

## حذف داروی آموکسی سیلین از محیط آبی به کمک زئولیت طبیعی اصلاح شده

رضا نودهی<sup>۱</sup> و احمد رهبر کلپشمی<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، فرایندهای جداسازی، دانشکده مهندسی شیمی نفت و گاز، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- دانشیار مهندسی شیمی، فرایندهای جداسازی، دانشکده مهندسی شیمی نفت و گاز، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۸، بازنگری: خرداد ۱۳۹۸، پذیرش: آبان ۱۳۹۸

**چکیده:** زئولیت‌ها، آلومینوسیلیکات‌های بلوری و آبدار فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی هستند که به دلیل ساختار شیمیایی و سطح ویژه مناسب، برای حذف و جداسازی آلاینده‌های دارویی، رنگی و فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر، زئولیت طبیعی با آسیاب تویی پودر شد. سپس، به کمک ماده سطح‌فعال کاتیونی ستیل‌تری‌متیل‌آمونیم برمید اصلاح سطح شد. زئولیت اصلاح شده با روش‌های فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)، میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM)، پراش پرتو ایکس (XRD) و آزمون BET شناسایی شد. برپایه نتیجه‌های به‌دست آمده، سطح ویژه، میانگین قطر حفره‌ها و حجم کل حفره‌ها زئولیت به ترتیب  $11931 \text{ m}^2/\text{g}$ ،  $3155 \text{ nm}$  و  $0.0941 \text{ cm}^3/\text{g}$  به‌دست آمد. همچنین، کارایی نمونه اصلاح شده برای حذف داروی آموکسی سیلین از محیط آبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عامل‌های محیطی مانند مقدار جاذب مصرفی، زمان تماس، pH، دما و غلظت اولیه محلول در بازدهی حذف دارو موثر هستند. همچنین، داده‌های آزمایشگاهی فرایند جذب آموکسی سیلین با مدل هم‌دمای فرن‌دلیچ و سینتیک شبه مرتبه دوم همخوانی بیشتری دارند. طبق مدل هم‌دمای فرن‌دلیچ، ظرفیت جذب آموکسی سیلین با مقدار جاذب مصرفی  $2 \text{ g/l}$ ، زمان تماس  $180$  دقیقه، pH برابر  $9$  و غلظت اولیه  $120 \text{ ppm}$  به  $37.3 \text{ mg/g}$  رسید.

**واژه‌های کلیدی:** جذب سطحی، زئولیت، اصلاح سطح، حذف آموکسی سیلین

### مقدمه

ایجاد می‌کنند. تولید جهانی دارو از سال  $2000$  روند افزایشی به خود گرفت، به طوری که در سال  $2003$  مقدار تولید داروی پنی‌سیلین به  $28000$  تن در سال رسید که معادل با  $60$  درصد مصرف جهانی پادزیست<sup>۱</sup> در سال بود. بیش از  $50$  فراورده پادزیست در جهان تولید می‌شود که در بین آن‌ها آموکسی سیلین<sup>۲</sup>، استامینوفن<sup>۳</sup> و پنی‌سیلین<sup>۴</sup>

داروها و فراورده‌های مراقبت شخصی، به‌طور گسترده در زمینه‌های متفاوت مانند پزشکی، صنایع کشاورزی، آبی‌پروری و دامداری در زندگی روزمره مردم استفاده می‌شوند. حضور داروها در پساب‌ها، مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را برای انسان، حیوانات و گیاهان

1. Antibiotic 2. Amoxicillin 3. Acetaminophen 4. Penicillin

دارد. اما این ماده در کنار مزایای بسیار خوب، معایبی مانند قیمت بالا نسبت به سایر جاذب‌ها، غیرانتخابی بودن و غیرموثر بودن در برابر آلاینده‌ها، کاهش مجدد کربن فعال و قیمت بالای کاهش، آسان نبودن عمل کاهش و کاهش مقدار جذب پس از به‌کارگیری دوباره را نیز دارد. به همین دلیل برای تصفیه پساب‌ها، تلاش‌های بسیاری برای جایگزین کردن جاذب‌های ارزان قیمت انجام شده است. از میان این جاذب‌های ارزان قیمت و طبیعی می‌توان به مواد معدنی رسی، زئولیت‌ها، مواد سیلیکایی، ضایعات کشاورزی، مواد زائد صنعتی و جاذب‌های زیستی اشاره کرد [۱۵]. زئولیت‌ها، آلومینوسیلیکات‌های بلوری و آبدار فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی هستند که به دلیل ویژگی‌های ساختاری و شیمیایی خود مانند غربال ملکولی و تبادل یون، توانایی جذب و جداسازی مواد را دارند. ویژگی‌های ساختاری مانند نسبت Si/Al، حجم، اندازه و شکل حفره‌ها و کانال‌ها در ساختار زئولیت برای جذب آلاینده‌ها موثر واقع می‌شوند [۱۶]. با توجه به پایین بودن ظرفیت جذب جاذب‌های طبیعی، اصلاح آن‌ها با یک محلول آمیونی و یا کاتیونی و یا به عبارت بهتر یک محلول اسیدی و یا یک محلول بازی، انجام می‌شود. برای این منظور، محلول‌های متفاوتی مانند HCl، NaOH، MgCl<sub>2</sub> و H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و غیره به کار گرفته می‌شوند. یکی از موارد اصلی در اصلاح سطح با محلول‌ها، مواد بسپاری، زیستی و ماده فعال در سطح، اثر افزایشی بر سطح ویژه جاذب است. در اثر این اصلاح در مرحله نخست، حذف ترکیبات زائد منافذ اتفاق می‌افتد. در این صورت منافذ در دسترس‌تر، در تماس با محلول قرار می‌گیرند و در نتیجه مقدار بازده حذف افزایش می‌یابد [۱۷]. در این پژوهش، ابتدا برای تولید ذرات جاذب با مش ۲۰ تا ۵۰ (معادل ۸۴۱ تا ۲۹۷ میکرون)، از آسیاب توبی استفاده شد. سپس، سطح جاذب با بهره‌گیری از عامل اصلاح‌کننده، پوشش داده شد. پس از شناسایی جاذب به روش‌های متفاوت، به بررسی مدل‌های هم‌دما و سینتیک فرایند جذب داروی آموکسی‌سیلین از محیط آبی با جاذب اصلاح شده، پرداخته شد.

