

الباب الثاني عشر

طرق الفصل التحليلية

الباب الثاني عشر

" طرق الفصل التحليلية "

Methods of Analytical Separation

إن جميع طرق الفصل لها عملية مشتركة إلا وهي توزيع المكونات في مزيج بين طورين ثم بعد ذلك يمكن فصلها بطريقة ميكانيكية . فإذا كانت النسبة بين كمية أحد المكونات المعينة في كل طور أي (نسبة توزيع) تختلف عن المكون الآخر فإن عملية الفصل للمكونين تكون ممكنة . وللتأكد من أن عملية تعقيد الفصل تعتمد علي الاختلاف بين نسب التوزيع للمكونين نلاحظ أنه عندما يكون الاختلاف شديداً فإن إجراء عملية واحدة تكون كافية لغرض الفصل . مثال ذلك الترسيب الأحادي باستخدام أيون الفضة يكون ملائماً لغرض فصل الكلوريد من أنيونات عديدة . وتكون هنا نسبة أيون الكلوريد في الطور الصلب الي أيون الكلوريد الموجود في حالة إتزان في الطور المائي الكبير جداً ، في حين تقرب موازنة النسب مثلاً لأيونات النترات أو البركلورات من الصفر .

وتصبح الحالة أكثر تعقيداً عندما تكون أساساً نسبة التوزيع لأحد المكونات صفراً ، لكن النسبة للمكونات الأخرى ليست كبيرة جداً . وهنا فإننا نحتاج إلي عملية متعددة المراحل . مثال ذلك يمكن استخلاص اليورانيوم (VI) بواسطة الايثر من محلول مائي لحامض النتريك . وبالرغم من أن نسبة التوزيع في الطورين تقريباً واحد لعملية استخلاص أحادية ، فإن اليورانيوم (VI) يمكن فصله بإعادة الاستخلاص من المحلول المائي باستعمال أجزاء جديدة من الايثر .

الأخطاء الناتجة من عملية الفصل :

إن عملية افصل التي تعتمد اعتماداً عاماً علي عمليات الاتزان لا يمكن أن تكون عمليات فصل تامة للفصائل المتداخلة من الفصائل المراد تحليلها . وعليه فإن العاملين اللذين يجب أن يؤخذا بنظر الاعتبار في أي عملية فصل هما :

(1) اكتمال عملية استرداد الأتاليت .

(2) درجة الفصل عن المكونات غير المرغوب فيها .

إن هذه العوامل يمكن أن يعبر عنها جبرياً بنسب الاسترداد (Recovery) Q (ratios) . مثال ذلك ، إذا كانت X هي كمية الأتاليت الذي استرد في الفصل وإن هي كمية X في النموذج الأصلي يمكن التعبير عن نسبة الاسترداد بواسطة المعادلة التالية:

$$Q_x = \frac{X}{X_0}$$

حيث أن X_0 و X تمثلان الكميات الابتدائية والنهائية علي التوالي وكلما أصبحت صغيرة . كلما أصبحت عملية الفصل أفضل .

إن الاسترداد غير الكامل إلي x يؤدي دائماً إلي خطأ سالب . إن الخطأ المرافق غير الكامل إلي x يؤدي دائماً إلي خطأ سالب . إن الخطأ المرافق للإزالة غير التامة إلي y سوف يكون موجباً إذا كانت هذه الفصائل مشاركة للكمية المقيسة تحليلياً ويكون الخطأ سالباً إذا كانت تقلل من القيمة المعنية . ولاختيار طبيعة هذه الأخطاء دعنا نفترض أن التحليل يعتمد علي قياس قسم من الكمية M التي تتناسب مع كمية x وكمية y في المحلول الذي يلي عملية الفصل (أن M ربما تمثل الكتلة ، أو الحجم ، أو الامتصاص ، أو تيار الانتشار **diffusion current** ، وهلم جرا وعليه فيمكن كتابة

$$M_x = K_x X$$

$$M_y = K_y Y$$

إذ أن K_x و K_y ثوابت تتناسب مع دقة القياس لكل مكون (تكون K_y سالبة عندما تتداخل بحيث تؤدي إلي تقليل حساسية القياس إلي X) .

فإذا كانت كل من X و Y موجودة فإن قياس قيمة M تمثل مجموع المكونات X ، Y

$$M = M_x + M_y$$

نفرض أن M_o هي قيمة للكمية المقاسة التي يمكن الحصول عليها عندما لا يحتوي النموذج على y ، فإن :

$$M_o = K_x X_o$$

فعليه عندما يكون كلا Y , X موجودة فإن الخطأ النسبي المرافق لعملية الفصل يمكن أن يعبر عنه بالمعادلة التالية :

$$\frac{(M - M_o)}{M_o} = \text{الخطأ النسبي بسبب عملية الفصل}$$

وبتعويض المعادلات السابقة نحصل على :

$$\frac{K_x X + K_y Y_o - K_x X_o}{K_x X_o} = \text{الخطأ النسبي}$$

وبالتعويض الآخر نحصل على :

$$\frac{K_x Q_x X_o + K_y Q_y Y_o - K_x X_o}{K_x X_o} = \text{الخطأ النسبي}$$

يمكن إعادة ترتيب هذا التعبير كالآتي :

$$(Q_x - 1) \frac{K_y Y_o}{K_x X_o} Q_y = \text{الخطأ النسبي}$$

يمثل المصطلح الأول في هذه المعادلة الخطأ الذي يرافق الخسارة بـ X خلال عملية الفصل . فعليه فإذا 99 % من X استرداد خلال عملية الفصل ($Q_x = X/X_o = 0.99$) فإن خطأ نسبياً مقداره 0.01 - أو 1 % - ينتج من هذا المصدر .

يأخذ المصطلح الثاني من هذه المعادلة بحساب الخطأ الناتج من الإزالة غير التامة إلى y بواسطة الفصل . إن قيمة هذا الخطأ لا تعزي فقط إلى نسبة استرداد Q ، ولكنها تعتمد كذلك علي نسبة Y_0 إلى X_0 في النموذج .

وعليه فإن نسبة استرداد عالية مقبولة Qx تكون مرغوبة لفصل المكونات القليلة غير المرغوب فيها x من المكون الرئيسي y . إن هذه الحالة غالباً ما تحسب في التحليل الأيثرى عندما تكون نسبة Y_0 إلى X_0 في بادئ الأمر هي قدر 10^6 إلى 10^7

ويبدو أن الخطأ المستهدف في عملية الفصل يعتمد كذلك علي الدقة النسبية للقياس M للمكونين (K_y / K_x) فإن لم يتأثر هذا القياس تأثيراً كبيراً بوجود Y (وهذه معناه ، إذا كانت K_y صغيرة) فإن عملية الفصل النسبي غير التام تكون مناسبة لذلك التحليل . ومن جهة أخرى فإذا كان نظام القياس متساوي الحساسية لكلا x و y فقد يتطلب الأمر عملية فصل أكثر اكتمالاً .

