بسم الله الرحمن الرحيم

الكروماتوجرافيا

الأسس، تحضير العينات والطرق المرتبطة

تأليف

Elsa Lundanes, Léon Reubsaet and Tyge Greibrokk

ترجمة

أ. د. زيد بن عبد الله العثمان **د. كريم يوسف حسن محمود**

قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة الملك سعود

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٤٢هـ (٢٠٢١م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

لوندانس، إلسا

الكروماتوجرافيا: الأسس، تحضير العينات والطرق المرتبطة / إلسا لوندانس، لون ريوبسيت، تيج جريبروك؛ زيد بن عبد الله العثمان؛ كريم يوسف حسن محمود - الرياض، ١٤٤٢هـ.

٣٦٦ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٠ - ٩١٥ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١- الكيمياء التحليلية ٢- المختبرات الكيميائية أ. ريوبسيت، لون (مؤلف مشارك) ب. جريبروك، تيج (مؤلف مشارك) ج. العثمان، زيد بن عبد الله (مترجم) د. محمود، كريم يوسف حسن (مترجم) هـ. العنوان

ديوي ٥٤٦ ١٤٤٢/٣٣٨٩

رقم الإيداع: ١٤٤٢/٣٣٨٩

ردمك: ٠ - ٩١٥ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Chromatography: Basic Principles, Sample Preparations and Related Methods
By: Elsa Lundanes, Léon Reubsaet and Tyge Greibrokk
© Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr.12, 69469 Weinheim, Germany 2014.
وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الثالث للعام الدراسي ١٤٤٢هـ، المعقود بتاريخ ١١/ ٢/ ١٤٤٢هـ، الموافق ٢٨/ ٩/ ٢٠٢٠م.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

مقدمة المترجمَين

الحمدُ لله والصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى آله وصحبه وسلم تسليما كثيرا، وبعد:

فإن الكروماتوجرافي "الاستشراب" أو"التفريق (الفصل) اللوني"، هو أحد فروع علم الفصل الكيميائي حيث تُستخدَم تقنيات الفصل الكروماتوجرافي لفصل الخلائط الكيميائية المختلفة بغرض التعرُّف عليها وتحليلها كميًّا؛ وبذلك فإن تقنيات الكروماتوجرافيا تُعتبر ركيزةً أساسيةً في معامل التحاليل الخاصة في العديد من المجالات الصناعية، كصناعة الأدوية والكيماويات والبتروكيماويات والأغذية والعطور وغيرها، كما أنها تُستخدَم في العديد من الأجهزة الحكومية والرقابية كالرقابة على الصادرات والواردات والرقابة على الغذاء والدواء والتحليلات الجنائية وغيرها الكثير. ويكفي أن نعلم أن قيمة سوق تقنيات الكروماتوجرافي كانت قد وصلت في عام ٢٠١٧ إلى ١٣ مليار دولار أمريكي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٧٪، وهو ما يعكس أهمية وانتشار مثل تلك التقنيات في مختلف القطاعات البحثية والأكاديمية والصناعية.

في هذا الكتاب يقوم المؤلِّفون باستعراض تقنيات الفصل الكروماتوجرافي المختلفة، بالإضافة لبعض طُرق تحضير العينات وطُرق التحليل الكمية للنتائج، كما راعى المؤلِّفون أن يغطي الكتابُ نطاقًا واسعًا من تقنيات الكروماتوجرافيا؛ ليكون مرجعًا أساسيًّا للدارسين من الطلاب، وذا عمق مناسب للمختصين في الوقت نفسه، مع عدم التعرُّض للتقنيات الكلاسيكية التي لم تعُد تُستخدَم في الوقت الحالي.

يأتي الكتاب في عشرة فصول، يمكن إيجازها كما يلي:

الفصل الأول: المفاهيم الأساسية

ويشتمل على التعريف بمصطلحات الكروماتوجرافيا، وكيفية تحليل النتائج، وتحديد كفاءة الفصل ومعايير الأداء.

الفصل الثاني: كروماتوجرافيا الغاز (الكروماغاز)

تعريف بمبادئ الفصل المعتمد على الغاز كطور متحرك، والتعرُّض لأجزاء الجهاز المختلفة، ونوعية العينات المناسبة للتحليل باستخدام ذلك النوع من الفصل.

الفصل الثالث: كروماتوجرافيا السائل عالية الأداء (الكروماسائل)

استعراض أساسيات الفصل السائل وآخر التطورات في ذلك المجال، والمرور على إيجابيات وسلبيات استخدام كروماتوجرافيا السائل في تحليل العينات.

