

۸۳۰ ۱۹۳۸

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمه‌ای بر زئولیت

تألیف

رضا فضاائی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

امید مرادی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد شهر قدس



انتشارات وادان
ویرایش اول
تهران، ۱۳۹۴

سرشناسه	فضایلی، رضا، ۱۳۴۶ -
عنوان و پدیدآور	مقدمه‌ای بر زئولیت/تالیف رضا فضائلی، امید مرادی.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	۲۷۹ص: جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸ - ۹۶۴ - ۱۰ - ۳۸۳۴ - ۴ -
قیمت	۱۵۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	زئولیت‌ها
شناسه ارده	مرادی، امید
شناسه افزوده	دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
رده‌بندی ننگره	۱۳۹۴ ق ۹ / QE۳۹۱
رده‌بندی دی‌سی	۶۸/۵۴۹
شماره کتابشناس ملی	۴۱۲۰۷۸۹



مقدمه‌ای بر زئولیت

تألیف دکتر رضا فضائلی و امید مرادی
 ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب
 رئیس انتشارات: فرشته حاجی‌زاده
 ویراستار و نسخه‌پرداز: فریبا روشنفکر
 صفحه‌آرا و طراح جلد: سیدمحمد شاهری لنگرودی
 ناظر چاپ: بابک احمدیان
 چاپ اول: ۱۳۹۴
 تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: سازمان چاپ دانشگاه آزاد اسلامی
 شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۳۸۳۴-۴-۴
 ISBN: 978-964-10-3834-4
 قیمت: ۱۵۰۰۰ تومان

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نشانی فروشگاه کتاب: خیابان شریعتی، بین اتوبان همت و حسینیه ارشاد، روبه‌روی شهرداری منطقه ۳،
 دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، تلفن: ۲۲۸۹۵۸۵۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
«ن وَالْقَلَمِ وَمَا يَسْطُرُونَ»

سخن ناشر

بی‌تردید، تعالی علمی و فرهنگی کشور، بازتاب میزان تفکری است که فرهیختگان در مقام عمل به منصه ظهور می‌رسانند. در این بین، مهم‌تره حساس‌تره از همه، رسالت عالمان و علم‌جویان است. این رسالت، همان‌گونه که درجهت پرورش استعداد علمی فردی، با قرائت و مطالعه انجام می‌گیرد، برای پیشبرد اهداف اجتماعی و تعالی فرهنگی، با کتابت و مباحثه نیز محقق می‌شود.

از این‌رو، یکی از مسئولیتهای مهم مراکز فرهنگی در کنار تعلیم و تربیت، نشر آثار علمی است. معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب، رای ارتقای سطح علمی دانشجویان و تنویر افکار دانش‌پژوهان، به چاپ کتاب مقدمه‌ای بر ژئولیت اقدام کرده است. این امید که با استمرار فعالیت‌های انتشاراتی، بتواند گامی در راه رشد و بالندگی فرهنگی بردارد.

شناسایی و مطالعه دقیق ژئولیت‌ها در توجیه رفتار آنها، زمینه ساز انتخاب برای رسیدن به درکی بهتر از خواص و کاربردهای آن، اهمیت خاصی دارد. امروزه با توجه به کاربردهای وسیع ژئولیت‌ها در علوم پایه و مهندسی و توسعه کاربردی در صنایع مختلف، نیاز به درک صحیحی از مفاهیم کلیدی در ژئولیت‌ها، بسیار مهم و ضروری است. لذا توسعه ژئولیت در صنایع، نیاز به شناخت پایه از مفاهیم کاربردی در آن است. در این کتاب، علاوه بر مطالب الزامی نگاه، درباره مفاهیم نظری این موضوع نیز بحث شده است. هدف دیگر این کتاب، بیان مفاهیم این علم به زبانی ساده و روان به نحوی بهره‌وری هرچه بیشتر علاقه‌مندان به این علم بوده است.

پیش از هر چیز، شایسته است از عنایات ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب، استن ارجمند و نیز از دست‌اندرکاران ویرایش، حروف‌چینی و چاپ کتاب، قدردانی و تشکر به عمل آید.

