

دانشگاه سامان نور

روش‌های فیزیکی و شیمیایی جداسازی

(کارشناسی ارشد شیمی)

دکتر زرین اسحقی دکتر ریحانه راهنماکوزانی

دکتر سیدضیاء محمدی مبارکه دکتر عبدالحمید هاتفی مهرجردی

دکتر نادر بهرامی فر

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «اقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار	پانزده
فصل اول. مفاهیم اساسی روش‌های جداسازی	۱
هدف کلی	۱
هدف‌های یادگیری	۱
مقدمه	۱
۱-۱ آماده‌سازی نمونه	۲
۲-۱ مکانیسم‌های جداسازی	۵
۳-۱ فرایندهای مبتنی بر تعادل	۶
۴-۱ فرایندهای مبتنی بر سرعت	۷
۵-۱ عملیات جریان مخالف	۷
۶-۱ بهره‌وری و گزینش‌پذیری	۹
۷-۱ نحوه انتخاب یک فرایند جداسازی	۹
۸-۱ تجزیه و تحلیل جداسازی	۱۱
۹-۱ هم‌دمای جذب سطحی	۱۲
۱۰-۱ هم‌دمای لانگمویر	۱۴
۱۱-۱ هم‌دمای فروندلیچ	۱۵
خلاصه فصل اول	۱۷
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول	۱۷
خودآزمایی تشریحی فصل اول	۱۸
فصل دوم. جداسازی براساس تغییرات فاز	۱۹
هدف کلی	۱۹

۱۹	هدف‌های یادگیری.....
۱۹	مقدمه.....
۲۰	۱-۲ فرآر سازی.....
۲۲	۱-۱-۲ عملیات دستگاهی.....
۲۴	۲-۱-۲ اندازه‌گیری جیوه به‌روش فرآر سازی.....
۲۶	۲-۲ ذوب ناحیه‌ای.....
۲۶	۱-۲-۲ انجماد عادی.....
۲۸	۲-۲-۲ تصفیه ناحیه‌ای.....
۳۰	۳-۲-۲ یکنواخت‌سازی ناحیه‌ای.....
۳۱	۳-۲ تقطیر-اصول و مبانی.....
۳۲	۱-۳-۲ فشار بخار.....
۳۷	۲-۳-۲ فرآریت.....
۳۸	۳-۳-۲ تقطیر پیوسته.....
۳۹	۱-۳-۳-۲ رفلاکس کلی.....
۳۹	۲-۳-۳-۲ رفلاکس جزئی.....
۴۰	۴-۳-۲ ابزار عمومی در تقطیر.....
۴۲	۴-۲ تقطیر همجوش.....
۴۴	۵-۲ تقطیر استخراجی.....
۴۶	۶-۲ تقطیر با بخار و حلال‌های غیر قابل امتزاج.....
۴۶	۱-۶-۲ تقطیر با بخار.....
۴۸	۲-۶-۲ روش‌های حذف امولسیون‌ها.....
۴۹	۳-۶-۲ تقطیر با حلال امتزاج‌ناپذیر.....
۵۰	۷-۲ تقطیر در خلأ.....
۵۱	۸-۲ تقطیر ملکولی.....
۵۲	۱-۸-۲ پوشش آزاد متوسط.....
۵۴	۱-۱-۸-۲ نقش پوشش آزاد متوسط در تقطیر ملکولی.....
۵۵	۲-۸-۲ تصعید.....
۵۶	۳-۸-۲ تصعید با خارج‌کننده.....
۵۶	۹-۲ خشک‌کردن انجمادی.....
۵۷	۱-۹-۲ نقطه اُتکتیک.....
۵۷	۱-۱-۹-۲ اندازه‌گیری رسانایی.....
۵۷	۲-۱-۹-۲ آنالیز حرارتی.....
۵۹	خلاصه فصل دوم.....
۵۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم.....
۶۰	خودآزمایی تشریحی فصل دوم.....

فصل سوم. استخراج با فاز جامد.....	۶۱
هدف کلی.....	۶۱
هدف‌های یادگیری.....	۶۱
مقدمه.....	۶۱
۱-۳ مقایسه استخراج فاز جامد با استخراج مایع- مایع (LLE).....	۶۲
۲-۳ انواع قالب‌های جاذب در استخراج فاز جامد.....	۶۳
۱-۲-۳ کارتریج.....	۶۳
۲-۲-۳ دیسک‌ها.....	۶۳
۳-۲-۳ قالب‌های پیبت مانند.....	۶۵
۴-۲-۳ صفحات نودوشش حفره‌ای.....	۶۵
۳-۳ اساس روش استخراج فاز جامد.....	۶۶
۱-۳-۳ مرحله اول.....	۶۷
۲-۳-۳ مرحله دوم.....	۶۸
۳-۳-۳ مرحله سوم.....	۶۸
۴-۳-۳ مرحله چهارم.....	۶۸
۳-۳ روش‌های استفاده از SPE.....	۶۹
۵-۳ انواع جاذب‌های SPE.....	۷۰
۶-۳ ابزار مورد نیاز برای استخراج به روش SPE.....	۷۲
۷-۳ روش SPE پیوسته.....	۷۳
خلاصه فصل سوم.....	۷۴
خودآزمایی چهار گزینه‌ای فصل سوم.....	۷۴
خودآزمایی تشریحی فصل سوم.....	۷۵
فصل چهارم. روش‌های جداسازی بر پایه کروماتوگرافی.....	۷۷
هدف کلی.....	۷۷
هدف‌های یادگیری.....	۷۷
مقدمه.....	۷۷
۱-۴ کروماتوگرافی گازی.....	۷۸
۱-۱-۴ دستگاه‌ها برای کروماتوگرافی گاز- مایع.....	۷۹
۱-۱-۴-۱ منبع گاز حامل.....	۷۹
۲-۱-۴ سیستم ورودی نمونه.....	۸۰
۳-۱-۴ ستون‌ها.....	۸۲
۴-۱-۴ دماپای ستون.....	۸۵
۵-۱-۴ آشکار سازها.....	۸۵
۲-۱-۴ کاربردهای کروماتوگرافی گاز- مایع.....	۸۷
۱-۲-۴ تجزیه کیفی.....	۸۷
۲-۲-۴ تجزیه کمی.....	۸۸

