مجله‌ی علمی و پژوهشی شریف
آبان ۱۳۸۸، شماره‌ی پنجاهم، ص. ۳۵-۳۹، (یادداشت فنّی)

بررسی اثرات شدت جریان حجمی و عمق بستر رزین کربن فعال در جداسازی اسید بنزوئیک

سهرابعلی قربانیان (استادیار)
دانشکده‌ی فنی، گروه مهندسی شیمی ، دانشگاه تهران
سعیدرضا رادپور (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف
حسین ابوالقاسمی (دانشیار)
محمدعلی موسویان (استاد)
دانشکده‌ی فنی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

جداسازی اسید بنزوئیک که به‌عنوان نگه‌دارنده یا ماده‌ی افزودنی میانی در صنایع شیمیایی مورد نیاز است، و اغلب در تصفیه‌ی پساب‌های صنعتی به‌دلیل اثرات مضر زیست‌محیطی آن با وجود مقادیر کم اسید بنزوئیک در پساب صنعتی، به‌روش جذب سطحی توسط کربن فعال کفایت می‌کند. در این روش پساب مورد نظر را از روی بستری از کربن فعال در لوله‌های شبیه به رنگ‌نگاری (کروماتوگرافی) عبور می‌دهند. با توجه به مقدار گرمای جذب که با کالری‌متر اندازه‌گیری می‌شود، گرمای جذب سطحی کم‌تر از حداقل گرمای جذب شیمیایی است، و لذا جذب سطحی از نوع فیزیکی اعلام می‌شود. در این آزمایش‌ها تأثیرات عمق بستر رزین و میزان شدت حجمی جریان خوراک به‌منظور دست‌یابی به وضعیت بهینه‌ی فرایند جذب سطحی در اندازه‌های آزمایشگاهی مورد تحقیق و بررسی دقیق واقع شد. در نهایت شرایط بهینه با عمق بستر ۶ سانتی‌متر با شدت جریان حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه و با جاذب کربن فعال غربال شده در اندازه‌های ۳۶-۳۰ مش و لوله‌ی رنگ‌نگاری با قطر داخلی ۹/۵ میلی‌متر حاصل شد.

واژگان کلیدی: جذب سطحی، کربن فعال، اسید بنزوئیک، شدت جریان حجمی، عمق بستر رزین.

ghorban@ut.ac.ir
s.radpour@gmail.com
hoab@ut.ac.ir
moosavian_ma@yahoo.com

مقدمه

اخیراً استفاده از رزین‌ها به‌منظور جداسازی یا خالص‌سازی محلول‌هایی که در خود دارای اسیدهای آلی به‌صورت ماده‌ی حل‌شونده هستند و تحت فرایند جذب سطحی ـ فیزیکی یا شیمیایی (تبادل یونی) ـ عملیات جذب را انجام می‌دهند، حائز اهمیت است. به‌طور کلی جاذب‌های فراوانی مورد بررسی و تحقیق قرار می‌گیرد. عملیات جذب به‌صورت تجربی بر روی هر رزین به‌عنوان یک جداساز خاص برای جداسازی ماده‌ی خاص، بررسی و تحقیق می‌شود. به‌عنوان مثال امروزه جداسازی اسید سیتریک با استفاده از رزین امبرلایت $IRA-67$، جداسازی اسید لاکتیک با رزین امبرلایت $IRA-92$، و نیز جداسازی اسید بنزوئیک به‌وسیله‌ی کربن فعال به‌عنوان اولین گزینه‌ی جداسازی به‌روش جذب سطحی مطرح است.[۱-۳] همچنین رزین‌های دیگر نیز در این نوع جداسازی پیوسته مورد تحقیق واقع می‌شود. رزین‌های مبادله‌گر یونی معمولاً به‌روش شیمیایی عمل می‌کنند و با تبادل یون انتخابی قادر خواهند بود یون‌های مورد نظر (مثل یون اسیدی، بازی و فلزی) را به این روش جذب کنند.