الفصل بواسطة الترسيب : Separation by Precipitation

الفصل بواسطة الترسيب يعتمد علي الاختلاف في الذوبانية بين الفلز المحلل والمكونات غير المرغوب فيها . أن دراسة حاصل الإذابة سوف توفر الدليل فيما إذا كان بالإمكان إجراء الفصل النظري وسوف يعرف الشروط اللازمة للحصول علي عملية الفصل .

طرق الفصل بالتحكم في الحامضية :

هناك اختلافات كبيرة موجودة بين الذائبات للهيدروكسيدات والأكاسيد المائية والأحماض لعناصر مختلفة . ويمكن أن يتغير أيضاً تركيز أيونات الهيدروجين أو الهيدروكسيل في المحلول بمعامل مقداره 10^{14} أو أكثر ويمكن أن يسيطر عليها باستعمال المحاليل المنظمة ونتيجة لذلك فإن العديد من طرق الفصل التي تعتمد علي

السيطرة علي الدالة الحامضية pH تكون متوفرة من الناحية النظرية لدي المحلل .
وبالممارسة فإن طرق الفصل هذه يمكن أن تجمع في ثلاثة أصناف :

- 1 - تلك التي تجري في محاليل مركزة نسبياً للأحماض .
- 2 - تلك التي تجري في محاليل تحتوي علي محلول منظم عند قيم متوسطة من الدالة الحامضية pH .
- 3 - تلك التي تجري في المحاليل مركزة لهيدروكسيد الصوديوم أو البوتاسيوم .

الفصل باستعمال محاليل الأحماض القوية :

ترسب العديد من العناصر كأكاسيد ذك نوبانية قليلة من محاليل مركزة للأحماض المعدنية . وتتكون هذه المواد الصلبة أحياناً خلال إذابة النموذج ويمكن لزالتهما في بداية التحليل . و يترسب النتجستين (VI) . التانتوليم (V) والسليكون (IV) بوصفها أكاسيداً بوجود الأحماض المركزة البركلوريك والهيدروكلوريك والنتريك والكبريتيك . ويكون القصدير والأنتيمون أكاسيداً حامضية بوجود حامض البركلوريك المركز الساخن أو حامض النتريك المركز الساخن .

ويمكن فصل المنجنيز كثنائي أكسيد وذلك بتسخين محلول حامضي لحامض البركلوريك أو النتريك لأيون المنجنيز (II) مع وجود مؤكسد مثل كلورات البوتاسيوم .

ترسيب الأكاسيد القاعدية من المحاليل المنظمة :

تحتاج هذه العملية لقيم عالية من الدالة الحامضية لعملية الفصل التامة ويتضح من النتائج أن هناك العديد من عمليات الفصل المفيدة يمكن إجراؤها وذلك بالسيطرة الجيدة علي الدالة الحامضية باستعمال بعض مخاليط المحاليل المنظمة التي تحافظ علي تركيز ملائم لأيون الهيدروجين .

ويحتمل أن يكون المحلول المنظم (أمونيا - كلوريد الأمونيوم) الوسط الأكثر شيوعاً في الاستعمال لفصل الحديد ، والكروم والألمونيوم والتيتانيوم من المنجنيز (II) وهيدروكسيدات الأتربة القلوية . ويبقى النحاس والزنك والنيكل والكوبلت في المحلول بوصفها معقدات أمينية ثابتة . أن الرواسب المتكونة في هذا المحيط غالباً ما تكون جيلاتينية ومن الصعوبة التعامل معها . وأيضاً نتيجة للأمصاض السطحي التي تميل إلى الترسيب المشترك لقسم من الأيونات الغريبة .

ويوفر ترسيب الأكاسيد المائية للحديد والألمونيوم ، والكروم ، من وسط حامضي طريقة للفصل ملائمة أكثر من الأيونات الثنائية الشحنة الموجبة الشائعة . ونستعمل طريقة الخللات القاعدية التي فيها يتم المحافظة على الأس الهيدروجيني pH بواسطة المحلول المنظم حامض الخليك - خللات الأمونيوم بصورة واسعة لهذه الغاية . وهناك محاليل منظمة حامضية أخرى تكون جيدة الاستعمال مثل حامض البنزويك - بنزويت - حامض الفورميك - الفورمات ، وحامض السيمانيك - سيسنين . وفيما يلي جدول لقيم الأس الهيدروجيني الذي تترسب عنده بعض الأكاسيد .

جدول قيم pH التي تترسب عندها أكاسيد مائية معينة .

PH	أيون الفلز
11	Mg (II)
9	Ag (I) , Mn (II) La , Hg (II)
8	Ce (III) , Co (II) , Ni (II) Cd , Pr . Nd , Y
7	Sm, Fe (II) , Pb
6	Zn , Be , Cu , Cr (III)
5	Al
4	U (VI) . Th
3	Sn (II) . Zr . Fe (III)

الفصل بإستعمال محاليل القواعد القوية :

في المحاليل القاعدية القوية وبوجود العامل المؤكسد مثل بيروكسيد الصوديوم فإن عدداً من العناصر الأمفوتيرية تكون ذاتية ويمكن فصلها عن الأيونات التي تكون رواسباً تحت هذه الظروف . وهناك فصائل تبقى ذاتية مثل الزنك والكروم والفسفاديوم واليورانيوم وفصائل أخرى تكون رواسباً مثل الحديد والكوبلت والنيكل ، وعناصر الأتربة النادرة .

عمليات الفصل علي هيئة كبريتيد :

تكون معظم الكاتيونات كبريتيدات شحيحة النوبان باستثناء الفلزات القلوية وفلزات الأتربة القلوية . إن هذه الكاتيونات تختلف في قابلية نوبانها اختلافاً كبيراً ، وبسبب سهولة السيطرة علي تركيز أيون الكبريتيد للمحلول المائي وذلك بواسطة ضبط الأس الهيدروجيني ولذلك فإن الفصل الذي يعتمد علي تكون الكبريتيدات وجد استعمالاً واسعاً . حيث يمكن أن تترسب الكبريتيدات من محلول متجانس ، وإن الأيون السالب يجهز إلي المحلول عن طريق التحلل المائي للثايراستاميد .

المرسبات :

إن أيونات الفوسفات والكاربونات والأوكزالات غالباً ما تستعمل بوصفها مرسبات للأيونات الموجبة ، ويكون سلوكها غير انتقائي ، ولذلك فإن فصلاً أولاً يجب أن يسبق استعمالها . وتكون أيونات الكلوريد والكبريتات مفيدة بسبب سلوكها الخاص النسبي ويمكن استخدام الفلوريد لفصل الفضة عن معظم الفلزات في حين تستخدم الكبريتات غالباً لفصل مجموعة من الفلزات التي تشمل علي الرصاص والباريوم والمسترونيوم .

طرق الاستخلاص : Methods of Extraction

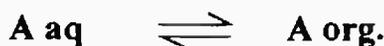
لقد استعملت تقنية الاستخلاص علي نطاق واسع وذلك لفصل المكونات للأنظمة العضوية . مثال ذلك تفصل الأحماض الكاربوكسيلية عن المركبات الفينولية

باستخلاص المحلول اللامائي للنموذج باستعمال المحلول المائي المخفف لبيكاربونات الصوديوم . إن الأحماض الكربوكسيلية يمكن نقلها نقلاً تاماً للطور المائي . في حين تبقى المكونات الفينولية في الطور العضوي .

