

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

سهرابعلی قربانینان (استادیار)

دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

سعیدرضا رادپور (کارشناس ارشد)

دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف

حسین ابوالقاسمی (دانشیار)

محمدعلی هوسویان (استاد)

دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

جداسازی اسید بنزوئیک که به عنوان نگه‌دارنده یا ماده‌ی افزودنی میانی در صنایع شیمیایی مورد نیاز است، و اغلب در تصفیه‌ی پساب‌های صنعتی به دلیل اثرات مضر زیست‌محیطی آن با وجود مقادیر کم اسید بنزوئیک در پساب صنعتی، به روش 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 به منظور 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 ۷۵/۰ میلی‌لیتر در دقیقه و با جاذب کربن فعال غریبال 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.

### مقدمه

اخیراً استفاده از رزین‌ها به منظور جداسازی یا خالص‌سازی محلول‌هایی که در خود دارای اسیدهای آلی به صورت ماده‌ی حل‌شونده هستند و تحت فرایند جذب سطحی - فیزیکی یا شیمیایی (تبادل یونی) - عملیات جذب را انجام می‌دهند، حائز اهمیت است. به طور کلی جاذب‌های فراوانی مورد بررسی و تحقیق قرار می‌گیرد. عملیات جذب به صورت تجربی بر روی هر رزین به عنوان یک جداساز خاص برای جداسازی ماده‌ی خاص، بررسی و تحقیق می‌شود. به عنوان مثال امروزه جداسازی اسید سیتریک با استفاده از رزین امبرلایت ۶۷-IRA، جداسازی اسید لاکتیک با رزین امبرلایت ۹۲-IRA، و نیز جداسازی اسید بنزوئیک به وسیله‌ی کربن فعال به عنوان اولین گزینه‌ی جداسازی به روش جذب سطحی مطرح است.<sup>[۱-۳]</sup> همچنین رزین‌های دیگر نیز در این نوع جداسازی پیوسته مورد تحقیق واقع می‌شود. رزین‌های مبادله‌گر یونی معمولاً به روش 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.

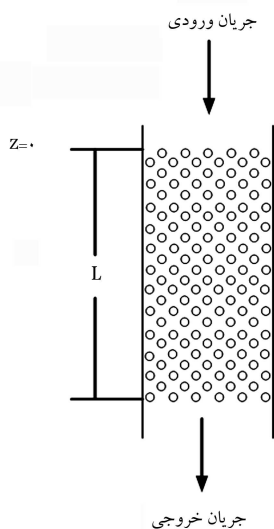
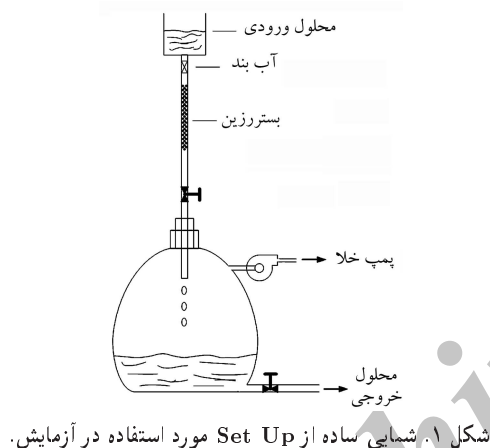
تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۷/۴، داوری: ۱۳۸۷/۲/۱۸، پذیرش: ۱۳۸۷/۷/۳۰.

ghorban@ut.ac.ir  
s.radpour@gmail.com  
hoab@ut.ac.ir  
moosavian\_ma@yahoo.com

امروزه این رزین‌ها به گونه‌های قوی و ضعیف با انواع آنیونی و کاتیونی سنتز می‌شوند، و به نام‌های تجارتي عرضه می‌شوند. کم‌تر بودن مقدار گرمای جذب<sup>۱</sup> در برخی از رزین‌ها از مقادیر معین، نشان‌دهنده‌ی آن است که این جداسازی به روش جذب از نوع فیزیکی است. به خصوص در مورد جداسازی اسید بنزوئیک که به عنوان نگه‌دارنده یا ماده‌ی افزودنی میانی در صنایع شیمیایی مورد نیاز است و اغلب در تصفیه‌ی آب به دلیل اثر مضر زیست‌محیطی آن به وسیله‌ی 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 اندازه‌گیری شده دلالت بر این موضوع دارد. به هر حال هم‌اکنون جداسازی اسید بنزوئیک موجود در پساب‌های صنعتی به عنوان آلاینده‌ی 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<sup>۲</sup> را نیز بررسی کرد.<sup>[۴]</sup> مدل‌های انتقال جرم گوناگونی در پیش‌بینی منحنی‌های عبور استفاده شده‌اند، برای پیش‌بینی این منحنی‌ها با به کار بردن یک مدل انتقال جرم، ابتدا لازم است

