



اصول فرایندهای جداسازی

جلد دوم

جی. دی. سیدر، ای. جی. هنلی

ترجمه محمد مهدی منتظر رحمتی



اصول فرایندهای جداسازی
(جلد دوم)

تأليف جی. دی. سیدر، ای. جی. هنلی
ترجمہ محمد مہدی منتظری رحمتی

ویراسته محمدباقر پورسیه
طراح جلد: سیمیه عابدینی
نسخه‌پرداز: اعظم علی‌خانی
حروفچینی و صفحه‌آرایی:
ناظر چاپ: خشایار نصیری
مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۸۹
تعداد ۱۰۰۰
لیتوگرافی: وسه
چاپ و صحافی: برگ‌ریزان
۱۴۰۰ تهران

شناسی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، روبه روی سینما پینو، پاساژ خیبری، تلفن: ۶۶۲۱۰۶۸۶، ۶۶۲۰۸۸۹۱
 نام: ۶۶۲۱۰۷۶۱

فروش اینترنتی: <http://eshop.iup.ir>

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است
فهرست نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سروشخانه عنوان و نام پیدآورنده مشخصات نشر مشخصات ظاهری فهرست شابک	: سیدر، ج. دی. Sedor, J.D. : اصول فرایندهای جداسازی / جی. دی. سیدر ای. چی. هتلی؛ ترجمه محمدبهمن منتظر رحمتی. : تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۸. : ۲ج - مقصور. : مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۴۵۲، ۱۳۶۱. نیچی و مهندسی شیمی؛ ۱۹۶۳. : (دوره) : 9-8191-01-978-064-01-1353-0، ج. ۰: 0-1353-01-978-064-01-1361-5، ج. ۰: 5-1361-01-978-064-01-1361-5
وضعیت فهرست نویسی پادداشت یادداشت موضوع شماره افزوده شماره افزوده شماره افزوده ردیف بندی کنگره ردیف بندی دبیری شماره کتابشناسی ملی	: وضعیت فهرست نویسی : فیبا : عنوان اصلی: Separation Process Principles : یادداشت : ویرایشگاه : یادداشت : ویرایشگاه : موضوع : جداسازی (تکنولوژی) – کتابهای درسی : شماره افزوده : هتلی، ارنست ج. : شماره افزوده : Henley, Ernest H. : مترجم : منتظر رحمتی، محمدبهمن، ۱۳۳۰ - : مرکز نشر دانشگاهی : TP ۱۵۶ / ج ۳۷ / ۱۳۸۸ ص ۶۶۰ / ۲۸۲۲ : ۶۶۰ / ۲۸۲۲ : شماره کتابشناسی ملی : ۱۹۶۵۰۰۶

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست جلد اول

صفحه	عنوان
نه	پیشگفتار
سیزده	نامگذاری و نمادگذاری
۱	۱ فرایندهای جداسازی
۲	۱-۱ فرایندهای شیمیایی صنعتی
۷	۲-۱ مکانیسم جداسازی
۱۰	۳-۱ جداسازی با افزودن یا ایجاد یک فاز جدید
۲۱	۴-۱ جداسازی به وسیله مانع
۲۳	۵-۱ جداسازی با عامل جامد
۲۵	۶-۱ جداسازی با استفاده از میدان خارجی با شیب
۲۷	۷-۱ بازیابی اجزاء و خلوص محصولات
۳۱	۸-۱ توان جداسازی
۳۳	۹-۱ انتخاب فرایندهای جداسازی ممکن (عملی)
۳۹	خلاصه
۴۱	تمرینها

