



تبادل یون

(نظری و عملی)

سی. ای. هارلند

ترجمه فرزاد جلیلی کاوکانی

مرکز نشر دانشگاهی



Ion Exchange (Theory and Practice)

Second Edition

C. E. Harland

The Royal Society of Chemistry, 1994

تبادل یون (نظری و عملی)

تألیف سی. ای. هارلند

ترجمه فرزاد جلیلی کاوکانی

ویراسته محمدباقر پورسید، فرح بشارتیان

تهیه نمایی: ناهید جوادی‌فر

نسخه پرداز: نازلین خسروی، لیلا محسنی

طراح جلد: علیرضا درباری

حروفچینی و صفحه‌آرایی: زهرا صاعد فاضل، هیژده دیارمند

ناظر چاپ: خشایار نصیری‌منش

مرکز نشر دانشگاهی

چاپ اول ۱۳۸۹

تعداد ۱۰۰۰

لیتوگرافی: میثاق

چاپ و صحافی: سامان

۶۵۰۰ تومان

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، روبه‌روی سینما سپیده، پاساژ خیبری، تلفن: ۶۶۴۰۸۸۹۱، ۶۶۴۱۰۶۸۶

فروش اینترنتی: www.bookiup.ir

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: Harland, C. E. هارلند

عنوان و نام‌پدیدآور: تبادل یون: (نظری و عملی) / سی. ای. هارلند؛ ترجمه فرزاد جلیلی کاوکانی.

مشخصات نشر: تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۹.

مشخصات ظاهری: شش، ۲۹۰ ص: مصور، جدول، نمودار.

فروست: مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۳۸۹. شیمی و مهندسی شیمی: ۱۶۵.

شابک: 978-964-01-1389-9

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی: Ion-exchange: theory and practice, 2nd ed, 1994.

موضوع: یون - تبادل

شناسه افزوده: جلیلی کاوکانی، فرزاد. ۱۳۵۰-

مترجم

شناسه افزوده: مرکز نشر دانشگاهی

رده‌بندی کنگره: QD۵۶۲/۲۸۲ ۱۳۸۹

رده‌بندی دیویی: ۵۴۱/۳۷۲۳

شماره کتابشناسی ملی: ۲۲۱۵۷۵۳

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار
۲	موضوع
۵	۱ کشف و ساختار مواد تبادل یون معدنی جامد
۵	پدیده
۷	مواد معدنی
۱۱	سیلیکاتهای شبکه‌ای دولایه‌ای
۱۴	خواص تبادل یون آلومینوسیلیکاتها
۲۳	برای مطالعه بیشتر
۲۵	۲ ظهور رزینهای تبادل یون آلی
۲۶	مواد تبادل یون آلی اولیه
۲۹	رزینهای تبادل یون آلی جدید

۳۴	مواد تبادل یون ویژه
۴۰	برای مطالعه بیشتر
۴۲	۳ ساختار رزینهای تبادل یون
۴۲	ساختار رزین متداول
۴۸	ساختارهای رزینی اصلاح شده با حلال
۴۹	رزینهای تبادل آنیون آکریلی
۵۰	جاذبههای سطحی رزینی اصلاح شده با حلال
۵۱	برای مطالعه بیشتر
۵۲	۴ خواص و توصیف مشخصه‌های رزینهای تبادل یون
۵۲	توصیف رزین
۶۳	مشخصات شیمیایی
۸۷	مشخصات فیزیکی
۹۲	خلاصه
۹۳	برای مطالعه بیشتر
۹۴	۵ تعادلها در تبادل یون
۹۴	مقدمه
۹۷	پدیده تورم و جذب حلالها
۱۰۴	جذب غیرتبادلی الکترولیت و تعادل دانن
۱۰۸	میل ترکیبی نسبی
۱۰۹	ضریب گزینش پذیری
۱۱۵	گزینش پذیری ترمودینامیکی استدلالی
۱۱۷	پیش بینی و تفسیر گزینش پذیری
۱۲۵	تبادل کاتیون در محلول رقیق
۱۲۹	تبادل آنیون محلول رقیق
۱۳۳	گزینش پذیری در محلولهای غلیظ

