما شناسانید و از نعمت بی‌نهایت شکرش بهره‌ای به ما الهام کرد و به دست قدرت بی‌منتهایش همه خلق را صورت بخشید، هر کس را در سایه اراده‌اش به راهی رهرو گردانید و آتش عشق خود را در وجودشان برانگیخت.

اکنون که به لطف حق مراحل تحقیق به پایان رسیده، لازم می‌دانم مراتب سپاس قلبی خود را به تمامی بزرگواران و اساتیدی که مشوق و راهنمای من بوده‌اند تقدیم دارم.

با تشکر از اساتید بزرگوار و ارجمندم **جناب آقای دکتر سید ناصر عزیزی و آقای دکتر حسین کاظمیان** که سخت کوشی، دقت، استقامت و پایداری را به من آموختند و آموخته‌های خود را در انجام این پروژه مدیون ایشان می‌باشم.

با سپاس از اساتید گرانقدر **جناب آقای دکتر محمدرضا گنجعلی، آقای دکتر مجید تقی‌زاده، آقای دکتر جهانبخش رئوف و آقای دکتر محمدحسین فا**طمی که افتخار مطالعه و داوری رساله اینجانب را بعهده داشتند. همچنین از حضور **جناب آقای دکتر محمدرضا حاج‌محمدی** بعنوان نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع اینجانب صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از کمک‌های بی‌دریغ مسئولین محترم کتابخانه، انبار مواد شیمیایی و سایر
قسمت‌های آموزشی و اداری سپاسگذارم.
از همیاری و همدلی دوستان خوبم که صادقانه در کنارم بودند، نهایت
تشکر را دارم.

تقدیم به استواری یک تکیه‌گاه، پدرم،

نگاه پر مهر مادرم،

همراه همیشگی زندگیم، همسرم

و

خواهران، برادران و عمه عزیزم

بخاطر همه چیز

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه ۲

فصل دوم

مروری بر منابع علمی

۲-۱- ساختار زئولیت‌ها ۱۰

۲-۲- طبقه بندی زئولیت‌ها ۱۱

۲-۳- زئولیت‌های خانواده MFI ۱۵

۲-۴- شرایط عمومی سنتز زئولیت‌ها ۱۶

۲-۵- سنتز زئولیت‌ها ۱۷

۲-۶- زئولیت‌های کلوئیدی ۱۹

۲-۷- سنتز نانوبلورهای زئولیت ۲۰

۲-۷-۱- سنتز نانو بلورهای زئولیت با استفاده از ژل و محلول شفاف ۲۰

۲-۷-۲- سنتز نانوکریستال‌های زئولیت در فضای بسته ۲۲

۲-۸- فنون فیزیکی- شیمیایی شناسایی و تعیین ساختمان زئولیت‌ها ۲۳

۲-۸-۱- پراش اشعه X ۲۳

۲-۸-۲- فلوئورسانس اشعه X (XRF) ۲۶

۲-۸-۳- طیف سنجی مادون قرمز (IR) ۲۶

۲-۸-۴- میکروسکوپ پیمایش الکترونی (SEM) ۲۸

۲-۹- کاربردهای زئولیت‌ها ۲۹
۲-۱۰- ویژگی‌های زئولیت‌ها ۳۰
۲-۱۰-۱- تعویض یون ۳۰
۲-۱۰-۲- جذب سطحی ۳۲
۲-۱۰-۲-۱- همدماهای جذب سطحی ۳۲
۲-۱۰-۲-۱-۱- همدمای جذب سطحی لانگمویر ۳۳
۲-۱۰-۲-۱-۲- همدمای فرند لیچ ۳۳
۲-۱۰-۲-۲- سرعت جذب ۳۴
۲-۱۰-۲-۲-۱- الگوی سینتیکی شبه مرتبه اول ۳۵
۲-۱۰-۲-۲-۲- الگوی سینتیکی شبه مرتبه دوم ۳۶
۲-۱۰-۳- کاتالیز های زئولیتی ۳۷
۲-۱۰-۴- الکترودهای اصلاح شده با زئولیت ها ۳۸
۲-۱۱- طرح آزمایشی ۴۱
۲-۱۱-۱- مفاهیم کلی ۴۲
۲-۱۱-۲- مراحل کلی اجرای طرح آزمایشی ۴۳
۲-۱۱-۳- طرح های متوالی ۴۴
۲-۱۱-۴- طرح های هم زمان ۴۵
۲-۱۱-۴-۱- طرح های فاکتوریل دو سطحی ۴۵
۲-۱۱-۴-۲- طرح های چند سطحی ۴۶
۲-۱۲- طرح آزمایشی تاکوچی ۴۷