از صاحب‌نظران گرامی خواهشمند است با ارائه پیشنهادهای خود، درجهت اصلاح نواقص احتمالی این کتاب و تهیه مطالب مناسب متون درسی دانشگاهی، انتشارات این واحد را یاری کنند.

امید است این اثر علمی مورد استفاده استادان و دانش‌پژوهان قرار گیرد.

و من الله التوفیق و علیه التکلان

دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب

فهرست مطالب

۱۳	پیشگفتار
۱۵	فصل: مقدمه‌ای از دانش زئولیت و کاتالیز آن
۱۵	چکیده
۱۵	۱-۱. سازوکار عمومی کاتالیز: سید زئولیت: گونه‌ها، ساختار، کاربرد صنعتی
۲۰	۲-۱. خاصیت کاتالیزوری زئولیت، اسیدیت، شکل انتخابی، خاصیت بارگذاری
۲۲	۳-۱. طرح انتشار با زمینه‌ای از شیمی زئولیت
۲۵	کتابنامه
۲۶	فصل دوم: اسیدیته جامد زئولیت‌ها
۲۶	چکیده
۲۶	۱-۲. تکنیک‌های شناسایی چندگانه
۲۶	۱-۱-۲. خواص فیزیکی
۲۸	۲-۱-۲. خاصیت شیمیایی
۲۸	۲-۲. اصولی برای TPD آمونیاک
۲۹	۱-۲-۲. دستگاه آزمایشی روش TPD
۳۲	۲-۲-۲. شناسایی دفع، پیک‌های I و II
۳۴	۳-۲-۲. شناسایی دفع آمونیاک از زئولیت Y
۳۶	۳-۲. تئوری TPD آمونیاک

- ۳۶ ۱-۳-۲. شرایط تعادلی
- ۳۸ ۲-۳-۲. مشتق‌های معادله اصلی
- ۴۰ ۳-۳-۲. تعیین ΔH و ثابت ΔS (دفع)
- ۴۲ ۴-۲. اندازه‌گیری TPD آمونیاک
- ۴۲ ۱-۴-۲. روش پردازش منحنی برای اندازه‌گیری قدرت پایگاه‌های اسیدی
- ۴۴ ۲-۴-۲. ΔH زئولیت‌های مختلف با غلظت‌های اسیدی مختلف
- ۴۸ ۵-۲. تعداد پایگاه‌های اسیدی در زئولیت‌های مختلف
- ۴۸ ۱-۵-۲. وابستگی پایگاه‌های اسیدی به غلظت آلومینیوم
- ۵۱ ۲-۵-۲. جایگاه و اسیدیت حاصله از گونه H- زئولیت
- ۵۳ کتابنامه
- ۵۵ فصل سوم: اندازه‌گیری IRMS-TPD پایگاه‌های اسیدی
- ۵۵ چکیده
- ۵۵ ۱-۳. روش اندازه‌گیری
- ۵۵ ۱-۱-۳. نتیجه اندازه‌گیری TPD
- ۵۶ ۲-۱-۳. روش‌های آزمایشی
- ۵۸ ۳-۱-۳. اصلاح‌های مورد نیاز، موقعیت باند IR و ΔS
- ۵۹ ۲-۳. فرم زئولیت پروتون‌دار
- ۵۹ ۱-۲-۳. H- موردنیت
- ۶۲ ۲-۲-۳. H-Y و H- کابازیت
- ۶۹ ۳-۳. زئولیت اصلاح‌شده
- ۶۹ ۱-۳-۳. زئولیت اصلاح‌شده دارای کاتیون چندظرفیتی
- ۷۲ ۲-۳-۳. زئولیت بسیار پایدار Y (USY)