الفصل الرابع: كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة

تعتبر كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة من كلاسيكيات الفصل الكروماتوجرافي، والتي تم إعادة اكتشافها واستخدامها بشكل موسَّع في السنوات الأخيرة. يستعرض الكتابُ تلك التقنيةَ كمثال للفصل الكروماتوجرافي باستخدام طور ثابت مسطح.

الفصل الخامس: كروماتوجرافيا الموائع فوق الحرجة

الموائع فوق الحرجة هي حالة وسيطة بين الغاز والسائل، بحيث تجني ثمار مميزات كلتا الحالتين، وفي الوقت نفسه تتجنب العيوب. يحاول المؤلِّفون في هذا الفصل لفت الأنظار لذلك النوع من الفصل الكروماتوجرافي باعتباره من التقنيات الواعدة في المستقبل.

الفصل السادس: الفصل الكهربائي والكروماتوجرافيا المدفوعة بالجهد الكهربائي

استخدام الكهرباء لتحريك الطور السائل والأيونات المراد تحليلها خلال الطور الثابت يُعَدُّ من أهم تقنيات الفصل الكروماتوجرافي وخاصةً في تحليل العينات الحيوية. يتناول الفصل السادس تطورات واستخدامات ذلك النوع من الفصل الكروماتوجرافي.

الفصل السابع: كروماتوجرافيا الرُّقاقة

كروماتوجرافيا الرقاقة تُعتبر من أحدث تقنيات الفصل، التي تمَّ تطويرها لتحويل الفصل الكروماتوجرافي إلى تقنية محمولة عن طريق تصغير حجم الطور الثابت، وبالتالي تقليل كمية الطور المتحرك المستخدَمة مما يجعلها تقنيةً صديقةً للبيئة.

الفصل الثامن: التجزئة بالتدفق المجالي

التجزئة بالتدفق المجالي من التقنيات ذات الصلة التي يمكن إدراجها تحت تقنيات الفصل الكروماتوجرافي، حيث إنَّها تستخدم نفس المبدأ العلمي في الفصل ولكن باستخدام طور متحرك فقط، كما أنها تقوم بالفصل الآني.

الفصل التاسع: إعداد العينة

طرق تحضير العينات من التنوع بمكان بحيث يمكن اعتبارها علمًا مستقلًا بذاته، في ذلك الفصل يحاول المؤلِّفون إجمال أهم الطرق المستخدمة في تحضير العينات لتكون مناسبةً للحقن باستخدام طرق الفصل الكروماتوجرافي المختلفة.

الفصل العاشر: التحليل الكمي

في الفصل الأخير يستعرض الكتابُ طرقَ التحليل الكمي الأهم والأكثر استخدامًا في طرق الفصل الكروماتوجرافي، والتي تُستخدَم لتحديد كميات المواد المكونة للخلائط محط الدراسة بعد التعرُّف عليها.

وقبل الختام، فإني أودُّ أن أتقدَّم بخالص الشكر والتقدير إلى مركز الترجمة بجامعة الملك سعود على الدعم والتشجيع لمشروع ترجمة هذا الكتاب. كما أتقدَّم بخالص الشكر والتقدير لكلِّ مَن ساعد في مراجعة وتحكيم وإخراج هذا الكتاب إلى حيز التداول. كما أسألُ اللهَ العليَّ القديرَ أن ينفعَ به طالبي العلم والمعرفة على جميع مستوياتهم الأكاديمية والعملية والثقافية.

والله من وراء القصد،،،

أ. د. زيد بن عبد الله العثمان

د. كريم يوسف حسن محمود

مقدمة المؤلفِين

على الرغم من أن علم الفصل الكروماتوجرافي تمَّ وَضْعُ أساساته منذ أكثر من قرن مضى، ولكن العديد من طرائق الفصل المعتمدة على تقنية الفصل الكروماتوجرافي لا تزال تظهر وتتطور بشكل مستمر، ولا يبدو أنها سوف تتوقف عن النمو في المستقبل القريب؛ بل على العكس فإنها تستفيد من التطوُّر التكنولوجي المطرد لتصل إلى آفاق جديدة في علم الفصل لم تكن ليحلم بها العلماء منذ سنوات قليلة ماضية. فأصبح من الـممكن تعيين تركيز المؤشرات الحيوية فـي مستوى الأتومول (10^{-18} من المول)، كما يمكن تقدير مركب بعينه على مستوى الخلية الواحدة.