فصل سوم

بخش تجربی

۳-۱- مواد شیمیایی ۵۱

۳-۲- وسایل و تجهیزات ۵۲
۳-۲-۱- جهت سنتز زئولیت ۵۲
۳-۲-۲- جهت بررسی کاربردهای کاتالیزوری، جذبی و الکتروشیمیایی زئولیت‌های سنتز شده ۵۲
۳-۲-۳- جهت محاسبات و بررسی‌های نرم‌افزاری از برنامه‌های نرم‌افزاری ۵۳

فصل چهارم

سنتز و شناسایی ساختاری زئولیت ZSM-۵ در اندازه‌های میکرومتر و نانومتر

۴-۱ سنتز و شناسایی ساختاری زئولیت ZSM-۵ با روش استفاده از ژل هسته‌گذار و سنتز زئولیت بدون استفاده از قالب آلی

۴-۱-۱- کلیات ۵۵
۴-۱-۲- بخش تجربی ۵۶
۴-۱-۲-۱- تهیه زئولیت ZSM-۵ با استفاده از ژل هسته‌گذار اولیه ۵۶
۴-۱-۲-۲- تهیه زئولیت ZSM-۵ بدون استفاده از قالب آلی ۵۷
۴-۱-۲-۳- شناسایی ساختاری زئولیت سنتز شده ۵۷
۴-۱-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۵۷
۴-۱-۳-۱- طیف مادون قرمز نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده ۵۷
۴-۱-۳-۲-اثر نوع قالب آلی در تهیه ژل هسته‌گذار اولیه جهت سنتز زئولیت ZSM-۵ ..... ۶۰
۴-۱-۳-۳- اثر نسبت مولی Si/Al در ژل سنتزی بر سنتز زئولیت ZSM-۵ ..... ۶۱
۴-۱-۳-۴- اثر دمای بلوری شدن در سنتز زئولیت ZSM-۵ ..... ۶۳
۴-۱-۳-۵- اثر زمان بلورینگی در سنتز زئولیت ZSM-۵ ..... ۶۴
۴-۱-۳-۶- بررسی اثر پرتودهی امواج ریزموج بر سنتز زئولیت ZSM-۵ ..... ۶۶
۴-۱-۳-۷- بررسی اثر منبع سیلیس و آلومنیوم بر سنتز زئولیت ZSM-۵ بدون استفاده از قالب آلی ۶۷
۴-۱-۴- نتیجه گیری ۶۹

۴-۲ سنتززئولیت بوروسیلیکات نوع MFI بصورت جانشینی هم‌ریختی: بررسی انواع منابع سیلیس، قالب‌ها و روش های زمان‌دهی قبل از گرمادهی معمولی بر فرایند زئولیت شدن B-ZSM-۵