۸۸	۳-۱-۴ کروماتوگرافی گاز- جامد
۸۹	۲-۴ کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا
۹۱	۱-۲-۴ دستگاه‌ها برای کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا
۹۲	۱-۱-۲-۴ مخازن فاز متحرک
۹۲	۲-۱-۲-۴ سیستم پمپ
۹۳	۳-۱-۲-۴ سیستم تزریق نمونه
۹۴	۴-۱-۲-۴ ستون‌ها برای کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا
۹۵	۵-۱-۲-۴ دماپای ستون
۹۵	۶-۱-۲-۴ آشکارسازها
۹۶	۳-۴ کروماتوگرافی مایع - مایع (LLC)
۹۷	۱-۳-۴ پرکننده‌های فاز پیوندی
۹۸	۲-۳-۴ پرکننده‌های مایع - مایع
۹۹	۳-۳-۴ انتخاب فازهای متحرک و ساکن
۹۹	۴-۳-۴ کاربردهای کروماتوگرافی تقسیمی
۱۰۱	۴-۴ کروماتوگرافی مایع - جامد (LSC)
۱۰۱	۱-۴-۴ فازهای ساکن کروماتوگرافی جذب سطحی
۱۰۲	۲-۴-۴ فازهای متحرک LSC
۱۰۲	۳-۴-۴ کاربردهای جذب سطحی LSC
۱۰۳	۵-۴ کروماتوگرافی اندازه - طردی
۱۰۴	۱-۵-۴ اصول کروماتوگرافی اندازه - طردی
۱۰۵	۲-۵-۴ ماده پرکننده ستون
۱۰۶	۳-۵-۴ نظریه کروماتوگرافی اندازه - طردی
۱۰۸	۴-۵-۴ کاربرد کروماتوگرافی اندازه طردی
۱۰۹	۶-۴ کروماتوگرافی لایه نازک (TLC)
۱۱۰	۱-۶-۴ قلمرو کروماتوگرافی لایه نازک
۱۱۰	۲-۶-۴ اصول کروماتوگرافی لایه نازک
۱۱۱	۳-۶-۴ تهیه صفحات لایه نازک
۱۱۲	۴-۶-۴ قراردادن نمونه روی لایه
۱۱۳	۵-۶-۴ فرایند جداسازی
۱۱۴	۶-۶-۴ تعیین موقعیت آنالیت‌ها روی صفحه
۱۱۶	۷-۶-۴ کاربردهای کروماتوگرافی لایه نازک
۱۱۶	۱-۷-۶-۴ تجزیه کیفی
۱۱۷	۲-۷-۶-۴ تجزیه کمی
۱۱۸	۷-۴ کروماتوگرافی کاغذی
۱۲۱	۱-۷-۴ تعیین موقعیت لکه در کروماتوگرافی کاغذی
۱۲۲	۲-۷-۴ کاربردهای کروماتوگرافی کاغذی