بیش از سایر پادزیست‌ها تولید می‌شود [۱]. آموکسی‌سیلین یکی از مهم‌ترین گروه‌های دارویی پادزیست، بتالاکتام<sup>۱</sup> است که برای درمان عفونت‌های بدن و به‌عنوان یک داروی ضدویروس برای انسان تجویز می‌شود. این دارو هر چند که غلظت آن در محیط بسیار پایین باشد ولی به‌راحتی می‌تواند کیفیت آب و اکوسامانه را تحت تاثیر قرار دهد و به‌عنوان یک خطر جدی برای محیط‌زیست بشمار آید به‌گونه‌ای که اثرهای سمی آن می‌تواند به موجودات زنده آسیب جدی برساند. حضور حلقه بتالاکتام در ساختار شیمیایی آموکسی‌سیلین، افزون بر عدم تکثیر باکتری‌ها، منجر به از بین بردن آن‌ها بر دیواره سلولی می‌شود [۲]. حدود ۳۰ تا ۹۰ درصد ترکیبات دارویی در بدن انسان و حیوانات دگرگشت<sup>۲</sup> نمی‌شوند و از راه ادرار یا مدفوع به‌صورت یک ترکیب فعال وارد محیط‌زیست شده که به دنبال آن پیامدهای جدی و خطرناکی را به همراه خواهند داشت [۱]، ۳ تا ۶]. گزارش‌ها حاکی از آن است که ۶۰ درصد آموکسی‌سیلین مصرف شده توسط انسان بدون تغییر از بدن دفع می‌شود [۲]. دستگاه‌های تصفیه شهری توانایی لازم برای حذف ترکیبات فعال دارویی در محیط‌زیست را ندارند [۷]. بنابراین، فناوری‌های زیادی برای حذف ترکیبات دارویی از پساب‌ها به کار گرفته شده‌اند که می‌توان به فرایندهای اکسایش پیشرفته [۸]، تخریب فوتوکاتالیستی [۹]، رسوب شیمیایی، تبادل یونی [۱۰]، برق‌کافت، نانوصافش<sup>۳</sup> [۱۱]، زیست‌واکنشگاه‌های غشایی [۱۲]، واکنشگاه‌های پلاسما [۱۳] و جذب سطحی اشاره کرد [۴ و ۱۴]. در این میان، فرایند جذب به دلیل پایین بودن هزینه‌های عملیاتی، انعطاف‌پذیری بالا، عدم حساسیت به ترکیبات سمی و آلاینده‌ها، عدم تولید ماده ثانویه در سامانه، امکان بازیابی و کاهش جاذب، بازده و سطح‌ویژه بالا برای حذف، یک فرایند امیدوارکننده برای کاهش آلاینده‌های دارویی، فلزی و رنگی است [۲ و ۵].

انتخاب جاذب مناسب، یک عامل بسیار موثر در فرایند جذب سطحی به‌شمار می‌آید. کربن فعال به‌دلیل ویژگی‌های ساختاری و بافت متخلخل، دارای سطح ویژه بالایی است. همچنین، به‌دلیل طبیعت شیمیایی، این ماده به آسانی قابلیت اصلاح شیمیایی را

1.  $\beta$ -lactam 2. Metabolism 3. Nanofiltration 4. Bioreactor

## بخش تجربی

### مواد و روش‌ها

محلول ۱ مولار سدیم کلرید افزوده و به مدت ۱۲ ساعت با سرعت ۱۵۰ rpm با دستگاه آون- لرزاننده هم زده شد. در پایان، زئولیت چندین بار با آب یون‌زدوده شسته شد و در دمای °C ۸۰ به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. در ادامه، ۴۰ گرم زئولیت به ۴۰۰ میلی‌لیتر محلول یک درصد CTAB (~۰.۰۳ مولار) افزوده شد. سپس، زئولیت اصلاح‌شده را با ته‌نشین و صاف کردن، برای حذف ماده سطح‌فعال باقی‌مانده بر سطح آن، چندین بار با آب شهری و سپس، با آب یون‌زدوده شسته و در پایان در دمای °C ۷۰ به مدت ۸ ساعت خشک شد. همچنین، برای اطمینان از حذف ماده سطح‌فعال باقی‌مانده بر سطح زئولیت، عملیات شست‌وشو یک‌بار دیگر نیز انجام شد.

### روش اندازه‌گیری آموکسی سیلین در محلول‌های آبی

محلول اکثر دارو‌ها در آب بی‌رنگ است. برای تهیه محلول مادر آموکسی سیلین، ۱ گرم از این دارو در ۱ لیتر آب یون‌زدوده تهیه شد. محلول‌های با غلظت کمتر با به حجم رساندن مقادیر معینی از محلول مادر، به دست آمدند.  $m_{\text{ax}}$  در گستره ۲۷۲ nm مربوط به جذب آموکسی سیلین است. برای شناسایی داروی آموکسی سیلین در آب از شناساگرهای سدیم نیتريت (۰.۰۱ M)، پارا آمینوبنزوئیک اسید (۰.۰۱ M)، هیدروکلریک اسید (۱ M) و آمونیاک ۲۶ درصد استفاده شد. برپایه این روش، ۱ میلی‌لیتر از محلول سدیم نیتريت ۰.۰۱ مولار و ۱ میلی‌لیتر از محلول ۰.۰۱ مولار PABA به همراه ۰.۵ میلی‌لیتر از هیدروکلریک اسید ۱ مولار، درون بشر آزمایشگاهی به حجم ۱۰ میلی‌لیتر افزوده شد و به مدت ۲ دقیقه در شرایط اختلاط گردابی قرار گرفت تا محلول یکنواختی ایجاد شود. سپس، ۳ میلی‌لیتر از محلول حاوی آموکسی سیلین (در گستره غلظت ۲/۵ تا ۵ ppm) به آن افزوده شد. در نهایت، برای اعمال تغییر رنگ، ۱ میلی‌لیتر محلول آمونیاک به درون بشر آزمایشگاهی ریخته شد. رنگ محلول از حالت بی‌رنگ به زرد تغییر پیدا کرد و پس از ۱۵ دقیقه واکنش کامل شد و رنگ محلول به مدت ۱۵ دقیقه در حالت پایدار باقی

در این پژوهش، تمام مواد شیمیایی مورد استفاده شامل ماده سطح‌فعال ستیل‌تری‌متیل‌آمونیوم برمید (CTAB)<sup>۱</sup>، سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید، سدیم نیتريت (NaNO<sub>2</sub>)، پارا آمینوبنزوئیک اسید (PABA)<sup>۲</sup> و آمونیاک ۲۶ درصد از شرکت مرک آلمان خریداری شد. همچنین، پودر آموکسی سیلین از شرکت داروسازی دانا تهیه شد. برای تهیه و رقیق‌سازی محلول‌ها در تمام آزمایش‌ها آب یون‌زدوده به‌کار گرفته شد. همچنین، زئولیت به‌کار گرفته شده در این پژوهش از معدن زئولیت روستای چاه سوخته در استان خراسان رضوی شهرستان سبزوار، تهیه شد. برای پودر کردن زئولیت، آسیاب گلوله‌ای به‌کار گرفته شد. زئولیت آماده شده با آزمون‌های XRF<sup>۳</sup>، FTIR<sup>۴</sup>، SEM<sup>۵</sup>، XRD<sup>۶</sup> و BET<sup>۷</sup> مورد بررسی قرار گرفت. در پایان، برای اندازه‌گیری مقدار غلظت محلول از دستگاه طیف‌سنج نور مرئی-فرابنفش مدل Shimadzu UV-Vis 1800 ساخت کشور ژاپن استفاده شد.