معین اسید بنزوتیک بررسی شد. غلظت اسید بنزوتیک به روش جذب نورسنجی طیفی در طول موج  $220\text{ nm}$  به کمک دستگاه  $UV - 300$  اندازه گیری شده است. برای انجام این آزمایش ها از نورسنج طیفی (اسپکتروفوتومتر) ساخت شرکت «واریان»، دستگاه  $Cary\ VE/Cary\ 3E, UV - Vis$  استفاده شده است که در آن طول ستون شیشه‌یی  $40$  سانتی متر و غلظت محلول خوراک  $220$  گرم در متر مکعب از اسید بنزوتیک بوده است. این محلول در سری اول آزمایش، به طور پیوسته از بالای ستون در دو شدت حجمی ثابت  $0.75$  و  $0.4$  میلی لیتر بر دقیقه برای عمق بستر  $3$  سانتی متر وارد شده است. شمای ساده‌ی  $set\ up$  برپا شده به منظور دست یابی به اطلاعات تجربی در شکل های  $1$  و  $2$  ارائه شده است. نتایج حاصل از این آزمایش نیز در نمودار شکل  $3$  نشان داده شده است. در شدت جریان حجمی  $0.4$  میلی لیتر در دقیقه، بستر رزین به کمک ذرات اسفنج و با حفظ این شدت جریان، از طریق نیروی جاذبه‌یی  $6$  قابل کنترل بوده است؛ لذا نتایج اطلاعات تجربی در شکل  $1$  با دستگاه ساده‌ی برپا شده در شکل  $2$  تأیید شد. با توجه به زمان های طولانی حاکم بر انجام آزمایش قسمت های خشک بستر در قطر داخلی سطح مقطع لوله ( $9.5$  میلی متر) تقریباً صفر بوده است.

نتایج حاصل از سری اول آزمایش ها در عمق بستر  $3$  سانتی متر و در دو شدت



شکل  $2$ . دستگاه برپا شده به منظور آزمایش در شدت حجمی  $0.4$  میلی لیتر در دقیقه.

پارامترهای زیادی را به وسیله‌ی یک سری مطالعات سینتیکی با تخمین روابط مناسب محاسبه کرد. مدل ساده‌یی که می‌تواند در پیش بینی منحنی های عبور فرایند جذب سطحی با بستر ثابت بدون خطا در محاسبات منظور شود، نظریه‌ی غیر خطی موجی  $2$  است،<sup>[۷۶]</sup> که در پیش بینی منحنی های عبور با استفاده از این نظریه، میزان انتقال جرم باید تماماً در شرایط تعادل فرض شود. اما این فرضیه همواره در میزان جریان های بالا برای عملیات بسترهای ثابت برقرار نیست. این نظریه به کمک نیروی محرک  $4$  که به خصوص در بازیافت اسید بنزوتیک توسط کربن فعال حائز اهمیت است، اصلاح می‌شود.<sup>[۷۸]</sup> همچنین می‌توان تأثیرات عمق بستر و میزان جریان حجمی بر این منحنی ها را به صورت تجربی مورد آزمایش و بررسی قرار داد. این آزمایش در شدت حجم های متفاوت خوراک و نیز در عمق بستر مختلف رزین قابل انجام است؛ پیش بینی مدل دینامیک بستر ثابت در این آزمایش براساس رابطه‌ی  $1$  انجام می‌شود.

$$\varepsilon \frac{\partial C}{\partial t} + \nu \varepsilon \frac{\partial C}{\partial z} + \rho \frac{\partial C^*}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

این معادله مبتنی است بر موازنه‌ی جرم غیر یکنواخت ماده‌ی جذب شده، 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  $y$  صرف نظر می‌شود؛
- الگوی جریان ایده‌آل و لوله‌یی<sup>۵</sup> 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 به وسیله‌ی مدل نیروی محرک خطی در رابطه‌ی ضریب کلی انتقال جرم فاز مایع مطابق رابطه‌ی  $2$  بیان کرد:

