

# برنام‌حداوندجان‌و

## کروماتوگرافی گاز و مایع در شیمی تجزیه



راجر ام. اسمیت

ترجمه:

دکتر محمدحسین ارباب زوآر

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر علی سرافراز یزدی

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه: اسمیت، راجر مالکوم، ۱۹۴۳ - م.  
 عنوان و نام پدیدآور: کرماتوگرافی گاز و مایع در شیمی تجزیه / تألیف راجر ام. اسمیت؛ ترجمه محمدحسین ارباب زوار، علی سرافراز یزدی.  
 مشخصات نشر: مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶.  
 مشخصات ظاهری: ۴۵۶ ص. مصور، جدول، نمودار.  
 فروست: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۴۸۶.  
 شابک: ISBN: 978-964-386-150-6  
 وضعیت فهرست نویسی: فیبا.  
 یادداشت: عنوان اصلی: Gas and liquid chromatography in analytical chemistry  
 یادداشت: چاپ چهارم: ۱۳۹۸ (فیبا).  
 یادداشت: کتابنامه.  
 موضوع: کروماتوگرافی گازی.  
 موضوع: کروماتوگرافی مایع با بازدهی عالی.  
 شناسه افزوده: ارباب زوار، محمدحسین، ۱۳۲۴ - مترجم.  
 شناسه افزوده: سرافراز یزدی، علی، ۱۳۲۶-۱۳۹۶ - مترجم.  
 شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.  
 رده بندی کنگره: ۱۳۸۶ / الف ۴۶ ک / QD۷۹  
 رده بندی دیویی: ۵۴۳/۰۸۹۴  
 شماره کتابشناسی ملی: ۴۹۲۵۹ - ۸۵ م

## کروماتوگرافی گاز و مایع در شیمی تجزیه

پدیدآورنده: راجر ام. اسمیت  
 ترجمه: دکتر محمدحسین ارباب زوار؛ زنده یاد دکتر علی سرافراز یزدی  
 ویراستار علمی: دکتر محمود چمساز  
 مشخصات: وزیری، ۱۵۰ نسخه، چاپ پنجم، تابستان ۱۴۰۴ (اول، ۱۳۸۶)  
 چاپ و صحافی: همیار  
 بها: ۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال  
 حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.



### مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس  
 تلفن: ۳۸۸۳۳۷۲۷ - ۳۸۸۰۲۶۶۶ (۰۵۱)  
 مؤسسه کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن بست  
 گشتاسب، پلاک ۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)  
 مؤسسه دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲  
 تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

## فهرست مطالب

۱۲.....	پیشگفتار مؤلف
۱۴.....	سخن مترجمان

### □ فصل ۱ پیشگفتار □

۱۵.....	Analytical chromatography	۱-۱ کروماتوگرافی تجزیه‌ای
۲۰.....	Origins of chromatography	۲-۱ بنیادهای کروماتوگرافی
۳۰.....	Selection of chromatographic method	۳-۱ انتخاب یک روش کروماتوگرافی
۳۰.....	Nature of analyte	الف - ماهیت ماده مورد تجزیه
۳۲.....	Matrix of the sample	ب - ماتریکس نمونه
۳۲.....	Reasons for analysis	ج - دلایل برای تجزیه
۳۳.....		کتابشناسی.....
۳۳.....		مراجع.....

### □ فصل ۲ مفاهیم اساسی کروماتوگرافی □

۳۷.....	Principles and definitions	۱-۲ اصول و تعاریف
۳۷.....	Basic concepts	الف - مفاهیم پایه
۳۹.....	Chromatographic retention	ب - بازداری کروماتوگرافی
۴۶.....	Separation efficiency	ج - بازدهی جداسازی
۴۸.....	Resolution	د - تفکیک
۵۰.....	Optimisation of separation efficiency	۲-۲ بهینه‌سازی بازدهی جداسازی
۵۰.....	Factors affecting band spreading	الف - عوامل مؤثر بر روی پهن شدن باند
۵۳.....	Eddy diffusion	الف - ۱ نفوذ گردابی
۵۴.....	Molecular diffusion	الف - ۲ نفوذ مولکولی
۵۴.....	Resistance to mass transfer	الف - ۳ مقاومت در مقابل انتقال جرم
۵۸.....	Overall band-spreading equation	الف - ۴ معادله کلی پخش شدن باند
۶۰.....	Conclusions from van Deemret equation	الف - ۵ نتیجه‌گیری از معادله وان دیمتر
۶۱.....	Reduced parameters and other equations	ب - پارامترهای کاهش یافته و سایر معادلات
۶۵.....		کتابشناسی.....
۶۵.....		مراجع.....