### آماده‌سازی جاذب

آماده‌سازی جاذب با روشی که شایسته و همکارانش در سال ۲۰۱۶ به‌کار گرفتند، الگوبرداری شد [۱۸]. برای شروع به‌منظور حذف ناخالصی‌های موجود شامل خاک و گل بر زئولیت، ابتدا چندین بار با آب شهری و در ادامه ۵ مرتبه با آب یون‌زدوده، شسته شد. شستشو با آب شهری تا زمانی ادامه پیدا کرد که محلول به دست آمده از شستشو به طور کامل بی‌رنگ شود. زئولیت شسته‌شده به مدت ۱۲ ساعت در دمای °C ۸۰ در آون خشک شد. پس از آن برای تولید ذرات با مش ۲۰ تا ۵۰ (معادل ۸۴۱ تا ۲۹۷ میکرون)، آسیاب توپی به‌کار گرفته شد. زئولیت پودر شده دوباره با آب مقطر شسته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای °C ۸۰ خشک شد. زئولیت آماده‌شده برای افزایش مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی با محلول سدیم کلرید، با هدف از بین‌بردن کاتیون‌های ویژه ساختار زئولیت، اصلاح شد. برای انجام این کار، زئولیت به

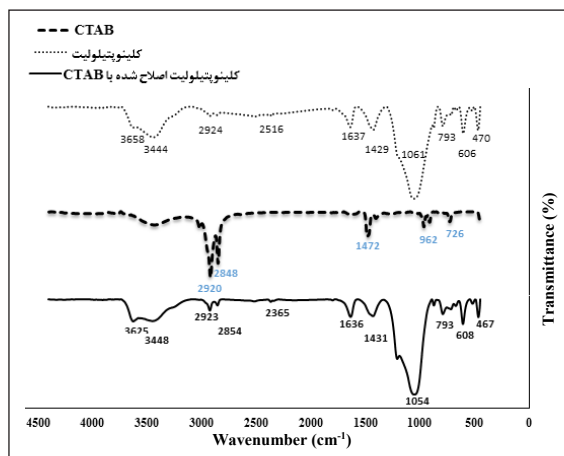
1. Cetyltrimethylammonium bromide 2. Para-aminobenzoic Acid 3. X-ray fluorescence 4. Fourier Transform Infrared Spectroscopy 5. scanning electron microscope 6. X-ray powder diffraction 7. Brunauer-Emmett-Teller

برپایه نتیجه های به دست آمده از آزمون ژئولیت منطقه سبزوار با دستگاه XRF، ۷۶ درصد ژئولیت طبیعی منطقه سبزوار، کلینوپتیلولیت و بقیه آن کلسیت است. نتیجه های آزمون ژئولیت با دستگاه XRF در جدول شماره ۱ آمده است. طبق این نتیجه نسبت جرمی  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  در این ژئولیت برابر ۶٫۵۵ و درصد ترکیب های فرار ۱۶٫۹ درصد است.

#### طیف های FTIR

شکل ۱ طیف FTIR ژئولیت در گستره ۵۰۰ تا  $4500 \text{ cm}^{-1}$ ، ماده فعال در سطح فعال CTAB و ژئولیت اصلاح شده با CTAB را در گستره ۵۰۰ تا  $4500 \text{ cm}^{-1}$  نشان می دهد.

طیف FTIR ژئولیت نشان می دهد که قله های اصلی این ماده در ناحیه های  $3444$ ،  $1637$ ،  $1429$ ،  $1054$ ،  $793$ ،  $470$  و  $606 \text{ cm}^{-1}$  تشکیل شده است. نوار جذبی مشاهده شده در  $1061 \text{ cm}^{-1}$  را می توان مربوط به ارتعاش های کششی نامتقارن  $\text{Si-O-Si}$  و  $\text{Al-O-Al}$  دانست. همچنین، نوار مشاهده شده در  $793 \text{ cm}^{-1}$  نیز به دلیل ارتعاش های کششی  $\text{Si-O}$  و  $\text{Al-O}$  به ترتیب در پیوندهای  $\text{Si-O-Si}$  و  $\text{Al-O-Al}$  است. از طرفی، نوار جذبی  $606 \text{ cm}^{-1}$  را



شکل ۱ طیف های FTIR ژئولیت کلینوپتیلولیت، CTAB و ژئولیت اصلاح شده با CTAB

ماند. با افزودن شناساگر آمونیاک، طول موج بیشینه محلول حاوی آموکسی سیلین از ۲۷۲ به  $435 \text{ nm}$  افزایش پیدا کرد [۱۹]. در این پژوهش، برای محاسبه تغییرات غلظت باقی مانده محلول آموکسی سیلین از نمودار استاندارد جذب در برابر غلظت، ضریب جذب مولی آموکسی سیلین محاسبه و با قانون بیرلامبرت<sup>۱</sup> غلظت های نهایی به دست آمد. همچنین، نمودارهای هم دما جذب برای توضیح حالت تعادل جذبی در محلول های آبی بررسی شدند.

درصد حذف آموکسی سیلین از معادله ۱ و مقدار ظرفیت جذب از معادله ۲ به دست آمد.

$$R = ((C_0 - C_e)/C_0) \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = (C_0 - C_e) (V/M) \quad (2)$$

که در آن ها،  $C_0$ ،  $C_e$  و  $R$  به ترتیب غلظت اولیه، غلظت تعادلی دارو ( $\text{mg/l}$ )، بازده دارو جذب شده،  $V$  حجم محلول (لیتر) و  $M$  مقدار وزن جاذب (گرم) است.

## نتیجه ها و بحث

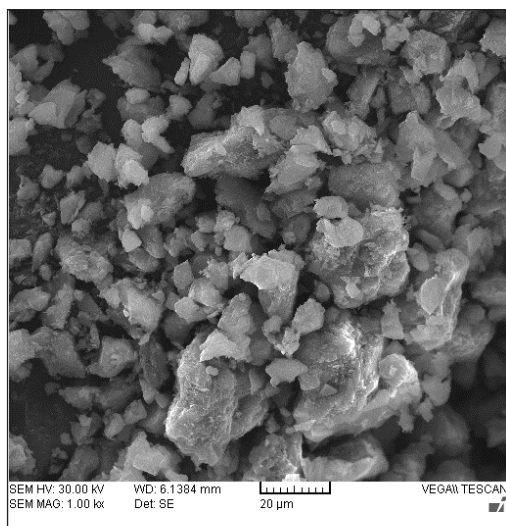
### آزمون XRF

جدول ۱ آزمون XRF ژئولیت کلینوپتیلولیت

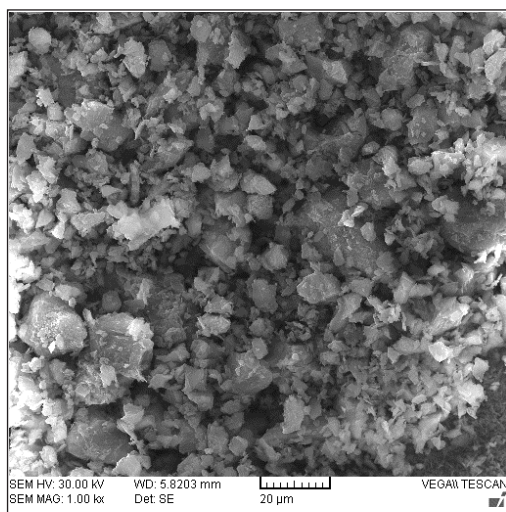
درصد وزنی (%)	ترکیب
۶۲٫۷	$\text{SiO}_2$
۹٫۶	$\text{Al}_2\text{O}_3$
۱٫۸	$\text{K}_2\text{O}$
<۰٫۱	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
۵٫۵	$\text{CaO}$
۲٫۴	$\text{Na}_2\text{O}$
۰٫۸	$\text{MgO}$
<۰٫۱	$\text{P}_2\text{O}_5$
۰٫۰	$\text{SO}_3$
۰٫۲	$\text{TiO}_2$
۰٫۱	$\text{MnO}$
۱۶٫۹	ترکیب های فرار*