ويهدف هذا الكتاب إلى مساعدة المستخدمين الجُدد لتقنيات الكروماتوجرافي – بغض النظر عن خلفياتهم العلمية – على فهم الأساسيات. كما يمكن استخدامه كمرجع للمقررات الدراسية ذات الصلة سواءً في مرحلة البكالوريوس أو في الدراسات العليا.

وقد تمَّ تضمين التقنيات الكروماتوجرافية الأساسية في طيات ذلك الكتاب. ومع ذلك، فإن الكتاب لا يهدف إلى تقديم استعراض تاريخي شامل عن تطور تقنيات الفصل أو عن بعض التقنيات الكلاسيكية التي أصبحت غير مستخدمة في وقتنا الحالي. ومن أمثلة ذلك تقنية كروماتوجرافيا الورقة، التي تم استبدالها بكروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة الأكثر كفاءةً منذ وقت طويل. كروماتوجرافيا العمود السائل – سائل التقاسمية هي مثال آخر على التقنيات المندثرة أو نادرة الاستخدام بعد ظهور الأطوار المرتبطة كيميائيًّا لكروماتوجرافيا السائل عالي الكفاءة.

وبالرغم من أن الفصل الكهربائي لا يُعَدُّ من حيث المبدأ إحدى تقنيات الكروماتوجرافي، إلا إنه قد تمَّ تضمينه في ذلك الكتاب لما له من صلة وثيقة بالكروماتوجرافي، إذ إنَّ العديد من

تقنيات الكروماتوجرافي هي في الواقع خليط من الفصل الكهربائي والكروماتوجرافي. كما تم إضافة فصل عن تجزئة التدفق المجالي؛ لما له من خصائص قريبة الشبه بالكروماتوجرافي، وبسبب الاهتمام المطرد بتلك التقنية في الآونة الأخيرة.

ويعَدُّ الفصل الخاص بحضير العينة من أهم فصول الكتاب، خصوصًا لحديثي العهد بالكروماتوجرافي، حيث إنَّ تحضير العينات عادةً ما يستهلك وقتًا أكبر من عملية التحليل نفسها. كما أن اختيار الطريقة المناسبة لتحضير العينة عادة ما يكون قرارًا فاصلًا لتحديد مدى قدرة الطريقة التحليلية على تعيين التركيزات المنخفض. وسوف يلاحظ القارئ وجود بعض التداخلات فيما يخصُّ التجاذبات الجزيئية في الفصلين الثالث والتاسع، وقد تمَّ ذلك بشكل متعمد حتى يتسنى قراءة كل فصل بشكل مستقل عن غيره من الفصول.

من الصعوبة بمكان قراءة الطالع وتوقُّع المستقبل، ولكن لا يبدو في الآفاق أن الحاجة إلى الكروماتوجرافي سوف تتقلص في وجود حاجة مطردة لتقدير المتبقيات الضئيلة لتركيزات كلٍّ من المركبات المعروفة أو المجهولة.

أ. د. إلسا لوندانس
أ. د. لون ريوبسيت
أ. د. تيج جريبروك

المحتويات

مقدمة المترجمَين ..... هـ

مقدمة المؤلفين ..... ط

الفصل الأول: المفاهيم الأساسية ١

(١-١) مقدمة ١

(١-٢) النزوح والاستبقاء ٣

(١-٢-١) الفكرة العامة ٣

(١-٢-٢) الطور الثابت والطور المتحرك ٤

(١-٢-٣) الكروماتوجرام ٥

(١-٢-٤) معامل الاستبقاء ٦

(١-٣) توسُّع النطاق ٨

(١-٣-١) انتشار إيدي ٨

(١-٣-٢) الانتشار الطولي ٩

(١-٣-٣) مقاومة انتقال الكتلة ١٠

(١-٣-٤) التوسُّع المُدمج للنطاق في عمود ١١

(١-٣-٥) توسُّع النطاق خارج العمود ١٢

(١-٤) تقدير كفاءة العمود ١٣

(١-٤-١) عدد الطبقات ١٣

(١-٤-٢) اقتران الأعمدة ١٤
(١-٤-٣) ارتفاع الطبقة ١٥
(١-٤-٣-١) ارتفاع الطبقة المُخفَّض ١٥
(١-٤-٤) عدد الطبقات المؤثر ١٦
(١-٤-٥) عدم التناسق ١٦
(١-٥) التباين ١٧
(١-٥-١) زيادة التباين ١٨
(١-٦) سعة مُنحنى الإشارة ١٨
(١-٧) الأنظمة ثنائية الأبعاد ١٩
(١-٨) تحسين الأداء ٢٠
المراجع ٢١

