كروماتوغرافيا الورق Paper Chromatography

يكون الطور المتحرك سائل عادة اما الطور الساكن يكون سائلا محمول على الالياف السليلوزية للورقة. النموذج المراد فصله بهذه الطريقة يجب ان يكون سائل اما النماذج الصلبة يجب ان تذاب بأقل كمية من مذيب مناسب.

بعد اعداد الاشرطة الورقية واشباعها بالطور الساكن، توضع قطرة من النموذج على الطرف المؤشر من الورقة (على بعد 2سم) م حافة الورقة وبعد تجفيف العينة، تغمس الورقة عادة في اناء يحتوي على الطور المتحرك، يسمح للعينة التوزع بين الطورين اعتمادا على معامل التوزيع ويغطى الحوض (حوض التحليل) للتاكد من ثبات درجة حرارة الطور المتحرك.

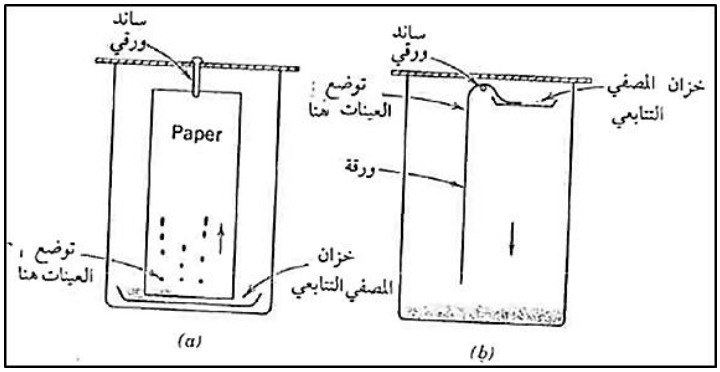
من اجل فصل العينات يجب تظهير العينة وهناك عدة تقنيات للفصل منها:

1- الطريقة التصاعدية: ويمكن تطبيقها ايضا في كروموتوغرافيا الطبقة الرقيقة في هذه التقنية توضع الطور المتحرك في قاع حوض التحليل ويتحرك الى اعلى الورقة بخاصية الجاذبية الشعرية لالياف السكيلوز وعند حركة الطور المتحرك سوف يمر على البقعة التي تحتوي على النموذج فيتم فصل النموذج الى مكوناته.

2- الطريقة التنازلية: يتم في هذه الطريقة تعليق الورقة في حوض التحليل (بشكل اسطوانة) ويوضع الطور المتحرك في حوض خاص في قمة حوض التحليل وتتم الحركة حسب او بفعل الجاذبية. اتجاه سريان المذيب من اعلى الى أسفل الورقة.

كرماتوغرافيا الورق a مذيب صاعد b مذيب نازل

3- كروموتوغرافيا الورق باتجاهين Climentional technique ويمكن تطبيقها ايضا في كروموتوغرافيا الطبقة الرقيقة تستخدم هذه الطريقة عندما يكون الفصل جزئيا عند استخدام التقنيات المذكورة سابقا وخاصة عندما يكون النموذج المراد فصله معقدا يكون التظهير في هذه التقنية على مرحلتين ففي الاولى يتم فصل النموذج الى مجموعات اما المرحلة الثانية فيتم فصل مكونات كل مجموعة على حدة. وايضا هنا تستخدم مذيبات واحد بعد اخر. تسمى هذه التقنية بذات الاتجاهين لان الحركة تتم باتجاهين ان مساوئ هذه الطريقة تحتاج الى وقت طويل للتحليل.



كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة Thin layer chromatography

وهي طريقة لفصل وتنقية المواد الكيميائية المختلطة باستعمال لوح من الزجاج او البلاستيك او المعدن وتغطى بمادة ممتزة تساعد على الفصل. وعملية الفصل تتم على طبقة رقيقة من مادة الوسط الثابت المفروشة على الواح تصنع من الالمنيوم غالبا. وهي مشابهة لكروماتوغرافيا الورق مع ميزة السرعة وغالبا ماتستخدم لرصد التفاعل الكيميائي والتحليل النوعي لمنتجات التفاعل.