### □ فصل ۳ کروماتوگرافی گاز-مایع : دستگاهوری □

۶۷.....	Introduction to Gas-Liquid Chromatography	۱-۳ معرفی کروماتوگرافی گاز-مایع
۶۸.....	Instrumentation Gas-Liquid Chromatography	۲-۳ دستگاه برای کروماتوگرافی گاز-مایع
۶۹.....	The carrier gas	الف - گاز حامل
۷۲.....	Sample injection	ب - تزریق نمونه

۷۳	.....Packed column injection	ب - ۱ تزریق ستون‌های پر شده
۷۳	..... Open-tubular column injection	ب - ۲ تزریق ستون‌های لوله‌ای باز
۷۴	..... Split injection	تزریق انشعابی
۷۶	..... Splitless injection	تزریق غیر انشعابی
۷۸	..... On-column injection	تزریق بر روی ستون
۷۸	..... Automatic injection	ب - ۳ تزریق‌های خودکار
۷۹	..... Column oven	ج - گرم‌خانه ستون
۸۳	.....	کتابشناسی
۸۳	.....	مراجع

### □ فصل ۴ کروماتوگرافی گاز-مایع : ستون‌ها و فازهای ساکن □

۸۵	..... Gas chromatography columns	۱-۴ ستون‌های کروماتوگرافی گازی
۸۶	..... Packed columns	الف - ستون‌های پر شده
۸۶	..... Column tubing	الف - ۱ لوله ستون
۸۷	..... Support material	الف - ۲ مواد نگهدارنده
۹۱	..... Open-tubular columns	ب - ستون‌های لوله‌ای - باز
۹۷	..... Stationary phases	۲-۴ فازهای ساکن
۹۸	..... Non-polar liquid phases	الف - فازهای مایع غیر-قطبی
۹۸	..... Hydrocarbon phases	الف - ۱ فازهای هیدروکربن
۱۰۰	..... Alkylsilicone liquid phases	الف - ۲ فازهای مایع آلکیل سیلیکون
۱۰۲	..... Polar liquid phases	ب - فازهای مایع قطبی
۱۰۴	..... Substitued silicone liquid phases	ب - ۱ فازهای مایع سیلیکون استخلاف شده
۱۰۷	..... Ester liquid phases	ب - ۲ فازهای مایع استر
۱۰۸	..... Polyether liquid phases	ب - ۳ فازهای مایع پلی اتر
۱۰۹	..... Specialised liquid phases	ج - فازهای مایع مخصوص
۱۱۰	..... Phases for carboxylic acids	ج - ۱ فازها برای اسیدهای کربوکسیلیک
۱۱۲	..... Phases for basic compounds	ج - ۲ فازها برای ترکیبات بازی
۱۱۲	..... High-temperature phases	ج - ۳ فازهای با دمای بالا
۱۱۲	..... Chiral phases	د - فازهای کایرال
۱۱۴	..... Gas-solid phases and polymer phases	ه - فازهای گاز - جامد و فازهای پلیمری
۱۱۴	..... Gas-solid stationary phases	ه - ۱ فازهای ساکن گاز - جامد
۱۱۶	..... Porous polymer phases	ه - ۲ فازهای پلیمری منفذدار
۱۱۸	..... Column selection and the classification of liquid phases	۳-۴ انتخاب ستون و دسته‌بندی فازهای مایع
۱۱۸	..... Column selection	الف - انتخاب ستون
۱۲۱	..... Classification of liquid phases	ب - دسته‌بندی فازهای مایع
۱۲۴	..... Column packing and testing	۴-۴ پر کردن ستون و تست کردن
۱۲۶	..... Preparation of the stationary phases	الف - تهیه فاز ساکن
۱۲۷	..... Column packing	ب - پر کردن ستون

۱۲۷.....	Column testing	ج - آزمایش ستون
۱۲۹.....		کتابشناسی.....
۱۳۲.....		مراجع.....

□ فصل ۵ آشکارسازها برای کروماتوگرافی گاز-مایع □

۱۳۳.....	General criteria	۱-۵ معیارهای عمومی
۱۳۳.....	Introduction	الف - مقدمه
۱۳۵.....	Detector performance	ب - عملکرد آشکارساز
۱۳۶.....	Principal groups of detectors	ج - گروه‌های مهم آشکارسازها
۱۳۶.....	Bulk property detectors	ج- ۱ آشکارسازها با خواص حجمی (یا اندازه‌ای)
۱۳۶.....	Mass flow detectors	ج- ۲ آشکارسازهای جریان جرمی
۱۳۸.....	Universal detectors	۲-۵ آشکارسازهای عمومی
۱۳۸.....	Thermal conductivity detector	الف - آشکارساز هدایت حرارتی
۱۴۲.....	Flame ionisation detector	ب - آشکارساز یونش شعله
۱۴۶.....	Photoionisation detector	ج - آشکارساز فوتو یونش
۱۴۷.....	Selective and specific	۳-۵ آشکارسازهای ویژه و گزینشی
۱۴۷.....	Electron capture detector	الف - آشکارساز ربایش الکترون
۱۵۴.....	Thermionic ionisation detector	ب - آشکارساز یونش ترمیونی
۱۵۸.....	Flame photometric detector	ج - آشکارساز فتومتری شعله‌ای
۱۶۱.....	less commonly used detectors	د - آشکارسازهایی که معمولاً کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند
۱۶۱.....	Electrochemical methods	د- ۱ روش‌های الکتروشیمیایی
۱۶۲.....	Thermal energy analyser	د- ۲ آنالیزور انرژی گرمایی
۱۶۳.....	Other detectors	د- ۳ سایر آشکارسازها
۱۶۳.....	Coupled detectors	۴-۵ آشکارسازهای جفت شده
۱۶۳.....	GC-human nose	الف - GC - بینی انسان
۱۶۴.....	GC-radiochemical detectors	ب - آشکارساز رادیو شیمیایی - GC
۱۶۴.....	GC-atomic absorption spectroscopy	ج - اسپکتروسکوپی جذبی اتمی - GC
۱۶۴.....	GC-infrared spectroscopy	د - اسپکتروسکوپی مادون قرمز - GC
۱۶۵.....	GC-mass spectrometry	ه - اسپکترومتری جرم - GC
۱۶۵.....	Interfacing to the mass spectrometer	ه- ۱ اتصال دهندگان به اسپکترومتر جرم
۱۶۷.....	Modes of operation	ه- ۲ حالت‌های عملیاتی
۱۶۷.....	Total ion monitor	ثبت کل یون
۱۶۸.....	Single/multiple ion monitoring mode	حالت ثبت یگانه/چند گانه یون
۱۶۸.....	Criteria for the adoption of a new detector	۵-۵ معیار برای پذیرش آشکارساز جدید
۱۷۲.....		کتابشناسی.....
۱۷۵.....		مراجع.....