۷۵	۴-۳. توزیع پایگاه‌های اسیدی برونستد وابسته به غلظت
۷۷	۵-۳. رابطه بین فرکانس کششی و دفع حرارتی آمونیاک از گروه OH
۷۹	۳-۳. ساختار تعریف‌شده زئولیت و مواد مرتبط با اسیدیته لوئیس و توزیع وسیع قدرت اسیدی
۸۷	۷-۳. اندازه‌گیری‌های اکسید فلز چندلایه
۹۲	۸-۳. ضرایب استخراج NH_4^+ و NH_3 به ترتیب جذب‌شده از پایگاه‌های اسیدی برونستد و لوئیس
۹۶	کتابنامه
۹۸	فصل چهارم: محاسبات DFT برای اسیدیته جامد
۹۸	۱-۴. محاسبات DFT
۹۸	۱-۱-۴. محاسبات DFT برای مطالعه اسیدیته برونستد کاربرد دارد
۱۰۰	۲-۱-۴. شرایط مرز تناوبی و خوشه‌ها- محاسبه شده
۱۰۱	۲-۲-۴. عملکرد کابازیت، یک زئولیت ساده
۱۰۱	۱-۲-۴. پایگاه‌های اسید برونستد در کابازیت براساس مدل‌هایی تحت شرایط مرزی تناوبی
۱۰۳	۲-۲-۴. پایگاه اسید برونستد در مدل خوشه‌ای محاط‌شده
۱۰۴	۳-۴. کاربردهای دیگر زئولیت
۱۰۴	۱-۳-۴. FAU, MOR, BEA محاسبه‌شده با خوشه محاط‌شده و شرایط مرز تناوبی
۱۰۷	۲-۳-۴. MFI, FER و MWW محاسبه‌شده تحت مدل خوشه‌ای محاط‌شده
۱۱۰	۴-۴. زئولیت‌های اصلاح‌شده
۱۱۰	۱-۴-۴. ۷- زئولیت‌های جایگزین‌شده با کاتیون‌های دوظرفیتی بر مبنای مدل خوشه محاط‌شده
۱۱۲	۲-۴-۴. OH برونستد اصلاح‌شده در زئولیت Y براساس شرایط مرز تناوبی
۱۱۵	۵-۴. وابستگی قدرت اسید برونستد به هندسه موضعی
۱۲۳	کتابنامه
۱۲۴	فصل پنجم: فعالیت کاتالیزوری و خاصیت جذب سطحی

- ۱۲۴ ۱-۵. کراکینگ پارافین
- ۱۲۴ ۱-۱. بررسی فعالیت ذاتی پایگاه اسید
- ۱۲۸ ۲-۱. وابستگی فعالیت قدرت اسید
- ۱۳۳ ۳-۱. توضیحات ترمودینامیکی ارتباط انرژی فعال‌سازی و حرارت دفع آمونیاک
- ۱۳۸ ۴-۱. رفتار پایگاه‌های اسید در ۸ و ۱۲ حلقه‌های‌های موردنیت
- ۱۳۹ ۲-۵. جذب سطحی هیدروکربن‌های آروماتیک
- ۱۴۵ ۳-۵. اکسیداسیون فریدل - کرافتس در GA-MCM-41
- ۱۴۹ ۴-۵. آمین‌رایی‌ها در ZSM-5/GA
- ۱۵۳ کتابنامه
- ۱۵۵ فصل ششم: CVD سیلیکا، شکاف‌ها و انتخاب گزینشی
- ۱۵۵ ۱-۶. مفهوم و تعریف واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌های شکل‌گزینشی
- ۱۵۶ ۲-۶. ته‌نشین بخار شیمیایی سیلیکا و طرز عمل آن
- ۱۶۰ ۳-۶. تشکیل سیلیکای چندلایه در سطح خارجی
- ۱۶۰ ۱-۳-۶. روش اندازه‌گیری سطح خارجی
- ۱۶۱ ۲-۳-۶. مکانیسم CVD برای فرم سیلیکای چندلایه
- ۱۶۳ ۳-۳-۶. تشکیل سیلیکای چندلایه در زئولیت و اکسید فلز و عملکردشان
- ۱۶۵ ۴-۶. کنترل سیستم منافذ باز
- ۱۶۵ ۱-۴-۶. موردنیت
- ۱۶۷ ۲-۴-۶. زئولیت MFI
- ۱۶۸ ۳-۴-۶. A زئولیت
- ۱۷۳ ۴-۴-۶. Y زئولیت
- ۱۷۴ ۵-۶. خواص رسوب اکسید