وتشبه هذه الطريقة كثيرا كروموتوغرافيا الورقة، ماعدا كون الطور الساكن في كروموتوغرافيا TLC عبارة عن طبقة رقيقة من مادة امتزاز ناعمة ومثبتة على صفيحة من الزجاج او الالمنيوم او شريحة بلاستيكية.

بصورة عامة يمكن استخدام عدد كبير من المواد الطلائية والمذيبات في حالة كروموتوغرافيا TLC. فعند اختيار جيد للمذيب والطور السائل نحصل على فصل جيد. ان المواد الامتزازية (الطلائية) الاكثر استعمالا هي:

1- الألومينا (Alumina): - وتستخدم بشكل كبير لفصل الخلائط القاعدية.

2- مسحوق السليلوز (cellulose powder): - يوصى باستخدامه في فصل المواد القابلة للذوبان في الماء ويستخدم كبديل للـ PC.

3- السليكاجل (Silica gel): -وتستخدم بكثرة وخصوصا لفصل المواد الحامضية والمتعادلة وتكون قطبيتها واطئة وتستخدم لفصل المواد القليلة الذوبان في الماء.

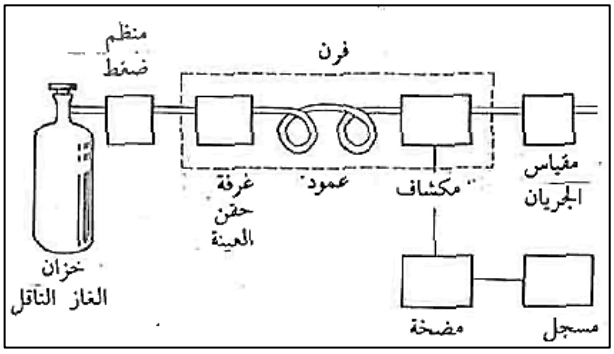
بشكل عام يتم طلاء المادة المازة حيث يتم تحضيرها بشكل معلق ملاط Slurry رقيق من مسحوق المادة وينشر على صفيحة اما بواسطة صفيحة او اداة خاصة وتتراوح سمك الطبقة بين 1– 2 ملم. لاجل تنشيط المادة المازة هذه بعد تجفيفها في فرن عند درجة حرارة 115°م لفترة زمنية مناسبة. وبعض المواد يمكن تجفيفها في درجة حرارة الفرن لمدة ليلة كاملة. ان تظهير الكروموتوغرام Development of chromalegrem باستخدام التقنية الصاعدة Aseending Tech الى ارتفاع 15 – 18 سم وفي درجة حرارة الفرن ليجعل جو الخزان مشبعا بالمذيب وتتم تشخيص العينات غير الملونة بعدة طرق منها رش الطبقة بعد تجفيفها

في دولاب الغازات بكواشف تعيين البقع وهذه الطريقة تستخدم بكثرة locating reagent في مجال تحديد النقاوة والتحليل النوعي يمكن في التحليل كشط البقع من على الصفيحة ثم اذابتها في مذيب معين لغرض التقدير الكمي. لهذه الطريقة فوائد هي:

1- تحتاج الطريقة الى كميات قليلة من العينة.
2- مفيدة في التحليل الكمي لعدد كبير من العينات.
3- تستخدم لتتبع بعض التفاعلات الكيميائية.
4- تستخدم لتشخيص المركبات على اساس المجاميع الفعالة فيها.
5- هذه الطريقة سريعة تستخدم 5 دقائق الى ساعة واحدة ويكون الفصل أكثر وضوح من كروموتوغرافيا الورقة PC.

كروماتوغرافيا الغاز Gas Chromatography

وهي تقنية مفيدة جدا تتيح فصل والكشف عن المركبات العضوية القابلة للتطاير ومزيج غازي من مركبات لاعضوية مختلفة وقدمت تطور تقني واضح في مجال الالكترونيات وتستخدم في معظم الصناعات الطبية، الصيدلانية، البيئية، والكيميائية والبترول وعلم الأطعمة ومجالات أخرى عديدة.