امروزه این رزین‌ها به‌گونه‌های قوی و ضعیف با انواع آنیونی و کاتیونی سنتز می‌شوند، و به‌نام‌های تجارتی عرضه می‌شوند. کم‌تر بودن مقدار گرمای جذب[1] در برخی از رزین‌ها از مقداری معین، نشان‌دهنده‌ی آن است که این جداسازی به‌روش جذب از نوع فیزیکی است. به‌خصوص درمورد جداسازی اسید بنزوئیک که به‌عنوان نگه‌دارنده یا ماده‌ی افزودنیِ میانی در صنایع شیمیایی مورد نیاز است و اغلب در تصفیه‌ی آب به‌دلیل اثر مضر زیست‌محیطیِ آن به‌وسیله‌ی کربن فعال در بستری ثابت از کربن فعال در لوله‌هایی شبیه به رنگ‌نگاری انجام می‌پذیرد، این فرایند جذب سطحی از نوع فیزیکی است، چرا که مقدار گرمای جذب اندازه‌گیری‌شده دلالت بر این موضوع دارد. به‌هر حال هم‌اکنون جداسازی اسید بنزوئیک موجود در پساب‌های صنعتی به‌عنوان آلاینده‌یی خطرناک حائز اهمیت است، و برای یافتن میزان این آلاینده در طراحی‌های مناسب یعنی فرایند جذب سطحی در بستر ثابت، می‌توان علاوه بر تحقیقات منحنی‌های ایزوترم جذب، منحنی‌های عبور[2] را نیز بررسی کرد.[۴و۵]

مدل‌های انتقال جرم گوناگونی در پیش‌بینی منحنی‌های عبور استفاده شده‌اند، برای پیش‌بینی این منحنی‌ها با به‌کار بردن یک مدل انتقال جرم، ابتدا لازم است

تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۷/۴، داوری ۱۳۸۷/۲/۱۸، پذیرش ۱۳۸۷/۷/۳۰.

Archive of SID
www.SID.ir

پارامترهای زیادی را به‌وسیله‌ی یک‌سری مطالعات سینتیکی یا تخمین روابط مناسب محاسبه کرد. مدل ساده‌یی که می‌تواند در پیش‌بینی منحنی‌های عبور فرایند جذب سطحی با بستر ثابت بدون خطا در محاسبات منظور شود، نظریه‌ی غیر خطی موجی[3] است،[۶،۷] که در پیش‌بینی منحنی‌های عبور با استفاده از این نظریه، میزان انتقال جرم باید تماماً در شرایط تعادل فرض شود. اما این فرضیه همواره در میزان جریان‌های بالا برای عملیات بسترهای ثابت برقرار نیست. این نظریه به‌کمک نیروی محرک[4] که به‌خصوص در بازیافت اسید بنزوئیک توسط کربن فعال حائز اهمیت است، اصلاح می‌شود.[۸،۹] همچنین می‌توان تأثیرات عمق بستر و میزان جریان حجمی بر این منحنی‌ها را به‌صورت تجربی مورد آزمایش و بررسی قرار داد. این آزمایش در شدت حجم‌های متفاوت خوراک و نیز در عمق بستر مختلف رزین قابل انجام است؛ پیش‌بینی مدل دینامیک بستر ثابت در این آزمایش براساس رابطه‌ی ۱ انجام می‌شود.

$$\varepsilon\frac{\partial C}{\partial t}+\nu\varepsilon\frac{\partial C}{\partial z}+\rho\frac{\partial C^*}{\partial t}=0 \qquad (۱)$$

این معادله مبتنی است بر موازنه‌ی جرم غیریکنواخت ماده‌ی جذب‌شده، و مفروضات آن نیز عبارت است از:

- در ستون هیچ واکنش شیمیایی رخ نمی‌دهد؛
- انتقال جرم فقط از طریق جابه‌جایی انجام می‌گیرد؛
- از پراکنش شعاعی و محوری در راستای x و y صرف‌نظر می‌شود؛
- الگوی جریان ایده‌آل و لوله‌یی[5] است؛
- دمای داخل ستون یکسان است و با زمان تغییر نمی‌کند؛
- میزان شدت حجمی جریان در طول ستون تغییر نمی‌کند.

