

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فرایندهای جداسازی

با جاذب‌ها و نانو جاذب‌ها

www.ketab.ir

تصنیف: دکتر علی نعمت‌اله زاده

عضو هیئت علمی دانشگاه محقق اردبیلی

سرشناسه	:	نعمت‌اله‌زاده، علی، ۱۳۵۸-
عنوان و نام پدیدآور	:	فرایندهای جداسازی با جاذب‌ها و نانوجاذب‌ها؛ علی نعمت‌اله‌زاده.
مشخصات نشر	:	اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	۳۴۵ ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار،
شابک	:	۷-۸۳-۷۲۵۸-۶۲۲-۹۷۸: ۷۰۰/۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه: ص. [۳۱۶]-۳۳۵؛ همچنین به صورت زیرنویس.
موضوع	:	جداسازی (تکنولوژی) Separation (Technology) جاذب‌ها Sorbents
شناسه افزوده	:	دانشگاه محقق اردبیلی
شناسه افزوده	:	University of Mohaghegh Ardabili
رده‌بندی کنگره	:	TP156
رده‌بندی دیویی	:	۶۶۰/۲۸۴۲
شماره کتاب‌شناسی	:	۸۶۸۳۰۶۳
ملی	:	فیپا
اطلاعات رکورد کتاب-شناسی	:	



فرایندهای جداسازی با جاذب‌ها و نانوجاذب‌ها

تصنیف: علی نعمت‌اله‌زاده

ویراستار ادبی: دکتر مهرداد آقایی / صفحه‌آرا: هومن قاسم‌زاده / طراح جلد: هانیه محمدی صائم

چاپ اول ۱۴۰۰ ✦ قیمت ۷۰۰/۰۰۰ تومان

ISBN: 978-622-7258-83-7

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مولف است»

«حق چاپ محفوظ است»

فرایندهای جداسازی از جمله علوم کاربردی در رشته‌های مهندسی شیمی، شیمی، دارو، بهداشت و محیط‌زیست و غیره است که همراه با پیشرفت‌های روزافزون در زمینه تولید مواد و نانومواد، مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. کتاب حاضر مشتمل بر مجموعه‌ای است که بر اساس دیدگاه‌های جدید و نوآوری‌های علمی و همراه با تحلیل یا نقد دیدگاه‌های دیگران نوشته شده است که بخش اعظم آن برگرفته از تجربیات علمی نویسنده و نتیجه چندین سال تجربه عملی در زمینه انواع فرایندهای جداسازی با جاذب‌ها و نانوجاذب‌ها است. هر یک از این موارد با دیدگاه عملی و همراه با توضیحات کافی نوشته شده است؛ به گونه‌ای که هر خواننده‌ای بتواند علاوه بر کسب اطلاعات لازم، پاسخ سؤالات، روش‌های کار و نکات اساسی را در آن بیابد. برای این منظور، نخست انواع جاذب‌های معدنی، آلی و کامپوزیتی رایج در فرایندهای جداسازی معرفی شده‌اند، سپس ترمودینامیک جذب سطحی و بیش از پنجاه نوع ایزوترم جذب و انواع مدل‌های سینتیک جذب بیان شده است. برای پوشش اهم مطالب مرتبط با فرایندهای جذب سطحی، جداسازی در بسترهای ثابت نیز به تفصیل بررسی و توضیح داده شده است. در ادامه روش‌های آزمایشگاهی برای تعیین ویژگی‌های جاذب از نظر ظرفیت، ایزوترم و سینتیک جذب بیان شده است. در توضیح هر یک از موارد، سعی شده است نکات آزمایشگاهی و عملی که معمولاً مورد سؤال اکثر پژوهشگران است، به دقت توضیح داده شود. در نهایت روش‌های دستگاهی رایج برای مشخصه‌یابی جاذب‌ها ارائه شده است.