۴۸	۲	ترمودینامیک عملیات جداسازی
۴۸	۱-۲	موازنه‌های انرژی، آنتروپی، و میزان دسترسی
۵۶	۲-۲	تبادل‌های فازها
۶۵	۳-۲	مدل گاز ایده‌آل، محلول مایع ایده‌آل
۷۳	۴-۲	همبستگی‌های ترسیمی خواص ترمودینامیکی
۸۰	۵-۲	مدلهای خاصیت ترمودینامیکی نایده‌آل
۹۴	۶-۲	مدلهای ضریب فعالیت برای فاز مایع
۱۲۴		خلاصه
۱۲۹		تمرینها
۱۴۲	۳	انتقال جرم و نفوذ
۱۴۴	۱-۳	نفوذ مولکولی معمولی حالت پایا
۱۵۵	۲-۳	ضرایب نفوذ
۱۸۲	۳-۳	نفوذ مولکولی حالت پایا و حالت ناپایای یک بعدی
۱۹۵	۴-۳	نفوذ مولکولی در جریان آرام
۲۱۵	۵-۳	انتقال جرم در جریان آشفته
۲۲۲	۶-۳	مدلهایی برای انتقال جرم در سطح مشترک سیال-سیال
۲۳۰	۷-۳	نظریه دو فیلم و ضرایب انتقال جرم کلی
۲۴۰		خلاصه
۲۴۵		تمرینها
۲۵۶	۴	مراحل تعادلی تکین و محاسبات تبخیر ناگهانی
۲۵۷	۱-۴	قاعده فاز گیبس و درجات آزادی
۲۶۰	۲-۴	سیستمهای دوتایی بخار-مایع
۲۷۱	۳-۴	سیستمهای همجوش
۲۷۶	۴-۴	محاسبات تبخیر ناگهانی، نقطه حباب، و نقطه شبنم چند جزئی
۲۸۹	۵-۴	سیستمهای سه‌تایی مایع-مایع
۳۰۳	۶-۴	سیستمهای مایع-مایع چند جزئی
۳۰۶	۷-۴	سیستمهای جامد-مایع
۳۲۰	۸-۴	سیستمهای گاز-مایع
۳۲۵	۹-۴	سیستمهای گاز-جامد

۳۲۸	۱۰-۴ سیستمهای چندفازی
۳۳۸	خلاصه
۳۴۰	تمرینها
۳۶۶	۵ زنجیره‌های جداسازی
۳۶۶	۱-۵ آرایشهای زنجیره‌های جداسازی
۳۶۹	۲-۵ زنجیره‌های جداسازی جامد-مایع
۳۷۴	۳-۵ زنجیره‌های استخراج مایع-مایع تک‌بخشی
۳۸۱	۴-۵ زنجیره‌های جداسازی بخار-مایع چند جزئی
۳۹۸	۵-۵ درجات آزادی و مشخصات برای زنجیره‌های جداسازی ناهمسو
۴۱۴	خلاصه
۴۱۵	تمرینها
۴۲۹	۶ جذب و غریانسازی مخلوطهای رقیق
۴۳۳	۱-۶ تجهیزات
۴۴۴	۲-۶ ملاحظات کلی طراحی
۴۴۵	۳-۶ روش مرحله تعادلی ترسیمی برای برجهای سینی دار
۴۵۵	۴-۶ روش جبری برای تعیین تعداد مراحل تعادلی
۴۵۹	۵-۶ بازدهی مرحله‌ای
۴۸۰	۶-۶ ظرفیت سینی، افت فشار، و انتقال جرم
۴۹۹	۷-۶ روش مبتنی بر سرعت برای ستونهای پرشده
۵۱۱	۸-۶ بازدهی، ظرفیت، و افت فشار ستون پرشده
۵۳۸	۹-۶ محلولهای غلیظ در ستونهای پرشده
۵۴۳	خلاصه
۵۴۹	تمرینها
۵۶۶	۷ تقطیر مخلوطهای دوتایی
۵۷۱	۱-۷ تجهیزات و ملاحظات طراحی
۵۷۲	۲-۷ روش مرحله تعادلی نموداری مک کیب-تیله برای برجهای سینی دار
۶۱۶	۳-۷ تخمین بازدهی مرحله‌ای
۶۲۵	۴-۷ ظرفیت برجهای سینی دار و مخازن جریان بازروانی

۶۲۷	۵-۷ روش مبتنی بر سرعت برای ستونهای پرشده
۶۳۵	۶-۷ روش مرحله تعادلی نموداری پونشون-ساواری برای برجهای سینی دار
۶۳۸	خلاصه
۶۴۱	تمرینها