۱۲۲	 ۴-۷-۱ تجزیه کیفی
۱۲۲	 ۴-۷-۲ تجزیه کمی
۱۲۳	 ۴-۸ کروماتوگرافی تمایلی
۱۲۴	 ۴-۸-۱ بافت خنثی
۱۲۶	 ۴-۸-۲ روش‌های فعال‌سازی
۱۲۶	 ۴-۸-۱-۲ سیانوزن برمید
۱۲۶	 ۴-۸-۲-۲ کلرید اسید
۱۲۶	 ۴-۸-۳ اتصال با لیگندها
۱۲۸	 ۴-۹ فلش کروماتوگرافی
۱۲۹	 ۴-۹-۱ روش‌های پرکردن ستون
۱۳۰	 ۴-۹-۱-۱ پرکردن خشک
۱۳۰	 ۴-۹-۱-۲ پرکردن تر
۱۳۰	 ۴-۹-۲ پمپ‌ها
۱۳۱	 ۴-۹-۳ افزودن نمونه
۱۳۱	 ۴-۹-۴ کنترل جریان
۱۳۱	 ۴-۹-۵ حلال‌های شوینده
۱۳۲	 ۴-۹-۶ جمع‌آوری و ردیابی
۱۳۲	 خلاصه فصل چهارم
۱۳۲	 خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم
۱۳۴	 خودآزمایی تشریحی فصل چهارم
۱۳۵	 فصل پنجم. جداسازی بر پایه رزین‌های مبادله‌کننده یون
۱۳۵	 هدف کلی
۱۳۵	 هدف‌های یادگیری
۱۳۵	 مقدمه
۱۳۶	 ۵-۱ اصول کروماتوگرافی مبادله‌کننده یون
۱۳۸	 ۵-۱-۱ پرشونده‌های ستون
۱۴۲	 ۵-۱-۲ فازهای متحرک
۱۴۵	 ۵-۱-۳ کاربردهای کروماتوگرافی مبادله‌کننده یونی
۱۴۷	 ۵-۲ کروماتوگرافی یونی
۱۵۲	 ۵-۳ کروماتوگرافی جفت یون (IPC)
۱۵۷	 ۵-۳-۱ پرکننده‌های ستون
۱۵۷	 ۵-۳-۲ فازهای تقسیمی
۱۶۰	 ۵-۳-۳ نقش یون مخالف
۱۶۲	 ۵-۳-۴ قطبیت حلال
۱۶۲	 ۵-۳-۵ یون‌های ثانویه
۱۶۳	 ۵-۳-۶ اثر pH

۱۶۳	۷-۳-۵ قدرت گزینش پذیری حلال
۱۶۳	۸-۳-۵ سایر متغیرهای جداسازی
۱۶۴	۹-۳-۵ مشکلات ویژه
۱۶۶	۱۰-۳-۵ کاربردها
۱۶۸	۱۱-۳-۵ طراحی جداسازی به روش جفت یون
۱۶۸	۱-۱۱-۳-۵ انتخاب ستون
۱۶۹	۲-۱۱-۳-۵ انتخاب فاز متحرک
۱۷۱	۳-۱۱-۳-۵ درجه حرارت
۱۷۱	۴-۵ روش یون تأخیری
۱۷۳	۱-۴-۵ بازیابی مجدد رزین
۱۷۳	۵-۵ روش یون طردی
۱۷۵	۱-۵-۵ کاربردها
۱۷۶	۲-۵-۵ پرکننده‌های ستون
۱۷۶	۶-۵ روش تبادل لیگند
۱۷۸	خلاصه فصل پنجم
۱۷۸	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم
۱۷۹	خودآزمایی تشریحی فصل پنجم
۱۸۱	فصل ششم. جداسازی با استفاده از میدان الکتریکی
۱۸۱	هدف کلی
۱۸۱	هدف‌های یادگیری
۱۸۱	مقدمه
۱۸۳	۱-۶ اساس جداسازی‌های الکتروفورزی
۱۸۴	۲-۶ جریان الکترواُسمزی
۱۸۷	۳-۶ عوامل مؤثر بر جریان الکترواُسمزی
۱۸۷	۱-۳-۶ اثر pH محلول بافر
۱۸۷	۲-۳-۶ اثر غلظت محلول بافر
۱۸۷	۳-۳-۶ اثر افزودن حلال‌های آلی
۱۸۸	۴-۶ کنترل جریان الکترواُسمزی
۱۸۸	۵-۶ کارایی الکتروفورز موینه
۱۹۱	۶-۶ گرمایش ژول
۱۹۱	۷-۶ قدرت تفکیک
۱۹۳	۸-۶ مزایای الکتروفورز موینه نسبت به الکتروفورز کلاسیک
۱۹۳	۹-۶ دستگاه‌وری الکتروفورز موینه
۱۹۴	۱-۹-۶ منبع تغذیه ولتاژ
۱۹۴	۲-۹-۶ لوله موین
۱۹۵	۳-۹-۶ آشکارسازها

