

کارایی کربن فعال تهیه شده از چوب چنار و اصلاح شده با کلرید آمونیم در حذف آموکسی سیلین از محلول های آبی

اکرم اسکندریان^۱، سحر سادات آزاد^۱، ابوالفضل رحمانی ثانی^۲، ایوب رستگار^۳، احمد اله آبادی^{۴*}

۱. دانشجوی بهداشت محیط، مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، کمیته تحقیقات دانشجویی، سبزوار، ایران
۲. دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۳. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، ایران
۴. استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۵ اردیبهشت ۱۳۹۵
تاریخ پذیرش: ۳ مرداد ۱۳۹۵

اهداف آنتی بیوتیک ها جزء مواد آلی سنتتیک است که به روش تجزیه زیستی تصفیه نمی شود و نیاز به تصفیه پیشرفته از جمله روش جذب سطحی دارد. یکی از بهترین جاذب ها کربن فعال است. هدف از این مطالعه بررسی حذف آموکسی سیلین از محلول های آبی با کربن فعال تهیه شده از چوب درخت چنار بود.

مواد و روش ها مطالعه حاضر پژوهشی تجربی در مقیاس آزمایشگاهی بود. تمامی آزمایش های جذب آموکسی سیلین روی کربن فعال تولیدی در راکتور ناپیوسته و در ارلن هایی با حجم ۱۰۰ میلی لیتر و حاوی ۵۰ میلی لیتر از غلظت های مشخص آموکسی سیلین و جاذب در pH انجام شد. زمان تماس و درجه حرارت مختلف بررسی شد. نمونه پس از هر بار مگنت یا فیلتر استات سلولز ۰/۰۴ میکرومتر و پمپ خلأ صاف شد. آموکسی سیلین باقیمانده با سل کوارتز و اسپکتروفتومتر UV در طول موج ۲۲۸ نانومتر تعیین شد.

یافته ها نتایج حاصل از آزمایش ها نشان داد بهترین راندمان حذف آموکسی سیلین از محلول های آبی با کربن فعال تولیدی از درخت چنار در pH=۶، غلظت جاذب ۰/۰۶ گرم بر لیتر و زمان تماس ۲۰ دقیقه صورت گرفت. کربن تولیدی توانست ۷۵/۰۵ درصد آموکسی سیلین در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر را حذف کند. مطالعات ایزوترمی نشان داد که فرایند جذب از هر دو مدل لانگمویر و فرنلیدج پیروی کرد و سنتتیک جذب از نوع درجه دوم بود.

نتیجه گیری با توجه به ظرفیت قابل قبولی که کربن تولیدی داشت جاذب مناسب و ارزانی برای جایگزینی سایر جاذب های مورد استفاده در تصفیه آلاینده های آب و فاضلاب است.

کلیدواژه ها:

آموکسی سیلین، جذب سطحی، کربن فعال.

مقدمه

در سال های اخیر، مصرف دارو و دسترسی مردم به انواع داروها به دلیل گسترش بیماری ها، پیشرفت علوم پزشکی، داروسازی و پوشش درمانی در جهان افزایش یافته است و ایران یکی از بزرگ ترین کشورهای مصرف کننده دارو در جهان است [۱]. آنتی بیوتیک ها جزء پرمصرف ترین گروه دارویی در ایران است، به طوری که حدود ۱۵ درصد کل داروهای مصرفی کشور را

تشکیل می دهد [۲].

طبقه بندی آنتی بیوتیک ها بر حسب ساختمان موجود در آن صورت می گیرد. یکی از این طبقه بندی های مهم وجود حلقه بتا لاکتامی در ساختار آن است. بر این اساس، آنتی بیوتیک ها را به دو دسته بتالاکتام و غیربتالاکتام تقسیم می کنند [۳]. در ایران ۳۲/۶ درصد مصرف آنتی بیوتیک ها به گروه بتا لاکتام (پنی سیلین، آموکسی سیلین و آمپی سیلین) تعلق دارد که آموکسی سیلین پرمصرف ترین آن هاست [۴].

* نویسنده مسئول: احمد اله آبادی

نشانی: دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی سبزوار

تلفن: ۰۹۱۵۱۷۱۳۴۲۴

رایانه: ahmad_health@yahoo.com

مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، دوره ۲۴، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۶، ص ۱۸۳-۱۸۹.

آدرس سایت: <http://jsums.medsab.ac.ir> رایانه: journal@medsab.ac.ir

شاپای چاپی: ۱۶۰۶-۷۴۸۷

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر پژوهشی تجربی در مقیاس آزمایشگاهی بود که در آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی سبزوار انجام شد.