لقد وجدت أيضاً طرق الاستخلاص تطبيقات مفيدة للمواد مثال ذلك النترات ، والكوريدات والثاوسينات لأعداد كبيرة من الكاتيونات إذ يمكن إستخلاصها مع المذيبات العضوية ، وبالمكان فصل تلك الكاتيونات عن الأملاح التي لا يمكن إستخلاصها . فضلاً عن أن العوامل العضوية المخلبية **Organic chelating agents** لها القابلية علي استرداد عدد من الكاتيونات اللاعضوية التي لها القابلية علي أن تستخلص بواسطة المذيبات العضوية .

الأساس النظري :

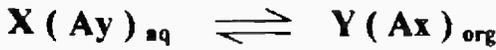
إن الحاجز الفاصل للمذاب بين مذيبين غير ممتزجين يوصف بواسطة قانون التوزيع **distribution law** فإذا افترضنا أن فصائل المذاب A موزعة نفسها بين الطورين العضوي والمائي ، فيمكن بيان الإتزان الناتج كما يأتي :



حيث أن **aq** و **org** تشيران إلي الأطوار المائية والعضوية علي التوالي . ومثالياً ، فإن نسبة الفعاليات A في الطورين تكون ثابتة ولا تعتمد علي الكمية الكلية إلي A ، ذلك عند درجة حرارة معلومة .

$$K = \frac{[A_{org}]}{[A_{aq}]}$$

حيث أن ثابت الاتزان K هو معامل التوزيع **distribution Coefficient** . وربما يوجد المذاب في قسم من الأنظمة في حالات مختلفة من التجمعات في المذيبين ، فإن الاتزان يصبح .



وإن معامل الحاجز الفاصل يأخذ الشكل .

$$K = \frac{[(AX)_{org}]^y}{[(Ay)_{aq}]^x}$$

ومثال ذلك عند استخلاص الفلز - العضوي المخلبي . **metal organic Chelate** . فإنه من الضروري إن يؤخذ بالحسبان تفكك المخلب في الطور المائي . وعليه فإذا كانت A هي المخلب المستخلص و m و X تمثل أيون الفلز والعامل المخلبي علي التوالي فيجب أن يدرس أيضاً الاتزان الآتي :



$$K_{inst} = \frac{1}{K_1} = \frac{[A_{aq}][X_{aq}]}{[M_{aq}]}$$

وهنا فإن تركيز A في الطبقة العضوية يعتمد أيضاً علي ثابت التكوين للمعقد في الماء وتركيز العامل المخلبي .

وتساعد معاملات التوزيع المحلل الكيميائي علي تعيين شروط التجربة اللازمة لنقل المذاب من أحد المذيبات إلي الآخر . لنفرض أنه لدينا V_{org} مل من المحلول المائي والذي يحتوي علي a مليمول من A وإن هذا المحلول يستخلص مع V_{org} مل من مذيب عضوي غير قابل للامتزاج . وعند التوازن ، فإن X مليمول من A سوف تبقى في الطبقة المائية ، وعليه

$$A_{aq} = \frac{X_1}{V_{aq}}$$

لذلك سوف تتبع

$$A_{org} = \frac{(a - X_1)}{V_{org}}$$

وبالتعويض في معادلة الاتزان وإعادة ترتيبها تحصل على :

$$X_1 = \left(\frac{V_{aq}}{V_{org} + V_{aq}} \right) a$$

إن عدد المليمولات في X_2 التي تبقى بعد عملية الاستخلاص الثانية للماء مع حجم مماثل من المذيب سوف تكون للسبب نفسه كما يأتي :

$$X_2 = \left(\frac{V_{aq}}{V_{org} K + V_{aq}} \right) a$$

وبعد n من الاستخلاصات ، يعطي عدد المليمولات المتبقية بواسطة التعبير .

$$X_n = \left(\frac{V_{aq}}{V_{org} K + V_{aq}} \right)^n a$$

النسبة المئوية المستخلصة :

إن نسبة التوزيع D ثابتة ولا تعتمد على النسبة الحجمية . فإن كان الحجم المستعمل من المذيب العضوي أكبر فيجب أن تنوب كمية أكثر من المذاب في هذه الطبقة للمحافظة على نسبة التركيز ثابتة وإشباع نسبة التوزيع . ويساوي الجزء المستخلص من المذاب في حين تكون المليمولات هي المولارية مضروبة بالمليترات وهكذا فإن النسبة المئوية المستخلصة تكون كما يأتي :

$$E = \frac{[S]_{org} V_{org}}{[S]_{org} V_{org} + [S]_{aq} V_{aq}} \times 100$$

علماً أن V_{org} ، V_{aq} هما حجور الطبقات العضوية والمائية علي التوالي . ومن الممكن أن نلاحظ من هذه المعادلة أن النسبة المئوية المستخلصة لها علاقة بنسبة التوزيع .

$$E = \frac{100 D}{D + (V_{aq} / V_{org})}$$

عندما $V_{aq} = V_{org}$

$$E = \frac{100 D}{D + 1}$$

في هذه الحالة إذا كانت D أقل من 0.001 يمكن أن نعتبر المذاب قد حجز كميأ . وأساساً قد يستخلص المذاب كميأ عندما تكون D أكثر من 1000 وتتغير النسبة المئوية المستخلصة من 99.5 إلي 99.9 وذلك عندما تتضاعف D من 500 إلي 1000 .

أنواع الاستخلاص : Types of Extraction

1 - الاستخلاص البسيط : Simple Extraction

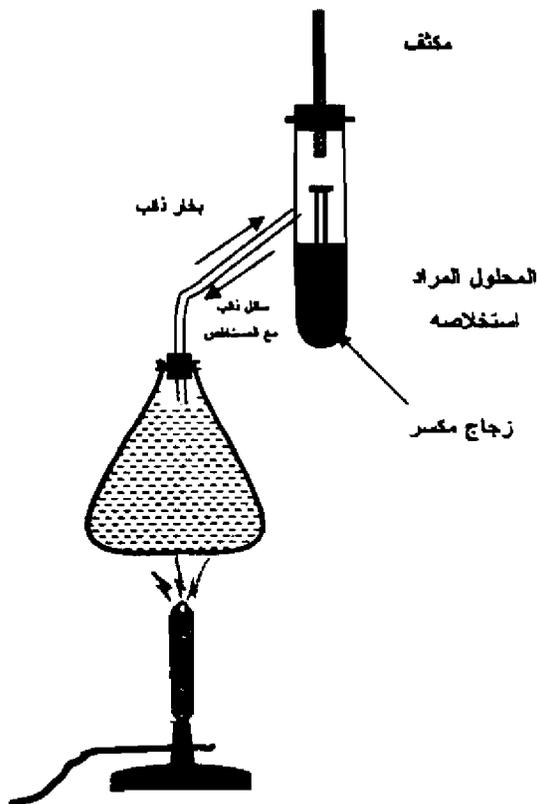
يمكن أن تكون عملية الفصل بالاستخلاص عملية بسيطة ويشترط بأن معامل التوزيع لأحد الفصائل يكون مناسباً (نو الترتيب 10 أو أكبر من ذلك) في حين يكون معامل التوزيع للفصائل الأخرى غير مناسب . وعلي أية حال ومن النموذج بالامكان إجراء فصل جيد إذا كان المعامل الثاني ضمن المدى 0.1 إلي 0.001 (أو أقل) . وتحت هذه الظروف يمكن إجراء الفصل باستعمال ورق الفصل

Sparatory funnel ويمكن استخلاص المحلول الأصلي بكل نجاح باستخدام خمسة إلى ستة أجزاء من المذيب الجديد .