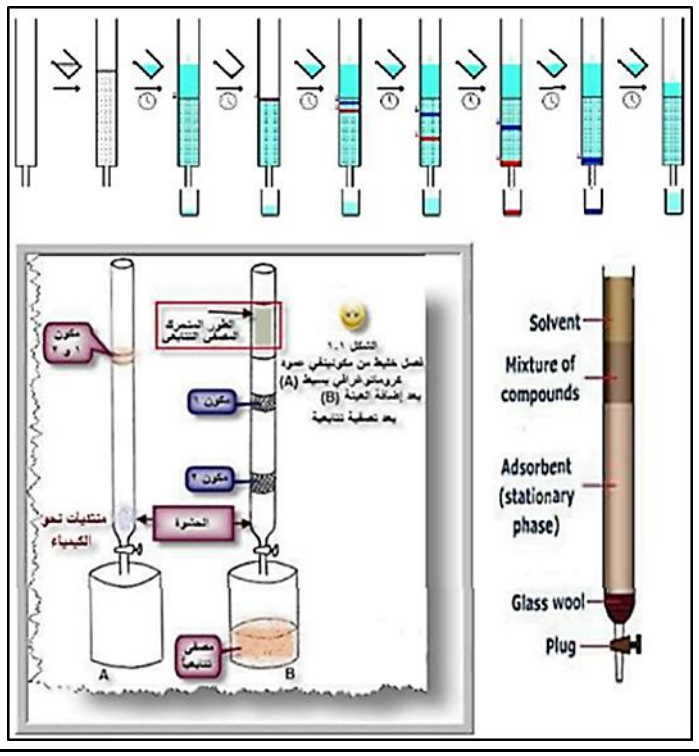
مخطط جهاز كروماتوغرافيا الغاز

مقارنة بين LC و GC

هناك فرق أساسي بين LC و GC هو عامل الانتشار العالي للغازات مقارنة مع السوائل لذلك يجب ان يكون تدفق السائل متدني جدا في LC حتى يمنع انتقال الكتلة عن طريق الانتشار وهذا مايجعل معدل التدفق الأمثل يكون صغير جدا في LC مقارنة مع GC. إضافة الى ان هناك فرقا أساسيا هو الطور المتحرك يمكن ان يتفاعل مع مكونات العينة وبالتالي يكون أحد المتغيرات الثلاثة التي تتحكم في عملية الفصل إضافة الى العينة والطور المستقر.

مقارنة بين HPLC و GC

1) ميكانيكية الفصل HPLC تتضمن تداخلا خاصا لمكونات المزيج مع الطور المتحرك بينما في GC ان الضغط البخاري للمكونات هو الذي يتداخل مع الغاز الناقل للمادة وهو العامل المهم في GC.
2) ان القوة التي تحافظ على جريان الطور المتحرك في HPLC هي المضخة التي تعطي ضغط عال بدلا من الضغط المنظم او المحصل من أسطوانة الغاز في GC.
3) أداة الحقن في HPLC تحتاج تصميما مختلفا كليا بسبب الحاجة الى ضغط عال وهناك إمكانية تفاعل الطور السائل كيمياويا مع المادة المطاطية الموجودة في أداة الحقن.
4) الكشاف في HPLC يكون مختلفا عن GC.
5) أداة الحقن والمكشاف والعمود في HPLC لاتحتاج الى تسخين كما في GC ولو ان نمط الفصل في HPLC قد يتأثر بالحرارة.