لازم به ذکر است که در این مطالعه از دو نوع چوب درخت عناب و چنار در تهیه کربن فعال استفاده شد. کربن تولیدی از چوب درخت عناب در تست اولیه راندمان پایینی داشت، به همین دلیل آزمایش‌ها با کربن تولیدی با چوب درخت چنار به این صورت ادامه داده شد که کربن فعال از ضایعات باغی با استفاده از فعال‌سازی شیمیایی با NH_4Cl تهیه شد، به طوری که نخست چوب چنار به‌عنوان ماده پایه پوست‌کنی و قطعه‌قطعه شد. سپس، در دمای 400°C به مدت دو ساعت تحت خلأ کربنیزه شد. در مش‌بندی در مش ۱۶-۲۰ به مدت ۲۴ ساعت با محلول ۲٪ NH_4Cl آغشته و در اون در دمای 100°C خشک شد. پس از خشک‌شدن، در دمای 800°C به مدت دو ساعت کربن‌ها تحت اتمسفر گاز نیتروژن فعال‌سازی شد. در مطالعه حاضر آموکسی سیلین با وزن مولکولی ۳۶۵/۴ گرم بر مول و فرمول شیمیایی $\text{C}_{16}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_5\text{S}_1$ استفاده شد.

برای تهیه محلول استوک 1000 mg/L مقدار ۱ گرم از پودر آموکسی سیلین در آب مقطر حل شد. سپس برای رسم منحنی کالیبره کردن غلظت‌های ۵-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر از آن تهیه شد. تمامی آزمایش‌های جذب آموکسی سیلین روی کربن فعال تولیدی در راکتور ناپیوسته و در ارلن‌هایی با حجم ۱۰۰ mL و حاوی ۵۰ mL از غلظت‌های مشخص آموکسی سیلین و جذب در pH استفاده شد. زمان تماس و درجه حرارت مختلف بررسی شد. نمونه‌ها در داخل شیکر با دور ۱۰۰ rpm در بازه‌های زمانی ۵ تا ۷۰ ثانیه به‌منظور اختلاط مناسب جذب جذب‌شونده قرار داده شد. سپس، برای جداسازی جاذب نمونه‌ها از صافی استات سلولز ۰/۴ میکرومتر و پمپ خلأ استفاده شد. میزان آموکسی سیلین باقیمانده در محلول صاف‌شده با سل کوارتز و دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR5000 در طول موج ۲۲۸ نانومتر اندازه‌گیری شد. pH محلول‌ها نیز با اسید کلریدریک (HCL) ۰/۱ مولار و هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰/۱ مولار تنظیم شد. هر مرحله آزمایش سه‌بار تکرار و نتیجه نهایی به‌صورت میانگین ارائه شد. میزان جذب آموکسی سیلین با فرمول (۱) محاسبه شد.

$$q_e = (C_0 - C_e)V/m \quad (1)$$

آنتی‌بیوتیک‌ها به‌طور گسترده‌ای در پزشکی و دامپزشکی استفاده می‌شود و از مسیرهای مختلفی مانند تخلیه مستقیم از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، مواد دفعی انسانی، دفع مستقیم زایدات پزشکی و دامپزشکی و صنعتی وارد محیط‌های آبی می‌شود [۵].

آنتی‌بیوتیک‌ها آثار پایداری در محیط‌زیست دارد [۳]. از جمله ویژگی‌های این مواد می‌توان به قابلیت تجزیه بیولوژیایی کمتر، سمیت بالا، خاصیت سرطان‌زایی، افزایش آلرژی در انسان، گسترش باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها و نظایر آن اشاره کرد [۶].

مطالعات نشان داده است که تنها ۶۰-۹۰ درصد، تصفیه‌خانه‌ها قادر به حذف آنتی‌بیوتیک‌هاست و باقی‌مانده به‌طور مستقیم وارد آب‌های پذیرنده می‌شود [۷]. لذا، به‌منظور حفظ بهداشت آب و حفاظت انسان در برابر عوارض بهداشتی شدید ناشی از آنتی‌بیوتیک‌ها، این ترکیبات باید به روش مؤثر و مناسب از فاضلاب و منابع آبی حذف شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به اکسایش شیمیایی، تجزیه زیستی و تصفیه فیزیکی اشاره کرد [۸].

فرایندهای شیمیایی، به‌خصوص اکسایش پیشرفته، اغلب سبب تجزیه و شکستن آن می‌شود، ولی این پروسه‌ها بسیار پیچیده و پرهزینه است. لذا، تکنیک‌های فیزیکی مناسب‌ترین گزینه‌های تصفیه این مواد است [۹ و ۱۰].

از این‌رو، روش‌های جذب روش‌هایی ساده و کاربردی است که محصولات فرعی سمی ندارد و کم‌هزینه نیز است [۱۱].

روش جذب سطحی، در صورتی که ماده جاذب گران‌قیمت باشد، روش پرهزینه‌ای است. لذا، این امر باعث شده است که بسیاری از محققان به‌دنبال جاذب‌های اقتصادی، علمی و مؤثر باشند [۱۲].