2 - الاستخلاص المستمر أو الشامل :

Exhaustive or catinouns Extraction :

يكون هذا الجهاز مفيداً لإزالة المكونات القابلة للاستخلاص من المكونات التي تكون لها نسب الحاجز الفاصل نسبياً غير مناسبة سوف تفصل بمدة زمنية تستغرق عدة ساعات .



جهاز الاستخلاص المستمر للنموذج

بعض الأمثلة لعمليات الاستخلاص اللاعضوية :

1- الاستخلاص بالمذيب للفلزات :

من أهم تطبيقات الاستخلاص بالمذيب فصل أيونات الفلزات . وخاصة أن كلوريدات الفلزات يمكن أن تستخلص بواسطة الأثير من محلول 6 مولاري حامض الهيدروكلوريك ، وإن أعداداً كبيرة من أيونات الفلزات لا تتأثر أو يستخلص منها كميات قليلة جداً تحت هذه الظروف . فعليه يمكن إجراء عدد من طرق الفصل . منها كميات قليلة جداً تحت هذه الظروف . فعليه يمكن إجراء عدد من طرق الفصل . وإن من أهم هذه الطرق فصل الحديد (III) (ويستخلص منه 99 %) من بين العديد من الكاتيونات . إن الجزء الأكبر من الحديد في نماذج الفولاذ أو خامات الحديد يتم إزالتها بواسطة الاستخلاص حسب أسبقية التحليل لمثل هذه العناصر المختلفة مثل الكروم ، أو الألومنيوم ، أو التيتانيوم ، أو النيكل . تظهر الفصائل المستخلصة علي هيئة $HFeCl_4$. ولقد وجد كذلك أن النسبة المئوية للحديد التي تنقل أي الطور العضوي تعتمد علي كمية حامض الهيدروكلوريك في الطور المائي (إن القليل يزال من المحاليل التي تكون تحت 3 مولاري والتي تكون أعلي من 9 مولاري HCl) وتعتمد كذلك علي كمية الحديد الموجودة وما لم تؤخذ الاحتياطات اللازمة فإن استخلاص الكميات الأثرية من الحديد لا تتم بصورة كلية .

2- استخلاص النترات :

يستخلص قسم من أملاح النترات بصورة انتقائية بواسطة الأثير وكذلك بواسطة المذيبات العضوية مثال ذلك يفصل اليورانيوم عن بقية العناصر مثل الرصاص والفوريوم بواسطة مستخلص الأثير للمحلول المائي المشبع مع نترات الأمونيوم ويحتوي علي حامض النتريك بتركيز مقارب إلي 1.5 مولاري ، ويجب أن يكون اليورانيوم في الحالة التأكسدية 6 + . كذلك فإن نترات البرموث والحديد (III) يمكن استخلاصها إلي حد معين تحت هذه الظروف .

3- استخلاص المركبات المخيلية :

إن العديد من الكواشف العضوية تكون مركبات مخيلية مع أيونات الفلزات المختلفة ، وتكون هذه المركبات المخيلية غالباً مذابة في هذه المذيبات مثل الكلوروفورم ورابع كلوريد الكربون ، والبنزين والأيثر . وعليه فإن الانتقال الكمي لأيونات الفلزية للطور العضوي يكون ممكناً .

إن الكاشف 8 - هيدروكسيد كوينولين له تطبيقات واسعة لعمليات الفصل بواسطة الاستخلاص . وتكون معظم مركبات الفلزات المخيلية لهذا الكاشف مذابة في الكلوروفورم وكذلك في مذيبات عضوية أخرى . ويمكن كتابة التفاعل الذي يظهر عند استخلاص المحلول المائي لأيون فلز ثنائي الشحنة M^{2+} مع مذيب عضوي يحتوي 8 - هيدروكسي كوينولين (يرمز له HQ) كالآتي :



الفصل بواسطة التقطير : Separation by Distillation

إن عملية التقطير تسمح بفصل مكونات المخلوط الذي تكون معاملات التوزيع له بين أطوار المحلول والبخار مختلفة اختلافاً ملحوظاً فإذا كانت أحد الفصائل لها معامل التوزيع أكبر موازنة بالمكونات الأخرى للمخلوط ، فإن عملية الفصل تكون بسيطة . مثال ذلك يمكن أن يفصل الأمونيوم من الأيونات الموجبة الأخرى في محلول مائي بعد تحويله إلى الأمونيا وذلك بواسطة إضافة القاعدة .

يكون معامل التوزيع للأمونيا بين الطور الغازي والمحلول كبيراً وخاصة إذا حسبت حرارة المحلول . وبواسطة إمرار غاز خامل من خلال المحلول ، وبالامكان إزالة الأمونيا في الطور الغازي باستمرار وغالباً ما يتم جمعها . وتكون هذه العملية مشابهة لعملية الاستخلاص الشامل التي سبق ذكرها .

ويمكن فصل الأنثيمون والقصدير من معظم العناصر وكذلك ، الواحد عن الآخر بواسطة التقطير .

ولا يوجد عنصر يتطاير تحت هذه الظروف ما عدا الجرمانيوم . وبعد إزالة الأرسنيك فإن الماء يقطر وإن غليان الخليط تتراوح بين 155 الي 165 ° م ، والتي عندما تظهر الإزالة الكمية لثلاثي كلوريد الأنتيمون ، ويجب أن يزداد حامض الهيدروكلوريك المركز إلي المحلول في أثناء عملية التقطير .

ويزداد حامض الفوسفوريك ليكون معقداً مع القصدير (VI) ويمنع التقطير الجزيئي للكوريد . وبعد أن يتم إزالة الأرسنيك والأنتيمون ، فيمكن فصل القصدير بوصفه رابع البروميد عند درجة 140 ° م وذلك بواسطة حامض الهيدروبروميك الي المحلول .

الفصل بواسطة الكروموتوجرافيا : Separation by Chromatography

الكروموتوجرافيا تشير إلي العمليات التي تعتمد علي الاختلاف في المعدلات rates التي تنتقل فيها المكونات الانفرادية للخليط خلال وسط مستقر تحت تأثير الطور المتحرك .