الأجزاء الرئيسية ومراحل تقنية كروماتوغرافيا العمود

كروماتوغرافيا الاعمدة Column chromatography

هي طريقة تستخدم لفصل مكونات مركبات كيميائية من خليط من المركبات وغالبا ماتستخدم في التطبيقات التحضيرية على مقاييس دقيقة تبدأ من مايكروغرام الى كيلوغرام. وتمتاز بالتكلفة المنخفظة نسبيا. ويستعمل عادة الزجاج لدعم الطور الصلب حيث يحضر مسبقا وينشط إذا لزم الامر بتسخينه الى درجة حرارة معينة ويغسل في حالة راتنج التبادل الايوني اوبيلل بالماء لينتفخ في حالة الترشيح الهلامي وتضاف العينة المراد فصلها الى اعلى العمود ثم تلفظ بمذيب مناسب.

تظهير الكروماتوغرام Development of the chromatographg

ان عملية مص ولفظ مكونات النموذج تبادليا بين الطورين الساكن والمتحرك تؤدي إلى توزع هذه المكونات في مناطق مختلفة على المسار الكروماتوغرافي (على شكل حزم او بقع) وهذا ما يطلق عليه بعملية تظهير الكروماتوغرام. بصورة عامة يوضع النموذج في الجزء العلوي من العمود او بالقرب من حافة الصفيحة اوالطبقة الرقيقة من المادة الممتزة ويتم اظهاره بشكل مناطق عندما يسمح للطور المتحرك المناسب ان يسيل عبر الطور الثابت.

وأهم التقنيات المستخدمة لهذا الغرض:

1- تقنية الاسترداد التتابعي Elurion chromatography

تستخدم هذه التقنية بشكل واسع في الكيمياء التحليلية تدخل كمية قليلة من النموذج في اعلى العمود ثم يمرر المذيب خلاله بصورة مستمرة وعند جريانه يتم تظهير الكروماتوغرام بصورة تدريجية عن طريق مص ولفظ النموذج لعدة مرات. اما دور المظهر المذيب *Eluank* فقد يكون التأثير على الثوابت في معادلة لانكماير او معادلة فريندلش. وعند افتراض سرعة ثابتة للطور المتحرك فأن زمن الاحتجاز او حجم الاحتجاز اللازم لخروج على مادة من العمود يتوقف على معامل توزيعها Kd فأذا كان هناك تباين في معامل التوزيع للمواد المكونة للنموذج فأن كل مادة تنفصل بشكل حزمة تنتقل خلال الطور الثابت بسرعة مختلفة في الاسترداد التتابعي.

يجري اختيار المُظهر (الطور المتحرك) بشكل يساعد على زيادة الاختلاف في قابلية المص (امتزاز، توزيع، تبادل) للمكونات فأن تكون قابلية اذابة المكون A مثلا اكبر من B وبهذا فأن مكونات النموذج ستتحرك بسرعة ظاهرية مختلفة على الطور الساكن ويمكن فصلهما عن بعضها البعض عن طريق زيادة طول مسافة الحركة (طول العمود). ومن شروط الطور المتحرك ان لا يكون له ميل نحو الطور الساكن لا يذوب او يتفاعل او يتميز من قبل الطور الساكن.

2- تقنية الازاحة Displacement

تعتمد التقنية على مدى امتزاز مكونات النموذج على الطور الساكن يدخل النموذج من اعلى العمود او على سطح الطبقة الرقيقة فيأخذ شكل منطقة صيفة وينجز فصل المكونات بامرار مادة مزيحة *Displcer* تمتص بقوة اكبر مزيحة بذلك غيرها من المواد المكونة للنموذج (d > b > a) ويكون امتزازه من قبل الطور الساكن اكبر من امتزاز a , b من جهة ومن جهة اخرى لاتذوب فيه هذه الايونات a , b ولا تتفاعل معه وعند استخدام كميات مناسبة ممن هذا العامل d فسيزاح المكون الاقل امتزاز إلى نهاية العمود بينما يكون المزاح في قمة العمود وتستخدم هذه الطريقة للفصل في التحليل الكمي وتستخدم على الاغلب في عمليات الاغناء *enrichment* لان منطقة المكون a سوف تكون على تماس مع منطقة المكون b.