۱۹۵	 آشکارسازهای مرئی - فرابنفش
۱۹۶	 آشکارسازی فلوئورسانس
۱۹۷	 آشکارسازی الکتروشیمیایی
۱۹۷	 آشکارسازی طیفسنجی جرمی
۱۹۷	 ۱۰-۶ روش‌های تزریق به لوله موین
۱۹۷	 ۱-۱۰-۶ تزریق هیدرودینامیک
۱۹۸	 ۲-۱۰-۶ تزریق مهاجرت الکتریکی
۱۹۸	 ۱۱-۶ شیوه‌های جداسازی
۱۹۹	 ۱-۱۱-۶ الکتروفورز موینه‌ای ناحیه‌ای (CZE)
۲۰۰	 ۲-۱۱-۶ کروماتوگرافی موینه‌ای الکتروسیتیکی میسلی
۲۰۱	 ۳-۱۱-۶ الکتروفورز ژلی موینه‌ای
۲۰۲	 ۱۲-۶ افزایش حساسیت
۲۰۲	 ۱-۱۲-۶ ایزوتاگوفورز
۲۰۳	 ۲-۱۲-۶ تمرکز ایزوالکتریکی
۲۰۴	 ۳-۱۲-۶ الکتروکروماتوگرافی موینه‌ای
۲۰۴	 ۱۳-۶ کاربردهای متداول الکتروفورز موینه
۲۰۵	 خلاصه فصل ششم
۲۰۵	 خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم
۲۰۶	 خودآزمایی تشریحی فصل ششم
۲۰۹	 فصل هفتم. جداسازی‌ها براساس شناورسازی
۲۰۹	 هدف کلی
۲۰۹	 هدف‌های یادگیری
۲۰۹	 مقدمه
۲۱۰	 ۱-۷ اصول روش شناورسازی
۲۱۱	 ۲-۷ دمیدن و به‌دام انداختن
۲۱۲	 ۱-۲-۷ روش دمیدن و به‌دام انداختن ایستا
۲۱۳	 ۲-۲-۷ روش دمیدن و به‌دام انداختن پویا
۲۱۴	 ۱-۲-۲-۷ دستگاهوری
۲۱۷	 ۲-۲-۲-۷ روش‌های عملی در دمیدن و به‌دام انداختن
۲۱۸	 ۳-۲-۲-۷ اتصال نمونه‌بردار دمیدن و به‌دام انداختن به کروماتوگرافی گازی
۲۱۹	 ۳-۷ روش جزءبه‌جزءسازی با کف
۲۲۱	 ۱-۳-۷ کف
۲۲۳	 ۲-۳-۷ عوامل مؤثر بر جزءبه‌جزءسازی با کف
۲۲۳	 ۴-۷ شناورسازی کمک‌شده با گاز
۲۲۴	 ۱-۴-۷ کاربرد روش شناورسازی برای مواد معدنی
۲۲۷	 ۲-۴-۷ عوامل مؤثر بر شناورسازی کمک‌شده با گاز

۲۲۸	 ۱-۲-۴-۷ آماده سازی
۲۲۸	 ۲-۲-۴-۷ اصلاح گر ها
۲۲۸	 pH ۳-۲-۴-۷
۲۲۸	 ۴-۲-۴-۷ فرو نشاننده ها
۲۲۸	 ۵-۲-۴-۷ فعال سازها
۲۲۹	 ۶-۲-۴-۷ پخش کننده ها و والخته سازها
۲۲۹	 ۷-۲-۴-۷ جمع کننده ها
۲۲۹	 ۸-۲-۴-۷ جمع کننده های آنیونی
۲۳۰	 ۹-۲-۴-۷ جمع کننده های کاتیونی
۲۳۰	 ۱۰-۲-۴-۷ جوش آورها
۲۳۰	 ۳-۴-۷ کاربردها
۲۳۱	 ۵-۷ شناور سازی کمک شده با مایع
۲۳۳	 خلاصه فصل هفتم
۲۳۳	 خودآزمایی چهارگزینه ای فصل هفتم
۲۳۴	 خودآزمایی تشریحی فصل هفتم
۲۳۵	 فصل هشتم. جداسازی غشایی
۲۳۵	 هدف کلی
۲۳۵	 هدف های یادگیری
۲۳۵	 مقدمه
۲۳۶	 ۱-۸ اصول پدیده اُسمز
۲۳۸	 ۱-۱-۸ اُسمز معکوس
۲۴۳	 ۲-۸ دیالیز
۲۴۴	 ۱-۲-۸ الکترو دیالیز
۲۴۴	 ۱-۲-۸ دیالیز الکترولیتی
۲۴۵	 ۲-۲-۸ دیالیز رقیق و غلیظ سازی
۲۴۶	 ۳-۱-۲-۸ الکترو دیالیز جایگزینی یونی
۲۴۶	 ۴-۱-۲-۸ الکترو دیالیز برگشتی
۲۴۷	 خلاصه فصل هشتم
۲۴۷	 خودآزمایی چهارگزینه ای فصل هشتم
۲۴۸	 خودآزمایی تشریحی فصل هشتم
۲۴۹	 فصل نهم. جداسازی بر پایه روش های میکرواستخراج
۲۴۹	 هدف کلی
۲۴۹	 هدف های یادگیری
۲۴۹	 مقدمه
۲۵۰	 ۱-۹ روش های میکرواستخراج