فهرست جلد دوم

نه	پیشگفتار
۶۶۹	۸ استخراج مایع-مایع با سیستمهای سه تایی
۶۷۵	۱-۸ تجهیزات
۶۸۷	۲-۸ ملاحظات کلی طراحی
۶۹۶	۳-۸ روش مرحله تعادلی نموداری هانترو نش
۷۲۶	۴-۸ روش مرحله تعادلی نموداری مالونی و شوبرت
۷۳۴	۵-۸ نظریه و افزایش مقیاس عملکرد دستگاه استخراج
۷۶۴	خلاصه
۷۷۰	تمرینها
۷۸۳	۹ روشهای تقریبی برای جداسازیهای چند جزئی چند مرحله ای
۷۸۴	۱-۹ روش فنسکی-آندروود-گیلیند
۸۱۵	۲-۹ روش گروهی کرمز
۸۲۶	خلاصه
۸۲۸	تمرینها
۸۳۸	۱۰ روشهای مبتنی بر تعادل برای جذب، غریانسازی، تقطیر، و استخراج چند جزئی
۸۳۹	۱-۱۰ مدل نظری برای یک مرحله تعادلی
۸۴۳	۲-۱۰ راهبرد کلی حل ریاضی
۸۴۵	۳-۱۰ روش کارهای برش معادلات
۸۷۹	۴-۱۰ دستور کارهای تصحیح همزمان
۸۹۹	۵-۱۰ روش داخل به خارج
۹۱۱	خلاصه
۹۱۴	تمرینها

۹۳۱	۱۱ تقطیر اصلاح شده و استخراج ابر بحرانی
۹۳۳	۱-۱۱ استفاده از نمودارهای مثلثی
۹۵۷	۲-۱۱ تقطیر استخراجی
۹۶۶	۳-۱۱ تقطیر با نمک
۹۶۹	۴-۱۱ تقطیر با تناوب فشار
۹۷۳	۵-۱۱ تقطیر همجوش همگن
۹۸۱	۶-۱۱ تقطیر همجوش ناهمگن
۹۹۵	۷-۱۱ تقطیر واکنش پذیر
۱۰۰۹	۸-۱۱ استخراج سیال ابر بحرانی
۱۰۲۰	خلاصه
۱۰۲۹	تمرینها
۱۰۳۳	۱۲ مدل‌های مبتنی بر سرعت برای تقطیر
۱۰۳۸	۱-۱۲ مدل مبتنی بر سرعت
۱۰۴۵	۲-۱۲ خواص ترمودینامیکی و عبارات سرعت انتقال
۱۰۵۱	۳-۱۲ روشهای تخمین ضرایب انتقال و مساحت سطح فصل مشترک
۱۰۵۳	۴-۱۲ الگوهای جریان بخار و مایع
۱۰۵۴	۵-۱۲ روش محاسبه
۱۰۶۶	خلاصه
۱۰۶۹	تمرینها
۱۰۷۵	۱۳ تقطیر ناپیوسته
۱۰۷۶	۱-۱۳ تقطیر دیفرانسیلی
۱۰۸۲	۲-۱۳ تقطیر ناپیوسته دوتایی با بازروانی ثابت و ترکیب نسبی متغیر محصول تقطیر
۱۰۸۶	۳-۱۳ تقطیر ناپیوسته دوتایی با ترکیب نسبی محصول تقطیر و بازروانی متغیر
۱۰۸۸	۴-۱۳ عربانسازی ناپیوسته و تقطیر ناپیوسته پیچیده
۱۰۹۰	۵-۱۳ اثر نگهداشت مایع
۱۰۹۰	۶-۱۳ روش میانبر برای تقطیر ناپیوسته چند جزئی با بازروانی کامل
۱۰۹۵	۷-۱۳ روشهای مرحله به مرحله برای تقطیر ناپیوسته چند جزئی
۱۱۱۶	خلاصه
۱۱۱۹	تمرینها

۱۱۲۸	۱۴ جداسازیهای غشایی
۱۱۳۵	۱-۱۴ مواد غشایی
۱۱۴۳	۲-۱۴ مدولهای غشایی
۱۱۴۷	۳-۱۴ انتقال در غشاها
۱۱۷۹	۴-۱۴ دیالیز و الکترودیالیز
۱۱۹۱	۵-۱۴ اسمز معکوس
۱۲۰۰	۶-۱۴ تراوش گاز
۱۲۰۷	۷-۱۴ تراوا تبخیر
۱۲۱۵	خلاصه
۱۲۲۰	تمرینها
۱۲۳۰	۱۵ جذب سطحی، تبادل یونی، و کروماتوگرافی
۱۲۳۵	۱-۱۵ جاذبها
۱۲۵۵	۲-۱۵ ملاحظات تعادلی
۱۲۷۸	۳-۱۵ ملاحظات سینتیکی و انتقالی
۱۲۹۱	۴-۱۵ سیستمهای جذب
۱۳۶۳	خلاصه
۱۳۷۲	تمرینها
۱۳۸۸	ثابت‌های فیزیکی
۱۳۹۱	نمایه