أنواع الأطوار المتحركة والمستقرة :

تحمل مكونات الخليط في الكروموتوجرافيا من خلال طور سام مستقر بواسطة سائل متحرك أو غاز يسمى بالطور المتحرك . وفي قسم من التطبيقات فإن الطور المستقر هو عبارة عن مادة صلبة ذات تقاسيم صغيرة جداً تحمل علي صفيحة زجاجية خفيفة أو أنبوية معدنية . وإن الطور المتحرك يرشح من خلال مادة صلبة تحت تأثير الجاذبية أو نتيجة للضح . وبالطرق الأخرى فإن الطور المستقر ربما يكون ورقة مسامية أو مادة مطحونة ناعمة والتي تنتشر علي صفيحة زجاجية ، ولهذا يكون الطور المتحرك من خلال المادة الصلبة بواسطة التأثير الشعري أو تأثير الجاذبية .

يمكن كذلك أن يكون الطور المستقر سائلاً غير متحرك والذي لا يكون ممتازاً مع الطور المتحرك وهناك طرق متعددة استعملت لتثبيت السائل المستقر في مكانه . مثال ذلك المادة الصلبة ذات التقاسيم الصغيرة التي تكون مغطاة بطبقة رقيقة من

السائل ، ربما تحمل علي صفيحة زجاجية أو أنبوبة معدنية والتي من خلالها يتم ترشيح الطور المتحرك . ومن الطبيعي فإن المادة الصلبة لا تلعب أي دور في عملية الفصل ، وإن وظيفتها فقط لحمل الطور السائل المستقر في مكانه ، وبالمقابل فإن الجدران الداخلية للأنبوبة الشعرية يمكن أن تغطي بطبقة رقيقة من السائل ، إن الطور الغازي المتحرك سوف يجري من خلال الأنبوبة . وأن الطور السائل يمكن أن يحمل كذلك في مكان علي ورقة ليفية أو علي السطح من دقائق مطحونة وناعمة ومحمولة علي صفيحة زجاجية .

نسبة الحاجز الفاصل : The Partition Ratio

تعتمد جميع طرق الفصل الكروماتوجرافي علي الاختلاف في الحد الذي تكون فيه المذيبات حاجزاً بين الطور المتحرك والمستقر . ويمكن أن توصف كميّاً الإترانات المتضمنة بثابت يعتمد علي الحرارة **atmperatur – dependent constant** إن نسبة الحاجز الفاصل أو معامل الحاجز الفاصل **K** هو

$$K = \frac{C_s}{C_m}$$

إذ أن C_s التركيز التحليلي الكلي للمذاب في الطور المستقر و C_m هو تركيز المذاب الكلي في الطور المتحرك .

الوصف العام لعملية الكروماتوجرافيا :

تصنف طرق الكروماتوجرافيا إلي ثلاثة أصناف :-

- 1- التحليل النازل **Elution Analysis** .
- 2- التحليل الأمامي **Frontal Analysis** .
- 3- التحليل بواسطة الإحلال **Displacement Analysis** .

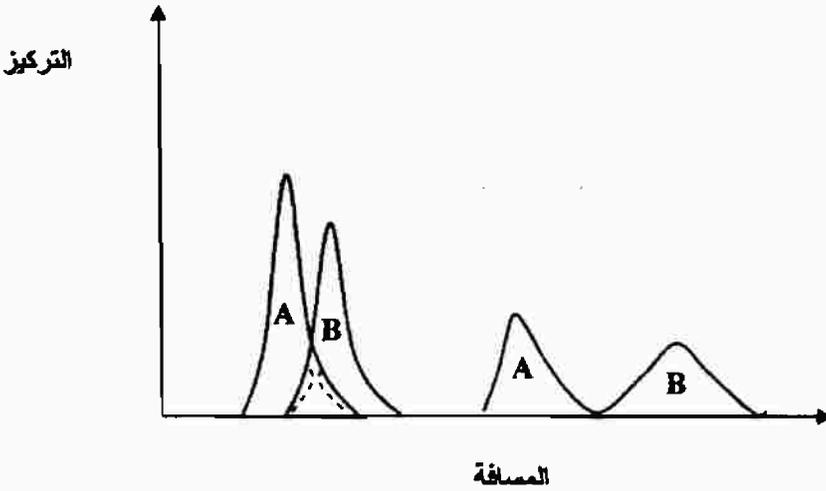
والصنف الأول هو أكثر اتساعاً من بين الطرق الثلاثة ففي طريقة التحليل باستعمال كروماتوجرافيا النزول **Elution chromatography** بداخل جزء أحادي من النموذج المذاب في طور متحرك من أعلى العمود التي توزع فيه مكونات النموذج نفسها بين الطورين . إن إدخال الطور المتحرك يرغم المذيب الذي يحتوي على جزء من النموذج بالنزول إلى أسفل العمود فيكون حاجزاً فاصلاً بين الطور المتحرك وأجزاء جديدة من الطور المستقر . وفي وقت واحد فإن الحاجز بين المذيب الجديد والطور المستقر يظهر بجانب لنموذج الأصلي وبالإضافة المستمرة للمذيب تحمل جزيئات المذاب إلى أسفل العمود على هيئة سلاسل انتقائية مسترة بين الطور المتحرك والمستقر . وبسبب أن حركة المذاب يمكن أن تظهر فقط في الطور المتحرك فعلي أية حال إن معدل السرعة التي ينتقل عندها المذاب تعتمد على الوقت الذي يستغرقه المذاب في ذلك الطور . إن ذلك الجزء من الوقت يكون صغيراً للمذيبات التي لها نسب حاجز الفصل تفضل البقاء في الطور المستقر ويكون كبيراً عندما يكون البقاء في الطور المتحرك أكثر احتمالاً . ومثالياً فإن الاختلاف الناتج في السرعة يجعل المكونات في الخليط تتفصل إلى حزم موضوعة على طول العمود . ويمكن أن يحدث الفصل بإمرار كمية كافية من الطور المتحرك خلال العمود لتحل هذه الحزم المختلفة تمر خارجاً من نهاية العمود والتي يمكن أن تجمع . وبالمقابل فإن العمود الممتلئ يمكن أن يؤخذ ويقسم على أجزاء تحتوي على المكونات المختلفة للخليط .

إن الطريقة التي يغسل فيها المذاب من خلال العمود وذلك بواسطة الإضافة للمذيب الجديد تسمى بالنزول **Elution** . فإذا وضع كاشف **detector** في نهاية العمود الذي يتحسس تركيز المذاب وترسم إشارته بوصفها دالة إلى الوقت (أو الحجم المزداد في الطور المتحرك) ، فيمكن الحصول على سلاسل متماثلة من القمم يسمى بالكروماتوجرام .