در انجام پروژه‌های مختلف جداسازی، چاپ مقالات مربوطه و ویرایش این کتاب، دانشجویان و همکاران زیادی به اینجانب کمک کرده‌اند که در تصنیف این کتاب سعی شده است نتایج و تجربیات این پروژه‌ها و مقالات با نهایت وضوح و گویایی ارائه شود. جا دارد از زحمات تک تک این عزیزان نهایت تشکر و قدردانی لازم را داشته باشم. در خاتمه ضمن تشکر از داوران محترم که با نظرات ارزشمند خود باعث ارتقا سطح علمی این کتاب شدند، با نهایت تواضع از کلیه دانشجویان و اساتید گرامی خواهشمندم برای بهتر شدن این متن، از طریق آدرس Nematollahzadeha@uma.ac.ir اینجانب را با نظرات و پیشنهادهای خود یاری فرمایند تا در ویرایش‌های بعدی لحاظ شوند.

با آرزوی توفیق الهی

علی نعمت‌الزاده

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

پیشگفتار..... ۱

۱- جاذب‌ها و نانوجاذب‌ها..... ۱

۱-۱- روش‌های جداسازی..... ۲

۲-۱- پدیده جذب سطحی..... ۳

۳-۱- جاذب..... ۶

۴-۱- انواع جاذب‌های مورد استفاده در جذب سطحی..... ۷

۵-۱- نانوجاذب‌ها..... ۸

۱-۵-۱- جاذب‌ها و نانوجاذب‌های معدنی..... ۱۱

۱-۵-۱-۱- ذرات و نانوذرات سیلیکا..... ۱۱

۱-۵-۱-۲- زئولیت..... ۱۵

۱-۵-۱-۳- ژئوپلیمرها..... ۱۸

۱-۵-۱-۴- چارچوب‌های آلی-فلزی (MOF)، آلی-کوالانسی (COF)..... ۱۸

۱-۵-۱-۵-۱- نانوذرات فلزی صفر ظرفیتی..... ۲۱

۱-۵-۱-۶- نانوذرات فلزی و اکسید فلزی..... ۲۳

۱-۵-۱-۷- نانوذرات فلزی مغناطیسی..... ۲۳

۱-۵-۱-۸- نانوذرات دی اکسید تیتانیم..... ۲۴

۱-۵-۱-۹- نانوذرات آلومینا..... ۲۵

۱-۵-۱-۱۰- کالکوزنیدها..... ۲۶

۱-۵-۱-۱۱- جاذب‌های معدنی طبیعی..... ۲۶

۲-۵-۱- جاذب‌ها و نانوجاذب‌های آلی..... ۲۸

۱-۵-۲-۱- تولید جاذب‌ها و نانوجاذب‌های آلی..... ۲۸

۱-۵-۲-۱-۱- فرایند پلیمریزاسیون..... ۲۹

۱-۵-۲-۲-۱- انواع جاذب‌ها و نانوجاذب‌های آلی..... ۳۷

۱-۵-۲-۲-۱-۱- جاذب‌های پلیمری گزینش‌پذیر (مولکول‌نگاری شده)..... ۳۷

۱-۵-۲-۲-۲-۱- جاذب‌های پلیمری برای جداسازی اختصاصی درشت‌مولکول‌ها..... ۴۰

۱-۵-۲-۲-۳-۱- جاذب‌ها بر پایه پلیمرهای طبیعی..... ۴۲

۱-۵-۲-۲-۴-۱- جاذب‌های مبتنی بر نانوکریستال‌های سلولز..... ۴۴

- ۴۶..... ۱-۵-۲-۵- سوپر جاذب‌های پلیمری
- ۴۸..... ۱-۵-۲-۶- جاذب‌های کربنی
- ۵۳..... ۱-۵-۲-۷- ایزوژل‌ها
- ۵۵..... ۱-۵-۳- جاذب‌های کامپوزیتی
- ۵۵..... ۱-۵-۳-۱- جاذب‌های کامپوزیتی هسته-پوسته
- ۵۸..... ۱-۵-۳-۲- جاذب‌های کامپوزیتی آلی-معدنی
- ۵۹..... ۱-۵-۴- جاذب‌های پوسته توخالی یا توپک
- ۶۲..... ۱-۵-۵- جاذب‌های غشایی
- ۶۳..... ۱-۵-۶- جاذب‌های امولسیون (غشاهای مایع)
- ۶۵..... ۱-۵-۷- جاذب‌های مورد استفاده در حسگرها
- ۶۶..... ۱-۵-۸- جاذب‌های ارزان قیمت و حاصل از مواد بازیافتی
- ۶۷..... ۱-۵-۹- جاذب‌های تجاری
- ۷۶..... ۱-۶- خلاصه فصل اول