۱۷۴	۱-۵۶. اندازه‌گیری‌های XPS
۱۷۶	۲-۵۶. EXAFS رسوب زرمانیوم
۱۷۸	۳-۵۶. مشاهدات TEM
۱۷۹	۶-۶. اسیدیته سطح خارجی: اندازه‌گیری و غیرفعال‌سازی
۱۸۳	کتابنامه
۱۸۵	فصل هفتم: کاربند CVD سیلیکا برای واکنش شکل انتخابی
۱۸۵	چکیده
۱۸۵	۱-۷. انتخاب آرایش پارا - دی اتیل بنزن
۱۸۵	۱-۱-۷. اصول شکل انتخابی
۱۸۸	۲-۱-۷. CVD زنولیت برای تولید بار - دی، آکیل بنزن
۱۹۳	۳-۱-۷. در تولید یکجا از CVD زنولیت
۱۹۴	۴-۱-۷. HZSM-5 آماده‌شده «درجا» و «یکجا» برای CVI سیلیکون آلکوکسید
۱۹۶	۵-۱-۷. CLD سیلیکا برای جذب شکل انتخابی
۱۹۹	۲-۷. کراکینگ انتخابی از آلکان خطی (پارافین‌زدایی)
۲۰۱	۳-۷. عملکردهای مختلف
۲۰۱	۱-۳-۷. اولویت تولید دی اتیل آمین از متانول و آمونیاک
۲۰۳	۲-۳-۷. بهبودی عمر و فعالیت کاتالیزورها
۲۰۶	۳-۳-۷. حذف انتخابی محصولات نامطلوب
۲۰۷	۴-۳-۷. عملکردهای زنولیت‌ها از دیدگاه‌های مختلف
۲۱۰	کتابنامه
۲۱۳	فصل هشتم: خاصیت زنولیت باردار در جایگاه‌های فعال و اندازه‌گیری با تکنیک XAFS
۲۱۳	چکیده

۱.۸. اندازه‌گیری‌های EXAFS و XANES در فلزات باردار

۲۱۳

۱.۸.۱. تجزیه QXAFS و DXAFS

۲۱۳

۱.۸.۲. تشکیل هم‌شکل مولکولی PdO از طریق برهم‌کنش با جایگاه‌های اسیدی زئولیت‌ها

۲۱۵

۱.۸.۳. برگشت‌پذیری آرایش خوشه‌ای شکل از طریق برهم‌کنش با جایگاه‌های زئولیت اسیدی

۲۱۸

۲.۸. مطالعات درجا QXAFS روی تجمع حرکتی و فرایند پراکندگی Pd در زئولیت USY

۲۲۱

۸.۳. آرایش پراکندگی خودکار Pd^0 از طریق جوشیدن H_2 در O-زاین: اندازه‌گیری‌های XAFS از

۲۲۵

فلزات -ر ماسات

۲۳۱

کتابنامه

فصل نهم: واکنش‌های کاتالیزوری در پالادیوم باردار زئولیت‌ها

۲۳۲

چکیده

۲۳۲

۱.۹. احتراق هیدروکربن‌ها از طریق کاتالیز Pd پشتیبانی می‌شود

۲۳۲

۱.۹.۱. احتراق تولوئن

۲۳۳

۱.۹.۲. سوختن متان

۲۳۵

۲.۹. کاهش انتخابی NO با متان در حضور اکسیژن

۲۴۰

۱.۹.۲. بهبود در فعالیت مشتق‌گرفته‌شده از طریق مرکبی از اثر جانب اسیدهای آروماتیک

۲۴۲

۳.۹. جفت‌شدن متقابل واکنش‌ها در پالادیوم باردار در زئولیت‌های گونه FAU

۲۴۵

۱.۳.۹. واکنش‌های کوپل‌شدن هک در پالادیوم باردار در زئولیت H-Y

۲۴۶

۲.۳.۹. افزایش قابل توجه فعالیت کاتالیزوری القاشده، با جوشیدن H_2 در واکنش‌های کوپل‌شدن