3 – تقنية التظهير الجبهي او الامامي Frontal Development Methods

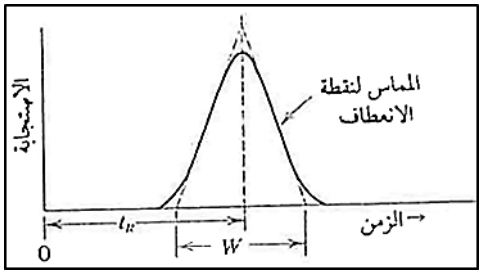
تستخدم بالدرجة الاولى لتنقية المواد من الشوائب المتواجدة معها بكميات ضئيلة *traces* في هذه الطريقة قد لايوجد طور متحرك والطور المتحرك هو مادة النموذج نفسها على شكل غاز او سائل حيث يدفع النموذج باستمرار على العمود الذي يحوي الطور الساكن بحيث يكون له ميل كبير للامتزاز وربما اذابته للشائبة المطلوب فصلها فتكون سرعة جريان الشائبة بطيئة على العمود عكس مادة النموذج الاصل ويؤدي التحليل الجبهي إلى فصل المواد الاقل امتزاز من المواد الاخرى التي يتضمنها النموذج. مثال ذلك تنقية الماء ايونيا حيث يمر الماء الحاوي على الايونات على مبادل ايوني سالب واخر موجب فتحتجز الايونات السالبة والموجبة على الراتنج (الطور السالب) بينما يخرج الماء نقيا من نهاية العمود.

الكروماتوغرام الداخلي والكروماتوغرام الخارجي

ان تقنية التظهير الكروماتوغرام في كل طرائق كروماتوغرافيا العمود هي تقنية التظهيرالتتابعي اما المقصود بالكرماتوغرام الداخلي فهو عدم السماح للمكون المفصول من النزول إلى خارج العمود بل تبقى على الطور الساكن في داخل العمود ان دقة هذه الطريقة في الفصل الكمي ليست عالية. اما لغرض تطوير الكروماتوغرام الخارجي ليسمح للمكونات المفصولة بالنزول مع الطور المتحرك إلى خارج العمود على دفعات وبشكل مستمر.

منحنيات الاسترداد (التدفق)

يجري جمع المُسترد على شكل دفعات وبعد اجراء عملية التحليل يجري رسم بياني لتركيز المكون في كل دفعة وبسبب نزول المسترد المتدفق (الطور المتحرك حاملا" معه جزءا" من المكون المفصول) وجمعه على دفعات فلا يمكن ان يكون البياني خطا" مستقيما" وانما منحني من نوع منحنيات كاوس للتوزيع في افضل الاحوال ويبين هذا المحني ان التركيز يزداد بزيادة حجم المسترد المتدفق حتى يصل الذروة ثم يبدا بالهبوط والتركيز عند الذروة هو التركيز الاعظم ويسمى C_{max} اما حجم المتدفق اللازم جمعه



مخطط للكروماتوغرام

للوصول إلى C_{max} فيسمى الحجم الاعظم V_{max} وفي بعض طرائق الكروماتوغرافيا تحسب كمية المكون المتدفق من حساب المساحة الواقعة تحت المنحني.

w = العرض الاعظم للمنحني ويحسب عادة" من انزال مماسات من اطراف المنحني على المحور الذي يمثل حجم المتدفق او زمن الاستبقاء.