□ فصل ۶ شناسایی نمونه و تعیین مقدار توسط کروماتوگرافی گاز-مایع □

- ۱-۶ تهیه نمونه برای کروماتوگرافی گاز-مایع Sample preparation for gas-liquid chromatography ۱۷۷
- ۲-۶ شناسایی نمونه توسط کروماتوگرافی گاز-مایع
- ۱۷۸ ..... Sample identification by gas-liquid chromatography
- الف - شناسایی با مقایسه با ترکیبات استاندارد
- ۱۷۹ ..... Identification by comparison with standard compounds
- ب - وابستگی‌های ساختمان - بازداری Structure-retention relationships ۱۸۰
- ج - استانداردهای بازداری نسبی Relative retention standards ۱۸۳
- د - اندیس‌های بازداری Retention indices ۱۸۴
- ۳-۶ تعیین مقدار نمونه در کروماتوگرافی گاز-مایع
- ۱۸۷ ..... Sample quantification in gas-liquid chromatography
- الف - درجه‌بندی خارجی External calibration ۱۸۷
- ب - درجه‌بندی داخلی Internal calibration ۱۸۹
- کتابشناسی ۱۹۱
- مراجع ۱۹۲

□ فصل ۷ کروماتوگرافی گازی : روش‌های مخصوص □

- ۱-۷ مشکلات نمونه‌ها در کروماتوگرافی گاز-مایع Problem samples in gas-liquid chromatography ۱۹۳
- ۲-۷ واکنش‌های مشتق‌سازی در کروماتوگرافی گاز-مایع
- ۱۹۴ .... Derivatisation reactions in gas-liquid chromatography
- الف - گروه‌های هیدروکسیلی Hydroxyl groups ۱۹۵
- الف - ۱ آلکالاسیون برای تشکیل اترها Alkylation to form ethers ۱۹۵
- الف - ۲ آسیلاسیون Acylation ۱۹۵
- الف - ۳ سیلاسیون Silylation ۱۹۶
- ب - کربوهیدرات‌ها Carbohydrates ۱۹۸
- ج - اسیدهای کربوکسیلیک Carboxylic acids ۱۹۹
- ج - ۱ دی‌آزو متان Diazomethane ۱۹۹
- ج - ۲ استریفیکاسیون کاتالیز شده اسیدی Acid-catalysed esterification ۲۰۱
- ج - ۳ واکنش‌های استریفیکاسیون در ستون On-column esterification reactions ۲۰۱
- ج - ۴ مشتق‌سازی برای آشکارساز ترمیونی Derivatisation for thermionic detection ۲۰۲
- د - آمین‌ها Amines ۲۰۲
- د - ۱ آسیلاسیون Acylation ۲۰۲
- د - ۲ آریلاسیون Arylation ۲۰۳
- د - ۳ سیلیلاسیون Silylation ۲۰۳
- ه - آمینو اسیدها Amino acids ۲۰۳
- و - سایر گروه‌های عامل Other functional groups ۲۰۴
- ز - جداسازی‌های کایرال Chiral separations ۲۰۴

۲۰۵.....	Abstraction techniques	ح - روش‌های خلاصه نمودن
۲۰۶.....	Sample pyrolysis	۳-۷ پیرولیز نمونه
۲۰۸.....	Matrix problems	۴-۷ مشکلات ماتریس
۲۰۸.....	Head space analysis	الف - آنالیز فضای فوقانی
۲۰۹.....	Trapping of volatile samples	ب - به تله انداختن نمونه‌های فرّار
۲۱۰.....	Column switching	۵-۷ به کارگیری چند ستون
۲۱۲.....		کتابشناسی.....
۲۱۳.....		مراجع.....