\* Loss of ignition

1. Beer Lambert Law



شکل ۲ تصویر SEM زئولیت طبیعی پیش از اصلاح



شکل ۳ تصویر SEM زئولیت طبیعی اصلاح شده با CTAB

می‌توان مربوط به ارتعاش های کرنی در شبکه بلوری زئولیت دانست. از طرفی، نوار پهن ایجاد شده در  $3444\text{ cm}^{-1}$  به دلیل ارتعاشات پیوند OH- گروه‌های سیانولی سطح (به دلیل آب جذب شده از محیط و حضور گروه‌های غیرمتراکم OH-) است. همچنین، ارتعاش‌های خمشی مولکول‌های H-O-H همراه با Na و Ca نیز در  $1637\text{ cm}^{-1}$  ایجاد شده‌اند. همچنین، نوارهای جذبی مشاهده شده در  $470$  و  $524\text{ cm}^{-1}$  را می‌توان به ارتعاش های کششی نامتقارن T-O ( $T=\text{Fe, Ti, Mg}$ ) مربوط دانست [۲۰ تا ۲۲]. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، CTAB دارای دو نوار جذبی اصلی در گستره  $2800$  تا  $3000\text{ cm}^{-1}$  است. نوارهای شدید  $2848$  و  $2920\text{ cm}^{-1}$  در ساختار CTAB به ترتیب به ارتعاش‌های زنجیره متیلن (ارتعاشات C-H در  $\text{CH}_2$ -) نامتقارن انبساطی و متقارن انبساطی اشاره دارد. همچنین، قله شدید مشاهده شده در  $1472\text{ cm}^{-1}$  ممکن است به دلیل ارتعاش های برشی گروه  $\text{CH}_2$ - باشد [۲۳].

#### تصویرهای SEM

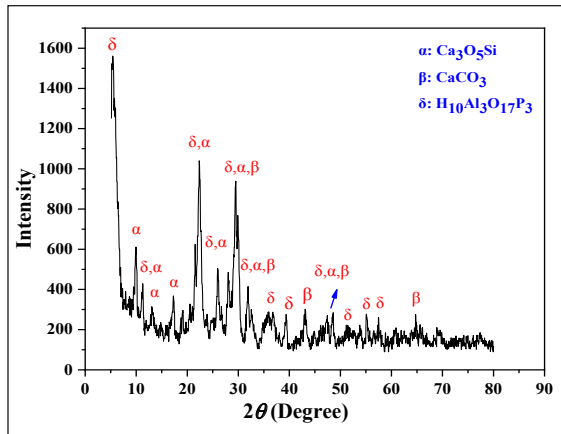
به منظور ریخت‌شناسی زئولیت و زئولیت اصلاح شده از آزمون SEM استفاده شد. در شکل ۲ تصویر SEM ذرات زئولیت پیش از اصلاح نشان داده شده است. به روشنی می‌توان دید که ذرات زئولیت به صورت نامنظم و صفحه صفحه است که این صفحه‌ها به صورت لایه ای روی هم قرار گرفته اند، که در این حالت مکان‌های جذبی مناسبی را برای جذب گونه‌های متفاوت فراهم می‌کند.

#### آزمون BET

پاره‌ای از ویژگی‌های فیزیکی زئولیت با آزمون جذب گاز  $\text{N}_2$  در دمای  $77,3\text{ K}$  و در گستره فشار نسبی  $(P/P_0)$   $0,088$  مشخص شد. نمونه مورد آزمایش پیش از جذب  $\text{N}_2$  به مدت دو ساعت در دمای  $120^\circ\text{ C}$  گاززدایی شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، زئولیت از مدل هم‌دمای نوع IIb بر پایه گروه‌بندی IUPAC<sup>۱</sup> پیروی می‌کند. بر این پایه، مقدار سطح ویژه، میانگین قطر و

از طرفی، پس از اصلاح سطح زئولیت با ماده سطح فعال CTAB، شکل ذرات زئولیت دچار تغییر محسوس شد (شکل ۳). به عبارت بهتر، سطح خارجی زئولیت با ماده سطح فعال پوشیده شده و سطحی به نسبت یکنواخت و هموار را ایجاد کرده اما همچنان حالت لایه ای خود را حفظ کرده است.

1. International Union of Pure and Applied Chemistry



شکل ۶ الگوی پراش پرتو ایکس زئولیت

جدول ۲ اجزای تشکیل‌دهنده زئولیت طبیعی مورد استفاده با توجه به الگوی پراش پرتو ایکس آن

نماد	Ref. Code	نام ماده	فرمول شیمیایی
α	۹۸-۰۱۱-۵۶۵۷	تری کلسیم اکساید سیلیکات*	Ca <sub>3</sub> O <sub>5</sub> Si
β	۰۰-۰۲۴-۰۰۲۷	کلسیم کربنات	CaCO <sub>3</sub>
δ	۰۷۱۴-۰۰۴-۹۸	تری آلومینیم تری فسفات پنتاهیدرات**	H <sub>10</sub> Al <sub>3</sub> O <sub>17</sub> P <sub>3</sub>

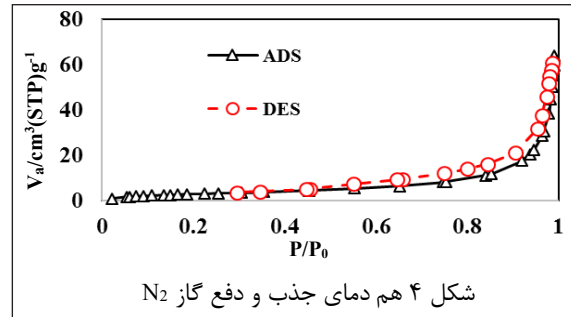
\* Alite  
\*\* Zeolite VPI-5

نتایج به دست آمده از بررسی فرایند حذف آموکسی‌سیلین

در این پژوهش، حذف داروی آموکسی‌سیلین از محیط آبی به کمک جاذب طبیعی زئولیت اصلاح شده، انجام شد. به منظور بررسی بهتر فرایند، اثر عامل‌های متفاوتی همچون زمان، pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه محلول و دما مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌ها، به منظور جداسازی جاذب از محلول دارو، از دستگاه گریزانه با دور ۶۰۰۰ rpm به مدت یک ساعت استفاده شد.

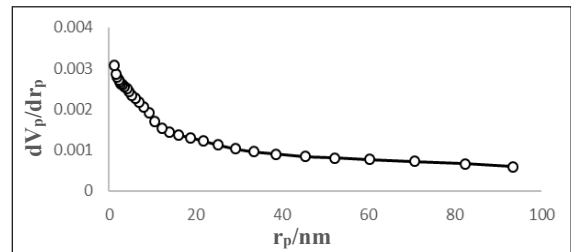
تاثیر مقدار جاذب مصرفی بر فرایند حذف داروی آموکسی‌سیلین  
تاثیر مقدار جاذب مصرفی بر فرایند حذف داروی آموکسی‌سیلین با غلظت ۲۰ ppm و pH برابر ۷ در مدت ۱۸۰ دقیقه و در دمای محیط بررسی شد. نتایج این مرحله در شکل ۷ نشان

حجم کل حفره‌های زئولیت با روش استاندارد BET اندازه‌گیری شد که به ترتیب ۱۱/۹۳۱ m<sup>2</sup>/g، ۳۱/۵۵ nm و ۰/۰۹۴۱ cm<sup>3</sup>/g به دست آمد. همچنین، به منظور بررسی توزیع حفره‌ها از آزمون جذب BJH استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، توزیع حفره‌های زئولیت بیشتر در گستره ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است.