۱۳۴	برای مطالعه بیشتر
۱۳۶	۶ سینتیک و مکانیسم تبادل یون
۱۳۶	مفاهیم اصلی
۱۴۳	معادلات سرعت
۱۵۶	معیارهای مکانیسم
۱۵۸	دینامیک ستون
۱۶۲	نماهای انحنای رسوخ
۱۶۴	طراحی فرایند
۱۶۶	برای مطالعه بیشتر
۱۶۷	۷ برخی اصول اساسی در عملیات صنعتی
۱۶۷	مقدمه
۱۶۸	عملیات ستونی
۱۷۰	ظرفیت عملی و بازدهی بازیابی
۱۷۴	رسوخ و نشست در ستون
۱۸۰	۸ تصفیه آب
۱۸۱	تجزیه آب
۱۸۸	نرم کردن
۱۹۳	قلیازدایی
۱۹۸	دیگر فرایندهای تبادل یون چرخه‌ای منفرد در تصفیه آب
۲۰۵	کانی‌زدایی
۲۰۶	سیستم دوا مرحله‌ای با جریان همسو
۲۱۳	فرایندهای چند مرحله‌ای با جریان همسو
۲۱۵	سیستمهای با جریان ناهمسو
۲۱۷	کانی‌زدایی تک مرحله‌ای چرخه‌ای ترکیبی
۲۲۷	نمک‌زدایی به روش تبادل یون

۲۲۹	تصفیه پسابهای خروجی به روش تبادل یون
۲۳۷	برای مطالعه بیشتر
۲۳۹	۹ روشهای تصفیه غیرآبی
۲۳۹	تصفیه کربوهیدرات
۲۴۲	کاتالیز
۲۴۵	متاثر
۲۴۸	فرایندهای بازیافت
۲۵۴	فرایندهای دارویی
۲۵۵	جداسازی یونی
۲۶۲	برای مطالعه بیشتر
۲۶۳	۱۰ برخی نکات مهندسی
۲۶۳	واحد صنعتی مرسوم
۲۷۱	تبادل یون با جریان ناهمسوی پیوسته
۲۷۴	گذشته، حال و آینده
۲۷۸	برای مطالعه بیشتر
۲۷۹	پیوست
۲۸۲	نماینه

پیشگفتار

اهداف

این کتاب نسخه بازبینی شده چاپ اول، سال ۱۹۷۵ است که نمونه بسیار موفق در سری تکنیک‌های انجمن شیمی برای اساتید است. در فاصله زمانی بین دو چاپ پیشرفتهای مهم زیادی در توسعه فرایندی، مواد تبادل یون، مهندسی تجهیزات، و پژوهش مستمر برای فهم بهتر اصول بنیادی این مقوله صورت گرفته است.

با توجه به اینکه در دهه ۱۹۹۰، ۱۵ سال از چاپ اول و رشد و توسعه کاربردهای اساسی تبادل یون می‌گذرد؛ بنابراین اهداف و مفاهیم این نسخه بازبینی شده تفاوت‌های اساسی با نسخه اولیه دارد. مواد برجسته‌ای که جزء تاریخچه اولیه این گروه بودند کنار گذاشته شدند، اما در مورد پیشرفتهای جدید باید گفت که تأکید بیشتر بر خواص رزینهای جدید و روابط متقابل بین فرایندها و نظریه‌های بنیادی است. امید است در این راه روش بازبینی فهرست‌وار و تشریفاتی به نفع پرورش علایق و فهم بهتر کنار گذاشته شود. تبادل یون با استفاده از تبادلهای جدید نه تنها وسیله‌ای عالی برای تجربی‌سازی و ارائه نکات کلیدی در بطن سرفصلهای آموزشی دانشگاه است، بلکه می‌تواند به شکل بخشی از پروژه‌های پژوهشی دانشجویی به یکی از مقوله‌های شیمی محلول الکترولیت وارد شود. به دلیل پشتیبانی از این ایده از این پس روشهای ساده‌ای برای تشریح تبادلهای آلی و آزمایشهای منتخب و جداگانه‌ای برای موضوع موردنظر

(کادرها) ارائه شده است. همچنین امید است با وجود چنین روش یادگیری، دانشجویان برای شناسایی قابلیت استفاده از تبادلهای یونی در آزمایشها و برنامه‌های پروژه‌شان تشویق شوند.