به‌همین دلیل، در سال‌های اخیر، به استفاده از جاذب‌های کم‌هزینه و متنوع به‌جای کربن فعال تجاری توجه شده است. لذا، در این مطالعه بر آن شدیم که با انتخاب جاذبی طبیعی مانند چوب درخت چنار برای حذف آموکسی سیلین از محلول‌های آبی استفاده کنیم. این درخت در بسیاری از شهرهای ایران درختی تزئینی است و در معابر کاشته می‌شود و نیز درختی صنعتی است که برای استفاده از چوب آن به‌صورت انبوه در استان‌های کشور کشت می‌شود [۱۳]. همچنین چوب آن با آب‌وهوای بیشتر مناطق ایران سازگار است و به‌دلیل مقاومت بالا در برابر کم‌آبی، زغال تهیه‌شده از آن حاوی کربن بالایی است [۱۴].

C_e غلظت آموکسی سیلین در حالت تعادل، q_e مقدار آموکسی سیلین جذب شده در حالت تعادل (mg/L)، و K_f (mg/g) و n ثابت‌های تعادل و وابسته به شدت و ظرفیت جذب است. مقادیر کمتر از ۱ برای n جذب ضعیف و مقادیر ۱-۲ و ۱۰-۲۰ به ترتیب جذب متوسط و مطلوب را نشان می‌دهد.

سنتتیک جذب

از دو معادله سنتتیک درجه اول و دوم به منظور بررسی عوامل مؤثر بر سرعت واکنش استفاده شد. معادله درجه اول نشان‌دهنده ظرفیت جذب است و زمانی کاربرد دارد که جذب سطحی با استفاده از سازوکار نفوذ از داخل لایه‌ای مرزی اتفاق افتد. معادله درجه دوم جذب شیمیایی سازوکار غالب و کنترل کننده در فرایند جذب سطحی است و بر مبنای جذب فاز جامد و نشان‌دهنده مرحله کندکننده جذب شیمیایی است [۷].

معادله سنتتیک درجه اول

$$\ln(q_{eq} - q) = \ln q_{eq} - \frac{K_1 t}{2.303} \quad (4)$$

q (mg g⁻¹) مقدار آموکسی سیلین جذب شده به ازای هر گرم جذب در زمان t و در حالت تعادل و k_1 ثابت سینتیک مرتبه اول (min⁻¹) است.

معادله سنتتیک درجه دوم

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{K_2 q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t \quad (5)$$

k_2 ثابت سینتیک مرتبه دوم (mg.min)⁻¹ و q_e و k_2 از شیب و نقطه تقاطع نمودار تعیین می‌شود.

یافته‌ها

اثر دز کربن

نتایج حاصل از اثر دوز کربن در حذف آموکسی سیلین در زمان ماند یکسان بررسی شد (شکل ۱). با توجه به شکل ۱، با افزایش دوز کربن درصد حذف آموکسی سیلین افزایش می‌یابد. مطابق این نمودار، بهترین دوز کربن فعال برای حذف ۵۰ میلی گرم آموکسی سیلین در مدت زمان ۱۰ دقیقه ۰/۰۶ گرم کربن است. هر چند با افزایش دوز از ۰/۰۶ به ۰/۱ گرم راندمان حذف سیر افزایشی داشته است، به طوری که درصد حذف از ۷۵ به ۸۵ درصد افزایش یافت، این افزایش در قبال درصد قبلی چشم‌گیر نیست و از نظر اقتصادی صرفه ندارد.

q_e (mg/g) میزان آموکسی سیلین جذب شده در هر گرم از جذب، C_0 (mg/L) و C_e غلظت اولیه و غلظت تعادلی آموکسی سیلین، m (g) مقدار جذب و V (L) حجم محلول است.

در این مطالعه، بهینه‌سازی پارامترهای مورد مطالعه به صورت زیر انجام شد. نخست، برای محاسبه میزان دوز بهینه جذب، شش نمونه حاوی ۵۰ mg/L آموکسی سیلین در مدت زمان ۱۰ دقیقه با pH خنثی در دمای محیط (۲۵ °C) با دوزهای جاذب (۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۸، ۰/۱ و ۰/۱۲) آزمایش شد. سپس، برای تعیین غلظت آموکسی سیلین و زمان تماس بهینه با مقادیر ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ دقیقه در دوز بهینه جذب با pH خنثی در دمای محیط بررسی‌ها انجام شد. به همین ترتیب، میزان بهینه pH در بازه ۱۰، ۸، ۶، ۴، ۲ و دما در بازه ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ درجه سانتی‌گراد نیز برآورد شد. در نتیجه، با کمک مقادیر حاصل نوع معادله ایزوترم و سنتتیک جذب مشخص شد.