۲۵۱	۲-۹ میکرواستخراج با فاز جامد (SPME)
۲۵۷	۱-۲-۹ انواع فیبرهای SPME
۲۶۰	۲-۲-۹ ادغام میکرواستخراج فاز جامد با دستگاه‌های تجزیه‌ای
۲۶۲	۳-۹ برخی از اصلاحات و شیوه‌های عملکردی جدید SPME
۲۶۲	۱-۳-۹ SPME به شیوه فیبر در داخل لوله
۲۶۳	۲-۳-۹ فیبرهای SPME با دو پوشش مختلف
۲۶۴	۳-۳-۹ میکرواستخراج جذب سطحی استوانه چرخان (SBSE)
۲۶۵	۴-۳-۹ میکرواستخراج توسط سرنگ انباشته (MEPS)
۲۶۵	۴-۹ روش‌های میکرواستخراج با فاز مایع (LPME)
۲۶۷	۱-۴-۹ میکرواستخراج توسط تک قطره (SDME)
۲۶۹	۲-۴-۹ LPME با استفاده از سیستم سه فازی
۲۷۱	۳-۴-۹ میکرواستخراج فاز مایع با استفاده از فیبر توخالی (HF-LPME)
۲۷۶	۴-۴-۹ ملاحظات نظری در مورد روش‌های میکرواستخراج توسط فاز مایع
۲۷۹	۵-۴-۹ روش میکرواستخراج مایع - مایع پخشی (DLLME)
۲۸۲	۱-۵-۴-۹ روابط حاکم بر میکرواستخراج مایع - مایع پخشی
۲۸۵	۲-۵-۴-۹ ویژگی‌های حلال استخراج‌کننده و پخش‌کننده
۲۸۶	۳-۵-۴-۹ مزایا و معایب روش میکرواستخراج مایع - مایع پخشی
۲۸۷	خلاصه فصل نهم
۲۸۸	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل نهم
۲۸۹	خودآزمایی تشریحی فصل نهم
۲۹۱	فصل دهم. روش‌های متفرقه استخراج
۲۹۱	هدف کلی
۲۹۱	هدف‌های یادگیری
۲۹۱	مقدمه
۲۹۲	۱-۱۰ استخراج نقطه ابری
۲۹۲	۲-۱۰ سورفکتانت‌ها
۲۹۴	۳-۱۰ طبقه‌بندی سورفکتانت‌ها
۲۹۵	۴-۱۰ جدایی فاز در نقطه ابری
۲۹۶	۵-۱۰ مراحل انجام روش استخراج نقطه ابری شدن
۲۹۷	۶-۱۰ عوامل مؤثر در روش استخراج نقطه ابری شدن
۲۹۷	۱-۶-۱۰ سورفکتانت
۲۹۷	۲-۶-۱۰ اثر pH
۲۹۸	۳-۶-۱۰ اثر لیگند
۲۹۸	۴-۶-۱۰ اثر دما و زمان تعادل گرمایی
۲۹۹	۵-۶-۱۰ اثر قدرت یونی
۲۹۹	۶-۶-۱۰ مزایا و معایب استخراج نقطه ابری

۳۰۰	۱۰-۶-۷ کاربردهای استخراج نقطه ابری
۳۰۰	۱۰-۷ استخراج مایع-مایع همگن (HLL)
۳۰۱	۱۰-۷-۱ سیستم‌های سه جزئی
۳۰۲	۱۰-۷-۲ اصول اجرایی استخراج مایع-مایع همگن
۳۰۳	۱۰-۷-۳ سیستم‌های به کاررفته در استخراج مایع-مایع همگن
۳۰۳	۱۰-۷-۳-۱ سیستم آب - پروپیلن کرینات
۳۰۴	۱۰-۷-۳-۲ سیستم آب - استون - یون پرفلوئورو اکتانوات (PFOA)
۳۰۴	۱۰-۷-۳-۳ سیستم آب - استیک اسید - کلروفرم
۳۰۴	۱۰-۷-۳-۴ سیستم آب - تتراپتیل آمونیوم برومید - کلروفرم
۳۰۵	۱۰-۸ پلیمرهای قالب ملکولی (MIP)
۳۰۶	۱۰-۸-۱ سنتز پلیمرهای قالب ملکولی
۳۰۷	۱۰-۸-۲ اجزای سازنده پلیمرهای قالب ملکولی
۳۰۸	۱۰-۸-۳ کاربردهای پلیمر قالب ملکولی
۳۰۹	۱۰-۹ نانوذرات
۳۱۰	۱۰-۹-۱ خواص نانوذرات
۳۱۲	۱۰-۹-۲ برخی از انواع نانوذرات
۳۱۲	۱۰-۹-۲-۱ نانولوله‌های کربنی
۳۱۵	۱۰-۹-۲-۲ نانوذرات اکسید فلزی
۳۱۶	۱۰-۹-۲-۳ نانوذرات مغناطیسی
۳۱۹	خلاصه فصل دهم
۳۱۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دهم
۳۲۰	خودآزمایی تشریحی فصل دهم
۳۲۱	پاسخنامه خودآزمایی‌های چهارگزینه‌ای
۳۲۳	منابع

فصل اول

مفاهیم اساسی روش‌های جداسازی

هدف کلی

در این فصل، با مبانی و مفاهیم اساسی روش‌های جداسازی آشنا می‌شوید و در مورد مکانیسم‌های جداسازی اطلاعاتی کسب می‌کنید.

هدف‌های یادگیری

پس از مطالعه این فصل، باید توانایی‌های زیر را به دست آورید.

۱. مراحل یک فرایند تجزیه را بشناسید.
۲. مکانیسم‌های جداسازی را بدانید.
۳. فرایندهای تعادلی را تشریح کنید.
۴. نحوه انتخاب یک فرایند جداسازی را بیان کنید.
۵. انواع هم‌دهماهای جذب را بشناسید.