در صنعت ضرورتی ندارد همه اشخاصی که مسئول خرید یا کار کردن با دستگاه تبادل یون هستند با رموز و موضوع کاملاً آشنا باشند. با در نظر داشتن محدودیت عدم طولانی شدن کتاب، توضیح عناصر اصلی مرتبط با ویژگیهای تبادلهای نظریه بنیادی و کاربردهای فرایندی کلیدی را شروع می‌کنیم. البته حق تصمیم‌گیری در این مورد که نویسنده چگونه می‌تواند به نحو مطلوب‌تری اهداف مربوطه را برای تهیه کتابی اطلاعاتی که متن در دسترس آن دقیقتر و مفهومی‌تر بیان شده باشد برای مستفیدین و خوانندگان محفوظ است.

بررسی کامل منابع در اینجا انجام نشده است اما به جای آن موضوعهای اصلی هر قسمت به منابع موثق فهرست شده در هر فصل و نشریاتی که ممکن است از طریق آنها امکان مطالعه مشروحتر و دستیابی به مراجع علمی و رسمی فراهم شود ارجاع شده است.

موضوع

پدیده تبادل یون از قدیم مشاهده شده بود، اما «مکالینس» واکنش در ۱۸۵۰ و در نتیجه فعالیتهای دو شیمیدان انگلیسی به نامهای اچ. اس. تامسون (H. S. Thompson) و جی. تی. وی (J. T. Way) بنا نهاده شد و فقط طی دهه‌های اخیر بود که توسعه یافت و به علمی دقیق تبدیل و سبب آشکار شدن کاربردهای صنعتی و گسترده آن شد. پیشرفت در فهم نظری و توسعه فرایندی تبادل یون سریع و به صورت مکمل همدیگر اتفاق افتاده است. در حوزه آکادمیک، پیشرفت این علم در رابطه تنگاتنگی با تفسیر شیمی فیزیکی رفتار محلولهای الکترولیتی غلیظ بوده است. این موضوع غیرمنتظره نیست، زیرا مواد تبادل یون تحت تأثیر الکترولیت بوده و اگرچه این مواد بیشتر جامدند، اما بعضی مواقع مشابه الکترولیتها عمل می‌کنند. بی‌شک، کاستیهای کنونی در نظریه و فهم برخی جنبه‌های تبادل یون ناشی از فقدان دانش و تفسیر دقیق نیروهای مختلف و آثار الکتریکی است که رفتار شیمیایی محلولهای الکترولیت را تحت سیطره خود دارند.

گستره تبادل یون صنعتی به دلیل کاربرد کنونی که در نرم کردن آب یافته و ابراز تمایل جهانی که نسبت به این روش به وجود آمده رشد کرده است. تصفیه آب هنوز هم عمده‌ترین کاربرد انحصاری تبادل یون صنعتی است. در حال حاضر تقاضای روبه رشد زیادی نه تنها برای نرم کردن آب بلکه برای آب خالص یا کانی‌زدایی شده وجود دارد. صرف مبالغ هنگفت به دلیل تهیه چنین آب پرکیفیتی برای

صنایع متعددی همچون تولید فلزات فراوری شده، کاغذسازی، سنتز الیاف، قطعات الکترونیکی، مواد غذایی فرایند شده، داروسازی و نیروی الکتریکی که از فناوریهای سطح بالا سود می جویند ضروری است. جهت گیری بخشی زیادی از پژوهشها و توسعه فرایندهای جدید در راستای استفاده از روشهای تبادل یون برای تهیه آب آشامیدنی از منابعی که از جهات مختلف در برآورده کردن امر به اتحاد اروپا (EU- سابقاً جامعه اروپا یا EC)، مانند میزان زیاد نیترات یا نمک اضافی ناتوانند، بوده است.