ایزوترم جذب

ایزوترم‌های جذب داده‌های تعادلی به منظور تشریح چگونگی واکنش بین ماده جاذب و جذب‌شونده است [۷]. در مطالعه حاضر، برای توصیف حالت تعادل از دو معادله لانگمیر و فرنللیچ استفاده شد. مدل ایزوترم لانگمیر جذب لایه‌ای و همگن ماده جذب‌شونده همراه با انرژی یکسان بر تمام سطوح جاذب را بیان می‌کند که هیچ‌گونه انتقالی از مواد جذب‌شونده در سطح جاذب اتفاق نمی‌افتد. اما، معادله فرنللیچ بر اساس جذب چند لایه‌ای و ناهمگن، ماده جذب‌شونده روی جاذب را نشان می‌دهد [۷]. معادله خطی این دو ایزوترم در رابطه (۲) و (۳) آمده است.

مدل لانگمیر

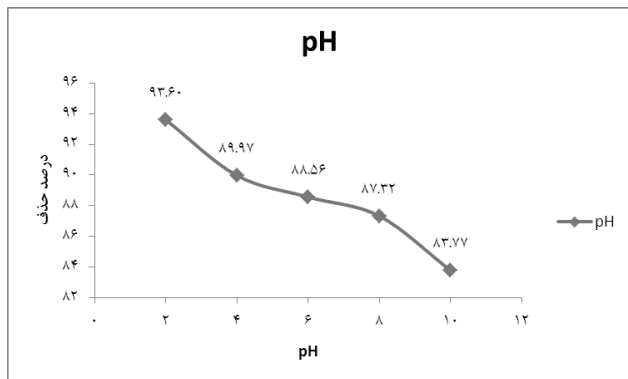
$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m \times b C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (2)$$

C_e غلظت آموکسی سیلین در حالت تعادل، q_e مقدار آموکسی سیلین جذب شده در حالت تعادل (mg/L)، q_m حداکثر ظرفیت جذب (mg/g) و b ثابت معادله لانگمیر (L/mg) است.

مدل فرنللیچ

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

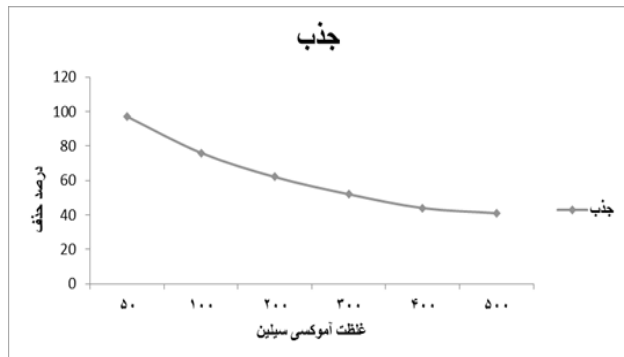
این pH مستلزم مصرف اسید است، همچنین فاضلاب با این pH دارای خورندگی است، به همین دلیل $pH = 6$ ، pH بهینه در نظر گرفته شد.



شکل ۳. اثر pH بر راندمان حذف آموکسی سیلین (دز جاذب mg/L ۰/۰۶، دز جذبشونده ۵۰ mg/L، زمان تماس ۲۰ min و دمای ۲۵ °C)

اثر دما بر سازوکار جذب

نتایج این مرحله از آزمایش مبنی بر تأثیر درجه حرارت محلول به عنوان عاملی مؤثر در حذف آموکسی سیلین در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. اثر دما بر راندمان حذف آموکسی سیلین با جاذب کربن تهیه شده از چوب درخت چنار (دوز جاذب mg/L ۰/۰۶، دوز جذبشونده ۵۰ mg/L، زمان تماس ۲۰ min و $pH = 6$)

تعادل جذب آموکسی سیلین

تعادل جذب در غلظت‌های مختلف آموکسی سیلین بررسی شد (شکل ۵ و ۶).

ایزوترم‌های جذب

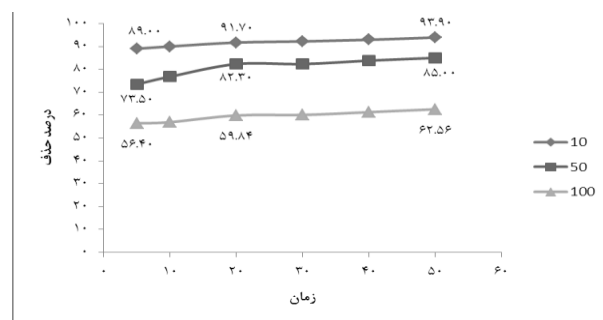
با توجه به نمودارهای ایزوترم لانگمویر (شکل ۷) و فروندلیخ (شکل ۸) و مقادیر R^2 (جدول ۱ و ۲)، در هر دو معادله، فرایند جذب آموکسی سیلین با کربن فعال تولیدی از چوب درخت چنار از مدل فرند لیخ تبعیت می‌کند و جذب به صورت چند لایه‌ای و ناهمگن در سطح است.