كفاءة الفصل بطرائق الكروماتوغرافيا

هناك عوامل متغيرة عديدة تؤثر على كل عملية فصل في طرائق الكروماتوغرافيا ولغرض فهم هذه العوامل وتأثيراتها والتنبؤ بأفضل الشروط التي يمكن إتباعها للتقليل وحل المشاكل المختلفة فقد جرت عدة محاولات لوضع أسس نظرية ورياضية للقواعد العامة للكروماتوغرافيا غير إن المعالجات الرياضية للعمليات التي تنشأ عند كل خطوة من خطوات الفصل تكون عادة صعبة ومعقدة وفي كثير من الأحيان لا تساعد على الإجابة الكاملة لكافة التساؤلات عند مناقشة القواعد العامة للكروماتوغرافيا. إن **اي** نظرية توضع لتفسير عمليات الفصل بطرائق الكروماتوغرافيا يجب أن نأخذ بنظر الاعتبار بعض الظواهر والمشاكل التي تبرز عند تطبيق هذه الطرائق وتفسيرها والإجابة عليها فالتوسع في الحزم الناتجة من تظهير الكروماتوغرام وعدم التماثل أو التناظر في نصفي الحزمة الواحدة وظهور ذيول (Tails) في الحزم كلها أمثلة تزيد من احتمالية التداخل ونقصان التفريقية وكفاءة الفصل. ومن الممكن تفسير بعض هذه الظواهر عن طريق دراسة آيزوثرمات الفصل (امتزاز. توزيع. تبادل) فإذا كانت هذه الايزوزمات غير خطية فهذا يعني أن المراحل المتأخرة من عملية التطوير أو التظهير كانت ضعيفة وقد يعود سبب ذلك إلى التركيز العالي لمكونات الأنموذج (آيزوثرمات فريندلش) لذا يجب العمل بتراكيز اقل أي ضمن المنطقة الخطية للايزوثرم (هنري). إضافة لهذه الظواهر فهناك احتمال بقاء بعض دقائق **أو** جزيئات المكون المطلوب محتجزة من قبل الطور الساكن ولهذا الاحتجاز أسباب منها: -

1) وجود مراكز فعالة عالية وسريعة. على سطح المادة ألمازة مثلا وهذا يعني عدم تجانس فعالية السطح ألماز.
2) عدم نشوء توازن تام منتظم وسريع.
3) وقد يكون السبب هو الانتشار. إن النظرية التي تحاول الإجابة على هذه الأسئلة وتوضيح أسبابها هي لحد الآن بعيدة عن الكمال فمنها ما يهمل بعض المتغيرات المهمة ومنها ما يفترض فرضيات مثالية لغرض الوصول إلى تفسير هذه العملية أو تلك. واهم هذه النظريات أو التفسيرات هي: -

أولا: التفسيرات أو النظرية الحركية

تتلخص هذه التفسيرات إن مكونات الأنموذج تنتقل أو تقطع طريق الوسط الكروماتوغرافي بسرع مختلفة أو بتعبير آخر فإنها تنتقل بسرع مختلفة عبر عمود الفصل مثلاً والحقيقة فالمكونات تنتقل على الطور الساكن بمساعدة الطور المتحرك الذي يسير على الطور الساكن بسرعة ثابتة. ولذا فإن اختلاف سرعة انتقال المكونات عن بعضها البعض (A عن B مثلا) هي ظاهرية وتعبر عن الفترة الزمنية التي يحتفظ أو يستبقي فيها الطور الساكن لكل مكون من المكونات عند نفس النقطة. فإذا كانت فترة استبقاء A أو احتفاظ الطور الساكن بالمكون A أطول من فترة استبقاء B فسيتم خروج المكون B من العمود قبل المكون A وهذا يعني فصل A عن B.

إن كفاءة الفصل بموجب هذه النظرية تعتمد على مدى ميل أحد الأطوار للاحتفاظ (أو استبقاء) بالمكون بسبب ذوبان المكون في ذلك الطور مثلاً (أو امتزازه أو تبادلهُ) . فإذا كانت ذوبانية المكون A أو امتزازه من قبل الطور الساكن اكبر من ذوبانية B أو امتزازه في ذلك الطور فان A ستبقى فترة أطول على الطور الساكن والحصيلة هي ابتعاد B وفصله عن A. ألا إن المدة الزمنية التي تتطلبها دقائق مكون من المكونات للوصول إلى نقطة معينة على الطور الساكن (في حالة الكروماتوغرام الداخلي) أو إلى نهاية الطور الساكن (في حالة الكروماتوغرام الخارجي) هي ليست ثابتة لكل الدقائق وإنما تخضع لتوزيع إحصائي (منحني كاوس Gaus curve) والكروماتوغرام يكون في أفضل الحالات على شكل منحني متماثل وبصورة عامة فإن شكل هذا المنحني يعتمد على عوامل عديدة منها. عمليات التنافذ في الإطوار وانتظام أو عدم انتظام حصول حالة التوازن بين المكون والطور الساكن وعلى هذا الأساس فان عرض الحزمة سيعتمد على طول المسافة التي تقطعها دقائق المكّون وكلّما كانت هذه المسافة طويلة (طول عمود الفصل أو الصفيحة) كلما كانت الحزم أكثر اتساعاً.