الفصل الثاني: كروماتوجرافيا الغاز (الكروماغاز) ٢٣
(٢-١) مقدمة ٢٣
(٢-٢) الطور المتحرك/ الغاز الناقل ٢٤
(٢-٣) أنظمة الحقن ٢٧
(٢-٣-١) حاقن العمود المحشو (حاقن التبخير) ٢٨
(٢-٣-٢) أنظمة الحقن للأعمدة الشعرية ٢٩
(٢-٣-٢-١) الحقن التقسيمي ٢٩
(٢-٣-٢-٢) الحقن اللاتقسيمي ٣٠
(٢-٣-٢-٣) الحقن المباشر داخل العمود ٣١
(٢-٣-٢-٤) حواقن الحجوم الكبيرة ٣٢
(٢-٣-٢-٥) تقنيات الفراغ السطحي ٣٣
(٢-٤) الأعمدة ٣٤
(٢-٤-١) الأعمدة المحشوة ٣٥
(٢-٤-٢) أعمدة الأنبوب المفتوح ٣٦

(٢-٥) المقدرات ٣٧
(٢-٥-١) المقدمة ٣٧
(٢-٥-٢) مقدر التوصيل الحراري ٣٩
(٢-٥-٣) مقدر تأين اللهب ٤٠
(٢-٥-٤) مقدر النيتروجين والفسفور ٤٢
(٢-٥-٥) المقدر صائد الإلكترونات ٤٤
(٢-٥-٦) مطياف الكتلة ٤٥
(٢-٥-٦-١) التأيُّن الموجب ٤٦
(٢-٥-٦-٢) التأيُّن السالب ٤٧
(٢-٥-٦-٣) السطح البيني لكروماتوجرافيا الغاز ومطياف الكتلة ٤٧
(٢-٥-٧) مقدرات أخرى ٤٩
(٢-٥-٧-١) مُقدر طيف اللهب ٤٩
(٢-٥-٧-٢) مُقدر التألق الكيميائي ٤٩
(٢-٥-٧-٣) مُقدر التوصيل الإلكتروليتي ٥٠
(٢-٥-٧-٤) مُقدر التأيُّن الضوئي ٥٠
(٢-٥-٧-٥) مُقدر الانبعاث الذري ٥١
(٢-٥-٧-٦) مُقدر تحويل فوريه للأشعة تحت الحمراء ٥١
(٢-٦) الأطوار الثابتة ٥١
(٢-٦-١) الطور الثابت الصلب - الكروماتوجرافيا الامتزازية ٥١
(٢-٦-٢) الطور الثابت السائل - الكروماتوجرافيا التقاسمية ٥٢
(٢-٦-٢-١) المصفوفة ٥٣
(٢-٦-٢-٢) اختيار الطور الثابت ٥٣
(٢-٦-٢-٣) أنواع الطور الثابت السائل ٥٤
(٢-٦-٢-٤) سُمك الطور الثابت ٥٨
(٢-٦-٢-٥) درجة الحرارة ٥٩
(٢-٧) عمليات الفصل ثنائية الأبعاد ٦١

(٢-٨) التحليلات الكمية والكيفية ٦٢
(٢-٩) الاشتقاق ٦٣
المراجع ٦٦

الفصل الثالث: كروماتوجرافيا السائل عالية الأداء (الكروماسائل) ٦٧
(٣-١) مقدمة ٦٧
(٣-٢) المذيبات وتوصيل المذيب ٦٨
(٣-٢-١) الصيانة ٧٠
(٣-٢-٢) التشغيل الآلي ٧١
(٣-٣) الحقن ٧١
(٣-٣-١) التقنيات ٧١
(٣-٣-١-١) الحقن ثابت الحجم ٧٢
(٣-٣-١-٢) الحقن متغير الحجم ٧٢
(٣-٣-١-٣) الحجوم والدقة ٧٢
(٣-٣-٢) التخفيف وإعادة التركيز ٧٣
(٣-٣-٢-١) حجم الحقن المتعلق بقوة شطف المذيب ٧٣
(٣-٣-٢-٢) الحقن الموقوت ٧٣
(٣-٣-٢-٣) الترحيل ٧٤
(٣-٣-٢-٤) الاقتران بمُستخلصات الطور الصلب ٧٤
(٣-٣-٣) حساب حجوم الحقن القصوى ٧٥
(٣-٣-٤) حساب تخفيف الحليلة داخل العمود ٧٦
(٣-٤) الأعمدة ٧٧
(٣-٤-١) الأعمدة المحشوة ٧٧
(٣-٤-١-١) أبعاد العمود والمواد المصنوع منها ٧٧
(٣-٤-١-٢) التأثير على التقدير ٧٨
(٣-٤-١-٣) توفير المذيب ٧٨