میزان جذب سطحی آلاینده را می‌توان به‌وسیله‌ی مدل نیروی محرک خطی در رابطه‌ی ضریب کلی انتقال جرم فاز مایع مطابق رابطه‌ی ۲ بیان کرد:

$$\rho\frac{\partial C^*}{\partial t}=K_La(C-C^{\circ}) \qquad (۲)$$

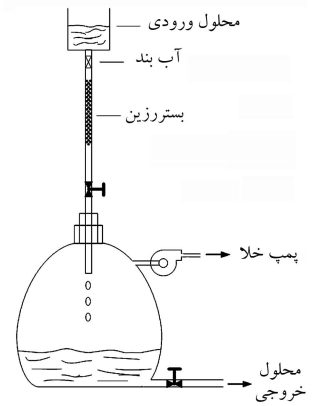
چون در مدل موجی ثابت نسبت غلظت آلاینده در فاز ثابت و متحرک ثابت است،[۹] رابطه‌ی ۳ همواره برقرار خواهد بود.

$$\frac{C^*}{C}=\frac{C_F^*}{C_F} \qquad (۳)$$

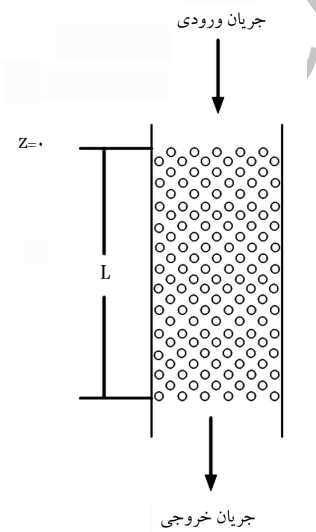
آزمایشات انجام شده

در این آزمایش از اسید بنزوئیک با درجه‌ی خلوص بالاتر از ۹۹٪ (مرک) و آب مقطر دی‌یونیزه شده استفاده شده است. مشخصات کربن فعال مورد استفاده در این آزمایش‌ها عبارت است از: کربن فعال غربال‌شده در اندازه‌های ۳۶-۳۰ مش با جرم حجمی ۴۶۲/۵ کیلوگرم در متر مکعب که توسط اسید کلریدریک یک‌نرمال چندین‌بار شسته شده تا ناخالصی‌ها و چربی‌های چسبیده به رزین کاملاً جدا شود، مجدداً با آب دی‌یونیزه شسته شده و در نهایت GAC تمیز شده در اجاق با دمای $۱۱۰^{\circ}C-۱۰۰$ کاملاً خشک می‌شود. کربن فعال تهیه‌شده با کمک رنگ‌نگاری، با قطر داخلی ۹/۵ میلی‌متر استفاده شد. آزمایش‌ها در دمای اتاق ($۲۵^{\circ}C$) و غلظت معین اسیدبنزوئیک بررسی شد. غلظت اسیدبنزوئیک به‌روش جذب نورسنجی طیفی در طول موج $۲۲۰nm$ به‌کمک دستگاه $UV-۳۰۰$ اندازه‌گیری شده است. برای انجام این آزمایش‌ها از نورسنج طیفی (اسپکتروفتومتر) ساخت شرکت «واریان»، دستگاه $Cary\,۱E/Cary\,۳E,\ UV-Vis$ استفاده شده است که در آن طول ستون شیشه‌یی ۴۰ سانتی‌متر و غلظت محلول خوراک ۲۲۰ گرم در متر مکعب از اسید بنزوئیک بوده است. این محلول در سری اول آزمایش، به‌طور پیوسته از بالای ستون در دو شدت حجمی ثابت ۰/۷۵ و ۰/۴ میلی‌لیتر بر دقیقه برای عمق بستر ۳ سانتی‌متر وارد شده است. شمای ساده‌ی $set\ up$ برپا شده به‌منظور دست‌یابی به اطلاعات تجربی در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. نتایج حاصل از این آزمایش نیز در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است. در شدت جریان حجمی ۰/۴ میلی‌لیتر در دقیقه، بستر رزین به‌کمک ذرات اسفنج و با حفظ این شدت جریان، از طریق نیروی جاذبه‌یی[6] قابل کنترل بوده است؛ لذا نتایج اطلاعات تجربی در شکل ۱ با دستگاه ساده‌ی برپا شده در شکل ۲ تأیید شد. با توجه به زمان‌های طولانیِ حاکم بر انجام آزمایش قسمت‌های خشک بستر در قطر داخلی سطح مقطع لوله (۹/۵ میلی‌متر) تقریباً صفر بوده است.