۴-۲-۱- کلیّات ۷۰

۴-۲-۲- بخش تجربی ۷۱

۴-۲-۲-۱- روش Kalapathy برای استخراج سیلیس از سبوس ۷۱

۴-۲-۲-۲- سنتز زئولیت BZSM-۵ ..... ۷۲

۴-۲-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۷۴

۴-۲-۳-۱- طیف مادون قرمز B-ZSM-۵ سنتز شده ۷۴

۴-۲-۳-۲-اثر نسبت مولی Si/B در سنتز B-ZSM-۵ ..... ۷۶

۴-۲-۳-۳- اثر زمان حرارت دهی در بلوری شدن BZSM-۵ ..... ۷۷

۴-۲-۳-۴- تاثیر دما ۷۸

۴-۲-۳-۵- تاثیر پرتوهای ریزموج بر سنتز B-ZSM-۵ ..... ۷۸

۴-۲-۳-۶- اثر منبع سیلیس در سنتز زئولیت B-ZSM-۵ ..... ۸۰

۴-۲-۳-۷- تاثیر نوع قالب آلی در تشکیل BZSM-۵ ..... ۸۲

۴-۲-۳-۸- تاثیر روش‌های زمان‌دهی بر زمان بلور شدن ۸۳

۴-۲-۳-۹- اثر زمان‌دهی‌های متفاوت بر ریخت‌شناسی زئولیت سنتز شده ۸۵

۴-۲-۴- نتیجه گیری ۸۶

۴-۳- بهینه کردن پارامترهای موثر بر سنتز نانو زئولیت ZSM-۵ با استفاده از روش طراحی آزمایش تاکوچی

۴-۳-۱- کلیات ۸۸

۴-۳-۲-بخش تجربی ۸۹

۴-۳-۲-۱- روش سنتز نانوزئولیت ZSM-۵ ..... ۸۹

۴-۳-۲-۲- بردار متعامد تاکوچی و پارامترهای آزمایشی ۸۹

۴-۳-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۹۱

۴-۳-۳-۱- اثر نسبت مولی $TPAOH/SiO_2$ ۹۴

۴-۳-۳-۲- اثر نسبت مولی SiO_2/Al_2O_3 ..... ۹۵

۴-۳-۳-۳ اثر نسبت مولی SiO_2/Na_2O ۹۶
۴-۳-۳-۴ اثر مقدار آب ۹۷
۴-۳-۴- نتیجه‌گیری ۹۸

فصل پنجم

بررسی خاصیت کاتالیزوری زئولیت سنتز شده ZSM-۵ در واکنش‌های آلی

۵-۱- آمین‌دار شدن کاهشی بنزآلدهید بوسیله معرف سدیم بوروهیدرید در حضور زئولیت ZSM-۵ بعنوان کاتالیزور ناهمگن و قابل بازیافت در حلال تتراهیدروفوران

۵-۱-۱- کلیات ۱۰۰
۵-۱-۲- بخش تجربی ۱۰۱
۵-۱-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۱۰۲
۵-۱-۴- نتیجه‌گیری ۱۰۴

۵-۲- برومه کردن فنول با N-برومو ساخارین بوسیلهٔ کاتالیزور هتروژن و قابل بازیافت زئولیت ZSM-۵

۵-۲-۱- کلیات ۱۰۵
۵-۲-۲- بخش تجربی ۱۰۵
۵-۲-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۱۰۷
۵-۲-۳-۱- بررسی اثر حلال در واکنش برومه کردن فنول ۱۰۷
۵-۲-۳-۲- طرح آزمایشی تاکوچی ۱۰۷
۵-۲-۳-۳- بررسی بازیافت کاتالیزور ۱۱۲
۵-۲-۴- نتیجه‌گیری ۱۱۲

فصل ششم

بررسی خاصیت جذبی و تبادل یون زئولیت سنتز شده ZSM-۵

۶-۱- استفاده از طراحی آزمایش تاکوچی جهت بهینه کردن پارامترهای موثر بر جذب متلین بلو بوسیله زئولیت ZSM-۵

۶-۱-۱- کلیات ۱۱۴

۶-۱-۲- بخش تجربی ۱۱۵

۶-۱-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۱۱۶

۶-۱-۴- نتیجه گیری ۱۱۸

۶-۲- مطالعه تعادل و سرعت جذب رنگ متیل وایولت بوسیلهٔ زئولیت سنتزی ZSM-۵ از محلول‌های آبی