(٣-٤-١-٤) كفاءة العمود..... ٧٩
(٣-٤-١-٥) صلاحية العمود ٨٠
(٣-٤-١-٦) أشكال منحنيات الإشارة..... ٨١
(٣-٤-١-٧) التدفق والضغط العكسي ٨٢
(٣-٤-١-٨) الحبيبات الاعتيادية المسامية بالكامل ٨٢
(٣-٤-١-٩) حبيبات المركز والقشرة (الغلافية) ٨٣
(٣-٤-١-١٠) كروماسائل الضغط فائق الارتفاع..... ٨٤
(٣-٤-٢) الأعمدة الأحادية الطور ٨٤
(٣-٤-٣) أعمدة الرقاقة ٨٦
(٣-٤-٤) أعمدة الأنبوب المفتوح ٨٦
(٣-٤-٥) التحكم في درجات الحرارة..... ٨٧
(٣-٤-٦) الكروماسائل التحضيرية والكروماتوجرافيا الومضية ٨٩
(٣-٥) الأطوار الثابتة وخواصها في الكروماسائل..... ٩١
(٣-٥-١) مواد الطور - العادي للكروماتوجرافيا الامتزازية ٩١
(٣-٥-١-١) مبادئ الفصل..... ٩١
(٣-٥-١-٢) السليكا..... ٩١
(٣-٥-١-٣) الألومينا والتيتانيا والزركونيا ٩٣
(٣-٥-١-٤) السليكا المرتبطة مع مجموعات وظيفية قطبية..... ٩٣
(٣-٥-١-٥) الكروماتوجرافيا السائلة ذات التجاذبات الهيدروفيلية ٩٥
(٣-٥-١-٦) المواد الكربونية..... ٩٦
(٣-٥-٢) مواد الطور العكسي..... ٩٦
(٣-٥-٢-١) مبادئ الفصل..... ٩٦
(٣-٥-٢-٢) الاستبقاء ٩٧
(٣-٥-٢-٣) نموذج مؤشر الإذابة ٩٨
(٣-٥-٢-٤) مواد الطور العكسي المرتكزة على السليكا ٩٩
(٣-٥-٢-٥) المواد الهجينة ومواد الهيدروسيلان ١٠٠

(٣-٥-٢-٦) المواد المرتكزة على البوليمرات العضوية ١٠١
(٣-٥-٢-٧) كروماتوجرافيا أزواج الأيونات باستخدام أعمدة الطور العكسي..... ١٠١
(٣-٥-٢-٨) كروماتوجرافيا التجاذبات الهيدروفوبية ١٠٢
(٣-٥-٣) مواد المستبدلات الأيونية..... ١٠٣
(٣-٥-٣-١) الشطف ١٠٣
(٣-٥-٣-٢) الاستبقاء ١٠٤
(٣-٥-٤) التبئير الكروماتوجرافي..... ١٠٤
(٣-٥-٤-١) الكروماتوجرافيا الأيونية للأيونات غير العضوية..... ١٠٦
(٣-٥-٥) مواد الاستبعاد الحجمي..... ١٠٦
(٣-٥-٥-١) مبادئ الفصل..... ١٠٦
(٣-٥-٥-٢) المواد..... ١٠٨
(٣-٥-٥-٣) الأطوار المتحركة..... ١٠٨
(٣-٥-٦) مواد الفصل الكيرالي..... ١٠٩
(٣-٥-٦-١) مبادئ الفصل..... ١٠٩
(٣-٥-٦-٢) المواد..... ١٠٩
(٣-٥-٧) مواد الأُلفة ١١٠
(٣-٥-٧-١) مبادئ الفصل..... ١١٠
(٣-٥-٧-٢) مواد الأُلفة للكروماتوجرافي والمصفوفات الميكرونية ١١١
(٣-٦) المقدرات..... ١١٣
(٣-٦-١) تقدير الأشعة فوق البنفسجية ١١٤
(٣-٦-١-١) بعض حاملات الصبغة الشائعة..... ١١٥
(٣-٦-١-٢) اختيار الطول الموجي المناسب ١١٥
(٣-٦-١-٣) خلايا التدفق..... ١١٦
(٣-٦-١-٤) تقدير المرشح المضوائي ١١٧
(٣-٦-١-٥) تقدير الطيف الضوئي ١١٧
(٣-٦-١-٦) مقدرات مصفوفة الصمام الثنائي..... ١١٨