□ فصل ۸ کروماتوگرافی مایع : □

۲۱۵.....	Liquid chromatographic methods	۱-۸ روشهای کروماتوگرافی مایع
۲۱۸.....	Normal-Phase Chromatography	الف - کروماتوگرافی فاز نرمال
۲۱۹.....	Reversed-Phase Chromatography	ب - کروماتوگرافی فاز معکوس
۲۲۰.....	Related separation techniques	۲-۸ تکنیک‌های جداسازی مرتبط
۲۲۱.....	Ion-exchange Chromatography	الف - کروماتوگرافی مبادله یون
۲۲۳.....	Size Exclusion Chromatography	ب - کروماتوگرافی ممانعت اندازه
۲۲۳.....	Preparative separations	۳-۸ جداسازیهای تهیه‌ای
۲۲۵.....	Selection of an analytical method	۴-۸ انتخاب یک روش تجزیه‌ای
۲۲۸.....		کتابشناسی.....
۲۲۸.....		مراجع.....

□ فصل ۹ کروماتوگرافی لایه نازک : □

۲۲۹.....	Separations on thin-layer chromatography	۱-۹ جداسازی‌ها بر روی کروماتوگرافی لایه نازک
۲۳۲.....	Adsorption-phase TLC	الف - TLC فاز جذبی
۲۳۳.....	Reversed-phase TLC	ب - TLC فاز معکوس
۲۳۵.....	High-performance TLC	ج - TLC با کارایی بالا
۲۳۵.....	Mobile phases	د - فازهای متحرک
۲۳۷.....	Analyte detection	۲-۹ شناسایی تجزیه‌شونده‌ها
۲۳۷.....	Direct examination	الف - امتحان مستقیم
۲۳۷.....	General detection reagents	ب - معرفات شناسایی عمومی
۲۳۸.....	Selective detection reagents	ج - معرفات شناسایی انتخابی
۲۳۹.....	Instrumental detection	د - شناسایی دستگاهی
۲۴۰.....	Samples and applications	۳-۹ نمونه‌ها و موارد کاربرد
۲۴۲.....	Qualitative analysis and identification	الف - شناسایی و تجزیه کیفی
۲۴۲.....	Quantification	ب - اندازه‌گیری کمی
۲۴۲.....	New ideas and techniques	۴-۹ فنون و ایده‌های جدید
۲۴۷.....		کتابشناسی.....
۲۴۷.....		مراجع.....

□ فصل ۱۰ کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا : □

۲۴۹	Modes of operation of high-performance liquid chromatography	۱-۱۰ شیوه‌های عمل کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا
۲۵۱	Instrumentation for liquid chromatography	۲-۱۰ دستگاه برای کروماتوگرافی مایع
۲۵۲	Eluent	الف - شوینده
۲۵۲	Eluent purity	الف - ۱ خلوص شوینده
۲۵۵	Eluent degassing	الف - ۲ گاززدایی شوینده
۲۵۸	Pumps	ب - پمپ‌ها
۲۵۹	Reciprocating pumps	ب - ۱ پمپ‌های رفت و برگشتی
۲۶۰	Diaphragm pumps	ب - ۲ پمپ‌های دیافراگم
۲۶۰	Syringe pumps	ب - ۳ پمپ‌های سرنگی
۲۶۲	Pressure amplification pumps	ب - ۴ پمپ‌های چند برابر کننده فشار
۲۶۳	Programmed elution	ب - ۵ شستشوی برنامه ریزی شده
۲۶۴	Sample injection systems	ج - سیستم‌های تزریق نمونه
۲۶۶	Connecting tubing	د - لوله‌های اتصال دهنده
۲۶۷	Columns	ه - ستون‌ها
۲۶۷	Analytical columns	ه - ۱ ستون‌های تجزیه‌ای
۲۶۸	Microbore columns	ه - ۲ ستون‌های میکروبور
۲۶۸	Capillary columns	ه - ۳ ستون‌های موئینه
۲۶۹	Pre-and guard columns	ه - ۴ پیش‌ستون‌ها و ستون‌های محافظ
۲۷۰	Column ovens	ه - ۵ آون‌های ستون
۲۷۱	Packing columns	ه - ۶ پر کننده‌های ستون‌ها
۲۷۳		کتابشناسی
۲۷۴		مراجع

□ فصل ۱۱ آشکارسازی در کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا : □

۲۷۵	General criteria	۱-۱۱ ویژگی‌های عمومی
۲۷۸	Spectrophotometric detectors	۲-۱۱ آشکارسازهای اسپکتروفتومتری
		الف - آشکارسازهای اسپکتروفتومتری در ناحیه ماوراء بنفش و مرئی
۲۷۸	Ultraviolet-visible spectrophotometric detectors	
۲۸۰	Fixed-wavelength detectors	الف - ۱ آشکارسازهای با طول موج ثابت
۲۸۲	Variable-wavelength detectors	الف - ۲ آشکارسازهای با طول موج قابل تغییر
		الف - ۳ آشکارسازهای اسپکتروفتومتری دیود ردیفی
۲۸۳	Diod array spectrophotometric detectors	
		الف - ۴ محدودیت‌های شوینده با آشکارسازی ماوراء بنفش
۲۸۵	Eluent restrictions with ultraviolet detection	
۲۸۸	Fluorescence detectors	ب - آشکارسازهای فلورسانس