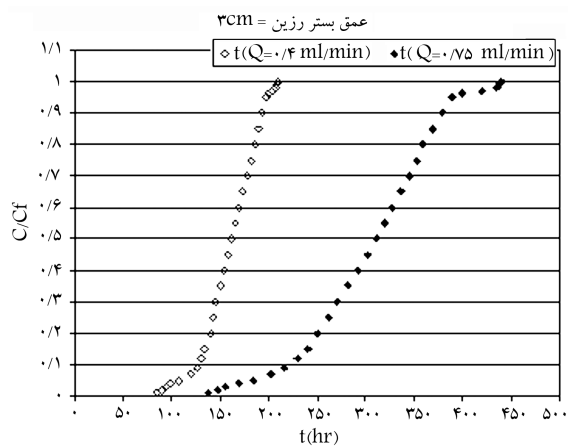
$$\rho \frac{\partial C^*}{\partial t} = K_L a (C - C^*) \quad (2)$$

چون در مدل موجی ثابت نسبت غلظت آلاینده در فاز ثابت و متحرک ثابت است،<sup>[۹]</sup> رابطه‌ی  $3$  همواره برقرار خواهد بود.

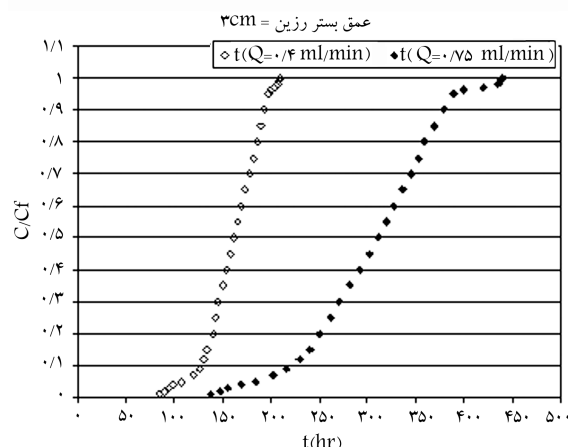
$$\frac{C^*}{C} = \frac{C_F^*}{C_F} \quad (3)$$

## آزمایشات انجام شده

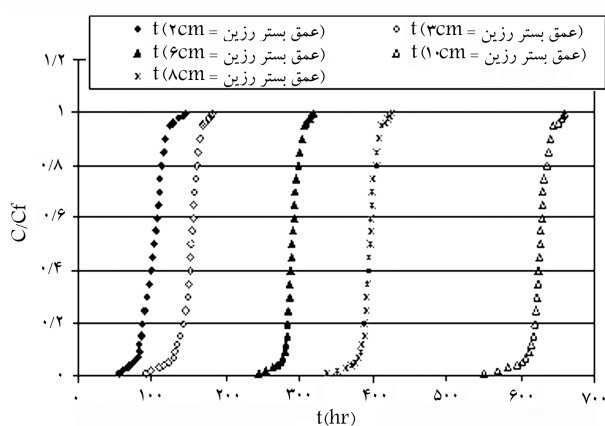
در این آزمایش از اسید بنزوتیک با درجه‌ی خلوص بالاتر از  $99\%$  (مرک) و آب مقطر دی‌یونیزه شده استفاده شده است. مشخصات کربن فعال مورد استفاده در این آزمایش ها عبارت است از: کربن فعال غربال شده در اندازه‌های  $30-36$  مش با جرم حجمی  $462/5$  کیلوگرم در متر مکعب که توسط اسید کاربیدریک یک نرمال چندین بار شسته شده تا ناخالصی ها و چربی های چسبیده به رزین کاملاً جدا شود، مجدداً با آب دی‌یونیزه شسته شده و در نهایت  $GAC$  تمیز شده در اجاق با دمای  $110 - 100$  °C کاملاً خشک می‌شود. کربن فعال تهیه شده با کمک رنگ نگاری، با قطر داخلی  $9.5$  میلی متر استفاده شد. آزمایش ها در دمای اتاق ( $25$  °C) و غلظت



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، به خصوص 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

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 نشان‌دهنده شده در شکل ۱ صورت گرفته است و نتایج حاصله در مورد عمق بستر ۳ سانتی‌متر در شکل ۳، و برای عمق بستر رزین ۶ سانتی‌متر در شکل ۴ نشان داده شده است.

به‌طور کلی 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 اولین بار با جاذب سطحی تماس می‌یابد اتفاق می‌افتد. اگر جاذب جامد در ابتدا حاوی هیچ ماده‌ی جذب‌شونده‌ی نباشد، غلظت سیال معمولاً به صورت 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 به عبارتی نشان‌گر چگونگی موج جذب نسبت به گذشت زمان عبور (برحسب زمان)<sup>۷</sup> و با توجه 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 به دلیل پایین بودن شدت جریان، برای جذب تدریجی اسیدبزنوتیک عملاً بسیار زمان‌بر و وقت‌گیر هستند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵).

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داده‌اند که نه تنها بررسی مجرای 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 بازاریبی صورت می‌گیرد.