(٣-٦-٢) تقدير مطياف الكتلة ١١٩
(٣-٦-٢-١) تأيُّن المرذاذ الكهربائي ١٢٢
(٣-٦-٢-٢) التأيُّن الكيميائي تحت الضغط الجوي ١٢٤
(٣-٦-٢-٣) التأيُّن الضوئي تحت الضغط الجوي ١٢٦
(٣-٦-٢-٤) بلازما الحث المزدوج ١٢٧
(٣-٦-٢-٥) تحليل الكتلة ١٢٨
(٣-٦-٢-٦) محللات الكتلة رباعية الأقطاب ١٢٩
(٣-٦-٢-٧) المحللات صائدة الأيونات ١٣٠
(٣-٦-٢-٨) محللات وقت التحليق ١٣١
(٣-٦-٢-٩) محللات تحويل فوريه لمطياف الكتلة ١٣٢
(٣-٦-٢-١٠) التشظي في مطياف الكتلة ١٣٤
(٣-٦-٣) التقدير الفلوريسيني ١٣٤
(٣-٦-٣-١) مُرشح الفلوريميتر ١٣٦
(٣-٦-٣-٢) مطياف الفلوريميتر ١٣٧
(٣-٦-٣-٣) تقدير الوميض الكيميائي ١٣٧
(٣-٦-٤) التقدير الكهروكيميائي ١٣٧
(٣-٦-٤-١) التقدير الأمبيري ١٣٨
(٣-٦-٤-٢) المقدر الكولومي ١٣٩
(٣-٦-٥) تقدير تشتت الضوء ١٤٠
(٣-٦-٦) تقدير معامل الانكسار ١٤٢
(٣-٦-٧) مقدرات أخرى ١٤٢
(٣-٦-٧-١) مقدر التوصيلة الكهربائية ١٤٢
(٣-٦-٧-٢) مقدر التفريغ الإكليلي ١٤٣
(٣-٦-٧-٣) مقدرات النشاط الإشعاعي ١٤٣
(٣-٦-٧-٤) مطياف حركية الأيونات ١٤٣
(٣-٦-٧-٥) مقدر التألق الكيميائي للنيتروجين ١٤٤

(٣-٦-٧-٦) تقدير الكيرالية ١٤٤
(٣-٧) تحسين الأداء ١٤٤
(٣-٧-١) السرعة ١٤٤
(٣-٧-٢) الكفاءة ١٤٤
(٣-٧-٣) التباين ١٤٥
(٣-٧-٤) التقدير ١٤٥
(٣-٧-٥) العمر الافتراضي للعمود ١٤٥
المراجع ١٤٥

الفصل الرابع: كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة ١٤٧
(٤-١) مقدمة ١٤٧
(٤-٢) تطبيق العينة ١٤٨
(٤-٣) الأطوار الثابتة ١٤٨
(٤-٣-١) كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة مقابل مثيلتها عالية الأداء ١٤٨
(٤-٣-٢) المازات ١٥٠
(٤-٣-٣) الأطوار المرتبطة كيميائيًّا ١٥٠
(٤-٤) الأطوار المتحركة ١٥١
(٤-٥) الشطف والتظهير ١٥١
(٤-٥-١) التظهير الرأسي الخطي ١٥١
(٤-٥-٢) التظهير الأفقي ١٥٣
(٤-٥-٣) التظهير ثنائي الأبعاد ١٥٤
(٤-٥-٤) التظهير المتدرج ١٥٤
(٤-٥-٥) كروماتوجرافيا الطبقة المنضغطة ١٥٥
(٤-٦) معامل التباطؤ ١٥٥
(٤-٧) التقدير ١٥٦
(٤-٧-١) التقدير الآلي ١٥٨

(٤-٧-٢) كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة المقرونة بمطياف الكتلة ١٥٩

الفصل الخامس: كروماتوجرافيا الموائع فوق الحرجة ١٦١
(٥-١) مقدمة ١٦١
(٥-٢) الأطوار المتحركة ١٦٤
(٥-٢-١) ثاني أكسيد الكربون كطور متحرك ١٦٥
(٥-٢-٢) توصيل الطور المتحرك ١٦٧
(٥-٣) الشطف المتدرج ١٦٧
(٥-٤) الحقن ١٦٨
(٥-٥) الأعمدة ١٧٠
(٥-٦) المُقيدات ١٧٢
(٥-٧) المقدرات ١٧٣
(٥-٨) الوضع الحالي للكروماتوجرافيا فوق الحرجة ١٧٣
المراجع ١٧٥