شکل ۴ هم‌دمای جذب و دفع گاز N<sub>2</sub>

شکل ۴ هم‌دمای جذب و دفع گاز N<sub>2</sub>



شکل ۵ توزیع اندازه حفره‌ها زئولیت

#### الگوی XRD

به منظور بررسی ساختار بلوری و بی‌شکل نمونه، آزمون پراش پرتو ایکس (XRD) با دستگاه ژاپنی آزمایشگاه بیم گستر تابان انجام شد. گستره زوایای ۲θ برای انجام آزمون XRD بین ۵/۱۵ تا ۸۰ درجه انتخاب شد. الگوی پراش پرتو ایکس زئولیت طبیعی مورد استفاده در شکل ۶ نشان داده شده است. بررسی و تحلیل الگوی پراش پرتو ایکس این نمونه با توجه به جدول ۲، نشان می‌دهد که درصد بالایی از این ماده را کلسیم کربنات تشکیل داده است. همچنین، می‌توان دریافت که ماده فازهای بلوری زیادی دارد.

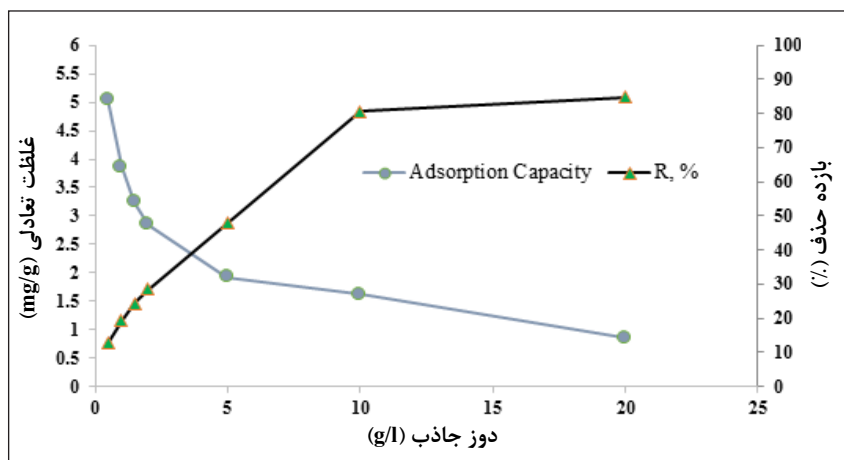


یا خنثی باشد. رفتار داروی آموکسی سیلین در گستره‌های متفاوت pH را می‌توان با در نظر گرفتن  $pH_{pzc}$  توصیف کرد. برای زئولیت و زئولیت اصلاح‌شده به ترتیب برابر با ۹٫۰ و ۹٫۴ به دست آمد (شکل ۹). زمانی که pH محلول از  $pH_{pzc}$  بیشتر است، سطح جذب بار منفی و در pHهای کمتر از  $pH_{pzc}$  سطح جذب بار مثبت دارد. در شکل ۸ مشاهده می‌شود که ظرفیت جذب در گستره pH برابر با ۳ تا ۹، افزایش پیدا کرده است. این روند ممکن است به دلیل تغییر گروه‌های کربوکسیل ( $COOH^-$ ) موجود در ساختار مولکولی آموکسی سیلین به کربوکسیلات ( $-COO^-$ ) باشد که به دنبال آن جاذبه الکترواستاتیکی بین مولکول‌های آنیونی آموکسی سیلین ( $-COO^-$ ) و سطح با بار مثبت زئولیت اصلاح شده، افزایش یافته و بنابراین، بازدهی حذف افزایش پیدا کرده است. کاهش بازدهی حذف در pHهای بازی می‌تواند ناشی از دافعه الکترواستاتیکی بین سطح با بار منفی زئولیت اصلاح شده و آنیون‌ها برای جذب بر جایگاه‌های فعال، بر سطح جذب باشد. در گستره pH بین ۹ تا ۱۱ نیز مشاهده می‌شود که ظرفیت جذب روند کاهشی داشته است. این حالت به دلیل افزایش تشکیل هیدروکسیدها ( $-OH$ ) و رقابت شدید بین آن‌ها و آنیون‌های ( $-COO^-$ ) موجود در مولکول‌های آموکسی سیلین برای جذب بر مکان‌های فعال موجود در سطح زئولیت اصلاح شده باشد [۲۴].

می‌دهد که با افزایش جرم جاذب از ۰٫۵ g/l تا ۲۰ g/l، ظرفیت جذب کاهش ولی بازده جذب افزایش می‌یابد. از این رو، به دلیل در دسترس بودن بیشتر مکان‌های فعال جذب و سطح تماس بیشتر جاذب در مقابل مولکول‌های جذب‌شونده، مقدار بازده حذف با افزایش مقدار جاذب افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، در همه حالت‌ها با افزایش مقدار جاذب، ظرفیت جذب روند کاهشی را نشان داد و این کاهش در مقدار ظرفیت جذب را می‌توان ناشی از دو عامل دید. نخست اینکه با افزایش مقدار جاذب در غلظت و حجم ثابت دارو، تعداد مکان‌های جذبی غیراشباع باقی‌مانده در طول فرایند بیشتر می‌شود و دوم با افزایش جذب و هم‌پوشانی مکان‌های جذبی در اثر متراکم شدن مقدار جاذب، ظرفیت جذب تعادلی کاهش می‌یابد.

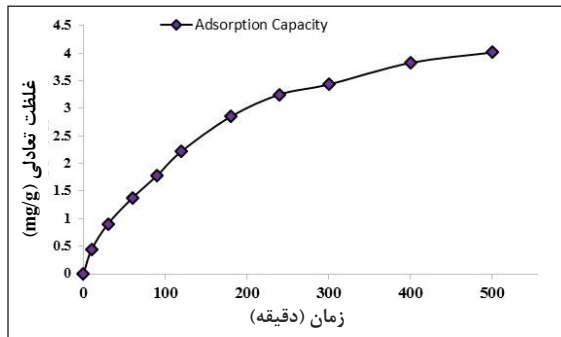
#### تاثیر pH بر فرایند حذف داروی آموکسی سیلین

در این بررسی، مقدار ۲ g/l جاذب در تماس با محلول آموکسی سیلین با غلظت ۲۰ ppm در pHهای متفاوت و دمای ۲۵ °C قرار گرفت. از آنجایی که مولکول‌های آموکسی سیلین طبیعتی آمفوتریک داشته و نقطه ایزوالکتریک برابر با ۵٫۲ دارد، pH فاز محلول، تعیین‌کننده حالت یونش مولکول‌های آموکسی سیلین است و بسته به مقادیر pH ممکن است، دارای بار مثبت یا منفی و



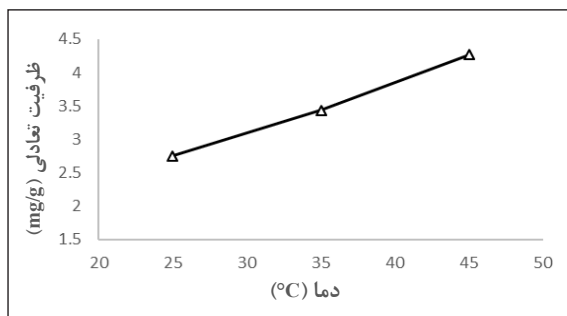
شکل ۷ تاثیر مقدار جاذب طبیعی اصلاح شده بر فرایند حذف داروی آموکسی سیلین از محیط آبی

را از جمله دلایل این جذب سریع دانست. از سوی دیگر، به دلیل اشباع شدن مکان‌های جذب و کاهش تعداد فضاهای خالی برای جذب، سرعت جذب در زمان‌های پایانی روندی کاهشی دارد.