نظريات كروماتوجرافيا النزول :

لو فرضنا أن تراكيز المذيبات **A** و **B** على كروماتوجرافيا العمود في أية حالة مبكرة ومتأخرة من النزول . إن نسبة الحاجز الفاصل هو الأكبر في الاثنین وعليه فإن

B يتأخر خلفاً خلال عملية الحركة . وإنه لمن الواضح أن الحركة إلي أسفل العمود يزيد من المسافة بين القمم . وعلي أية حال تصبح كلا الحزم أعرض في الوقت نفسه ، وتقلل من كفاءة العمود بوصفه أداة فصل . لا يمكن تجنب منطقة الاتساع ، وعلي أية حال ولحسن الحظ فإنها تظهر أكثر ببطأ من منطقة الفصل وعليه فمن الممكن أن يجري فصل واضح للفصائل بشرط أن يكون العمود طويلاً . كما في الشكل التالي :



لقد تم تطوير نظريتين لحساب السرعة التي عندها تتحرك منطقة المذاب وتركيزه أو شكله . أحدهما : نظرية الصفيحة **Plate Theory** والأخرى النظرية الحركية . أن النظرية الأخيرة هي النظرية الأكثر فائدة ولذلك فإنها للنظرية التي سوف نتعامل معها .

نظرية الصفيحة :

إن كروماتوجرافيا العمود تتألف من سلاسل متميزة ومنفردة ولكن تكون متلاصقة ، وضيقة ، وطبقات عمودية تسمى بالصفائح النظرية . ويفترض وجود اتزان للمذاب عند كل صفيحة بين الطور المتحرك والمستقر . وإن حركة المذاب والمذيب تظهر كسلاسل بمراحل متعددة من الانتقال من احدي الصفائح إلي التي تليها .

ولقد وجد أن كفاءة كروماتوجرافيا العمود بوصفها أداة فصل تزداد كلما ازداد عدد الإترانات وهذا يعني أنه كلما ازداد عدد الصفائح النظرية . فإن عدد الصفائح النظرية N تستعمل لقياس كفاءة العمود . والمصطلح الثاني وهو الارتفاع المكافئ للصفحة النظرية H ، يخدم كذلك لهذا الغرض . حيث أن العلاقة بين هذين الوسيطين هي :

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

و L هي طول العمود الممتد ويجب أن يلاحظ أن H تقل كلما أصبحت كفاءة العمود أكبر . ولذلك كلما أصبحت H أصغر فإن عدد الإترانات التي تظهر لطول معلوم للعمود تصبح أكثر .

معدل حركة المذاب : Migration rate of Solute

عرفنا وقت البقاء t انه الوقت اللازم لظهور قمة المذاب في نهاية العمود ذي الطول L ، فإن معدل حركة المذاب تعطي بواسطة L / t .

وبالمثل إذا كان t_m تمثل الوقت اللازم لمرور المذاب والذي لم يبق نهائياً في الطور المستقر فإن t_m هي كذلك الوقت اللازم لمعدل الطور المتحرك لمرور الجريئة من خلال العمود ، إن معدل الحركة لهذا النوع من الفصائل هي L / t_m .
 وإن معامل الإعاقة **retardation factor** أو نسبة الاستبقاء R (retention ratio) يكون وسيطاً مفيداً في الكروماتوجرافيا الذي هو عبارة عن نسبة حركة جزيئية المذاب بالنسبة إلى نسبة حركة المذيب . ولهذا فإن :

$$R = \frac{L/t}{L/t_m} = \frac{t_m}{t}$$

وهناك مصطلح آخر مفيد في الكروماتوجرافيا هو حجم الاستبقاء V_R (retention volume) والذي يعزي إلى وقت الاستبقاء بواسطة

$$V_R = t_F$$

إذ أن F نسبة الجريان للطور المتحرك . والمكون الذي لا يسترد أو يحتبس بواسطة الطور المستقر ، فإن حجم الاستبقاء V_m يعطي بواسطة

$$V_m = tmF$$

وبتعويض هذه العلاقات في معادلة نسبة الاستبقاء نحصل علي

$$R = \frac{V_m}{V_R}$$

ونفرض الآن أن هناك اتزاناً ديناميكياً في مقطع صغير من منطقة المذاب ، بحيث أن النسبة اللازمة من الوقت في كل من الطورين يساوي النسبة بين كمية المذابات في الطورين كما يلي :

$$\frac{R}{(1-R)} = \frac{C_m V_m}{C_s V_s}$$

إذ أن C_m و C_s هي التراكيز المولارية للمذابات في الطور المتحرك والطور السائل المستقر علي التوالي وإن V_m و V_s هما الحجمان المقابلان في المقطع الذي اختير أي أن :

$$R = \frac{V_m}{V_m + K V_s}$$

ومن الواضح أن معدل الحركة النسبية للمذاب تقل كلما ازدادت نسبة الحاجز الفاصل .
ويمكن حساب الجزء في الطور المستقر (1 - R) .

$$(1 - R) = 1 - \frac{V_m}{V_m + KV_s} = \frac{KV_m}{V_m + KV_s}$$

بعض الأنواع الشائعة من الكروماتوجرافيا :

Common Types of Chromatography :

1- كروماتوجرافيا الغاز - السائل : Gas . Liqid Chromatography

يكون الطور المتحرك في كروماتوجرافيا الغاز - السائل غازاً خاملاً في حين يكون الطور المستقر سائلاً محمولاً على سطح صلب . فيدخل النموذج كغاز من أعلي العمود ، إن هذه المكونات التي لها ذوبانية قليلة في الطور السائل المستقر توزع نفسها بين هذا الطور والطور الغازي حسب قانون الاتزان .

2- كروماتوجرافيا الحاجز الفاصل السائل :

Liquid Partition Chromatography :

إن الطور المستقر من أكثر المواد الصلبة السائدة استعمالاً للكروماتوجرافيا الفاصل الحاجز هو حامض السلييك أو هلام السليكا . إن هذه المادة تمتص الماء بشدة ، وعليه فإن الطور المستقر يكون مائياً . إن المذيبات القطبية مثل الكحول الألفاتي ، الجلوكوز أو النايتروميثان ، استعملت بوصفها طوراً مستقراً على هلام السليكا وهناك وسائط مساعدة أخرى مثل النشا ، السلسلوز ، الزجاج المطحون ، ولقد استعملت الماء وسوائل عضوية أخرى لإكساء هذه المواد الصلبة . والطور المتحرك قد يكون مذيباً نقياً وخليطاً من المذيبات والتي تكون على الأقل غير ممتزجة جزئياً مع الطور المستقر .

3- كروماتوجرافيا الامتصاص : Adsorption Chromatography

أن الفصل الذي يعتمد علي كروماتوجرافيا الامتصاص تعتمد علي الاتزان التي تحكم توزيع مختلف فصائل المذاب بين وسطح المادة الصلبة . وهناك اختلافات في ميل المركبات علي الامتصاص ، ومثال ذلك يمكن تمييز علاقة موجبة بين خصائص الامتصاص وعدد مجاميع الهيدروكسيد في الجزيئة ، وتوجد علاقة متشابهة للروابط الثنائية . بحيث أن المركبات التي تحتوي علي عدد من المجاميع الفعالة تكون أكثر قابلية علي البقاء في العمود من غيرها . إن قابلية الامتصاص تقل بالترتيب التالي : الحامضي < الكحول < الكربونيل < الأستر < الهيدروكربون . وتؤثر كذلك طبيعة المادة الممتصة في تعيين رتبة الامتصاص .