الفصل السادس: الفصل الكهربائي والكروماتوجرافيا المدفوعة بالجهد الكهربائي ١٧٧
(٦-١) مقدمة ١٧٧
(٦-٢) نظرية العمل ١٧٨
(٦-٢-١) التأثيرات الثانوية ١٧٩
(٦-٢-٢) التناضح الكهربائي ١٨٠
(٦-٣) تقنيات الفصل الهلامي ١٨١
(٦-٣-١) الهلام ١٨١
(٦-٣-١-١) هلام البولي أكريلاميد ١٨٢
(٦-٣-١-٢) هلام الأجاروز ١٨٣
(٦-٣-٢) الأجهزة ١٨٣
(٦-٣-٢-١) تطبيق العينة ١٨٤

(٦-٣-٢-٢) الفصل ١٨٤
(٦-٣-٢-٣) التقدير ١٨٤
(٦-٣-٣) الفصل الكهربائي النطاقي ١٨٦
(٦-٣-٤) التبئير متسق الكهربية ١٨٧
(٦-٣-٥) عمليات الفصل ثنائي الأبعاد ١٨٧
(٦-٣-٦) بعض التطبيقات المختارة ١٨٨
(٦-٣-٦-١) فصل البروتينات ١٨٨
(٦-٣-٦-٢) فصل الدنا والرنا ١٨٩
(٦-٤) الفصل الكهربائي الشعري ١٨٩
(٦-٤-١) الأجهزة ١٩٠
(٦-٤-١-١) الإمداد عالي - الجهد ١٩٠
(٦-٤-١-٢) الأنابيب الشعرية ١٩١
(٦-٤-١-٣) إدخال العينة ١٩٢
(٦-٤-١-٤) التقدير ١٩٥
(٦-٤-٢) الفصل الكهربائي النطاقي الشعري ١٩٧
(٦-٤-٣) مبادئ أخرى للفصل الكهربائي الشعري ١٩٨
(٦-٤-٣-١) التبئير متسق الكهربية ١٩٨
(٦-٤-٣-٢) الفصل الكهربائي الهلامي الشعري ١٩٩
(٦-٤-٣-٣) النخل اللاهلامي ٢٠٠
(٦-٤-٣-٤) الارتحال متسق السرعة ٢٠١
(٦-٤-٤) كروماتوجرافيا الجزيئات الغروية الكهروحركية الشعرية ٢٠١
(٦-٥) الكروماتوجرافيا المدفوعة بالجهد الكهربائي ٢٠٣
(٦-٥-١) الأجهزة ٢٠٣
(٦-٥-٢) الأطوار المتحركة ٢٠٤
(٦-٥-٣) الأعمدة والأطوار الثابتة ٢٠٥
(٦-٥-٤) الكروماتوجرافيا الكهربائية الشعرية في علم الفصل ٢٠٦

المراجع ٢٠٦

الفصل السابع: كروماتوجرافيا الرُّقاقة ٢٠٩
(٧-١) مقدمة ٢٠٩
(٧-٢) إدخال العينة ٢٠٩
(٧-٣) الأعمدة والأطوار الثابتة ٢١١
(٧-٣-١) الأعمدة مفتوحة القناة ٢١٣
(٧-٣-٢) الأعمدة المحشوة ٢١٣
(٧-٣-٣) الأعمدة أحادية الطور ٢١٣
(٧-٣-٤) كوموس ٢١٣
(٧-٤) إدارة التدفق ٢١٤
(٧-٥) التقدير ٢١٥
المراجع ٢١٦

الفصل الثامن: التجزئة بالتدفق المجالي ٢١٧
(٨-١) مقدمة ٢١٧
(٨-٢) أنواع تجزئة التدفق المجالي ٢١٩
(٨-٢-١) تجزئة التدفق المجالي القطعي ٢١٩
(٨-٢-٢) تجزئة التدفق المجالي الحراري ٢٢٠
(٨-٢-٣) تجزئة التدفق المجالي الرسوبي ٢٢٠
(٨-٣) التطبيقات ٢٢١
المراجع ٢٢٢