مقدمه

طی دو دهه گذشته تلاش‌های زیادی در زمینه ابداع روش‌های نوین به منظور اندازه‌گیری بقایای اندک مواد آلی و معدنی در نمونه‌های زیست محیطی، بیولوژیکی و صنعتی صورت پذیرفته است و این تلاش‌ها به پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در طراحی و ساخت دستگاه‌های تجزیه‌ای منجر شده است. تجزیه کیفی و کمی بیشتر نمونه‌ها به دلیل بافت‌های پیچیده آن‌ها با دستگاه‌های موجود امکان‌پذیر نیست. در نتیجه وجود

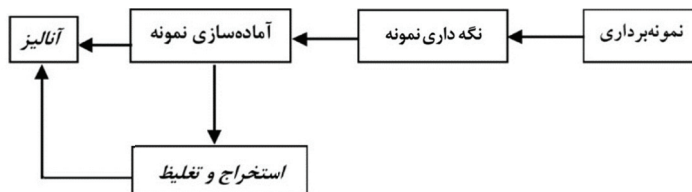
- یک مرحله اولیه آماده‌سازی نمونه^۱ ضروری به‌نظر می‌رسد. بسته به ساختار فیزیکی نمونه‌ها و ماهیت شیمیایی آن‌ها، روش‌های مختلفی برای آماده‌سازی و تهیه نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف‌های عمومی روش‌های آماده‌سازی عبارتند از:
- حذف مزاحمت‌های بالقوه به‌خصوص مزاحمت‌های ناشی از بافت نمونه در مراحل جداسازی و تشخیص نمونه و در نتیجه افزایش گزینش‌پذیری روش.
 - پیش‌تغلیظ آنالیت جهت اندازه‌گیری مقادیر بسیار اندک آن.
 - دستیابی به یک روش تکرارپذیر و کارآمد که مستقل از تغییرات بافت نمونه عمل کند.

بدیهی است که یک روش تهیه نمونه نامناسب، می‌تواند کل فرایند تجزیه‌ای را تحت‌تأثیر قرار دهد. علی‌رغم اهمیت فراوان این امر، روش‌های تهیه نمونه در خلال سال‌های گذشته کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. یک مطالعه مروری، در سال ۱۹۹۱، نشان داده است که روش‌های آماده‌سازی نمونه فقط توسط ۶۱٪ شیمیدانان مورد استفاده قرار گرفته‌اند و از این میان ۹۲٪ آنان معتقد هستند که این روش‌ها اهمیت زیادی دارند. از این رو، تا قبل از دهه مذکور، تعداد محدودی منابع و مقالات مروری در این زمینه منتشر شده‌است.

۱-۱ آماده‌سازی نمونه

- مفهوم اساسی روش آماده‌سازی نمونه، برطرف کردن مزاحمت بافت نمونه به‌صورتی است که نمونه برای جداسازی، اندازه‌گیری و یا سایر روش‌های تجزیه‌ای آماده شود. روش‌های بسیار متفاوتی در این زمینه وجود دارند که برخی از آنان به‌صورت گسترده در بسیاری از فرایندهای تجزیه‌ای به‌کار گرفته می‌شوند. در بحث حاضر، فقط به فرایندهایی اشاره می‌شود که در روش‌های فیزیکی و شیمیایی جداسازی کاربرد دارند. در این فرایندها نکات مهمی که مورد توجه شیمیدانان بوده است، از این قرار است.
- دستیابی به ویژگی^۲ و یا گزینش‌پذیری^۳ بیشتر.
 - یافتن روش‌هایی سازگارتر با محیط‌زیست که کمتر از مواد شیمیایی آلاینده و حلال‌های آلی استفاده کند.

این هدف‌ها به شیوه‌های متفاوتی قابل دسترسی هستند. با توجه به اینکه توافق نزدیکی بین بسیاری از روش‌های تهیه نمونه و جداسازی‌های تجزیه‌ای وجود دارد، در بسیاری از موارد، مرحله تهیه نمونه را می‌توان به‌عنوان اولین گام از فرایند جداسازی به حساب آورد.



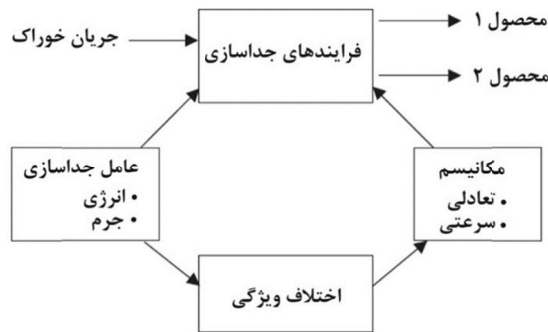
شکل ۱-۱. مراحل یک فرایند آنالیز شامل آماده‌سازی نمونه

در حال حاضر، اهمیت جداسازی در شیمی تجزیه نوین به قدری زیاد است که کوشش‌های مستمری برای ابداع روش‌های بسیار ظریف و نو به منظور جایگزینی شیوه‌های ابتدایی آن در حال اجرا است. آهنگ رشد روش‌های جداسازی در شیمی به قدری سریع است که ارائه جزئیات این روش‌ها در این فرصت غیرممکن می‌باشد. طی دو دهه اخیر به دلیل نیاز مبرم صنایع دارویی و زیست‌محیطی به اندازه‌گیری دقیق نمونه‌های دارای بافت پیچیده و مقادیر اندک مواد آلی و سمی در نمونه‌های زیست‌محیطی، بیولوژیکی و صنعتی، روش‌های آماده‌سازی نمونه به سرعت رشد یافته‌است.