نتایج حاصل از سری اول آزمایش‌ها در عمق بستر ۳ سانتی‌متر و در دو شدت



شکل ۱. شمایی ساده از Set Up مورد استفاده در آزمایش.



شکل ۲. دستگاه بر پا شده به‌منظور آزمایش در شدت حجمی ۰/۴ میلی‌لیتر در دقیقه.

www.SID.ir

جریان حجمی ثابت ۰/۷۵ و ۰/۴ میلی‌لیتر بر دقیقه در شکل ۳ نشان داده شده است.

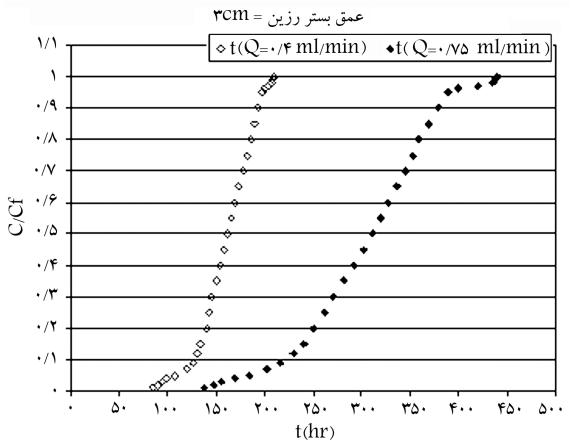
سری دوم آزمایش‌ها برای عمق بستر ۶ سانتی‌متر و در دو جریان حجمی ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌لیتر در دقیقه انجام شد. قابل ذکر است که تنظیم جریان حجمی توسط پمپ خلاء نشان‌داده شده در شکل ۱ صورت گرفته است و نتایج حاصله درمورد عمق بستر ۳ سانتی‌متر در شکل ۳، و برای عمق بستر رزین ۶ سانتی‌متر در شکل ۴ نشان داده شده است.

به‌طورکلی در ادامه‌ی این مجموعه تحقیقات، سری سوم آزمایش‌ها در پنج عمق بستر رزین ۲، ۳، ۶، ۸ و ۱۰ سانتی‌متر و با شدت جریان حجمی منتخب از نتایج به دست آمده (یعنی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه) انجام شده است. نتایج حاصل از این سری از آزمایش‌ها در شکل ۵ آمده است.