شکل ۱. تأثیر دز کربن بر حذف آموکسی سیلین (در زمان ۱۰ min، غلظت آموکسی سیلین ۵۰ mg/L، pH خنثی، دمای ۲۵ °C)

اثر غلظت آموکسی سیلین و زمان تماس

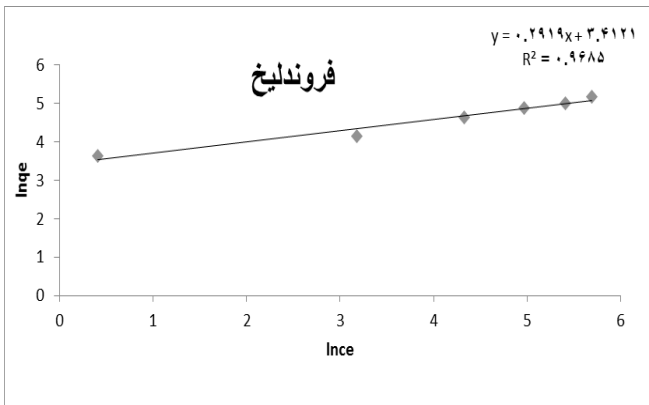
اثر غلظت‌های مختلف آموکسی سیلین (۱۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) بر جذب آن با کربن فعال تهیه شده از چوب درخت چنار بررسی شد. راندمان جذب در غلظت‌های مختلف آموکسی سیلین با استفاده جاذب در زمان تماس‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. به طور کلی، با افزایش دوز ماده جذبشونده راندمان حذف کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش زمان از ۵ به ۵۰ دقیقه، میزان راندمان حذف نیز افزایش می‌یابد، اما با توجه به شکل ۲، انتخاب غلظت mg/L ۵۰ در مدت زمان تماس ۲۰ دقیقه به عنوان غلظت و زمان بهینه منطقی به نظر می‌رسد.



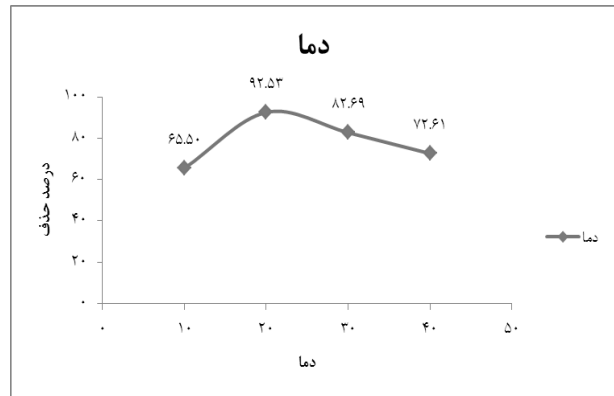
شکل ۲. اثر غلظت آموکسی سیلین در زمان‌های مختلف بر جذب آن (دوز کربن mg/L ۰/۰۶، pH خنثی، دمای ۲۵ °C)

اثر pH محلول بر درصد حذف

برای پیدا کردن pH بهینه و دستیابی به حداکثر حذف آموکسی سیلین با کربن فعال، اثر pH محلول آموکسی سیلین در محدوده ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ بررسی شد (شکل ۳). به طور کلی، میزان جذب آموکسی سیلین با کربن فعال تولید شده با افزایش قلیایی شدن کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه حداکثر جذب آموکسی سیلین در $pH = 2$ به دست آمد، به دلیل آنکه تأمین



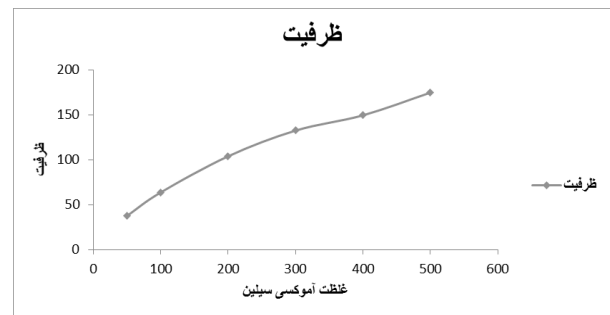
شکل ۸. ایزوترم فرندلیچ در جذب آموکسی سیلین با جاذب کربن فعال تهیه شده از چوب درخت چنار



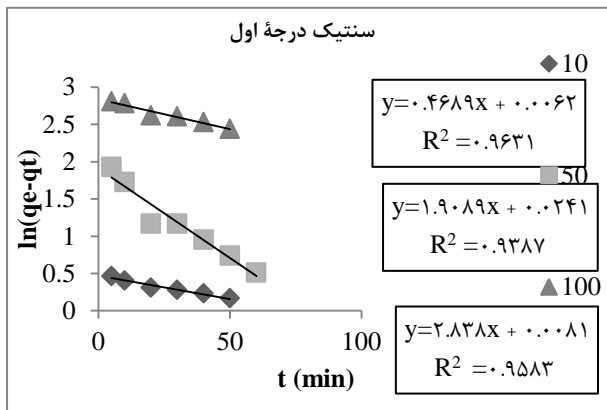
شکل ۵. راندمان حذف آموکسی سیلین در غلظت‌های مختلف (pH)، زمان تماس و دوز جاذب بهینه