۲۹۱	..... Electroanalytical detectors	۳-۱۱ آشکارسازهای الکتروآنالیز
۲۹۱	..... Conductometric detectors	الف - آشکارسازهای هدایت‌سنجی
۲۹۱	..... Amperometric and coulometric detectors	ب - آشکارسازهای کولومتری و آمپرومتری
۲۹۸	..... Refractive index detectors	۴-۱۱ آشکارسازهای ضریب شکست
۳۰۲	..... Other liquid chromatography detectors	۵-۱۱ آشکارسازهای دیگر کروماتوگرافی مایع
۳۰۳	..... Coupled liquid chromatography detectors	۶-۱۱ آشکارسازهای کوپل شده کروماتوگرافی مایع
۳۰۳	..... LC-infrared spectroscopic detection	الف - آشکارسازی اسپکتروسکوپی مادون قرمز-LC
۳۰۴	..... LC-mass spectrometric detection	ب - آشکارسازی اسپکترومتری جرم-LC
۳۰۶	.....	کتابشناسی

□ فصل ۱۲ روش‌های جداسازی کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا: ستون‌ها و فازهای متحرک □

۳۱۰	..... Selection of a separation method	۱-۱۲ انتخاب یک روش جداسازی
۳۱۳	..... Normal-phase separation method	۲-۱۲ روش‌های جداسازی فاز نرمال
۳۱۳	..... Stationary phase materials	الف - مواد فاز ساکن
۳۱۷	.....	ب - فازهای متحرک برای جداسازی‌های فاز نرمال
۳۲۱	..... Reversed-phase separation method	۳-۱۲ روش‌های جداسازی فاز معکوس
۳۲۱	.....	الف - مواد فاز پیوند داده شده هیدروکربنی
۳۲۵	..... Other bonded-phase materials	ب - دیگر مواد فازهای پیوند زده شده
۳۲۸	..... Polymer stationary phases	ج - فازهای ساکن پلیمری
۳۳۰	..... Dynamically coated columns	د - ستون‌های پوشانیده شده دینامیکی
۳۳۱	.....	ه - انتخاب حلال برای کروماتوگرافی فاز معکوس
۳۳۵	..... Separation of ionisable compounds	۴-۱۲ جداسازی ترکیبات قابل یونش
۳۳۵	..... Ion suppression	الف - یون فرونشانی
۳۳۷	..... Masking agents	ب - عوامل پوشاندگی
۳۳۸	..... Ion-pair chromatography	ج - کروماتوگرافی جفت‌یون
۳۳۹	..... Mechanism of ion-pair separations	ج - ۱ مکانیسم جداسازی‌های جفت یون
۳۴۱	..... Typical separation systems	ج - ۲ سیستم‌های شاخص جداسازی
		۵-۱۲ کروماتوگرافی مبادله یون و کروماتوگرافی یونی
۳۴۳	..... Ion chromatography and ion-exchange chromatography	
۳۴۴	..... Separation of cations and anions	الف - جداسازی کاتیون‌ها و آنیون‌ها
۳۴۴	..... Weak ion-exchange columns	الف - ۱ ستون‌های مبادله‌گر یونی ضعیف
۳۴۵	.....	الف - ۲ کروماتوگرافی یونی با آشکارسازی فرونشاندگی
۳۴۸	..... Indirect photometric detection	الف - ۳ آشکارسازی غیر مستقیم فتومتری
۳۴۹	..... Silica as an ion-exchange medium	ب - سیلیکا به عنوان یک بستر مبادله یون
۳۴۹	..... Separation of macromolecules and biopolymers	۶-۱۲ جداسازی ماکرومولکول‌ها و بیوپلیمرها
۳۵۲	..... Optimisation techniques	۷-۱۲ روش‌های بهینه‌سازی
۳۵۳	..... Mapping optimisation methods	الف - روش‌های بهینه‌سازی نقشه‌ای
۳۵۳	..... Iterative optimisation methods	ب - روش‌های بهینه‌سازی مکرر

۳۵۶	ج - روش‌های بهینه‌سازی سیمپلکس Simplex optimisation methods
۳۵۸	کتابشناسی
۳۶۰	مراجع

### □ فصل ۱۳ موارد استفاده کیفی و کمی کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا □

۱-۱۳	موارد کاربردی کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا
۳۶۱	Applications of high-performance liquid chromatography
۲-۱۳	تهیه نمونه Sample preparation
۳۶۲	Sample identification شناسایی نمونه
۳-۱۳	الف - فاکتورهای بازداری نسبی Relative retention factors
۳۶۸	ب - اندیس‌های بازداری در HPLCHPLC Retention indices in HPLCHPLC
۳۶۹	تجزیه کمی به وسیله کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا
۴-۱۳	Quantitative analysis by high-performance liquid chromatography
۳۷۰	اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی Measurement of physical parameters
۳۷۱	کتابشناسی
۳۷۳	مراجع
۳۷۳	کتابشناسی
۳۷۳	مراجع