به دلایل مذکور در بین این دو جریان، جریان حجمی ۰/۷۵ میلی‌لیتر در دقیقه برتری دارد. برای توجیه‌بخشیدن 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

- در شدت جریان حجمی کم تر شکل منحنی عبور با تغییر شیب تدریجی همراه است و در زمانی بسیار طولانی (بیش از دو برابر زمانی که برای جریان حجمی ۷۵/۰ میلی لیتر بر دقیقه لازم است) اشباع تدریجی رزین انجام می پذیرد.
- منحنی عبور برای شدت جریان بیشتر فرم ایده آلی داشته و در زمانی کوتاه تر تقریباً با همان راندمان شدت جریان کم تر بازیابی صورت می گیرد.
- در عمق بستر ۶ سانتی متر منحنی با جریان حجمی بیشتر فرم خوبی ارائه می دهد، اما منحنی با شدت حجمی ۷۵/۰ میلی لیتر در دقیقه با وجود داشتن منحنی عبور خوب به نسبت جریان حجمی، دقیقاً نصف شدت جریان بالاتر (۱/۵ میلی لیتر در دقیقه) در زمان بهینه عملیات جذب صورت می پذیرد.
- شدت جریان حجمی ۷۵/۰ میلی لیتر در دقیقه در عمق بستر ۶ سانتی متر انتخاب برگزیده به خصوص برای به دست آوردن منحنی های عبور جذب ایزوترم برای کار تجربی در این مورد است.
- عمق بستر ۶ سانتی متر با شدت جریان حجمی ثابت ۷۵/۰ میلی لیتر در دقیقه با استفاده از جاذب کربن فعال غربال شده در اندازه های ۳۶-۳۰ مش و لوله ی رنگ نگاری با قطر داخلی ۹/۵ میلی متر به منظور جداسازی اسید بنزوتیک به عنوان عمق اقتصادی این طرح در اندازه های آزمایشگاهی به دست می آید.

### علائم اختصاری

- $v$ : 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
- $C^0$ : 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

(معادل ۷۵/۰ میلی لیتر در دقیقه)، در شکل ۵ مشاهده می شود. اگر مقدار حجم خوراکی که وارد فرایند می شود مورد نظر باشد با ضرب مقدار جریان حجمی در زمان فرایند این حجم برای عمق های مختلف بستر رزین به دست می آید (رابطه ۴). البته با بررسی مقدار حجم ماده یا مواد شوینده - که در مورد اسید بنزوتیک این ماده اسیدکاردیدریک است - می توان 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 به صورت دقیق انجام و شدت جریان حجمی بهینه به دست آمد.<sup>[۱۰]</sup> در اینجا عمق بستر بهینه با توجه به هزینه ی ماده ی شوینده و مقدار مصرفی آن با توجه به حجم خوراک فرایندی طبق رابطه ی ۴ به دست می آید.

$$V = Q \cdot t \quad (4)$$

که در آن  $V$  حجم سیال فرایندشونده،  $Q$  جریان حجمی سیال فرایندشونده، و  $t$  زمان فرایند است. لذا عمق بستر ۶ سانتی متر با شدت جریان حجمی ثابت ۷۵/۰ میلی لیتر در دقیقه با استفاده از جاذب کربن فعال غربال شده در اندازه های ۳۶-۳۰ مش و لوله ی رنگ نگاری با قطر داخلی ۹/۵ میلی متر برای جداسازی اسید بنزوتیک به عنوان عمق اقتصادی این طرح در اندازه های آزمایشگاهی به دست می آید. در مورد بزرگ نمایی، قطعاً وجود ستون شیشه یی به طول حدود ۱ متر و استفاده از پمپ خلا با دور متغیر به منظور تنظیم شدت حجمی محلول خروجی از پایین برج ضرورت دارد. در این بزرگ نمایی می توان نتایج حاصله را به لحاظ هیدرولیکی و حتی انتقال جرمی مورد بررسی و تحقیق قرار داد، و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرد.

### نتیجه گیری

- در جذب سطحی با بستر ثابت غلظت های فاز مایع و فاز جامد نسبت به زمان و مکان در بستر تغییر می کنند.
- در آغاز فرایند بیشتر انتقال جرم در نزدیک ورودی بستر که در آن سیال برای اولین بار با جاذب سطحی تماس می یابد اتفاق می افتد.
- اگر جاذب جامد در ابتدا حاوی هیچ ماده ی جذب شونده یی نباشد، غلظت سیال معمولاً به صورت نمایی با افزایش فاصله در بستر کاهش می یابد.
- بررسی مجرای 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.

### پانویس

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

### 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-

- 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 expanded 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