وبصورة عامة فان التغيرات غير المنتظمة أو العشوائية في سلوك دقائق المكون تؤدي إلى توسع وانتشار في الحزم كلما اقتربت هذه الدقائق من منفذ العمود عكس ما عليه عند مدخله حيث تكون حادة.

ثانياً: نظرية الصفائح Plate theory

تفترض هذه النظرية إن عمود الفصل مكون من عدة صفائح نظرية تشبه صفائح عمود التقطير ألتجزيئي وتجري على كل صفيحة من هذه الصفائح عملية توزيع لدقائق المكون بين الطورين السائل والمتحرك (أي كل صفيحة تمثل خطوة مص ولفظ النموذج)

وعلى هذا فان عدد هذه الصفائح يعني زيادة عمليات إعادة التوزيع وبالتالي زيادة كفاءة الفصل. إن زيادة عدد الصفائح النظرية هذه يمكن أن يتحقق أما بزيادة طول عمود الفصل L أو نقصان في ارتفاع كل صفيحة من هذه الصفائح H.

ويمكن حساب عدد هذه الصفائح N من منحني التدفق في كروماتوغرافيا الأعمدة حيث: -

$$N = 16 \left(\frac{V_{max}}{W}\right)^2$$

W: عرض الحزمة (المنحني) Bandwidth or peak width

V_{max}: الحجم الأعظم Peak Elution Volume

N: عدد الصفائح (عدد خطوات المص واللفظ الفعالة).

كما يمكن إيجاد ارتفاع الصفيحة الواحدة من معرفة طول العمود حيث: -

$$H = \frac{L}{N}$$

H: ارتفاع الصفيحة الواحدة

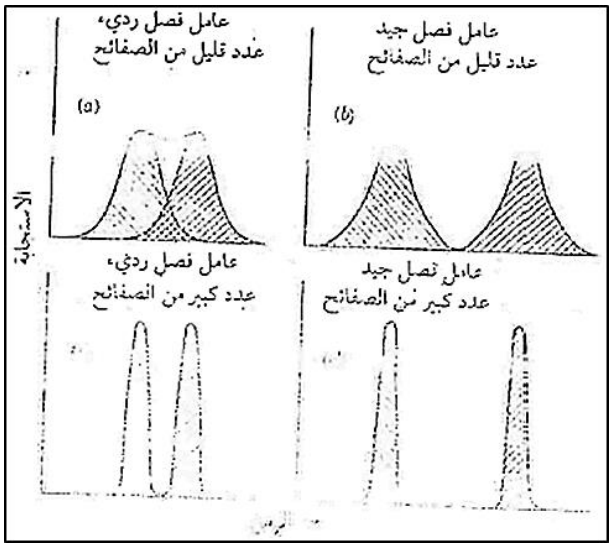
L : طول العمود

N : عدد الصفائح

مثال / عند رسم منحني التدفق لفصل ايون الكلوريد عن البروميد بالتبادل الأيوني وجد أن w =55 ml وان .V_{max} =106 ml كم هو عدد صفائح العمود؟ وكم هو ارتفاع الصفيحة الواحدة إذا كان طول عمود الراتنج 6 سم.