### □ فصل ۱۴ کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا: روش‌های ویژه □

۱-۱۴	واکنش‌های مشتق‌سازی برای کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا
۳۷۵	Derivatisation reactions for high-performance liquid chromatography
الف - واکنش‌هایی که آشکارسازی ماوراءبنفش را افزایش می‌دهند	
۳۷۸	Reactions to enhance ultraviolet detection
الف - ۱ واکنش‌های پیش‌ستون Pre-column reactions	
۳۸۰	الف - ۲ واکنش‌های بعد از ستون Post-column reactions
۳۸۱	ب - واکنش‌هایی که آشکارسازی فلورسانس را افزایش می‌دهند
۳۸۱	Reactions to enhance fluorescence detection
ب - ۱ واکنش‌های پیش‌ستون Pre-column reactions	
۳۸۲	ب - ۲ واکنش‌های بعد از ستون Post-column reactions
۳۸۵	ج - واکنش‌هایی که باعث افزایش آشکارسازی الکتروشیمیایی می‌گردند
۳۸۵	Reactions to enhance electrochemical detection
د - واکنش‌های افزایش دهنده جداسازی Reactions to enhance separation	
۳۸۶	۲-۱۴ جداسازی ترکیبات کایرال (ایزومرهای نوری) Separation of chiral compounds
۳۸۷	الف - مشتق‌سازی برای جداسازی‌های کایرال Derivatisation for chiral separation
۳۸۷	ب - فازهای ساکن کایرال (نوری) Chiral stationary phases
۳۸۹	۳-۱۴ اتصال دادن ستون و گیراندازی نمونه Column switching and sample trapping
۳۹۲	

۳۹۲	الف - ستون گیراندازی Column trapping
	ب - روش‌های اتصال ستون، برش مقطعی و شستن برگشتی
۳۹۳	Column switching heart-cut and back-flushing methods
۳۹۵	کتابشناسی

□ فصل ۱۵ بررسی داده‌ها و خودکار نمودن در کروماتوگرافی □

۳۹۷	۱-۱۵ رایانه‌ها در کروماتوگرافی Computers in chromatography
۳۹۸	۲-۱۵ جمع‌آوری و بررسی داده‌ها Integration and data handling
۳۹۹	الف - شناسایی پیک Peak detection
۴۰۷	ب - متغیرهای جمع‌آوری کننده Integrator parameters
۴۰۸	۳-۱۵ تجزیه داده‌ها Data analysis
۴۰۹	۴-۱۵ روشهای تزریق و کنترل اتوماتیک (خودکار) Automatic control and injection methods
	۵-۱۵ موارد استفاده جدید رایانه در آزمایشگاه کروماتوگرافی
۴۰۹	New applications of computers in the chromatography laboratory
۴۱۰	الف - بانک‌های اطلاعاتی Data banks
۴۱۰	ب - سیستم‌های کاربان Expert systems
۴۱۱	ج - روبات‌ها و تهیه نمونه Robotics and sample preparation
۴۱۳	کتابشناسی

□ فصل ۱۶ توسعه‌های آتی در کروماتوگرافی □

۴۱۵	۱-۱۶ پیشرفت‌هایی در روش‌های کروماتوگرافی موجود Advances in exiting chromatographic methods
۴۱۵	الف - کروماتوگرافی گاز-مایع Gas-liquid chromatography
۴۱۶	ب - کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا High-performance liquid chromatography
۴۱۸	ج - کروماتوگرافی لایه نازک Thin-layer chromatography
۴۱۹	۲-۱۶ روش‌های جدید جداسازی New separation methods
۴۱۹	الف - کروماتوگرافی سیال فوق بحرانی Supercritical fluid chromatography
۴۲۲	ب - جداسازی بر اساس جریان میدانی Field flow fractionation
۴۲۳	ج - کروماتوگرافی جاذبه‌ای Affinity chromatography
۴۲۴	کتابشناسی
۴۲۷	ضمیمه ۱
۴۳۷	ضمیمه ۲
۴۵۴	کتابشناسی

## پیشگفتار مؤلف

از اولین گزارش کروماتوگرافی در سال ۱۹۰۶ توسط Tswett و کار ابتکاری Syngé و Martin در سال ۱۹۴۱، تکنیک‌های کروماتوگرافی به عنوان روش‌های قابل دسترسی برای شیمیست‌های تجزیه جایگاه مهمی را پیدا نموده‌اند. به طوری که این روشها جزء ضروری تعدادی از صنایع شیمیایی جهت ارزیابی ماهیت و کیفیت خلوص مواد اولیه و محصولات، از نقطه نظر مراقبت‌های سلامتی و کیفیت زیست‌محیطی گردیده‌اند.

به هر حال این تکنیک‌های دستگاهی در کنار سایر روشهای تجزیه‌ای، بخش کوچکی را در آموزشهای دوره کارشناسی دربر گرفته ولیکن این روشها اغلب در کارهای صنعتی و تحقیقاتی بخش اساسی را دربر می‌گیرند. اگرچه در حال حاضر در مجلات علمی و رساله‌های تحقیقاتی پیشرفته کاربرد روشهای کروماتوگرافی با ذکر جزئیات آمده است، ولیکن تعداد محدودی از کتابهای درسی در این زمینه به چاپ رسیده است.