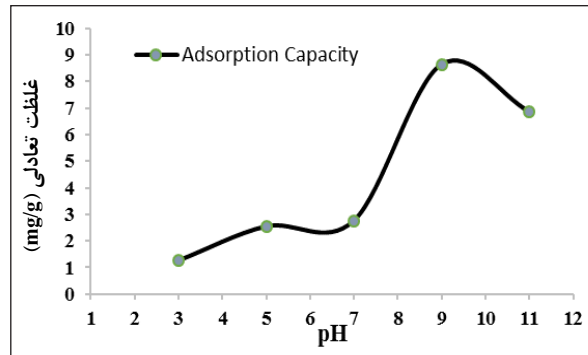
شکل ۱۰ تاثیر زمان تماس بر فرایند حذف داروی آموکسی سیلین از محیط آبی

تاثیر دمای محلول بر فرایند حذف آموکسی سیلین  
دمای محلول یکی دیگر از عامل‌های تاثیرگذار بر فرایند جذب سطحی است. اثر تغییرات دما بر مقدار ظرفیت جذب ژئولیت اصلاح شده در شکل ۱۱ آورده شده است. با افزایش دما از ۲۵ تا ۴۵ °C، ظرفیت جذب آموکسی سیلین از ۲٫۸ mg/g به ۴٫۳ mg/g افزایش پیدا می‌کند که بیانگر گرماگیر بودن جذب آموکسی سیلین بر ژئولیت اصلاح شده است.

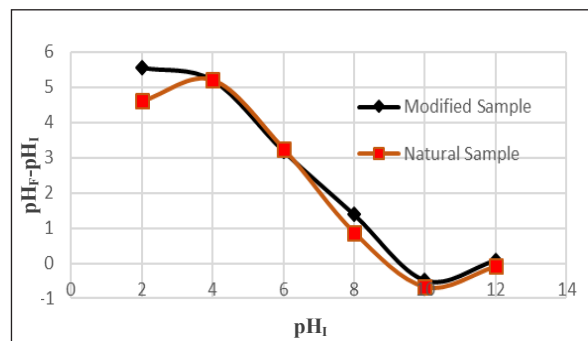


شکل ۱۱ تاثیر دمای محلول بر فرایند حذف داروی آموکسی سیلین از محیط آبی

تاثیر غلظت اولیه محلول بر فرایند حذف آموکسی سیلین  
در این بررسی مقدار ۲ g/l از جاذب در تماس با محلول‌های آموکسی سیلین در حدود غلظت ۲۰ ppm تا ۱۲۰ ppm، pH برابر ۹ و



شکل ۸ تاثیر pH بر فرایند حذف داروی آموکسی سیلین از محیط آبی



شکل ۹ تعیین نقطه بار صفر (pH<sub>pzc</sub>) ژئولیت و ژئولیت اصلاح شده

تاثیر زمان تماس بر فرایند حذف آموکسی سیلین

در این بررسی مقدار ۲ g/l جاذب در تماس با ۵۰ میلی‌لیتر محلول آموکسی سیلین با غلظت ۲۰ ppm در pH برابر ۷ و دمای ۲۵ °C قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، ظرفیت جذب داروها با افزایش زمان تماس روندی افزایشی داشته و پس از مدت زمان معینی با گذشت زمان، این روند کاهش یافته و پس از رسیدن به حالت تعادل با گذشت زمان، تغییری در مقدار جذب رخ نمی‌دهد. در این پژوهش، فرایند جذب داروها بر جاذب اصلاح شده با تغییرات زمان تماس را می‌توان شامل دو مرحله دانست؛ جذب اولیه سریع و جذب آهسته در مرحله انتهایی فرایند. به روشنی معلوم است که جذب سریع اولیه به دلیل میل ترکیبی بالا بین دارو و جاذب رخ می‌دهد. همچنین، می‌توان وجود مکان‌های جذب زیاد و شیب غلظتی انتقال جرم بین جذب‌شونده و جاذب



لانگمویر عامل  $R_L$  است که به صورت زیر بیان می شود:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (5)$$

که در آن،  $C_0$  غلظت اولیه ماده جذب شده است. هرگاه  $R_L > 1$  باشد جذب سطحی نامطلوب،  $R_L = 1$  جذب خطی،  $R_L$  بین صفر و یک، جذب مطلوب و در حالت  $R_L = 1$  جذب غیرقابل برگشت است [۲۵].

هم‌دمای فرندلیچ برای سامانه‌های ناهمگن مفید است. حالت خطی و غیرخطی معادله هم‌دمای فرندلیچ به صورت زیر بیان می شود.

$$q_e = k_f C_e^n \quad (6)$$

$$\text{Log} q_e = \text{Log} k_f + \frac{1}{n \text{Log} C_e} \quad (7)$$

که در آن،  $q_e$  (mg/g) مقدار ماده جذب شده در حال تعادل،  $C_e$  غلظت ماده جذب شده در حالت تعادل،  $K_f$  و  $n$  ثابت های جذب فرندلیچ است. به مقدار  $1/n$  شدت جذب نیز گفته می شود [۲۵]. برپایه مدل تمکین، به دلیل برهم کنش های بین جاذب و جذب شونده، مقدار گرمای جذب در تمام مولکول های سطح، به صورت خطی کاهش یافته و جذب با توزیع یکنواخت از انرژی های پیوند مشخص می شود.

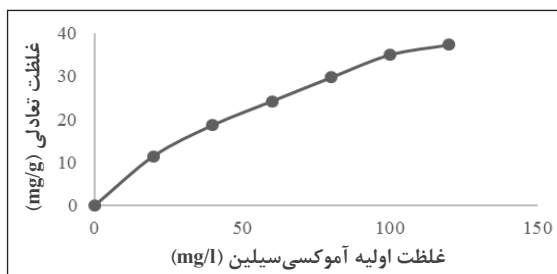
فرم غیرخطی و خطی هم‌دمای تمکین به صورت زیر آورده می شود:

$$q_e = \frac{RT}{b_1} \text{Ln}(k_t C_e) \quad (8)$$

$$q_e = B_1 \text{Ln}(k_t) + B_1 \text{Ln} C_e \quad (9)$$

که در آن ها،  $B_1 = RT/b_1$ ،  $b_1$  گرمای جذب سطحی (kJ/mol) و  $k_t$  ثابت تعادل پیوند برای بیشترین انرژی جذب است. مقدار

دمای  $25^\circ\text{C}$  قرار گرفت. با توجه به شکل ۱۲ با افزایش غلظت اولیه محلول آموکسی سیلین از ۲۰ تا ۱۲۰ ppm، ظرفیت جذب آموکسی سیلین از ۱۱/۵ به ۳۷/۳ mg/g افزایش پیدا می کند. زیرا با افزایش غلظت اولیه در اثر غلبه بر مقاومت انتقال جرم، نیروی محرکه برای انتقال جرم بین فاز محلول و جاذب بیشتر می شود. از طرفی، با افزایش غلظت اولیه، احتمال برخوردهای بیشتر بین مولکول های دارو و جاذب، وجود دارد.