۶-۲-۱- کلیات ۱۱۹

۶-۲-۲- بخش تجربی ۱۱۹

۶-۲-۲-۱ اثر pH محلول بر پدیده جذب ۱۲۰

۶-۲-۲-۲ مطالعات تعادلی ۱۲۰

۶-۲-۲-۳ مطالعه سرعت جذب MV بوسیله زئولیت ۱۲۱

۶-۲-۳- بحث و نتیجه گیری ۱۲۱

۶-۲-۳-۱ اثر pH محلول ۱۲۱

۶-۲-۳-۲ تاثیر زمان تماس و غلظت اولیه محلول‌ها ۱۲۲

۶-۲-۳-۳ تجزیه همدماها ۱۲۴

۶-۲-۳-۴- سینتیک جذب و تعیین مکانیسم ۱۲۶

۶-۲-۳-۴-۱-مدل سینتیکی شبه مرتبه اول ۱۲۷

۶-۲-۳-۴-۲- مدل سنیتیکی شبه مرتبه دوم ۱۲۸

۶-۲-۴- نتیجه گیری ۱۲۹

۶-۳- استفاده از طرح آزمایشی باکس-بنکن جهت بهینه‌کردن پارامترهای موثر بر حذف یون‌های نیکل از محیط‌های آبی بوسیله زئولیت سنتز شده ZSM-۵

۶-۳-۱- کلیات ۱۳۰

۶-۳-۲- بخش تجربی ۱۳۰

۶-۳-۳- بهینه سازی پدیده تبادل یون نیکل زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از طرح آزمایشی باکس-بنکن ۱۳۱

۶-۳-۴- بررسی عوامل موثر بر پدیده تبادل یون نیکل بوسیله زئولیت ۱۳۲

۶-۳-۵- بررسی روند تاثیر فاکتورهای اصلی ۱۳۳

۶-۳-۶- بررسی برهمکنش بین فاکتورهای مورد بررسی ۱۳۴

۶-۳-۷- تحلیل پراکندگی ۱۳۵

۶-۳-۸- روش رویه‌ی پاسخ در بررسی تبادل یون زئولیت سنتز شده و نمودارهای سطوح پاسخ ۱۳۷

۶-۳-۹- انتخاب شرایط بهینه جهت انجام تبادل یون نیکل بوسیله زئولیت سنتز شده ZSM-۵ ..... ۱۳۹

۶-۳-۱۰ نتیجه‌گیری ۱۳۹

فصل هفتم

بررسی خاصیت اصلاحگری زئولیت سنتز شده ZSM-۵ در تهیه الکترود اصلاح شده

۷- تهیه و بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکترود خمیرکربن اصلاح شده با زئولیت ZSM-۵ سنتز شده، واجد یون-های نیکل و کاربرد آن برای الکتروکاتالیز فرایند اکسایش متانول

۷-۱-کلیات ۱۴۱

۷-۲- بخش تجربی ۱۴۲

۷-۲-۱- اصلاح زئولیت ZSM-۵ سنتز شده، با یون‌های Ni(II) ۱۴۲

۷-۲-۲- تهیه الکترود خمیر کربن اصلاح شده با زئولیت Ni-ZSM-۵ ..... ۱۴۲

۷-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۱۴۲

۷-۳-۱- بررسی رفتار الکتروشیمیایی Ni-ZSM-۵/CPE در محلول قلیایی ۱۴۲

۷-۳-۲- بررسی رفتار الکتروشیمیایی Ni-ZSM-۵/CPE در حضور و غیاب متانول ۱۴۳

۷-۳-۳- اکسیداسیون الکتروکاتالیزوری متانول در سطح Ni-ZSM-۵/CPE ۱۴۶
۷-۳-۴- مطالعه کرونوآمپرومتری فرایند الکتروکاتالیز اکسایش متانول در سطح الکترود تهیه شده و محاسبه ثابت سرعت کاتالیزوری ۱۴۸
۷-۴- نتیجه‌گیری ۱۵۰
نتیجه‌گیری نهایی ۱۵۲
پیشنهادات برای کارهای آینده ۱۵۵
منابع ۱۶۰
چکیده انگلیسی I

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- نمایش چهاروجهی‌های TO_4 در زئولیت‌ها ۱۱

شکل ۲-۲- واحدهای ساختمانی ثانویه در ساختار زئولیت ها ۱۲

شکل ۲-۳- چند نمونه از چند وجهی‌های موجود در ساختمان زئولیت‌ها ۱۳

شکل ۲-۴- ساختار زئولیت‌های خانواده MFI ۱۴

شکل ۲-۵- مثال‌هایی از اندازه حفرات ساختار زئولیت‌ها ۱۵

شکل ۲-۶- ساختار کانالی زئولیت های خانوادهMFI ۱۶

شکل ۲-۷- نمایش نحوه پراش پرتو x توسط لایه‌های یک بلور ۲۴

شکل ۲-۸- شمای طرح آزمایش باکس – بنکن برای سه فاکتور آزمایشی ۴۷

شکل ۴-۱- طیف مادون قرمز نمونه زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با روش استفاده از ژل هسته‌گذار ۵۸