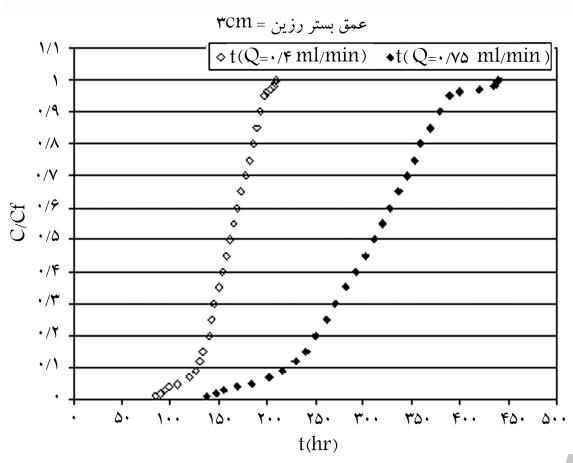
بحث و نتایج

در جذب سطحی با بستر ثابت غلظت‌های فاز مایع و فاز جامد نسبت به زمان و مکان در بستر تغییر می‌کنند. در آغاز فرایند، بیشتر انتقال جرم در نزدیک ورودی بستر که در آن سیال برای اولین‌بار با جاذب سطحی تماس می‌یابد اتفاق می‌افتد. اگر جاذب جامد در ابتدا حاوی هیچ ماده‌ی جذب‌شونده‌یی نباشد، غلظت سیال معمولاً به‌صورت نمایی با افزایش فاصله در بستر کاهش می‌یابد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). این نمودار با فواصل زمانی ترسیم شده، و غلظت حل‌شونده در حلال ورودی یا سیال خوراک نیز در خروجی پس از جذب روی جاذب اندازه‌گیری می‌شود. این منحنی‌های عبور به‌عبارتی نشان‌گر چگونگی موج جذب نسبت به گذشت زمان عبور (برحسب زمان)[۷] و باتوجه به ماهیت جاذب (از نظر تخلخل و نوع فشردگی در بستر) هستند. آزمایش‌های متعدد در عمق بسترهای مختلف رزین و همچنین شدت‌های جریان حجمی مختلف در مدت زمان‌های طولانی به‌دلیل پایین‌بودن شدت جریان، برای جذب تدریجی اسیدبنزوئیک عملاً بسیار زمان‌بر و وقت‌گیر هستند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵).

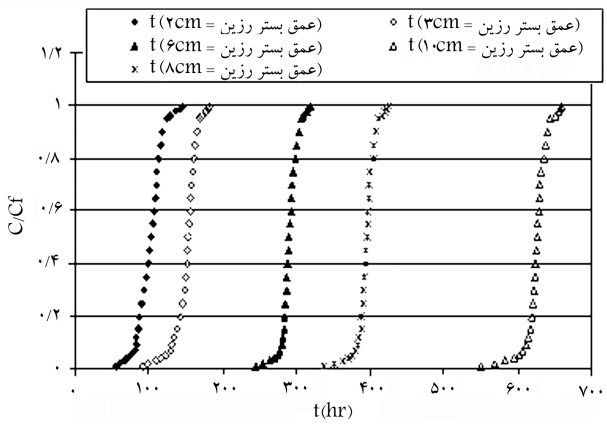
نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داده‌اند که نه‌تنها بررسی مجزای عمق بستر در یک شدت جریان حجمی خاص برای کاربردی بودن آن ناقص است، بلکه تعیین موازی عمق بستر بهینه در شدت جریان حجمی بهینه، عملکرد کاربردی این انتخاب بهینه را به همراه خواهد داشت. لذا باید توجه داشت که برای تعیین عمق بهینه‌ی بستر رزین، ابتدا باید شدت جریان حجمی را در رابطه با آن عمق بستر خاص به دست آورد تا بتوان نتایج واقعی و در عین حال کاربردی را در این خصوص ارائه کرد. چنان که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در شدت جریان حجمی کم‌تر شکل منحنی عبور با تغییر شیب تدریجی همراه است و اشباع تدریجی رزین در زمانی بسیار طولانی (بیش از دو برابر زمانی که برای جریان حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر بر دقیقه لازم است) انجام می‌شود؛ اما منحنی عبور برای شدت جریان بیشتر شکل ایده‌آلی دارد و در زمانی کوتاه‌تر تقریباً با همان کارایی شدت جریان کم‌تر بازیابی صورت می‌گیرد. به‌دلایل مذکور در بین این دو جریان، جریان حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه برتری دارد. برای تنوع‌بخشیدن به این کار بسیار طولانی، آزمایش در عمق بستر ۶ سانتی‌متر و در دو جریان حجمی ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌لیتر در دقیقه انجام شد (شکل ۴)؛ در مقایسه‌ی این دو منحنی عبور مشهود است. در این عمق بستر نیز منحنی با جریان حجمی بیشتر، اگر چه شکل خوبی ارائه می‌دهد اما منحنی با شدت حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه با وجود داشتن منحنی عبور خوب به نسبت جریان حجمی دقیقاً



شکل ۳. اثر جریان حجمی بر منحنی عبور برای طول بستر ۳ سانتی‌متر.



شکل ۴. اثر جریان حجمی بر منحنی عبور برای طول بستر ۶ سانتی‌متر.



شکل ۵. اثر طول بستر بر روی منحنی عبور برای شدت جریان حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه.