شکل ۱۲ تاثیر غلظت اولیه محلول بر فرایند حذف داروی آموکسی سیلین از محیط آبی

#### بررسی هم‌دمای جذب

در این پژوهش، برای بررسی وضعیت تعادلی یک سامانه هم‌دمای لانگمویر، فرندلیچ و تمکین مورد بررسی قرار گرفتند. هم‌دمای لانگمویر، توصیف یک سامانه جاذب-جذب شونده است که در آن مقدار پوشش جذب شونده به صورت تک لایه است. افزون بر آن، این هم‌دمای آسانی برای توصیف رفتار سامانه های دوتایی نیز توسعه یافته است. معادله هم‌دمای لانگمویر به صورت غیرخطی و خطی به مانند زیر بیان می شود:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L C_e} \quad (4)$$

درحالی که  $q_e$  (mg/g) مقدار ماده جذب شده در حال تعادل،  $C_e$  غلظت ماده جذب شده در حالت تعادل،  $q_m$  بیشترین مقدار ظرفیت جذب و  $K_L$  ثابت لانگمویر است. یکی از عامل های مهم مدل

سطحی هستند. از این رو، بررسی صحیح از روند فرایند جذب، نیازمند درک صحیح از سینتیک جذب است. به همین دلیل، برای شناسایی مدل مناسب سینتیکی، مدل‌های شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. برحسب مدل‌های داده شده، عامل‌های محاسبه شده از هر مدل در جدول ۴ گزارش شده است. برپایه نتایج به دست آمده و با مقایسه ضرایب همبستگی ( $R^2$ ) معادلات سینتیک، مشخص می‌شود که معادله سینتیک شبه درجه دوم، همخوانی بهتری با داده‌های آزمایشگاهی دارد. افزون بر این، از جدول ۴ می‌توان دریافت که مقدار ظرفیت تعادلی محاسبه شده ( $q_{e,calc}$ ) از معادله شبه مرتبه دوم با ظرفیت تعادلی به دست آمده از آزمایش‌ها ( $q_{e,exp}$ ) همخوانی بهتری دارند. از این رو، معادله شبه مرتبه دوم با دقت بیشتری می‌تواند جذب داروی آموکسی سیلین بر جاذب مورد استفاده در این پژوهش را، پیش‌بینی کند.

بالای  $b_1$  نمایانگر این است که در مرحله اولیه، مقدار جذب ماده جذب‌شونده سریع است و مقدار  $k_1$  کم اشاره به پیوند ضعیف میان جذب‌شونده و جاذب دارد [۲۵ و ۲۶].

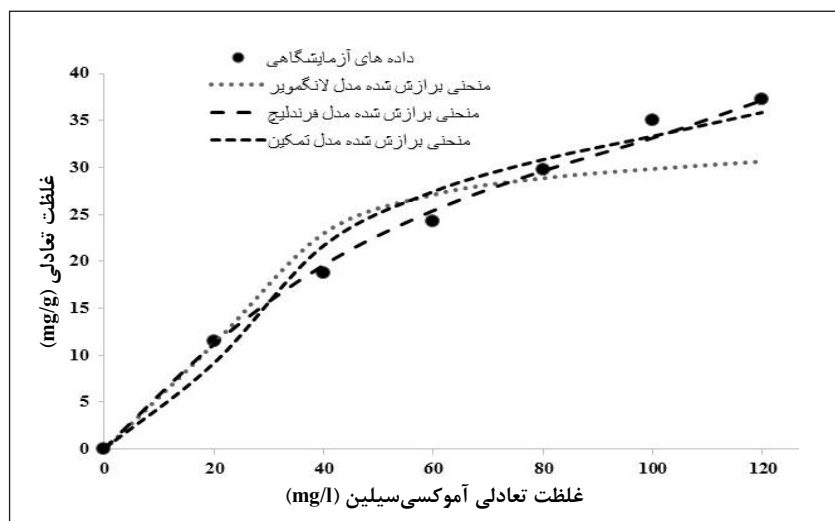
نتایج به دست آمده از بررسی هم‌دماهای جذب لانگمویر، فرندلیچ و تمکین در مورد جذب آموکسی سیلین با زئولیت اصلاح شده در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن ضرایب همبستگی خطی در جذب سطحی داروی آموکسی سیلین بر زئولیت اصلاح شده، می‌توان گفت که هم‌دما فرندلیچ برای آموکسی سیلین همخوانی بیشتری با داده‌های تجربی دارند.

#### بررسی سینتیک جذب

انتقال جرم جذب بر مکان‌های سطحی جاذب و انتشار مولکول‌های جذب‌شده، مراحل متفاوت سینتیک فرایند جذب

جدول ۳ نتایج به دست آمده از هم‌دماهای جذب برای جذب آموکسی سیلین با زئولیت اصلاح شده

هم‌دما لانگمویر				هم‌دما فرندلیچ				هم‌دما تمکین		
$q_m$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	$R_L$	$R^2$	$K_F$ (mg/g)(L/mg) <sup>1/n</sup>	n	(1/n)	$R^2$	$b_T$ (J/mol)	$K_T$ (L/g)	$R^2$
۳۳٫۱۱	۰٫۱۸۹۵	۰٫۰۴-۰٫۲۱	۰٫۹۲۹	۷٫۶۰۸	۲٫۶۲	۰٫۳۸	۰٫۹۹۱	۲۸۷٫۹	۱٫۰۸۰	۰٫۹۳۸



شکل ۱۳ نمودار هم‌دماهای لانگمویر، فرندلیچ و تمکین و مقایسه آن‌ها با داده‌های تجربی

### نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، اصلاح سطح جاذب طبیعی زئولیت با ماده سطح فعال کاتیونی ستیل تری متیل آمونیم برمید انجام شد. با توجه به تصاویر SEM، می توان گفت که زئولیت ریختی لایه لایه دارد. برپایه آزمون BET، مقدار سطح ویژه، میانگین قطر و حجم کل حفره های زئولیت به ترتیب  $11/931 \text{ m}_2/\text{g}$ ،  $31/55 \text{ nm}$  و  $0/094 \text{ cm}_3/\text{g}$  به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار حذف داروی آموکسی سیلین با افزایش دما، زمان تماس و مقدار جاذب افزایش یافته ولی با افزایش غلظت اولیه مقدار حذف کاهش پیدا می کند. شرایط بهینه برای جذب آموکسی سیلین در این پژوهش عبارت از مقدار جاذب  $2 \text{ g/l}$ ، pH برابر 9، زمان تماس برابر  $180$  دقیقه، دمای  $45^\circ \text{C}$  و غلظت اولیه  $20 \text{ ppm}$  است. بررسی هم دما برای جذب داروی آموکسی سیلین نشان داد که فرایند جذب با مدل فرندلیچ سازگاری بیشتری نسبت به مدل لانگمویر و تمکین دارد. نتایج نشان داد که جذب داروی آموکسی سیلین بر زئولیت اصلاح شده از سینتیک شبه مرتبه دوم پیروی می کند.