شکل ۴-۲- طیف مادون قرمز نمونه زئولیت ZSM-۵ سنتز شده بدون استفاده از قالب آلی ۵۹

شکل ۴-۳- طیف‌های مادون قرمز نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با نسبت‌های مولی Si/Al مختلف ۵۹

شکل ۴-۴- الگوی پراش اشعه x نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل ەسته‌گذار تهیه شده از قالب‌های آلی مختلف ۶۰

شکل ۴-۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل هسته‌گذار تهیه شده از قالب-های آلی مختلف ۶۱

شکل ۴-۶- الگوی پراش اشعه X نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل هسته‌گذار تهیه شده از قالب آلی تتراپروپیل آمونیوم هیدروکسید با نسبت‌های مولی Si/Al مختلف ۶۲

شکل ۴-۷- الگوی پراش اشعه X نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل هسته‌گذار تهیه شده از قالب آلی (۲-هیدروکسی اتیل) تری متیل آمونیوم کلراید با نسبت‌های مولی Si/Al مختلف ۶۳

شکل ۴-۸- الگوی پراش اشعه X نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل هسته‌گذار تهیه شده از قالب آلی تتراپروپیل آمونیوم هیدروکسید در دمای مختلف ۶۴

شکل ۴-۹- الگوی پراش اشعه X نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل هسته‌گذار تهیه شده از قالب آلی تتراپروپیل آمونیوم هیدروکسید در زمان‌های مختلف ۶۵
شکل ۴-۱۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌ی زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل هسته‌گذار تهیه شده از قالب آلی تتراپروپیل آمونیوم هیدروکسید ۶۵
شکل ۴-۱۱- الگوی پراش اشعه x نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل هسته‌گذار تهیه شده از قالب آلی تتراپروپیل آمونیوم هیدروکسید ۶۶
شکل ۴-۱۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌ی زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از ژل هسته‌گذار تهیه شده از قالب آلی تتراپروپیل آمونیوم هیدروکسید ۶۷
شکل ۴-۱۳- الگوی پراش اشعه X نمونه‌های زئولیت ZSM-۵ سنتز شده با استفاده از منابع سیلیس و آلومینیوم مختلف بدون استفاده از قالب آلی ۶۸
شکل ۴-۱۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌ی زئولیت ZSM-۵ سنتز شده بدون استفاده از قالب آلی ۶۸
شکل۴-۱۵- طیف مادون قرمز نمونه‌های سنتز شده B-ZSM-۵ ..... ۷۵
شکل ۴-۱۶-الگوی پراش اشعهx نمونه های۵- BZSM سنتز شده با نسبت های مولی مختلف ۷۷
شکل۴-۱۷- الگوی پراش اشعهx نمونه‌های ۵- BZSM سنتز شده در زمان‌های تبلور مختلف ۷۷
شکل ۴-۱۸- الگوی پراش اشعهx نمونه های۵-BZSM سنتز شده در دماهای تبلور مختلف ۷۸
شکل۴-۱۹- الگوی پراش اشعهx نمونه های۵- BZSM سنتز شده پس از ۳۰ دقیقه تابش پرتو ریزموج و سپس گرمادهی معمولی ۸۰
شکل ۴-۲۰- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های۵- BZSM سنتز شده شده با گرمادهی معمولی ۸۰
شکل۴-۲۱- الگوی پراش اشعهx نمونه های۵- B-ZSM سنتز شده بامنابع سیلیس مختلف ۸۱
شکل۴-۲۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های۵- B-ZSM سنتز شده بامنابع سیلیس مختلف ۸۱
شکل ۴-۲۳- الگوی پراش اشعهx نمونه های۵-BZSM سنتز شده با استفاده از قالب‌های آلی مختلف ۸۲
شکل ۴-۲۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های۵-BZSM سنتز شده با استفاده از قالب‌های آلی مختلف ۸۳
شکل ۴-۲۵- الگوی پراش اشعهx نمونه های۵- B-ZSM سنتز شده پس از ۳۰ دقیقه امواج فراصوتی و سپس گرمادهی معمولی ۸۴
شکل ۴-۲۶- الگوی پراش اشعهx نمونه های۵-B-ZSM سنتز شده پس از زمان‌دهی بصورت ساکن در دمای اتاق و سپس گرمادهی معمولی ۸۴