۲- ترمودینامیک و سینتیک جذب سطحی

- ۷۸..... ۲-۱- ترمودینامیک جذب سطحی
- ۸۱..... ۲-۲- ایزوترم جذب
- ۸۲..... ۲-۲-۱- مدل‌های ایزوترم جذب
- ۸۴..... ۲-۱-۱-۱- ایزوترم جذب هنری (Henry)
- ۸۴..... ۲-۱-۲-۱- ایزوترم جذب لانگمویر (Langmuir)
- ۸۷..... ۲-۱-۲-۳- منحنی اسکچارد (Scatchard plot)
- ۸۹..... ۲-۱-۲-۴- ایزوترم جذب نیتا (Nitta)
- ۸۹..... ۲-۱-۲-۵- ایزوترم جذب فروندلیش (Freundlich)
- ۹۱..... ۲-۱-۲-۶- مدل ایزوترم سیپس (Sips)
- ۹۱..... ۲-۱-۲-۷- مدل لانگمویر-فروندلیش (Langmuir-Freundlich)
- ۹۲..... ۲-۱-۲-۸- مدل ایزوترم جذب توش (Tóth)
- ۹۲..... ۲-۱-۲-۹- مدل ایزوترم جذب مارکروسکی-جارونیک (Marczewski-Jaroniec)
- ۹۳..... ۲-۱-۲-۱۰- ایزوترم جذب تمکین (Temkin)
- ۹۳..... ۲-۱-۲-۱۱- ایزوترم جذب فلوری-هاگینز (Flory-Huggins)
- ۹۴..... ۲-۱-۲-۱۲- ایزوترم جذب جایگاه خالی شبه حلال (VSM)
- ۹۵..... ۲-۱-۲-۱۳- ایزوترم جذب جایگاه خالی شبه حلال-فلوری-هاگینز
- ۹۵..... ۲-۱-۲-۱۴- ایزوترم جذب ولمر (Volmer)

- ۹۶..... ۱۵-۱-۲-۲- مدل جذب دوبنن-رادوشکویچ (Dubinin-Radushkevich)
- ۹۶..... ۱۶-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب جوانویچ (Jovanovich)
- ۹۷..... ۱۷-۱-۲-۲- ایزوترم جذب الویچ (Elovich)
- ۹۸..... ۱۸-۱-۲-۲- ایزوترم جذب هالسی (Halsey)
- ۹۸..... ۱۹-۱-۲-۲- ایزوترم جذب هیل (Hill)
- ۹۸..... ۲۰-۱-۲-۲- مدل ایزوترم ردلیش-پیترسون (Redlich-Peterson)
- ۹۹..... ۲۱-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب کوبله-کورینگان (Koble-Corrigan)
- ۱۰۰..... ۲۲-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب خان (Khan)
- ۱۰۰..... ۲۳-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب رادکه-پراوونیتز (Radke-Prausnitz)
- ۱۰۰..... ۲۴-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب کیسلیف (Kiselev)
- ۱۰۱..... ۲۵-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب جوسنز (Jossens)
- ۱۰۱..... ۲۶-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب فوولر-گوگنهایم (Fowler-Guggenheim)
- ۱۰۲..... ۲۷-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب هیل-دبوتر (Hill-de Boer)
- ۱۰۳..... ۲۸-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب یونیلان (Unilan)
- ۱۰۴..... ۲۹-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب فرومکین (Frumkin)
- ۱۰۴..... ۳۰-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب فریتز-شلوندیر (Fritz-Schlunder)
- ۱۰۵..... ۳۱-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب بی-بی-بی (BET)
- ۱۱۰..... ۳۲-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب مک-میلان-تلی (McMillan-Teller)
- ۱۱۰..... ۳۳-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب فرینکل-هالسی-هیل (Frenkel-Halsey-Hill)
- ۱۱۱..... ۳۴-۱-۲-۲- ایزوترم جذب آرانویچ (Aranovich)
- ۱۱۲..... ۳۵-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب هارکینز-یورا (Harkins-Jura)
- ۱۱۲..... ۳۶-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب ردهد (Redhead)
- ۱۱۲..... ۳۷-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب دوبنن-آستاخوف (Dubinin-Astakhov)
- ۱۱۳..... ۳۸-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب بائودو (Baudu)
- ۱۱۳..... ۳۹-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب ویر-وانولیت (Weber-Van Vliet)
- ۱۱۴..... ۴۰-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب گوگنهایم-آندرسون-دبوتر (Guggenheim Anderson de Boer)
- ۱۱۴..... ۴۱-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب آندرسون چهار و پنج پارامتری (Anderson)
- ۱۱۵..... ۴۲-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب دوبنن-سرپینسکی (Dubinin-Serpinsky)
- ۱۱۵..... ۴۳-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب بارتون (Barton)
- ۱۱۶..... ۴۴-۱-۲-۲- مدل ایزوترم جذب مارکرسکی-جارونیک (Marczewski-Jaroniec)
- ۱۱۶..... ۴۵-۱-۲-۲- ایزوترم جذب چندجزئی و جذب رقابتی
- ۱۱۶..... ۱-۴۵-۱-۲-۲- تئوری محلول ایده‌آل-جذبشده
- ۱۱۹..... ۲-۴۵-۱-۲-۲- مدل جذب چند جزئی نوع لانگمویر