الفصل التاسع: إعداد العينة ٢٢٣
(٩-١) مقدمة ٢٢٣
(٩-١-١) التحصيل ٢٢٤

(٩-١-٢) الإثراء ٢٢٥
(٩-٢) استخلاص السائل - سائل ٢٢٧
(٩-٢-١) الاستخلاص العكسي ٢٣١
(٩-٣) استخلاص الطور الصلب ٢٣٢
(٩-٣-١) الطور العادي ٢٣٤
(٩-٣-٢) الطور العكسي ٢٣٧
(٩-٣-٣) الاستبدال الأيوني ٢٣٧
(٩-٣-٤) الاستبدال الأيوني المختلط ٢٤١
(٩-٣-٥) بوليمرات البصمة الجزيئية ٢٤١
(٩-٣-٦) مواد المرور المُقيَّد ٢٤٣
(٩-٣-٧) أجهزة استخلاص الطور الصلب ٢٤٤
(٩-٣-٧-١) الأقراص ٢٤٤
(٩-٤) استخلاص الطور الصلب الميكروني ٢٤٥
(٩-٤-١) الامتزاز والاستخلاص ٢٤٦
(٩-٤-٢) الانتزاز والحقن ٢٤٧
(٩-٤-٢-١) استخلاص الطور الصلب الميكروني والكروماغاز ٢٤٧
(٩-٤-٢-٢) استخلاص الطور الصلب الميكروني والكروماسائل ٢٤٨
(٩-٤-٣) مواد الألياف ومعاملات الاستخلاص لاستخلاص الطور الصلب الميكروني . ٢٤٨
(٩-٤-٣-١) الأس الهيدروجيني ٢٤٩
(٩-٤-٣-٢) القوة الأيونية ٢٤٩
(٩-٤-٣-٣) الماء والمذيبات العضوية ٢٤٩
(٩-٤-٣-٤) درجة الحرارة ٢٥٠
(٩-٤-٣-٥) التحريض ٢٥٠
(٩-٤-٣-٦) زمن الاستخلاص ٢٥٠
(٩-٥) ترسيب البروتين ٢٥١
(٩-٦) تقنيات إعداد العينة المرتكزة على الأغشية ٢٥٣

(٩-٦-١) التحليل الغشائي الميكروني ٢٥٣
(٩-٦-١-١) معامل تدفق التروية ٢٥٤
(٩-٦-١-٢) القطر والطول..... ٢٥٤
(٩-٦-١-٣) حد القياس ٢٥٤
(٩-٦-١-٤) كيمياء الغشاء ٢٥٤
(٩-٦-١-٥) تطبيقات التحليل الغشائي الميكروني ٢٥٥
(٩-٦-١-٦) كيفية تحليل ناتج التحليل الغشائي ٢٥٥
(٩-٦-٢) استخلاص الطور السائل الميكروني ٢٥٦
(٩-٦-٢-١) استخلاص الطور السائل الميكروني ثنائي المراحل ٢٥٧
(٩-٦-٢-٢) استخلاص الطور السائل الميكروني ثلاثي المراحل..... ٢٥٧
(٩-٦-٢-٣) الإثراء في استخلاص الطور السائل الميكروني ٢٥٨
(٩-٦-٢-٤) الأس الهيدروجيني للطور المانح ٢٥٨
(٩-٦-٢-٥) الأس الهيدروجيني للطور المُستقبل ٢٥٩
(٩-٦-٢-٦) تركيب الغشاء السائل المُدعم ٢٥٩
(٩-٦-٢-٧) زمن الاستخلاص ٢٦٠
المراجع..... ٢٦٠

الفصل العاشر: التحليل الكمي..... ٢٦١
(١٠-١) مقدمة..... ٢٦١
(١٠-٢) طرق المعايرة ٢٦٤
(١٠-٢-١) المعيار الخارجي ٢٦٥
(١٠-٢-٢) المعيار الداخلي ٢٦٧
(١٠-٢-٣) الإضافة القياسية..... ٢٦٩
(١٠-٣) طرق تحقيق الصلاحية ٢٦٩
(١٠-٣-١) معاملات الصلاحية ٢٧٠
(١٠-٣-١-١) الخطية والمدى ٢٧١

(١٠-٣-١-٢) التكرارية ٢٧١
(١٠-٣-١-٣) الضبط ٢٧٢
(١٠-٣-١-٤) الانتقائية ٢٧٢
(١٠-٣-١-٥) المتانة ٢٧٢
(١٠-٣-١-٦) الثبات ٢٧٣
(١٠-٣-٢) إجراءات تقييم الصلاحية: مثال بسيط ٢٧٣
المراجع ٢٧٥

ثبت المصطلحات ٢٧٧
أولًا: عربي - إنجليزي ٢٧٧
ثانيًا: إنجليزي - عربي ٣١٧
كشاف الموضوعات ٣٥٧