۲۴۸

سوزوکی - میاورا

۲۵۱

۳.۳.۹. سازوکار احتمالی برای تشکیل گونه Pd فعال در O-زاین

۲۵۵

کتابنامه

۲۵۸

فصل دهم: سنتز هیدروترمال

۲۵۸	۱-۱۰. مقدمه
۲۵۹	۲-۱۰. مقدمات فرایند سنتز هیدروترمال
۲۵۹	۱-۲-۱۰. مزایای سنتز هیدروترمال
۲۶۰	۳-۱۰. سنتز هیدروترمال با استفاده از آب فوق بحرانی
۲۶۰	۱-۳-۱۰. سنتز هیدروترمال ناپیوسته
۲۶۱	۲-۳-۱۰. سنتز پیوسته هیدروترمال - آب فوق بحرانی
۲۶۳	۳-۳-۱۰. روش‌های مورد استفاده در سنتز هیدروترمال
۲۶۳	۱-۳-۳-۱۰. سنتز هیدروترمال مافوق صوت
۲۶۳	۲-۳-۳-۱۰. روش مایکروویو هیدروترمال
۲۶۴	۳-۳-۳-۱۰. روش هیدروترمال الکترودیمیایی
۲۶۴	۴-۳-۳-۱۰. فرایند هیدروترمال برای تولید مویشیرفته فناوری نانو
۲۶۴	۱-۴-۳-۳-۱۰. فرایند هیدروترمال تولید نانوفلتر
۲۶۴	۲-۴-۳-۳-۱۰. فرایند هیدروترمال برای تولید نانو اکسیدهای فلزهای شرفته
۲۶۴	۳-۴-۳-۳-۱۰. فرایند هیدروترمال برای تولید نانوذرات سولفید
۲۶۵	۴-۴-۳-۳-۱۰. سنتز هیدروترمال نانومواد کربنی
۲۶۵	۵-۴-۳-۳-۱۰. فرایند هیدروترمال برای ساخت نانولوله‌ها
۲۶۶	۴-۱۰. نتیجه‌گیری
۲۶۷	کتابنامه

پیشگفتار

خداوند بزرگ را سپاس می‌گوییم که این توفیق را به ما عنایت فرمود کتاب مقدمه‌ای بر زئولیت را به دانشجویان و علاقه‌مندان علوم زئولیت تقدیم کنیم که در علوم مختلف از جمله شیمی، کاربرد دارد.

واژه «زئولیت» (zeolite) گرفته از دو واژه یونانی است: «زین» به معنای «جوشیدن» و «لیتوس» به معنای «سنگ». در نزد این دو (زئولیت) به معنای «سنگ جوشان» است؛ و این نام مبتنی بر این واقعیت است که به هنگام غرغره کردن زئولیت، مقدار زیادی آب به صورت بخار از آن خارج می‌شود. زئولیت‌ها جامدات بلورین با منافذ ریزند پیوند مولکول‌های آب در شبکه این کانی‌ها ضعیف است و بر اثر دما بدون آنکه ساختمان شبکه فراریزد، آب خود را از دست می‌دهند و این عمل به صورت برگشت‌پذیر انجام می‌شود. زئولیت‌ها به صورت شبکه کریستالی شامل اکسیژن و آلومینیوم یا سیلیس هستند که به شکل ساختمانی سه‌بعدی درآمده‌اند. از عناصر سازنده آنها، ساختار زئولیت از پلیمرهای معدنی با اندامی چهاروجهی تشکیل شده و ساختار کلی آن به صورت TO_4 است که در آنها ممکن است T یک عنصر سه‌ظرفیتی مانند Al و B و Ga و یا چهاروجهی مانند Ge و Si و یا پنج‌ظرفیتی مانند P باشد و تمامی این چهاروجهی‌ها با اکسیژن مشترک به یکدیگر وصل می‌شوند. سپاسگزار خواهیم بود اگر خوانندگان محترم، نظرها و انتقادهای سازنده خود را به ما ارسال کنند.

تهران، دی‌ماه ۱۳۹۴