کتاب حاضر، حاصل تجربیات ۱۶ ساله نویسنده در تدریس کروماتوگرافی به عنوان بخشی از روشهای دستگاهی به دانشجویان کارشناسی و دوره‌های تحصیلات تکمیلی مخصوصاً برگزارکننده دوره‌های کوتاه مدت شیمی تجزیه، مبتکر در کروماتوگرافی با کار آبی بالا، کروماتوگرافی گاز-مایع و کروماتوگرافی سیال فوق بحرانی، سرویس دهنده سالانه به شیمیست‌های تجزیه صنعتی دولتی در Loughborough University of Technology می‌باشد. این کتاب به منظور کمک به تکنیسین‌های صنعتی و دانشجویان کارشناسی و دوره‌های بالاتر و فارغ التحصیلان جدید که اطلاعات محدودی در این زمینه داشته ولیکن برای کارشان نیاز به استفاده از روش کروماتوگرافی داشته و معلوماتی بیش از استفاده ساده از دستگاه نیاز دارند، تدوین شده است.

تأکید بیشتر این کتاب بر قوانین قدیمی کروماتوگرافی تجزیه‌ای در شیمی بوده و فقط ذکری از چند مرجع در کاربرد وسیع و در حال رشد آن در بیوشیمی، بیوتکنولوژی و تکنیک‌های تهیه‌ای گردیده است.

علاوه بر معرفی تکنیک‌های عمده کروماتوگرافی گاز-مایع، کروماتوگرافی لایه - نازک و کروماتوگرافی مایع با کارآیی بالا، کتاب همچنین چارچوبی را فراهم نموده است که خواننده می‌تواند با استفاده از کتب و مراجع معرفی شده اطلاعات وسیعی را کسب نماید. هدف در سرتاسر این کتاب در دسترس قرار دادن نقطه نظرات عملی برای تجزیه گران عملی بوده لذا بعضی از مفاهیم که کمک دهنده روشهای پیشرفته بوده و بیشتر زیربنای تئوریکي داشته ولیکن بیشتر مورد استفاده قرار نمی‌گیرند عمداً حذف گردیده و فقط به عنوان مرجع به آن رجوع داده شده است. به علت این که ماهیت نمونه‌ها در هر آزمایشگاه متفاوت می‌باشد لذا سعی در تدوین کاربردها نشده ولیکن در پیوست‌ها فهرستی از مطالب جهت به کارگیری اولیه در راه‌اندازی روش اندازه گیری آمده است. کماکان کروماتوگرافی در تمام زمینه‌ها به سرعت در حال توسعه بوده و نویسنده آگاه است که در بعضی از زمینه‌ها دیدگاههای خاصی در نظر بوده، اما هر هفته بیشتر از هم ارز این کتاب به متون تحقیقاتی کروماتوگرافی افزوده می‌گردد.

Loughborough 1988

Roger M. Smith

## سخن مترجمان

خداوند بزرگ را شاکریم که توفیق ترجمه کتاب حاضر را که انشاء الله بتواند برای دانشجویان عزیز و محققان گرامی مفید باشد، به ما ارزانی داشت.

امروزه روشهای جداسازی و مخصوصاً تکنیک‌های کروماتوگرافی در شیمی تجزیه از توسعه‌ای شگرف برخوردار می‌باشند. با مراجعه به مقالات علمی که هر ماه منتشر می‌گردد، شاهد تحقیقات و نوآوری‌های جالبی در این زمینه هستیم. شاید نتوان آزمایشگاه، مرکز تحقیقاتی و یا مرکز صنعتی را دریافت که در آن از دستگاههای کروماتوگرافی استفاده نشده باشد. بنابراین، این یک ضرورت است که دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد و افرادی که در این مراکز سرگرم تحقیق می‌باشند، آشنایی نسبتاً کاملی با اصول اولیه تئوری و عملی این روشها داشته باشند.

کتاب حاضر که نتیجه سالیان طولانی تدریس و تحقیق آقای پروفیسور Roger Smith استاد دانشگاه Loughborough در انگلستان می‌باشد، می‌تواند مرجع خوبی برای علاقه‌مندان به این رشته باشد. در این کتاب با وجود این که مطالب به طور فشرده و خلاصه آمده است ولی اصول تئوریک و شرح دستگاههای مورد نیاز در روشهای GLC و HPLC به صورت جامعی آورده شده است. البته بایستی اذعان نمود که از زمان تألیف کتاب (سال ۱۹۸۸) تاکنون، پیشرفتهای غیرقابل انکاری در این روشها حاصل گردیده است ولی با وجود این، چیزی از ارزش این کتاب به عنوان مرجعی مطمئن برای ما کم نمی‌کند و می‌تواند اطلاعات کلی تئوری و عملی پایه‌ای را در اختیار خواننده قرار دهد. در پایان لازم می‌دانیم که به استحضار برسانیم، ترجمه حاضر شاید سه سال قبل بایستی تقدیم حضورتان می‌گردید ولی متأسفانه به خاطر مشکلات ناخواسته‌ای که در فرآیند ویرایش و چاپ پیش آمد، زمان را به امروز موکول نمود، که جای عذرخواهی دارد. امید است بتوانیم از دقت نظر شما در مطالعه این کتاب و نقدهای سازنده‌تان بهره‌مند شویم. با احترام

محمد حسین ارباب زوار - علی سرفراز یزدی

بهمن ماه ۱۳۸۵

# پیشگفتار

## INTRODUCTION

<i>Analytical chromatography</i>	۱-۱ کروماتوگرافی تجزیه‌ای
<i>Origins of chromatography</i>	۲-۱ بنیادهای کروماتوگرافی
<i>Selection of chromatographic method</i>	۳-۱ انتخاب یک روش کروماتوگرافی