سنتیک جذب

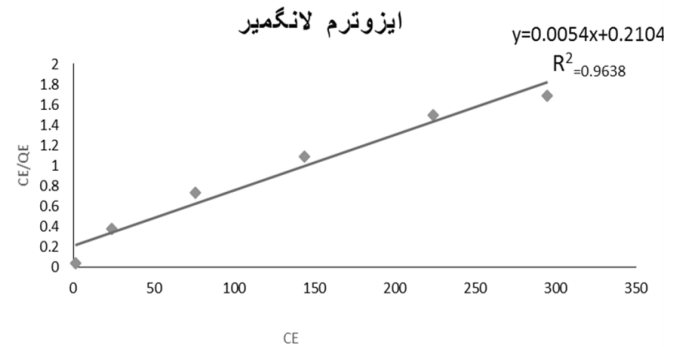
مطابق نمودارهای سینتیک، فرایند جذب آموکسی سیلین با کربن فعال چنار از معادله درجه دوم تبعیت می‌کند (شکل ۹ و ۱۰).



شکل ۶. ظرفیت حذف آموکسی سیلین در غلظت‌های مختلف (pH)، زمان تماس و دوز جاذب بهینه



شکل ۹. معادله سنتتیک درجه اول برای جذب آموکسی سیلین در غلظت‌های مختلف روی کربن فعال تولیدی از چوب درخت چنار



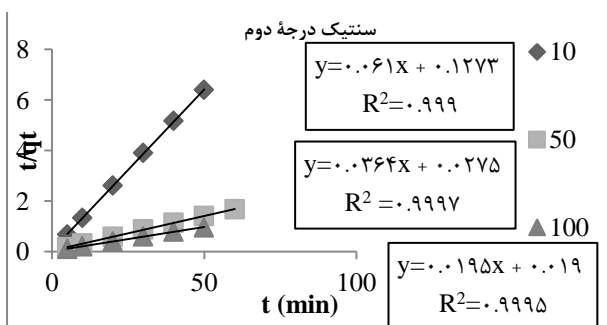
شکل ۷. ایزوترم لانگمیر در جذب آموکسی سیلین با جاذب کربن فعال تهیه شده از چوب درخت چنار

جدول ۱. پارامترهای ایزوترم تعادلی لانگمیر در جذب آموکسی سیلین روی کربن فعال تولیدی از چوب درخت چنار

qmax	b	R ₂
۲۰۰	۰/۰۲۳۸۱	۰/۹۶۳۸

جدول ۲. پارامترهای ایزوترم تعادلی فروندلیچ در جذب آموکسی سیلین روی کربن فعال تولیدی از چوب درخت چنار

N	K _f	R ₂
۳/۴۲۶۴۳۶	۳۰/۳۲۵۸۴	۰/۹۶۸۵



شکل ۱۰. معادله سنتتیک درجه دوم برای جذب آموکسی سیلین در غلظت‌های مختلف روی کربن فعال تولیدی از چوب درخت چنار

بحث

مواد جذب‌شونده روی جاذب، به سرعت مکان‌های جذب سطوح بالایی روی جاذب اشباع شد و راندمان حذف ماده جاذب کاهش یافت. علت افزایش ظرفیت جذب جاذب‌ها با افزایش غلظت اولیه آموکسی سیلین احتمالاً به دلیل افزایش احتمال برخورد و تماس بین جاذب و جذب‌شونده است. عامل دیگری که باعث افزایش ظرفیت جذب با افزایش غلظت اولیه آموکسی سیلین می‌شود این است که در چنین شرایطی نیروی انتقال جرم افزایش می‌یابد. این پدیده بر نیروی مقاومت‌کننده در برابر جذب غلبه می‌کند و باعث ایجاد نیروی رانشی قابل توجهی برای انتقال آلاینده از فاز مایع به سطح مشترک جاذب مایع می‌شود.

pH در کل فرایند و ظرفیت جذب ناشی از تأثیر آن بر بار سطحی جاذب، درجه یونیزه کردن مواد موجود در محلول، تفکیک گروه‌های عاملی موجود در مکان‌های فعال، همچنین شیمی محلول نقش مهمی دارد. در pHهای اسیدی راندمان حذف آموکسی سیلین بالا می‌رود و در pH قلیایی راندمان کاهش می‌یابد. اما، به دلیل آنکه تأمین این pH مستلزم مصرف اسید است، همچنین، فاضلاب با این pH دارای خوردگی است، در مطالعه حاضر $pH=6$ ، pH بهینه در نظر گرفته شد که با مطالعات مشابه مطابقت دارد [۱۵، ۱۶ و ۱۷]. همچنین، روند تغییر راندمان آموکسی سیلین در pH اسیدی و قلیایی با مطالعه معرفیان و همکاران [۱۸] نیز مشابهت دارد.