پیشگفتار

این کتاب درسی برای استفاده در دوره‌های کارشناسی مهندسی شیمی در نظر گرفته شده است. مطالب این کتاب برای درسهای فرایندهای مرحله تعادلی، فرایندهای جداسازی مرحله‌ای، عملیات انتقال جرم، فرایندهای جداسازی، و جداسازیهای تحت کنترل سرعت، مناسب است. دانشگاههایی که دو نیمسال متوالی مراحل تعادلی و انتقال جرم را تدریس می‌کنند ممکن است دریابند که این کتاب تمام نیازهای آن دو نیمسال متوالی را برآورده می‌سازد. برخی دانشگاهها ممکن است بعضی از مطالب را برای درسهای کارشناسی ارشد در زمینه جداسازیها مناسب ببینند.

در سال ۱۹۶۳، ای. جی. هنلی و اج. کی. استافین کتابی با عنوان طراحی فرایندهای مرحله‌ای نوشتند که دانشجویان مهندسی شیمی را با جنبه‌های غیرنقوذي روابط موازنه ماده و انرژی تحت محدودیتهای تعادلهای فازی، عمدتاً با استفاده از فنون نموداری، آشنا می‌کرد. بیشتر مطالب آن کتاب، در سال ۱۹۸۱، در یک کتاب درسی بسیار مفصل به نام عملیات جداسازی مرحله تعادلی در مهندسی شیمی، به نویسندگی ای. جی. هنلی و جی. دی. سیدرگنجانده شد. هدف این کتاب مفصل اصلاح کتاب منتشره در سال ۱۹۶۳ از طریق افزودن مطالبی در مورد ریاضیات و علم مرتبط با محاسبات مرحله‌ای بود، به‌صورتی که در برنامه‌های رایانه‌ای تجاری شبیه‌سازی فرایندهای حالت پایا به‌کار می‌رفت، و ضمناً به طرز گسترده قابل دستیابی و بر روشهای حل عددی، به جای نموداری، مبتنی بود. امروزه، استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی، تقریباً در تمام بخشهای مهندسی شیمی، به دانشجویان دوره کارشناسی آموخته می‌شود. استفاده از این برنامه‌ها آسان است، ولی، برای پرهیز از مسائل همگرایی و تعیین مشخصات ناممکن، کاربر بایستی درک عمیقی از علوم پایه مهندسی شیمی داشته باشد. امید است که کتاب درسی سال ۱۹۸۱ زمینه آن درک را فراهم کرده باشد.

از زمان انتشار کتاب درسی سال ۱۹۸۱ ما، علاقه به طراحی و شبیه‌سازی عملیات جداسازی

با استفاده از اصول انتقال جرم (مبتنی بر سرعت)، به میزان چشمگیری فزونی یافته است. این علاقه ناشی از امکان دستیابی به پرکننده‌های اصلاح‌شده برای ستونهای پر شده مورد استفاده در جذب، تقطیر، و عریانسازی، و همچنین توسعه نظری و کاربردی عملیات جداسازی جدیدتر بر پایه جذب سطحی، تبلور، و جداسازیهای غشایی است. در عین حال، تقطیر ناپیوسته، که روشهای محاسباتی دقیق مبتنی بر رایانه در مورد آن گسترده‌تر شده، کاربرد وسیع‌تری پیدا کرده است. همچنین، روش کارهای بسیار بهبودیافته‌ای برای توسعه فرایندهای جداسازی با استفاده از تقطیر پیشرفته (همجوشی، استخراجی، تناوب فشار، واکنشی) منتشر شده و کاربردهای جدید در زمینه استخراج سیال ابر بحرانی و کروماتوگرافی به‌صورت اقتصادی توسعه یافته‌اند. کتاب درسی سال ۱۹۸۱ ما حاوی مطالب اندکی درباره این عناوین بود؛ اما، این کتاب درسی جدید حاوی مطالب عمده‌ای درباره این عناوین مهم، علاوه بر مطالب موجود در کتاب درسی سال ۱۹۸۱، است. روشهای مبتنی بر تعادل و مبتنی بر سرعت، هر دو، به‌صورت گسترده بررسی شده‌اند.