نصف شدت جریان بالاتر (۱/۵ میلی‌لیتر در دقیقه) در مدت زمان بهینه عملیات جذب صورت می‌پذیرد. بنابراین شدت جریان حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه در عمق بستر ۶ سانتی‌متر، به‌خصوص برای به دست آوردن منحنی‌های عبور جذب ایزوترم برای کار تجربی در این مورد انتخابی صحیح است. مقایسه‌ی پنج عمق بستر مختلف برای شدت جریان حجمی که در مجموعه آزمایش‌های قبلی برگزیده شده

www.SID.ir

(معادل ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه)، در شکل ۵ مشاهده می‌شود. اگر مقدار حجم خوراکی که وارد فرایند می‌شود مورد نظر باشد با ضرب مقدار جریان حجمی در زمان فرایند این حجم برای عمق‌های مختلف بستر رزین به دست می‌آید (رابطه ۴). البته با بررسی مقدار حجم ماده یا مواد شوینده ـ که درمورد اسید بنزوئیک این ماده اسیدکلریدریک است ـ می‌توان در شکل عملیاتی کار جذب، چه برای این اسید و چه برای اسیدهای آلی دیگر، تصمیم بهینه را اتخاذ کرد. این کار برای اسید لاکتیک به‌صورت دقیق انجام و شدت جریان حجمی بهینه به دست آمد.[۱۰] در اینجا عمق بستر بهینه با توجه به هزینه‌ی ماده‌ی شوینده و مقدار مصرفی آن با توجه به حجم خوراک فرایندی طبق رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید.

$$V = Q.t \qquad (۴)$$

که در آن V حجم سیال فرایندشونده، Q جریان حجمی سیال فرایندشونده، و t زمان فرایند است. لذا عمق بستر ۶ سانتی‌متر با شدت جریان حجمی ثابت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه با استفاده از جاذب کربن فعال غربال‌شده در اندازه‌های ۳۶-۳۰ مش و لوله‌ی رنگ‌نگاری با قطر داخلی ۹/۵ میلی‌متر برای جداسازی اسید بنزوئیک به‌عنوان عمق اقتصادی این طرح در اندازه‌های آزمایشگاهی به دست می‌آید. درمورد بزرگ‌نمایی، قطعاً وجود ستون شیشه‌یی به‌طول حدود ۱ متر و استفاده از پمپ خلأ با دور متغیر به‌منظور تنظیم شدت حجمی محلول خروجی از پایین برج ضرورت دارد. در این بزرگ‌نمایی می‌توان نتایج حاصله را به‌لحاظ هیدرولیکی و حتی انتقال جرمی مورد بررسی و تحقیق قرار داد، و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرد.

نتیجه‌گیری

- در جذب سطحی با بستر ثابت غلظت‌های فاز مایع و فاز جامد نسبت به زمان و مکان در بستر تغییر می‌کنند.
- در آغاز فرایند بیشتر انتقال جرم در نزدیک ورودی بستر که در آن سیال برای اولین‌بار با جاذب سطحی تماس می‌یابد اتفاق می‌افتد.
- اگر جاذب جامد در ابتدا حاوی هیچ ماده‌ی جذب‌شونده‌یی نباشد، غلظت سیال معمولاً به‌صورت نمایی با افزایش فاصله در بستر کاهش می‌یابد.
- بررسی مجزای عمق بستر در یک شدت جریان حجمی خاص برای کاربردی بودن آن ناقص است، و تعیین موازی عمق بستر بهینه در شدت جریان حجمی بهینه، عملکرد کاربردی این انتخاب بهینه را به همراه خواهد داشت.
- در شدت جریان حجمی کم‌تر شکل منحنی عبور با تغییر شیب تدریجی همراه است و در زمانی بسیار طولانی (بیش از دو برابر زمانی که برای جریان حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر بر دقیقه لازم است) اشباع تدریجی رزین انجام می‌پذیرد.
- منحنی عبور برای شدت جریان بیشتر فرم ایده‌آلی داشته و در زمانی کوتاه‌تر تقریباً با همان راندمان شدت جریان کم‌تر بازیابی صورت می‌گیرد.
- در عمق بستر ۶ سانتی‌متر منحنی با جریان حجمی بیشتر فرم خوبی ارائه می‌دهد، اما منحنی با شدت حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه با وجود داشتن منحنی عبور خوب به نسبت جریان حجمی، دقیقاً نصف شدت جریان بالاتر (۱/۵ میلی‌لیتر در دقیقه) در زمان بهینه عملیات جذب صورت می‌پذیرد.
- شدت جریان حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه در عمق بستر ۶ سانتی‌متر انتخاب برگزیده به‌خصوص برای به دست آوردن منحنی‌های عبور جذب ایزوترم برای کار تجربی در این مورد است.
- عمق بستر ۶ سانتی‌متر با شدت جریان حجمی ثابت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه با استفاده از جاذب کربن فعال غربال‌شده در اندازه‌های ۳۶-۳۰ مش و لوله‌ی رنگ‌نگاری با قطر داخلی ۹/۵ میلی‌متر به‌منظور جداسازی اسید بنزوئیک به‌عنوان عمق اقتصادی این طرح در اندازه‌های آزمایشگاهی به دست می‌آید.