افزایش دما بر راندمان حذف آموکسی سیلین تأثیر دارد، به طوری که با افزایش دما فعل و انفعالات بین مولکول‌های آموکسی سیلین و محل‌های جذب جاذب افزایش می‌یابد. اما، در دماهای خیلی بالا نیز کاهش جذب آموکسی سیلین را خواهیم داشت که علت آن را می‌توان واجذب آموکسی سیلین جذب شده و وارد شدن آن به درون محلول دانست. این نتیجه با مطالعه معرفیان و همکاران [۱۸] و نیز اله‌آبادی و همکاران [۱۵] همخوانی دارد.

نتایج حاصل از ضرایب رگرسیون معادلات لانگمیر و فروندلیچ پیروی جذب آموکسی سیلین از هر دو ایزوترم را نشان داد و بیانگر این است که فرایند جذب آموکسی سیلین در مکان‌های ناهمگن خاصی رخ می‌دهد و جذب فیزیکی روی سطح جاذب اتفاق می‌افتد. این نتیجه با مطالعه شیخ‌محمدی و سردار [۱۹] همخوانی دارد.

نتایج به دست آمده از مطالعات سنتیکی نشان داد که فرایند جذب برای جاذب از سینتیک درجه دوم پیروی می‌کند. تابعیت از معادلات درجه دوم بیانگر این نکته است که فرایند جذب وابسته به غلظت جذب‌شونده است، زیرا معادله شبه

نتایج حاصل از مطالعه پیرامون تأثیر زمان تماس بر فرایند جذب نشان می‌دهد که در ابتدای فرایند جذب، به دلیل تعداد زیاد مکان‌های جذب و تفاوت زیاد غلظت ماده جذب‌شده در محلول و مقدار آن روی سطح جاذب، افزایش راندمان حذف آموکسی سیلین مشاهده شد، اما با گذشت زمان شیب بسیار ملایم و آرامی به خود گرفت. این موضوع به دلیل وجود یک لایه آموکسی سیلین روی سطح جاذب است. همچنین، با گذشت زمان، اشغال مکان‌های سطحی خالی و باقیمانده نیز مشکل می‌شود. این نتیجه با مطالعه اله‌آبادی و همکاران همسوسن [۱۵].

طبق نتایج حاصل، با افزایش دوز جاذب میزان راندمان حذف آموکسی سیلین نیز افزایش می‌یابد. البته، در این مطالعه به دلیل مسائل اقتصادی و تفاوت اندک در راندمان حذف مقادیر بالاتر جاذب، دوز $0/06$ گرم میزان بهینه در نظر گرفته شد. به طور کلی، با توجه به اینکه افزایش مقدار جاذب به معنای افزایش سطح جاذب و دسترسی بیشتر مولکول‌های آموکسی سیلین به نقاط جذب‌کننده در سطح جاذب است، افزایش دوز جاذب منجر به جذب سریع‌تر آموکسی سیلین از محلول و کاهش غلظت آن می‌شود. همچنین، این افزایش، موجب کاهش آلاینده در دسترس برای ایجاد حداکثر پوشش سطح می‌شود که به کاهش مقدار آموکسی سیلین جذب‌شده به ازای واحد وزن جاذب منجر خواهد شد. به علاوه، ملاحظه می‌شود که روند کاهش ظرفیت جذب به صورت تابعی از غلظت جاذب معادله‌ای توانی است. این روند نشان می‌دهد که ذرات جذب‌شده روی سطح جاذب یا مولکول‌های باقی‌مانده در محلول باعث بسته شدن منافذ داخلی جاذب یا موجب تجمع و بهم‌پیوستگی ذرات جاذب می‌شود که نقاط فعال را کاهش خواهد داد. میزان بهینه دوز جاذب در این مطالعه با مطالعه اله‌آبادی و همکاران [۱۵] مطابقت دارد. همچنین، تأثیر روند افزایش دوز جاذب در این مطالعه با مطالعه موسوی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در بررسی جذب آموکسی سیلین روی کربن [۱۶] مشابه است.

تأثیر غلظت آموکسی سیلین در این مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت جذب‌شونده، راندمان حذف کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان این گونه بیان کرد که جاذب دارای مکان‌های جذب مشخص و محدودی است که در غلظت‌های پایین مکان‌های جذب بیشتری روی سطح جاذب در دسترس است و موجب می‌شود آموکسی سیلین به سرعت جذب شود و راندمان حذف افزایش یابد، اما در غلظت‌های بالاتر، با افزایش

استاندارد، برای تصفیه آلاینده‌های آب و فاضلاب کرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش مصوب کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار با کد ۹۳۰۵۲ است. بدین وسیله از زحمات تمامی اساتید، معاونت تحقیقات و فناوری و سرپرست کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه تقدیر و تشکر می‌کنیم.