شکل ۴-۲۷- الگوی پراش اشعهx نمونه های۵- B-ZSM سنتز شده پس از زمان‌دهی بصورت‌های مختلف و سپس گرمادهی معمولی ۸۵
شکل ۴-۲۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های۵-B-ZSM سنتز شده پس از زمان‌دهی‌های مختلف و سپس گرمادهی معمولی ۸۶
شکل ۴-۲۹- الگوی پراش اشعهx نمونه های زئولیت سنتز شده بر اساس طراحی آزمایش تاکوچی و نمونه سنتز شده در شرایط بهینه پیش بینی شده ۹۲
شکل ۴-۳۰- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه های زئولیت سنتز شده بر اساس طراحی آزمایش تاکوچی و نمونه تهیه شده در شرایط بهینه پیش بینی شده ۹۲
شکل ۴-۳۱- اثر نسبت مولی $TPAOH/SiO_2$ بر اندازه بلور نانو زئولیت سنتز شده ۹۵
شکل ۴-۳۲- اثر نسبت مولی SiO_2/Al_2O_3 بر اندازه بلور نانو زئولیت سنتز شده ۹۶
شکل ۴-۳۳- اثر نسبت مولی SiO_2/Na_2O بر اندازه بلور نانو زئولیت سنتز شده ۹۶
شکل ۴-۳۴- اثر نسبت مولی H_2O/SiO_2 بر اندازه بلور نانو زئولیت سنتز شده ۹۷
شکل ۵-۱ طرح کلی واکنش آمین دار کردن کاهشی بنزالدهید ۱۰۰
شکل ۵-۲- نحوه انجام واکنش آمین‌دار شدن کاهشی بنزالدهید با کاتالیزور زئولیتی سنتز شده ۱۰۳
شکل ۵-۳- طرح اثرات اصلی به ازائ نسبت‌های S/N ۱۱۰
شکل ۵-۴- طرح اثرات اصلی به ازائ میانگین ۱۱۱
شکل ۶-۱- تاثیر اثرات اصلی در سطوح مورد مطالعه نسبت به S/N ۱۱۷
شکل ۶-۲- تاثیر pH بر جذب MV بوسیله زئولیت سنتز شده۵-ZSM، در دمای ۳۰C با غلظت اولیه ۳۰mg/L از MV ۱۲۲
شکل ۶-۳- تاثیر زمان تماس و غلظت اولیه محلول MV بر جذب رنگ بوسیله زئولیت سنتز شده در۴/۵ =pH با سرعت همزدن ۱۲۰ دور بر دقیقه. ۱۲۲
شکل ۶-۴- تاثیر میزان غلظت اولیه رنگ MV بر درصد جذب آن بوسیله زئولیت ۱۲۴
شکل ۶-۵- نمودار همدمای جذب سطحی لانگمویردر جذب MV بوسیله زئولیت سنتز شده ۱۲۵
شکل ۶-۶- نمودار همدمای جذب سطحی فرندلیچ در جذب MV بوسیله زئولیت سنتز شده ۱۲۵
شکل ۶-۷- نمودار سرعت شبه مرتبه اول جذب MV بوسیله زئولیت ۱۲۷
شکل ۶-۸- نمودار سرعت شبه مرتبه دوم جذب MV بوسیله زئولیت ۱۲۸
شکل ۶-۹- نمودار اثر عوامل اصلی بر میانگین پاسخ تبادل یون نیکل بوسیله زئولیت سنتز شده ۵-ZSM ۱۳۴