جداسازی مواد شیمیایی از اهمیت روزافزون در بسیاری از حوزه‌های علوم مانند شیمی، محیط زیست، فیزیک و زمین‌شناسی برخوردار است. سوال اصلی پیرامون این حوزه مهم از علوم این است که آیا از این روش‌ها می‌توان در جهت پالایش خاک یا آب آلوده، حذف آلودگی‌ها از ضایعات ناشی از فرایندهای شیمیایی، و یا تبیین یک فرایند خاص برای کاهش اثرات زیست‌محیطی آلودگی‌ها بهره برد؟ در این کتاب سعی شده‌است که بر جنبه‌های عمومی روش‌های جداسازی تأکید شود. روش‌های جداسازی براساس تفاوت در خصوصیات فیزیکی یا شیمیایی اجزای تشکیل دهنده نمونه تجزیه و تحلیل شده‌اند.

ابتدا لازم است، مفهوم یک واحد عملیاتی و اینکه چگونه به فرایند جداسازی شیمیایی مربوط می‌شود، مشخص شود.

شکل (۱-۲)، یک واحد عملیاتی عمومی را نشان داده است که در آن جریان خوراک به دو جریان خروجی با ترکیب‌های مختلف با استفاده از یک عامل جداسازی تبدیل می‌شود. چندین جریان خوراک و همچنین چندین جریان خروجی می‌تواند، در یک فرایند جداسازی وجود داشته باشد. عامل جداسازی می‌تواند، براساس تفاوت یک خاصیت فیزیکی یا شیمیایی باشد. جداسازی به شرایط فرایند مانند ترکیب خوراک، نوع فاز، دما، فشار، سرعت جریان، عامل جداسازی و همچنین روش جداسازی بستگی دارد.



شکل ۱-۲. طرح‌واره عمومی یک فرایند جداسازی

واحد عملیاتی، فرایندی کلی است که می‌تواند در مرحله‌ای از کل فرایند قرار گیرد و بر سایر فرایندها اثر بگذارد. به عنوان مثال، کاربراتور خودرو یک واحد عملیاتی موتور است و قلب، کلیه و کبد واحدهای عملیاتی بدن انسان هستند.

واحد عملیاتی در جداسازی، فرایندی است که براساس یک مکانیسم جداسازی عمل می‌کند. به عنوان مثال، جذب سطحی روشی است که در آن یک جاذب جامد اجزای خاصی را از نمونه ورودی جدا می‌کند، زیرا آن‌ها نسبت به اجزای دیگر تمایل بیشتری به باقی ماندن روی جاذب جامد دارند.

یکی از جنبه‌های مهم طراحی و تجزیه و تحلیل، میزان نمونه جداسازی شده آن فرایند است. به عنوان مثال، جداسازی صنعتی رادیوایزوتوپ‌ها به میزان 10^{-6} تا 10^{-3} کیلوگرم بر ساعت رخ می‌دهد، درحالی‌که خالص‌سازی زغال‌سنگ بیشتر از 10^6 کیلوگرم بر ساعت است.

۲-۱ مکانیسم‌های جداسازی

فرایندهای جداسازی با مکانیسم‌های مختلف، با تکیه بر یک واحد عملیاتی اجرایی، جداسازی را انجام می‌دهند. مکانیسم انتخاب‌شده از برخی از تفاوت‌های بین اجزای سازنده بهره می‌برد. اغلب، این فرایندها به دو دسته اصلی تعادل و سرعت انتقال جرم تقسیم می‌شوند.

برای اینکه جداسازی رخ دهد، باید تفاوت قابل‌توجهی در خواص شیمیایی و یا فیزیکی اجزای نمونه وجود داشته‌باشد. این تفاوت‌ها عامل جداکننده را تعیین می‌کند و مبنای جداسازی است. در جدول (۱-۱)، برخی از این تفاوت‌ها نشان داده شده‌است. فرایندهای جداسازی از یکی از این تفاوت‌ها به‌عنوان مکانیسم اصلی خود استفاده می‌کنند.

جدول ۱-۱. خواص مورد استفاده در فرایندهای جداسازی

خواص تعادلی	خواص سرعتی
فشار بخار	نفوذپذیری
توزیع بین فازها	تحرک یونی
انحلال‌پذیری یک گاز در یک مایع	شکل و اندازه ملکولی
جذب یک گونه حل‌شده در یک سیال بر روی یک جاذب	
تعادل واکنش شیمیایی	
بار الکتریکی	
تغییر فاز	
جامد/مایع	
مایع/گاز	

در انتخاب خواص به‌منظور جداسازی، باید موارد مهم زیر را مد نظر قرار داد:
 الف) قبل از آزمون، حصول اطمینان از عملکرد این عامل در صورتی که تجربیات مثبت قبلی در خصوص استفاده از ویژگی خاصی وجود داشته است.

ب) خود آن خاصیت و اینکه آیا به‌سادگی اجرا می‌شود؟

ج) میزان تفاوت خواص، بدیهی است که هرچه اختلاف در خواص دو ماده بیشتر باشد، جداسازی آن‌ها آسان‌تر خواهد شد. اما اینکه چه مقدار تفاوت کافی است، به تجربه و مقدار ماده‌ای که باید استخراج شود، بستگی دارد. محاسبات و ارزیابی اولیه در این مورد بسیار کارساز است.