علائم اختصاری

ν: سرعت سیال خوراک
t: زمان عملیات
z: فاصله از ورودی برای فاز متحرک
Z: عمق متغیر بستر رزین
L: عمق ثابت بستر رزین
C: غلظت آلاینده در فاز متحرک
C^*: غلظت آلاینده در فاز جاذب
C°: غلظت فاز متحرک در تعادل با غلظت فاز ثابت C^*
a: سطح انتقال جرم بر واحد حجم بستر
K_L: ضریب کلی انتقال جرم در فاز مایع
K_{L_a}: ضریب انتقال جرم حجمی
C_F: غلظت خوراک آلاینده در فاز متحرک
C_F^*: غلظت تعادلی توده در فاز جاذب

منابع

1. Husson, S.M., and King, c.j. "Multiple acid equilibria in adsorption of carboxylic acids from dilute aqueous solution", *Industrial and Engineering chemistry Research*, **38**, p. 502, (1992).
2. Bhandari, V.M. "Implications of weak donnan potential in ion exchange reactions: an alternate strategy for mod-

پانوشت

1. heat of adsorption
2. breakthrough curves
3. nonlinear wave propagation theory
4. driving force
5. plug
6. gravitational
7. breakthrough time

Archive of SID
www.SID.ir

eling process", *Separation Science and Technology,* **33**, pp.2009-2024, (1998).

3. Miers, J.A. "Regulation of ion exchange resins for the food, water and beverage industries", *React. Polym.,* **24**, pp. 121-132. (1995).
4. Anasthas H.M., and Gaikar, V.G. "Adsorptive separation of alkylphenols using ion exchange resins", *React. Funct. Polym.,* **39**, pp. 227-237 (1999).
5. Baumann, U., and Muller, M.T. "Determination of anaerobic biodegradability with a simple continuous fixed-bed reactor", *Water Res.,* **31**, pp. 1513-1517 (1997).
6. Dinsdale, R.M.; Hawkes, F.R., and Hawkes, D.L. "Anaerobic digestion of short chain organic acids in an expaded granular sludge bed reactor", *Water Res.,* **34**, pp. 2433-2438 (2000).
7. Derbyshir, F.; Jagtoyen, M.; Andrews, R.; Rao, A.; Martin-Gullon, I., and Grulke, E. *Carbon materials in environmental application,* Radovic LR (ed.), "Chemistry and physics of carbon", **27**. Marcel Dekker, New York, pp. 1-66 (2001).
8. Castilla, C.M. "Adsorption of organics molecules from aqueous solutions on carbon materials", *Carbon,* **42**, pp. 83-94 (2004).
9. Yang, J., and Volesky, B. "Biosorption: application aspects – process simulation tools", *Environ. Sci Technol.,* **33**, pp. 4049-4058 (2000).
10. Ghorbanian, S.A., Abolghasei, H., Radpour, S.A., "The study of effective parameters upon lactic acid adsorption with amberlite IRA-400", Engineering department, Tehran University, **41**, (2), pp.219-224 (2007).

Archive of SID

www.SID.ir