### مراجع

- [1] Wang, J.; Wang, S.; Journal of Environmental Management 182, 620-640, 2016.
- [2] Fallahzadeh, R.A.; Korean Journal of Chemical Engineering, journal article 36, 713-721, 2019.
- [3] Xing Zha, S.; Zhou, Y.; Jin, X.; Chen, Z.; Journal of Environmental Management 129, 569-576, 2013.
- [4] Weng, X.; Lin, S.; Zhong, Y.; Chen, Z.; Chemical Engineering Journal 229, 27-34, 2013.
- [5] Kerkez-Kuyumcu, Ö.; Bayazit, S.; Salam, M.A.; Journal of Industrial and Engineering Chemistry 36, 198-205, 2016.
- [6] Liu, H.; Liu, W.; Zhang, J.; Zhang, C.; Ren,

در سال ۱۸۹۸ لاگرگرن<sup>۱</sup> معادله سرعت شبه مرتبه اول را به صورت معادله ۱۰ بیان کرد.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (10)$$

که در آن  $q_e$  و  $q_t$  به ترتیب، مقدار میلی گرم ماده جذب شده بر حسب گرم جاذب (mg/g) در حالت تعادل و در زمان  $t$  (min) هستند.  $k_1$  (min<sup>-1</sup>) ثابت سرعت معادله بوده و با انتگرال گیری از معادله ۱۰ در گستره  $t$  از صفر تا  $t$  و  $q_t$  از صفر تا  $q_t$  داریم:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (11)$$

در سال ۱۹۹۵، هو<sup>۲</sup> جذب یون های فلزی دوظرفیتی را بر سنگ شرح داد [۲۷]. این مدل که به مدل شبه مرتبه دوم معروف است، به صورت معادله ۱۲ بیان می شود.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (12)$$

که در آن  $q_e$  و  $q_t$  به ترتیب، مقدار میلی گرم ماده جذب شده بر حسب گرم جاذب (mg/g) در حالت تعادل در زمان  $t$  (min) است. عامل  $k_2$  (g/mg min) ثابت سرعت معادله است. با انتگرال گیری از معادله ۱۲ در گستره  $t$  از صفر تا  $t$  و  $q_t$  از صفر تا  $q_t$  و بازنویسی آن به صورت خطی داریم:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (13)$$

جدول ۴ نتایج به دست آمده از سینتیک جذب برای جذب آموکسی سیلین با زئولیت اصلاح شده

سینتیک شبه مرتبه دوم			سینتیک شبه مرتبه اول		
R <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/m min)	q <sub>e, calc</sub> (mg/g)	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub> (1/min)	q <sub>e, calc</sub> (mg/g)
۰/۹۸۱	۰/۰۰۱۳۶	۵/۱۱۷۷	۰/۹۳۵	۰/۰۰۰۱۸	۵/۹۷۳

- L.; Li, Y.; *Journal of Hazardous Materials* 185, 1528-1535, 2011.
- [7] Lima, D.R.; *Environmental Science and Pollution Research* 54, 1-13, 2019.
- [8] Elmolla, E.S.; Chaudhuri, M.; *Desalination* 256, 43-47, 2010.
- [9] Tran, M.L.; Fu, C.C.; Juang, R.S.; *Environmental Science and Pollution Research* 80, 1-10, 2019.
- [10] Landry, K.A.; Boyer, T.H.; *Water research* 47, 6432-6444, 2013.
- [11] Vergili, I.; *Journal of Environmental Management* 127, 177-187, 2013.
- [12] Le, T.H.; Ng, C.; Tran, N.H.; Chen, H.; Gin, K. Y.H.; *Water Research* 145, 498-508, 2018.
- [13] Tang, S.; Yuan, D.; Rao, Y.; Zhang, J.; Qu, Y.; Gu, J.; *Journal of Environmental Management* 226, 22-29, 2018.
- [14] Jafari, K.; Heidari, M.; Rahmanian, O.; *Ultrasonics Sonochemistry* 45, 248-256, 2018.
- [15] Crini, G.; *Bioresource technology* 97, 1061-1085, 2006.
- [16] Davis, M.E.; Lobo, R.F.; *Chemistry of Materials* 4, 756-768, 1992.
- [17] Sepehr, M.N.; Amrane, A.; Karimaian, K.A.; Zarrabi, M.; Ghaffari, H.R.; *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 45, 635-647, 2014.
- [18] Shayesteh, H.; Rahbar-Kelishami, A.; Norouzbeigi, R.; *Journal of Molecular Liquids* 221, 1-11, 2016.
- [19] Al-Uzri, W.A.; *Iraqi Journal of Science* 53, 713-723, 2012.
- [20] Kowalczyk, P.; Sprynskyy, M.; Terzyk, A.P.; Lebedynets, M.; Namieśnik, J.; Buszewski, B.; *Journal of Colloid and Interface Science* 297, 77-85, 2006.
- [21] Mollahosseini, A.; Toghroli, M.; *Journal of Asian Scientific Research* 5, 120-125, 2015.
- [22] Favvas, E.P.; Tsanaktsidis, C.G.; Sapalidis, A.A.; Tzilantonis, G.T.; Papageorgiou, S.K.; Mitropoulos, A.C.; *Microporous and Mesoporous Materials* 225, 385-391, 2016.
- [23] Bhadra, B.N.; Ahmed, I.; Kim, S.; Jhung, S.H.; *Chemical Engineering Journal* 314, 50-58, 2017.
- [24] Kakavandi, B.; Esrafil, A.; Mohseni-Bandpi, A.; Jonidi Jafari, A.; Rezaei Kalantary, R.; *Water Science and Technology* 69, 147-155, 2014.
- [25] Sepehr, M.N.; Kazemian, H.; Ghahramani, E.; Amrane, A.; Sivasankar, V.; Zarrabi, M.; *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 45, 1821-1834, 2014.
- [26] Allen, S.; McKay, G.; Porter, J. F.; *Journal of Colloid and Interface Science* 280, 322-333, 2004.
- [27] Qiu, H.; Lv, L.; Pan, B.C.; Zhang, Q.J.; Zhang, W.M.; Zhang, Q.X.; *Journal of Zhejiang University-Science A* 10, 716-724, 2009.

## Removal of amoxicillin from an aqueous medium with the modified natural zeolite

R. Nodehi<sup>1</sup> and A. Rahbar-Kelishami<sup>2,\*</sup>

1. M.Sc. in Chemical Engineering, Separation Process, Faculty of Chemical Engineer, Iran University Science & Technology, Tehran, Iran
2. Ph.D. in Chemical Engineering, Separation Process, Faculty of Chemical Engineer, Iran University Science & Technology, Tehran, Iran

Received: April 2019, Revised: May 2019, Accepted: November 2019

**Abstract:** Zeolites are crystalline and hydrated aluminosilicates from earth alkali and alkaline metals, which are used for the removal and separation of Pharmaceutical, colored, and metallic pollutants due to their chemical structure and proper surface area. In the present study, first, natural zeolite was powdered by ball mill, and after that, it was modified by a cationic surfactant of the cetyltrimethylammonium bromide. The modified zeolite was investigated by XRF, FTIR, SEM, BET, and XRD techniques, which is based on the BET test, The specific surface area, mean pore diameter, and total volume cavities of zeolite were 11.931 m<sup>2</sup>/g, 31.546 nm, and 0.0941 cm<sup>3</sup>/g, respectively. Additionally, the efficiency of the sample was studied for removal of Amoxicillin from the aqueous medium. The results showed that environmental factors such as Adsorbent dose, contact time, pH, Temperature, and Amoxicillin concentration were effective in removal percentage. In addition, the experimental data of the amoxicillin-adsorption process better matched with the isothermal model of Ferndlich as well as kinetic of the pseudo-second order. According to the Freundlich model, adsorption capacity of amoxicillin with the adsorbent dosage 2 g/l, contact time of 180 min, pH=9, and initial concentration of 120 ppm was 37.3 mg/g.

**Keywords:** Adsorption, Zeolite, Surface modification, Amoxicillin Removal