شکل ۶-۱۰- برهمکنش بین عوامل اصلی در بررسی پدیده تبادل یون زئولیت سنتز شده ZSM-۵ ..... ۱۳۴
شکل ۶-۱۱- نمودار باقیمانده‌ها برای بررسی تبادل یون زئولیت سنتز شده ZSM-۵ ..... ۱۳۷
شکل ۶-۱۲- نمودار سطح تبادل یون زئولیت سنتز شده بر حسب غلظت محلول نیکل و pH ۱۳۸
شکل ۶-۱۳- نمودار سطح تبادل یون زئولیت سنتز شده بر حسب زمان تماس و pH ۱۳۸
شکل ۶-۱۴- نمودار سطح تبادل یون زئولیت سنتز شده بر حسب زمان تماس و غلظت محلول نیکل ۱۳۸
شکل ۷-۱- ولتاموگرام چرخه‌ای Ni-ZSM-۵/CPE در محلول هیدروکسید سدیم(۰/۱M)در چرخه‌های مختلف ۱۴۳
شکل ۷-۲- نمایش طرح گونه مکانیسم الکتروکاتالیز اکسایش متانول در سطح Ni-ZSM-۵/CPE ۱۴۴
شکل ۷-۳- ولتاموگرام‌های چرخه‌ای Ni-ZSM-۵/CPE) و الکترود خمیر کربن درغیاب و درحضور متانول ۱۴۵
شکل ۷-۴- ولتاموگرام‌های چرخه‌ای Ni-ZSM-۵/ CPE در حضور غلظت‌های مختلف متانول ۱۴۷
شکل ۷-۵- ولتاموگرام‌های چرخه‌ایNi-ZSM-۵/ CPE درحضور۰/۰۲M متانول در سرعت‌های روبش مختلف ۱۴۸
شکل ۷-۶- کرونومپرومتری با پله پتانیل دوگانه Ni-ZSM-۵/ CPE در غیاب و حضور غلظت‌های مختلف متانول ۱۵۰

فهرست جدولها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- روش های تهیه الکترودهای اصلاح شده با زئولیت ها ۳۹

جدول ۳-۱- مواد شیمیایی استفاده شده در این کار تحقیقاتی ۵۱

جدول ۴-۱- بررسی نوع قالب آلی مورد استفاده در تهیه ژل هسته‌گذار بر درصد و زمان تبلور زئولیت سنتز شده با روش استفاده از ژل هسته‌گذار ۶۱

جدول ۴-۲- نسبت مولی Si/Al مورد استفاده در سنتز زئولیت ZSM-۵ و درصد تبلور محصول بدست آمده ضمن استفاده از قالب آلی تتراپروپیل آمونیوم هیدروکسید در تهیه ژل هسته‌گذار ۶۳

جدول ۴-۳- شرایط سنتز جهت بررسی زمان‌دهی‌های مختلف و حجم تقریبی بلورهای مکعبی بدست‌آمده ۷۳

جدول ۴-۴- نسبت‌های مولی مورد مطالعه در سنتز BZSM-۵ ..... ۷۶

جدول ۴-۵- پارامترها و سطوح مورد مطالعه آن‌ها ۹۰

جدول ۴-۶- طرح آزمایشی تاکوچی جهت سنتز نانوزئولیت ZSM-۵ ..... ۹۰

جدول ۴-۷- ترکیب مولی مخلوط سنتزی بر اساس فرمول SiO_2: aAl_2O_3: bNa_2O: c TPAOH: d H_2O ۹۰

جدول ۴-۸- نتایج بدست آمده جهت سنتز نانوزئولیت ۵ -ZSM پس از اجرای طرح تاکوچی ۹۱

جدول ۴-۹- تحلیل پراکندگی برای طرح تاکوچی در سنتز نانوزئولیت ۹۳

جدول ۴-۱۰- شرایط بهینه پیشنهادی جهت تهیه نانوزئولیت با استفاده از طرح تاکوچی ۹۴

جدول ۵-۱ بررسی حلال مناسب جهت آمین‌دار کردن کاهشی بنزالدهید با استفاده از زئولیت HZSM-۵ ..... ۱۰۲

جدول ۵-۲- بررسی اثر کاتالیزوری زئولیتHZSM-۵ در واکنش آمین‌دار کردن کاهشی بنزالدهید ۱۰۳