$$N = 16 \left(\frac{V_{max}}{W}\right)^2 = 16 \left(\frac{106}{55}\right)^2 = 60$$

$$H = \frac{L}{N} = \frac{6}{60} = 0.1 \text{ cm}$$ اما ارتفاع الصفيحة الواحدة



تأثير عامل الفصل وعدد الصفائح النظرية

حساب عدد الصفائح من زمن الاستبقاء

في كثير من طرائق الكروماتوغرافيا يفضل حساب N من معرفة زمن الاستبقاء t_R حيث: -

$$N = 16 \left(\frac{t_R}{W}\right)^2$$

كما يمكن حساب عدد الصفائح وارتفاع الصفيحة الواحدة من قياس $W_{½}$ وهو نصف عرض الموجة أي عرض الموجة مقاسا عند منتصف ارتفاعها h ½ وفي هذه الحالة فان :

$$N = 5.54 \left(\frac{t_R}{W_{\frac{1}{2}}}\right)^2$$

مثال / كروماتوغرام للهبتان تنتج عنه المعلومات التالية، طول العمود 5 سم b هو خط الأساس Base line و h هو ارتفاع الموجة و h ½ هو نصف ارتفاع الموجة حيث عنده تقاس $W_{½}$ وكان مقدارها 4.9 أما زمن الاستبقاء فكان 59 ثانية. احسب عدد الصفائح وارتفاع الصفيحة الواحدة؟

$$N = 5.54 \left(\frac{t_R}{W_{\frac{1}{2}}}\right)^2 = 5.54 \left(\frac{59}{4.9}\right)^2 = 8 \times 10^2$$

$$H = \frac{L}{N} = \frac{5}{8 \times 10^2} = 6.3 \times 10^2$$ لكل صفيحة

زيادة كفاءة الفصل ونظرية الصفائح

إن عدد الصفائح النظرية المحسوبة هي دالة لكيفية بناء العمود كما إنها دالة لمتغيرات عديدة أخرى منها طبيعة المادة المذابة ومعدل سرعة جريان الطور المتحرك ودرجة الحرارة وطريقة إدخال النموذج وغيرها لذا فلا يمكن حساب عدد الصفائح N بالضبط بل هو عادة تقريبي ولكن بصورة عامة كلما كانت قيمة N أكبر أي عدد الصفائح كبير كلما كانت الذروات أو القمم في منحنيات التدفق Peaks أضيق وزاد الاقتراب من السلوك المثالي. ومن الممكن زيادة عدد الصفائح النظرية N بإتباع ما يلي: -

1) زيادة طول العمود L. الذي يؤدي إلى مضاعفة زمن الاحتجاز t_R

2) الارتفاع المكافئ للصفيحة النظرية الواحدة هو المعول عليه في معرفة كفاءة عمود الفصل.

المصادر

الكتاب المنهجي

- الكيمياء التحليلية، الجزء الاول، الاسس العامة للتحليل الكمي الوزني، صفاء رزوقي المرعب، 1989.
- الكيمياء التحليلية، الجزء الثاني، طرائق الفصل الحديثة، صفاء رزوقي المرعب، 1989.

كتب مساعدة

- "Fundamental of Analytical Chemistry" by Doglas A. Skooge, Donald M. West and James Holler, Eighth Edition, 1988.
- "Analytical Chemistry" by Gary D. Christian, Purnendu K. (Sandy) Dasgupta, Kevin A. Schug, 7th Edition, 2014.
- "An Introduction to Analytical Chemistry" by Doglas A. Skooge & Donald M. West, 4th Edition, 1986.
- "Analytical Chemistry" by Gary D. Christian, John Wiley and Sons, Inc. 6th Edition, 2004.
- الاساسيات النظرية للكيمياء التحليلية اللاعضوية، التحليل الكمي الوزني والحجمي، هادي كاظم عوض واخرون، 1986.
- طرائق وتقنيات حديثة في التحليل الكيميائي الآلي د. جميل موسى ضباب
- مفتاح الابداع للكيمياء التحليلية Analytical Chemistry، عمر جبر حلوة، الطبعة الاولى، 2008.