اگرچه تصور می شود عدم پیگیری مسائل زیست محیطی توسط مراجع مربوطه منجر به فراموشی سپردن موضوع می شود، اما به هر حال هوشیاری و پیگیری عمومی برای کنترل دفع پساب و کاهش آلاینده های زیست محیطی و بیشتر نشدن آن وجود دارد. تجربیات خوبی در حیطه تصفیه پساب با تبادل یون وجود دارد. پتانسیل استفاده از این مواد با توجه به مزیت اضافی ناشی از بازیافت واکشنر و استفاده مجدد از آب همواره تحت بازنگری است.

برای بخش زیادی از مواد معدنی به وضوح مشخص شده اگرچه تقاضا برای آنها رو به افزایش است اما منابع طبیعی و کیفیت مواد خام نیز رو به زوال است. این موضوع به ویژه در متالورژی استخراج که در آن تحلیل رفتن گونه های پرکیفیت سریع است و مجبور به استفاده از مواد کم کیفیت تر و بالطبع به کارگیری فناوریهای فرایندی کارآتر هستیم بروز می کند. کاربردهای زیادی از این نوع وجود دارند که در آنها تبادل یون مزیت قابل توجه خود را ثابت نموده است و انتظار می رود این فناوری در آینده در مقیاس وسیعی استفاده شود.

در پزشکی نیز استفاده قابل توجهی از تبادلگرهای یون می شود به ویژه برای تهیه آبی که بتواند نیازمندیهای بسیار مشکل فرمولهای دارویی و آرایشی را برآورده کند. رهاش کنترل شده و آهسته دارو و دیگر مواد شیمیایی به داخل بدن نیز از موارد دیگری است که در نتیجه وجود این مواد انعطاف پذیر ممکن شده است.

جدیدترین مراجع تبادل یون در حیطه خاک و حاصلخیزی آن هستند. البته اینکه تبادلگرهای جدید سنتزی پتانسیل کاربرد گسترده ای در کشاورزی و باغبانی داشته باشند تعجب آور نیست، زیرا عناصر مؤثر در رشد گیاهان می توانند به وسیله تبادلگرها و با سرعتی کنترل پذیر به خاک یا دیگر محیطهای حاصلخیز وارد شوند.

در نهایت نمی توان پیشگفتاری برای موضوع تبادل یون نوشت و از کنار کروماتوگرافی تبادل یون گذشت و آن را نادیده گرفت، البته نه فقط به این دلیل که این روش از نقطه نظر تاریخی مهم بوده و ابتدا برای جداسازی نمونه های شیمیایی همچون لاتانیدها، آکتینیدها و آمینواسیدها به کار می رفته بلکه به دلیل دستاوردهای بسیار جدیدی که در نتیجه آن مقادیر میکروی مخلوطی از یونها می توانند به سرعت جدا شده و اجزای اختصاصی آنها به صورت کمی در سطح کمتر از میکروگرم شناسایی شوند.

کادرها: می‌توان توصیف مجزای آزمایشها و ارائه‌ها را در متون اصلی خواند و مترادفهای زیر را در جای مناسب خود به‌کار برد.

$$\text{cm}^3 = \text{ml}$$

$$\text{w/v} \% \text{ یا } \text{g}/\text{cm}^3 = \text{بر } 1000 \text{ cm}^3 \text{ حلال}$$

$$\text{نرمالیه } N = 1 \text{ کیوالان گرم در لیتر}$$

$$\text{BV} = \text{حجم بستر ته‌نشستی}$$

$$\text{SAC} = \text{رزین کاتیونی اسید قوی}$$

$$\text{WAC} = \text{رزین کاتیونی اسید ضعیف}$$

$$\text{SBA} = \text{رزین آنیونی باز قوی}$$

$$\text{WBA} = \text{رزین آنیونی باز ضعیف}$$

هرجا که زمان تخمینی ارائه‌شده فرض بر این است که واکنشگرهای استاندارد، رزین در شکل مناسب و دیگر تجهیزات، آماده و در دسترس‌اند. در مواردی که به آب یون‌زدایی‌شده اشاره‌شده می‌توان به جای آن از آب مقطر استفاده کرد و در مواقعی که شناساگر نارنجی‌متیل معرفی‌شده می‌توان به جای آن شناساگر BDH[®] را به‌کار برد.