جدول ۵-۳- بررسی قابلیت بازیافت زئولیتHZSM-۵ سنتز شده ۱۰۴

جدول ۵-۴- پارامترهای مورد بررسی وسطوح مورد استفاده ۱۰۶

جدول ۵-۵- بررسی اثر حلال در واکنش برومه کردن فنول با کاتالیزور زئولیتی سنتز شده ۱۰۷

جدول ۵-۶- آزمایشات پیشنهادی با استفاده از روش طراحی آمایش تاکوچی ۱۰۸

جدول ۵-۷- مقادیر زمان انجام واکنش برومه کردن فنول با عمل کاتالیزوری زئولیت سنتز شده و مقادیر محاسبه شده S/N بوسیله نرم‌افزار ۱۰۹

جدول ۵-۸- تشریح پراکندگی برای طرح تاکوچی در واکنش برومه کردن فنول با استفاده از زئولیت سنتز شده بعنوان کاتالیزور ۱۰۹
جدول ۵-۹- مقادیر بدست آمده برای بهره واکنش‌های انجام شده براساس طرح آزمایشی تاکوچی ۱۱۱
جدول ۵-۱۰- بررسی قابلیت بازیافت زئولیت سنتز شده در انجام واکنش برومه‌کردن فنول ۱۱۲
جدول ۶-۱- پارامترهای مورد بررسی و سطوح مورد استفاده آن‌ها بر اساس طرح تاکوچی ۱۱۵
جدول ۶-۲- جزئیات آرایهٔ $L_{16}4^3$ انتخاب شده به همراه پاسخ بدست آمده پس از انجام هر زماش ۱۱۶
جدول ۶-۳- نتایج بدست آمده برای همه پارامترها پس از تحلیل پراکندگی ۱۱۷
جدول ۶-۴- نتایج مربوط به اثر زمان تماس و غلظت اولیه رنگ MV بر میزان جذب آن بوسیله زئولیت ۱۲۳
جدول ۶-۵- پارامترهای جذب سطحی لانگمویر و فرندلیچ برای جذب MV بوسیله زئولیت ۱۲۶
جدول ۶-۶- پارامترهای سرعت شبه مرتبه اول و دوم در غلظت‌های مختلف اولیه MV ۱۲۸
جدول ۶-۷- عوامل اصلی و سطوح مورد مطالعه در طرح باکس-بنکن ۱۳۱
جدول ۶-۸- طرح آزمایشی باکس-بنکن با توجه به ۳ عامل و ۳ بار تکرار در نقطه وسط ۱۳۲
جدول ۶-۹- پارامترهای آماری بدست آمده از بررسی تبادل یون زئولیت سنتز شده با استفاده از طرح آزمایشی باکس-بنکن ۱۳۳
جدول ۶-۱۰- تحلیل پراکندگی مدل پیشنهادی باکس-بنکن برای تبادل یون زئولیت سنتز شده ۱۳۶
جدول ۶-۱۱- بررسی اعتبار سنجی مدل پیشنهادی طرح باکس-بنکن برای تبادل یون زئولیت سنتز شده ZSM-۵ ..... ۱۳۹

لیست علائم و اختصارات

معادل انگلیسی	علائم	معادل فارسی
Analysis of variance	ANOVA	تجزیه پراکندگی
Angstrom	Å	آنگستروم
Atomic absorption spectroscopy	AAS	طیف‌سنجی جذب اتمی
Centimeter	cm	سانتی‌متر
Centigrade	$^{\circ}C$	درجه سانتی‌گراد
Degree of freedom	DOF	درجه آزادی
F- ratio	F	نسبت F
Gram	g	گرم
Hour	h	ساعت
Infra-red	IR	مادون قرمز
Lower is better	LB	کمترین بهتر است
Liter	L	لیتر
Milliliter	ml	میلی‌لیتر
Micrometer	µm	میکرومتر
Minute	min	دقیقه
Meter	m	متر
Milligram	mg	میلی‌گرم
Mean of square	MS	میانگین مربعات
Methylen blue	MB	متیلن بلو
Methyl violet	MV	متیل وایولت
Molar	M	مولار