د) رفتار شیمیایی ماده تحت شرایط فرایند، مثلاً ممکن است، مواد درگیر باعث خوردگی تجهیزات جداسازی شوند یا تغییرات مورفولوژی رخ دهد و یا پدیده‌هایی، مانند تورم مواد رخ دهد.

ه) برخی مقادیر و فازها نیاز به فراوری دارند.

و) معیارهای جداسازی، غلظت اجزای مختلف موجود در فاز خوراک چقدر است؟ چه میزان خالص‌سازی و بازیابی مورد نیاز است؟ چند جزء در خوراک باید جداسازی شوند؟

جدول (۱-۲)، فهرستی از برخی فرایندهای جداسازی عمومی، مکانیسم‌های جداسازی و عامل جداسازی آن‌ها را در اختیار قرار می‌دهد.

جدول ۱-۲. فهرستی از برخی فرایندهای جداسازی عمومی

فرایند جداسازی	مکانیسم جداسازی	عامل جداسازی
تقطیر	اختلاف فشار بخار	گرما
استخراج	توزیع بین فازها	مایع غیرقابل امتزاج
جذب سطحی	توزیع بین فازها	جاذب جامد
جذب	توزیع بین فازها	مایع غیرفرار
صاف کردن	شکل و اندازه ملکولی	غشاء
مبادله‌کننده یون	تعادل واکنش شیمیایی	تعویض‌کننده یون جامد
جداسازی گاز	نفوذپذیری و توزیع فازی	غشاء
الکترودیالیز	بارالکتریکی و تحرک یونی	غشاء باردار/ میدان الکتریکی

۳-۱ فرایندهای مبتنی بر تعادل

در یک روند مبتنی بر تعادل، دو فاز (بخار، مایع و یا جامد) در تماس با یکدیگر قرار گرفته و کاملاً مخلوط می‌شوند. سپس با توزیع مجدد اجزا بین فازها از هم جدا می‌شوند. اغلب، تماس‌های متعدد در مراحل مختلف بین اجزا رخ می‌دهد که معمولاً در آن دو فاز در جهت مخالف یکدیگر جریان دارند. در هر تماس اجازه داده می‌شود که فازها به تعادل ترمودینامیکی برسند.

در توزیع فاز یا تعادل، متغیر مورد توجه، غلظت ماده حل‌شونده در فاز اولیه در حال تعادل با غلظت حل‌شونده در فاز دوم است. به‌عنوان مثال، در تقطیر، هر جزء بین دو فاز مایع و بخار توزیع می‌شود. توصیف ریاضی در روابط تعادلی معمولاً برحسب غلظت در یک فاز به‌عنوان تابعی از غلظت آن ماده در فاز دوم بیان می‌شود. به‌عنوان مثال،

در قانون هنری^۱ کسر مولی ماده حل‌شونده در یک مایع به‌عنوان تابعی از کسر مولی آن ماده در فاز گازی که در تماس با مایع است، به‌صورت رابطه (۱-۱) نشان داده می‌شود.

$$y = k.x \quad (1-1)$$

که در آن y ، کسر مولی ماده در فاز گاز، x ، کسر مولی در فاز مایع و k ، ثابت قانون هنری است.

۴-۱ فرایندهای مبتنی بر سرعت

فرایندهای مبتنی بر سرعت، فرایندهایی هستند که در آن‌ها یک جزء از اجزای موجود در جریان سیال خوراک به‌دلیل اختلاف در یک خاصیت فیزیکی به فاز دوم منتقل می‌شود. فرایندهای مبتنی بر سرعت براساس اختلاف فشار و غلظت متداول‌ترین نوع آن است. البته از اختلاف‌های دیگری نیز مانند درجه حرارت، میدان‌های الکتریکی و گرانش می‌توان استفاده کرد. در این فرایند، مرحله محدودکننده‌ای که براساس آن طراحی پایه‌گذاری می‌شود، سرعت انتقال یک جزء خاص از خوراک به فاز دوم است. سرعت نسبی گونه‌های شیمیایی مختلف، به‌سرعت انتقال یک جزء خاص در سراسر ناحیه مرزی با توجه به نیروی محرکه بستگی دارد. یک مثال در این زمینه قانون فیک^۲ است که مربوط به شار یک جزء (N_A) در سراسر یک لایه (مایع یا جامد) است که متناسب با تغییر غلظت در داخل یک لایه متفاوت است.

$$N_A = -DA \left(\frac{dC_A}{dx} \right) \quad (2-1)$$

که در این رابطه D_A ، ضریب انتشار گونه A در بافت و dC_A / dx ، تغییر غلظت گونه A در راستای مورد نظر است.

۵-۱ عملیات جریان مخالف

از آنجاکه بیشتر فرایندهای جداسازی، چه براساس سرعت انتقال جرم و چه تعادل براساس جریان مخالف^۳ بین دو فاز عمل می‌کنند، مفید است که جریان مخالف با

1. Henry's Law

2. Fick's Law

3. Countercurrent