### ۱-۱ کروماتوگرافی تجزیه‌ای

شیمیست تجزیه در اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم از ماده مورد اندازه‌گیری (ماده مورد تجزیه)<sup>۱</sup> در نمونه اغلب با دو مشکل اساسی مواجه می‌باشد که این مشکلات عبارتند از: دقت و تکرارپذیری و دیگری اندازه‌گیری در حضور مواد سازنده اصلی نمونه (ماتریکس) که ممکن است این مواد در اندازه‌گیری تولید مزاحمت نمایند. برای رفع این مشکلات راه‌حلهای کلی وجود دارند. روش اول آن است که از روشهای تجزیه‌ای بسیار اختصاصی استفاده گردد که فقط به ماده مورد تجزیه جواب می‌دهد. روش دوم این است که از تکنیک‌های قوی جداسازی برای جداسازی فیزیکی ترکیبات نمونه استفاده گردد که در این صورت قادر خواهیم بود که هر یک از مواد سازنده نمونه را با آشکارسازهای غیر انتخابی اندازه‌گیری نماییم.

تجزیه عنصری در یک ماتریکس پیچیده مثل آلیاژهای فلزی و یا سنگ معدن توسط اسپکتروسکپی جذبی اتمی، نمونه بارزی از راه حل اول می‌باشد. تلفیق لامپ کاتدی میان تهی همراه

تک فام کننده باعث انتخابگری بالای روش گردیده، به طوری که روش فقط به عنصر مورد نظر جواب می‌دهد. اگرچه از این روش می‌توان به طور وسیعی برای اندازه گیری عناصر مختلف در نمونه‌های معدنی استفاده نمود، لیکن به علت این که مقدار زیادی از ترکیبات آلی حاوی عناصر نبوده، بنابراین برای تجزیه این ترکیبات زیاد مناسب نمی‌باشند. در این موارد بایستی از راه حلّ دوم یعنی جداسازی ترکیبات توسط روشهای جداسازی قبل از مرحله اندازه گیری استفاده نمود.

برای جداسازی مخلوطی از ترکیبات، می‌توان از چندین روش جداسازی با بازدهی و قدرت جداکنندگی مختلف استفاده نمود. توسط روشهای ساده صاف کردن و یا کریستالیزاسیون بخش یا کل ترکیب به صورت جامد از بقیه ترکیبات به صورت مایع جدا می‌گردد. برای ترکیبات فرار، جداسازی بهتر با تقطیر نمونه و به دست آوردن یک سری اجزاء در فشاربخارهای متفاوت حاصل می‌گردد. یک روش بسیار سودمند دیگر، جداسازی بر اساس توزیع بین دو فاز غیر قابل حلّ در یکدیگر قرار دارد. در ساده‌ترین شکل آن، فازها در قیف جداکننده قرار گرفته و با انتخاب دو فاز مناسب، ماده مورد تجزیه بین دو فاز به مقدار قابل توجهی توزیع می‌گردد.

چنانچه دو فاز غیر قابل حلّ در یکدیگر، در سیستم توزیع نسبت به هم ساکن نبوده لیکن نسبت به یکدیگر در داخل ستون حرکت نمایند، مواد مورد تجزیه توسط فاز متحرک در داخل ستون حمل می‌گردد. به هر حال بخشی از ترکیبات در ستون باقی مانده که میزان آن بستگی به اندرکنش آنها با فاز ساکن داشته و اختلاف بسیار ناچیزی در ضرایب توزیع باعث جداسازی ترکیبات از یکدیگر خواهد شد (شکل ۱-۱). این سه ویژگی یعنی: دو فاز غیر قابل حلّ در یکدیگر، تحرک نسبی فازها و توزیع ماده مورد تجزیه بین دو فاز، در تمام روشهای کروماتوگرافی وجود دارد.

با تغییر دادن ماهیت فازها و با تغییر دادن شرایط آزمایش مثل دما، درجه جداسازی و انتخابگری تغییر پیدا می‌نماید. پس از جداسازی ترکیبات، می‌توان آنها را توسط آشکارسازهای عمومی و یا اختصاصی آشکارسازی و کروماتوگرام را به دست آورد (شکل ۱-۲).

اگرچه هر دو فاز می‌تواند در داخل ستون در جهات عکس یکدیگر حرکت نمایند، لیکن به طور تجربی این کار مشکل بوده و اغلب یک فاز (فاز ساکن) ثابت نگه داشته شده و فاز دوم (فاز متحرک) تحت اثر نیروی ثقل، فشار و یا عمل موئینه از داخل فاز ساکن عبور داده می‌شود. فاز ساکن می‌تواند جامد و یا مایع باشد که به صورت لایه نازکی بر روی جداره داخلی ستون و یا نگهدارنده بی‌اثر پخش می‌گردد. فاز متحرک می‌تواند یک گاز، یا مایع و یا یک سیال فوق بحرانی بوده و اغلب شوینده<sup>۱</sup> نامیده می‌شود، اگر مواد مورد تجزیه قبل از آشکارسازی از ستون خارج