۱۲۰	 مدل جذب چند جزئی نوع فروندلیش
۱۲۰	 مدل جذب چند جزئی معادله حالت
۱۲۰	 تعیین ضرایب ایزوترم‌های جذب
۱۲۳	 تعیین ثوابت ایزوترم‌های غیر خطی
۱۲۹	 مدل‌های سینتیک جذب
۱۳۰	 مدل شبه درجه اول (Pseudo-first order model)
۱۳۰	 مدل شبه درجه دوم (Pseudo-second order model)
۱۳۴	 مدل الوویچ (Elovich)
۱۳۴	 مدل سینتیک جذب لانگمویر
۱۳۵	 مدل نفوذ کرنگ (Crank)
۱۳۹	 سینتیک جذب بنگهام (Bangham)
۱۴۰	 سینتیک جذب بوید (Boyd)
۱۴۱	 مدل نفوذ دوون‌ذره‌ای (Interparticle Diffusion model)
۱۴۲	 توابع خطا در تعیین ضرایب ایزوترم‌ها و سینتیک جذب
۱۴۴	 تفسیر نتایج جذب سطحی
۱۴۴	 تأثیر pH
۱۵۰	 تأثیر مقدار جاذب
۱۵۲	 تأثیر دما
۱۵۲	 گرمای ایزواستریک جذب
۱۵۶	 محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی ΔG^0 ، ΔH^0 و ΔS^0
۱۶۲	 تأثیر زمان تماس
۱۶۲	 تأثیر غلظت اولیه جذب‌شونده
۱۶۴	 تأثیر مواد مزاحم
۱۶۵	 تأثیر سرعت همزدن
۱۶۶	 خلاصه فصل دوم
۱۶۷	 ۳- فرایندهای جذب پیوسته
۱۶۷	 مقدمه
۱۶۷	 ۱-۳- جداسازی در بسترهای ثابت
۱۶۹	 ۲-۳- مبانی طراحی بستر ثابت