این کتاب درسی، به چهار قسمت تقسیم شده است. در قسمت اول، که شامل پنج فصل است، مفاهیم مقدماتی ارائه می‌شود. در فصل ۱ راهکارهای متعددی شرح داده شده که بر اساس آنها مخلوطهای شیمیایی را به روش صنعتی جدا می‌سازند. در فصل ۲، ترمودینامیک محلولها، هم برای شیوه‌های مبتنی بر تعادل و هم برای شیوه‌های مبتنی بر سرعت در عملیات جداسازی بازنگری شده است. این فصل را می‌توان حذف کرد و فقط به‌عنوان مرجع به‌کار برد مشروط به اینکه دانشجویان، درس ترمودینامیک مهندسی شیمی را گذرانده یا مشغول گذراندن آن به‌صورت همزمان باشند. در فصل ۳ اصول اساسی نفوذ و انتقال جرم بررسی می‌شود که برای شیوه مبتنی بر سرعت برای عملیات جداسازی لازم است. استفاده از معادلات تعادل فاز و موازنه ماده برای حل طیف گسترده‌ای از جداسازیهای تک‌مرحله‌ای تعادلی در فصل ۴ بررسی شده است، در حالی که فصل ۵ دانشجو را با زنجیره‌های مراحل تعادلی آشنا می‌کند.

سه بخش باقیمانده این کتاب درسی طبق روش جداسازی منظم شده‌اند. در قسمت دو، جداسازیهایی که با ایجاد یا افزودن فاز انجام می‌شوند ارائه شده‌اند. در فصلهای ۶ تا ۸ جذب و عریانسازی محلولهای رقیق، تقطیر دوتایی، و استخراج سه‌تایی مایع-مایع بررسی می‌شوند. در فصلهای ۹ تا ۱۱ روشهای مبتنی بر رایانه مورد استفاده در برنامه‌های شبیه‌سازی برای جداسازیهای بخار-مایع و مایع-مایع به تفصیل شرح داده می‌شوند. در فصل ۱۲ روشهای جدید مبتنی بر سرعت برای جداسازیهای چندمرحله‌ای چند جزئی ارائه می‌شوند در حالی که فصل ۱۳ بر تقطیر ناپیوسته تمرکز دارد.

جداسازی به‌وسیله موانع و عوامل جامد در قسمت سه ارائه می‌شود، جداسازیهای غشایی

در فصل ۱۴ و جذب سطحی، تبادل یونی، و کروماتوگرافی در فصل ۱۵. این ویرایش اول از کتاب اصول فرایندهای جداسازی، قسمت چهارم، ندارد. قسمت چهارم شامل سه فصل در مورد جداسازیهای است که یک فاز جامد در آن مطرح است: استخراج جامد-مایع و شستشو؛ تبلور، واتسعی، و تبخیر؛ و خشک کردن. این فصلها را می‌توان از نویسنده ارشد درخواست کرد. اگر تقاضاهای کافی برای این سه فصل ارائه شوند، آنها در ویرایش بعدی این کتاب درسی گنجانده خواهند شد.

تقریباً هر عنوان در این کتاب درسی با یک مثال تفصیلی تبیین شده است و دست‌کم سه تمرین عملی خانگی همراه آن می‌باشد. در کل، ۱۵۷ مثال و ۵۳۸ تمرین عملی خانگی وجود دارد، و جوابهای بیشتر تمرینها در راهنمای استادان ارائه شده است. علاوه بر آن، نویسندگان بنا دارند مثالها و تمرینهایی را به سایت اینترنتی www.wiley.com/college/seader بفرایند. تلاش شده است که توسعه تجهیزات صنعتی و نظریه مربوط به هر عملیات جداسازی، با مراجع مربوطه در نوشتارهای علمی، در یک چارچوب تاریخی، ارائه شود. برای کمک به دانشجویان در دستیابی به درک مناسب از این مطالب تشریحی، نویسندگان مجموعه‌های گسترده‌ای از پرسشها را برای هر فصل آماده کرده‌اند (در شبکه اینترنتی نیز وجود دارند).

جی. دی. سیدر

ارنست جی. هنلی