4- كروماتوجرافيا التبادل الأيوني : Ion Exchange Chromatography

إن التبادل الأيوني هو عملية يتم بها تبادل الأيونات ذات الإشارات المتشابهة بين المحلول والمادة الصلبة غير الذائبة التي تكون بتماس مع المحلول . وإن عددا من المارد الطبيعية والمحضرة تعمل بوصفها مبادلات أيونية . ومن بين هذه المواد الشائعة الذكر هي الطين والزيوليت .

وتكون راتنجات التبادل الأيوني المحضرة ذات أوزان جزيئية عالية ، ومواد بوليمرية تحتوي علي عدد كبير من المجاميع الفعالة الأيونية لكل جزيئة . وللتبادل الكاتيوني يوجد اختياران ، الراتنجات ذات الحامضية القوية التي تحتوي علي مجاميع حامض السلفونيك (RSO_3H) أو راتنجات ذات حامضية ضعيفة تحتوي علي حامض الكربوكسيليك ($RCOOH$) . ولكن الراتنجات الأخيرة لها تطبيقات أوسع وتحتوي راتنجات التبادل الأيوني علي المجاميع الفعالة الأمينية المتصلة مع جزيئة البوليمر . كما أن المبادلات القاعدية القوية هي رباعية الأمينات ($RN(CH_3)OH^-$) أن الأنواع الضعيفة القاعدية تحتوي علي الأمينات الثنائية والثلاثية .

5- كروماتوجرافيا الورق : Paper Chromatography

أن كروماتوجرافيا الورق عبارة عن تحويل بسيط للطريقة الكروماتوجرافيا والتي أصبحت أداة تحليل ثمينة للمحلل الكيميائي ففي هذا التطبيق فإن قطعة من الورق الخشن استعملت بدلاً من العمود المعبأ . توضع قطرة من المحلول تحتوي علي النموذج عند نقطة ما من الورقة ومن ثم يظهر الانتقال نتيجة للسريان بواسطة الطور المتحرك والمسمى بالكاشف (developer) . تتسبب حركة الكاشف بواسطة القوي الشعرية .

6- كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة : Thin - layer Chromatography

تشابه تقنيات كروماتوجرافيا - النحيفة تقريباً كروماتوجرافيا الورق وعلي أية حال فإن الحاجز الفاصل يظهر علي طبقة من مادة ممتصة ذات دقائق صغيرة جداً والمستندة علي صفيحة زجاجية . وتشمل المواد الممتصة للكروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة مثل السليكاجيل ، والألمينا والسلسلوز . تحضر . بحيث تحضر صفيحة الطبقة الرقيقة وذلك بواسطة نشر مستحلب لمادة ممتصة (مسحوقة جيداً) علي سطح صفيحة زجاجية أو علي شريحة ميكروسكوب . وتترك الصفحة حتى ثبوت المادة وللعديد من الأغراض ، قد تنشط الصفيحة وذلك بواسطة تسخينها في فرن لعدة ساعات . وأن الدقائق تبقى بدون أي شك مغطاة بغشاء خفيف من الماء . فإذا وزع النموذج بمذيب عضوي فإن التحلل سوف يكون أكثر احتمالاً حاجز فاصل سائل - سائل ومن جهة أخرى فإذا تم تخفيف غشاء السليكا بالتسخين فإن الحاجز الفاصل سوف يتضمن توازنات الامتصاص السائل الصلب .

وعند الظهور والكشف ينفذ النموذج عند نهاية واحدة من الصفيحة ومن ثم يظهر بواسطة تقنية الصعود التي تم وصفها لكروماتوجرافيا الورق . تجري عملية التطهير في حاوية مغلقة مشبعة ببخار المظهر . ومن ثم تجفف الصفيحة وترش بكاشف لكشف المكونات أو بشكل 1 جم تعرض إلي بخار اليود .

7- كروماتوجرافيا الغاز : Gas Chromatography

تعتمد طريقة كروماتوجرافيا الغاز على توزيع مكونات الخليط بين الطور المتحرك والطور الساكن إذ يكون الطور المتحرك غازاً ناقلاً خاملاً **inert ncarrier gas** أما الطور الساكن فيكون إما مادة امتصاص صلبة **solid adsorbent** .

ويعتمد اختيار الغاز الناقل على طبيعة النموذج ونوعية الكاشف المستعمل .
فمثلاً يكون الهيدروجين والهيليوم بالذات مناسبين للاستعمال عندما يكون الكاشف من نوع كاشف التوصيل الحراري وذلك بسبب القدرة العالية التي يملكها هذان الغازان في التوصيل الحراري إذ يسمح ذلك بحدوث تجاوز سريع من قبل الكاشف .

• الأسئلة •

- 1- تكلم بالتفصيل عن معامل التوزيع .
- 2- صف طريقتين رئيسيتين في الاستخلاص بالمذيب لأيونات الفلز . إعط أمثلة لكل واحدة .
- 3- صف عمليات الاتزان في الاستخلاص بالمذيب .
- 4- اقترح طريقة لفصل الأنيلين $C_6H_5NH_2$ قاعدة عضوية من النيتروبنزين $C_6H_5NO_2$.
- 5- وضح الأسس الرئيسية لعمليات الكروماتوجرافيا جميعها .
- 6- صنف ستة أنواع مختلفة من الكروماتوجرافيا وضح الطور الساكن والمتحرك لكل نوع .
- 7- قارن المزايا الحسنة والسيئة لكروماتوجرافيا الورقة وكروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة .
- 8- وضح أسس كروماتوجرافيا الغاز .
- 9 - أنكر أهم المرسبات اللاعضوية مع إعطاء أمثلة .
- 10- ما هي طرق الاستخلاص ؟ أنكر تطبيقات الاستخلاص المهمة .

تح محمد الش

المصطلحات العلمية

" المصطلحات العلمية "

Absorbed	ممتص
Absorption	امتصاص
Absolute	مطلق
Accuracy	دقة
Accuracy of analysis	الدقة التحليلية
Acidity	حامضية
Acid-base indicator	الدليل الحامضي القاعدي
Acid-base titration	المعايرة الحامضية القاعدية
Acidimetry	طرق المعايرة الحامضية
Acid-storage cell	خلية خزن حامضية
Activity	نشاطية أو فعالية
Activity coefficient	معامل النشاطية
Adsorption indicator	لدليل امتصاصي
Agar	الآجر
Aging of precipitate	إتضاج الراسب بتركه مدة من الزمن
Adsorption	امتزاز
Adsorptivity	إمتزازية
Alkali carths	القلويات الأرضية
Alkali hydroxides	الهيدروكسيدات القلوية
Alkali salts	الأملاح القلوية
Alkali metals	الفلزات القلوية