۱۶۹	۱-۲-۳- موازنه جرم
۱۷۵	۲-۲-۳- منحنی شکست
۱۷۹	۱-۲-۲-۳- مدل توماس
۱۸۰	۲-۲-۲-۳- مدل بوهارت و آدامز
۱۸۱	۳-۲-۲-۳- مدل زمان سرویس عمق بستر (BDST)
۱۸۱	۴-۲-۲-۳- مدل یون-تلسون
۱۸۲	۵-۲-۲-۳- مدل ولیورسکا
۱۸۲	۶-۲-۲-۳- مدل یان و همکاران
۱۸۳	۷-۲-۲-۳- مدل پاسخ دوز
۱۸۳	۸-۲-۲-۳- مدل کوپر
۱۸۴	۹-۲-۲-۳- مدل‌های حاصل از ایزوترم‌های جذب
۱۸۶	۳-۲-۳- تعیین ظرفیت جذب بستر
۱۹۱	۴-۲-۳- افزایش مقیاس
۱۹۴	۵-۲-۳- تعداد ستون‌های ثابت
۱۹۵	۶-۲-۳- احیای جاذب
۱۹۷	۷-۲-۳- هیدرودینامیک بسترهای ثابت
۱۹۷	۸-۲-۳- افت فشار در بسترهای ثابت
۲۰۰	۹-۲-۳- تغییرات انرژی در بسترهای ثابت
۲۰۱	۳-۳- جداسازی گاز در بسترهای ثابت
۲۰۴	۴-۳- جداسازی در بسترهای سیال
۲۰۷	۵-۳- بسترهای شبه متحرک و فرایندهای سوربکس و پُربکس
۲۱۰	۶-۳- ستون تبادل یونی
۲۱۱	۷-۳- شبیه سازی فرایند PSA
۲۱۳	۸-۳- خلاصه فصل سوم
۲۱۵	۴- آزمون‌های جذب
۲۱۶	۱-۴- خالص سازی نانوجاذب
۲۱۶	۱-۱-۴- خالص سازی با سانتریفیوژ
۲۱۷	۲-۱-۴- خالص سازی با کیسه دیالیز
۲۱۹	۳-۱-۴- خالص سازی با سوکسله

- ۲۲۱..... ۴-۱-۴- کریستال سازی مجدد
- ۲۲۱..... ۴-۱-۵- تقطیر تحت خلاء
- ۲۲۴..... ۴-۱-۶- تبخیر تحت خلاء
- ۲۲۶..... ۴-۲- مطالعه پایداری و میزان تورم جاذب
- ۲۲۹..... ۴-۳- روش های دستگاهی برای تعیین غلظت ماده جذب شونده
- ۲۳۱..... ۴-۳-۱- تهیه منحنی کالیبراسیون
- ۲۳۵..... ۴-۴- روش های بهینه سازی تولید جاذب های کارآمد
- ۲۳۶..... ۴-۴-۱- غربال کتابخانه ای ترکیبی
- ۲۳۷..... ۴-۴-۲- شبی ه سازی مولکولی
- ۲۳۹..... ۴-۴-۳- طراحی آزمایش ها
- ۲۴۱..... ۴-۵- برآورد هزینه تولید و استفاده از جاذب
- ۲۴۴..... ۴-۶- خلاصه فصل چهارم
- ۲۴۵..... ۵- روش های مشخصه یابی جاذب ها
- ۲۴۶..... ۵-۱- تصویربرداری الکترونی
- ۲۴۸..... ۵-۲- میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)
- ۲۵۴..... ۵-۳- طیفسنجی
- ۲۵۵..... ۵-۳-۱- طیفسنجی تبدیل فوریه مادون قرمز
- ۲۵۷..... ۵-۳-۲- طیفسنجی فرابنفش و مرئی
- ۲۵۸..... ۵-۴- تخلخلسنجی
- ۲۵۸..... ۵-۴-۱- تخلخلسنجی به روش جذب فیزیکی گاز
- ۲۶۱..... ۵-۴-۱-۱- انواع ایزوترم های BET
- ۲۶۱..... ۵-۴-۱-۱-۱- ایزوترم های جذب نوع I(a) و I(b)
- ۲۶۲..... ۵-۴-۱-۱-۲- ایزوترم جذب نوع II
- ۲۶۳..... ۵-۴-۱-۱-۳- ایزوترم جذب نوع III
- ۲۶۳..... ۵-۴-۱-۱-۴- ایزوترم های جذب نوع IV(a) و IV(b)
- ۲۶۳..... ۵-۴-۱-۱-۵- ایزوترم جذب نوع V
- ۲۶۳..... ۵-۴-۱-۱-۶- ایزوترم جذب نوع VI
- ۲۶۳..... ۵-۴-۱-۲- حلقه پسماند در ایزوترم جذب و دفع
- ۲۶۴..... ۵-۴-۱-۲-۱- پسماند نوع H1
- ۲۶۵..... ۵-۴-۱-۲-۲- پسماندهای نوع H2(a) و H2(b)