درجه دوم در خصوص جذب عموماً بر پایه ظرفیت جذب پایه‌گذاری شده است [۱۶]. همچنین، این نتیجه نشان‌دهنده این موضوع است که جذب آموکسی سیلین با کرین فعال تولیدی از چوب درخت چنار از نوع فیزیکی است. نتایج مطالعه شیخ محمدی و سردار [۱۹] و سایر مطالعات مشابه [۱۸ و ۲۰] با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

با توجه به ظرفیت نسبتاً خوب کرین تولیدی از چوب درخت چنار، و ارزان و در دسترس بودن ماده اولیه تولیدی این کرین می‌توان از آن را جاذبی مناسب، جایگزین کرین مرک

rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in column mode. *Bio Tec*, 2008; 99: 2938-2946.

References

- [1] Rakhshani M, Rakhshani F, Mirshahi A. Self-medication in Zahedan City in 1999. *Feyz*, 2002; 6(2): 45-52. [in Persian]
- [2] Shayan Z, Shayan F. Prescribing patterns in clinical departments in hospitals in Jahrom City. *Pars*, 2006: 44-50. [in Persian]
- [3] Yazdanbakhsh A, Sheikhmohammadi A, Sardar M. Investigation the efficiency of combined coagulation and advanced oxidation by fenton process in the removal of clarithromycin antibiotic cod. *wwj*, 2012;2:22-9. [in Persian]
- [4] Kümmerer K, Al-Ahmad A. Mersch-sundermann V biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in A simple test. *Chemosphere*, 2000; 40(7): 701-10.
- [5] Dehghani S Jja, Farzadkia M, Gholami M. Investigation of the efficiency of Fenton's advanced oxidation process in sulfadiazine antibiotic removal from aqueous solutions. *Amuj*, 2012; 15(66): 19-29. [in Persian]
- [6] Ay F, Kargi F. Advanced oxidation of amoxicillin by Fenton's reagent treatment. *J Ha Mat*, 2010; 179(1-3): 622-7.
- [7] Kakavandi B. et al. Efficiency of powder activated carbon magnetized by Fe₃O₄ nanoparticles for amoxicillin removal from aqueous solutions: Equilibrium and kinetic studies of adsorption process. *Iran. J. Health & Environ*, 2014; 7(1): 21-34. [in Persian]
- [8] Klavarioti M, Mantzavinos D, Kassinos D. Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes. *Environ Int*, 2009; 35(2): 402-17.
- [9] Homem V, Santos L. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices: A review. *J Environ Manage*, 2011; 92(10): 2304-47.
- [10] Lin SH, Juangr Sh. Adsorption of phenol and its derivatives from water using synthetic resins and low-cost natural adsorbents: A review. *J Environ Manage*, 2009; 90(3): 1336-49.
- [11] Han R, Ding D, Xu Y, Zou W, Wang Y, Li Y, Zou L. Use of
- [12] Mahvi Am, Maleki A. The use of agricultural waste in phenol in the aquatic environment. *Bim J Hormozgan Univ Med Sci*, 2006; 10(4): 393-9. [in Persian]
- [13] Jamali S, Banihashemi Z. Investigate the causes of the decline of the plane trees in Shiraz. *Ir J Planet Pathology*, 2012; 48(1): 123-8. [in Persian]
- [14] Khakdaman H, Pourmeydani A. Investigation on geographical distribution and morphological characteristics of plant mass zizyphus Jujube min in Iran. *Ir J Med Aromatic Plants*, 20(1): 1-21. [in Persian]
- [15] Alahabadi A, Moussav Gh, Yaghmaei ank A, Karemisan H. Adsorption potential of the granular activated carbon for the removal of amoxicillin from water. *J Sabzevar Univ Med Sci*, 2013; 20(4). [in Persian]
- [16] Moussavi Gh, Alahabadi A, Yaghmaei an K, Eskandari Ma. Preparation, characterization and adsorption potential of the NH₄Cl-induced activated carbon for the removal of amoxicillin antibiotic from water. *Ch E J*, 2013; 217: 119-128. [in Persian]
- [17] Samadi MT, Shokoohi R, Araghchian Ma, Tarlani Azar Mo. Amoxicillin removal from aquatic solutions using multi-walled carbon nanotubes. *J Mazandaran Univ Med Sci*, 2014; 24(117): 103-115. [in Persian]
- [18] Moarefian Ah, Alizadeh Golestani Ho, Bahmanpour Ho. Removal of amoxicillin from wastewater by self-made polyethersulfone membrane using nanofiltration. *IJEHSE*, 2014; 12: 127. [in Persian]
- [19] Sheikh Mohammadi Am, Sardar M. The removal of penicillin G from aqueous solutions using chestnut shell modified with H₂So₄: Isotherm and kinetic study. *IJHE*, 2013; 5(4): 497-508. [in Persian]
- [20] Budyanto Su, Soedjono Su, Irawaty We, Ndraswati Na. Studies of adsorption equilibria and kinetics of amoxicillin from simulated wastewater using activated carbon and natural bentonite. *JEPS*, 2008; 2: 72-80.