Alkalimetry	طرق المعايرة القلوية
Alkaline solution	محلول قلوي
Alkalinity	القلوية
Alkaloid	شبه قلوي
Alloy	سبيكة
Alum	شب
Alumina	أوكسيد الألومونيوم (الأومنيا)
Aluminous	شبه الوميني
Amalgam	ملغم (مزيج فلز بالزئبق)
Ammonia	أمونيا (غاز النشادر
Ammonia liquid	سائل الأمونيا
Ammonium chloride	كلوريد الأمونيوم
Ammonium hydroxide	هيدروكسيد الأمونيوم
Ammonium sulphate	كبريتات الأمونيوم
Ammonium sulphide	كبريتيد الأمونيوم
Analyse	يحلل
Analysed sample	نموذج محلل
Analysis	تحليل
Analysis (Chemical)	تحليل كيميائي
Analysis (qualitative)	تحليل نوعي
Analysis (quantitative)	تحليل كمي
Analysis (volumetric)	تحليل حجمي
Analyst	محلل

Analytical	تحليلي
Analytical balance	ميزان تحليلي
Analytical chemistry	كيمياء تحليلية
Analytical method	طريقة تحليلية
Analytical reactions	تفاعلات تحليلية
Analytical separation	الفصل التحليلي
Analytical weights	أوزان تحليلية
Angstrom	جزء من 100 مليون من السنتيمتر
Anhydride	أنهيدريد (بلا ماء)
Anhydrite	لامائي (خال من الماء)
Anion	أنود (مصدر) (قطب موجب)
Anodic oxidation	أكسدة أنودية
Anodic process	عملية أنودية
Anodic reactions	تفاعلات أنودية
Anodic waves	موجات أنودية
Anti - oxidation	ضد التأكسد
Apparent dissoiation	التفكك الظاهري
Apparatus	جهاز ، أجهزة
Approximate	تقريب
Aqua	ماء
Aqua distilled (a.d)	ماء مقطر
Aqua Regia	الماء الملكي
Aqueous	مائي

Aqueous extract	مستخلص مائي
Aqueous solution	محلول مائي
Argentometry	طريقة المعايرة بمحاليل الفضة
Asbestos	اسبستوس
Ashless filter paper	ورقة ترشيح عديم الرماد
Assoriation	تجمع
Atmospheric pressure	الضغط الجوي
Atomic absorption	الامتصاص الذري
atomic spectra	الأطياف الذرية
Atomic mass	كتلة ذرية
Atomic weight	الوزن الذري
Autolysis	إتحلال ذاتي
Automatic titration	المعايرة الذاتية
Auxiliary electrode	قطب إضافي
Balance	ميزان
Band spectrum	طيف شريطي
Back titration	المعايرة العكسية
Basicity	قاعدية
Base strength	قوة القاعدة
Battery	بطارية
Beakers	أقداح
Beckmann thermometer	ترمومتر بكمان
Benzidine	مركب البنزيدين

Bias	إتحيلز
Bicarbonate ion (HCO_3^-)	أيون البيكربونات
Biiodate ion	أيون الباي أيودات (أيودات حامضية)
Bismuthate reagent	الكاشف البيزموثي
Blank test	التحليل الخالي
Blank analysis	التقدير الضابط
Borax	بوراكس
Brine	ماء ملحي
Bunble	فقاعة
Buchner funnel	قمع بخنر
Buffer solution	محلول منظم
Buffer action	فعل المحلول المنظم
Buffer capacity	سعة المحلول المنظم
Burning	إحراق
Burette	سحاحة
C (Centigrade)	درجة الحرارة المنوية
Calcine	يحرق
Calibrate	عابر
Calibrated	معابر
Calibrated burette	سحاحة معايرة
Calibration	معايرة ، تدريج
Calibration curve	منحني المعايرة
Calibration factor	عامل المعايرة

Calibration test	إختبار المعايرة
Calomel electrode	قطب الكالوميل
Cathode	كاتود أو مهبط أو قطب سالب
Cathodic process	عملية كاثودية
Cation	كاتيون (أيون موجب الشحنة)
Caustic soda	الصودا الكالوية
Cell	خلية
Cell battery	بطارية خلايا
Cell Connector	موصل الخلايا
Cell , Daniell	خلية دانيال
Cell , Fuel	خلية وقود
Cell , Potential	جهد الخلية
Cell , storage	خلية خزن
Cell , Voltaic	خلية فولتائية
Centrifuge	جهاز الطرد المركزي
Central atom	نرة مركزية
Ceramies	خزفيات
Chelometric titrate	طريقة المعايرة بتكوين المركبات المخلبية
Chemical analysis	تحليل كيميائي
Chemical deviation	إحراف كيميائي
Chemicals	المواد الكيميائية
Chemical equilibrium	الإتزان الكيميائي
Chemical factor	المعامل الكيميائي

Chemical literature	المراجع الكيميائية
Chemical potential	الجهد الكيميائي
Chemical reduction	الإختزال الكيميائي
Characteristic	مميز ، خاص
Characteristic property	صفة مميزة
Chelate compound	مركب مخلبي
Chelating agent	كاشف مخلبي
Charcoal	فحم نباتي أو حيواني
Charcoal , activated	فحم نباتي منشط
Chlorate	كلورات
Cleaning solution	محلول الغسيل
Coagulation	تخثر
Colloid	غروي
Colour change interval	فاصلة التبدل اللوني
Colorimeter	المقياس اللوني
Colourimetric analysis	التحليل الكيميائي بالطريقة اللونية
Combustion	اشتعال
Common ion	الأيون المشترك
Complementary colour	اللون المتمم
Completeness of precipitation	اكتمال الترسيب
Complex ion	أيون معقد
Complexes	معقدات
Complex formation	تكوين المعقد

Complex materials	المواد المعقدة
Complexometric titration	طرق المعايرة بتكوين المعقدات
Complexing agent	كاشف تعقيد
Components	أجزاء
Composition	تركيب ، تكوين
Concentration	تركيز
Concentrated	مركز
Conical flask	دورق مخروطي
Constant of stability	ثابت الاستقرار
Constant of hydrolysis	ثابت التحلل المائي
Conjugate acid	الحامض المرافق
Conjugate acid – base	الأزواج الحامضية القاعدية المترافقة
Contamination of precipitates	تلوث الرواسب
Conversion	تحويل
Correction	تصحيح
Coprecipitation	الترسيب المشترك
Criteria	معايير
Crucible	خزفة
Crushing of sample	تكسير النموذج
Crystalline precipitate	راسب بلوري
Crystal	بلورة
Current – voltage curve	منحني – الجهد والتيار
Current variations	تغيرات التيار

Curve	منحني
Decantation	السكب من وعاء آخر
Decomposed	ازالة الكربون أو الفحم المترسب
Decomposition	تحلل
Decontaminant	مزيل التلوث
Degree of accuracy	درجة الدقة
Degradation	اتحلال
Degree of dissociation	درجة التفكك
Degree of freedom in data	درجة التغير في المعطيات
Degree of hydrolysis	درجة التحلل المائي
Degree of ionization	درجة التأين
Deformation	تشويه
Dehydration	ازالة الماء
Dehydration agents	عوامل ترعرع الماء
Density	كثافة
Deoxidization	ازالة الاكسدة
Dessicator	جهاز التجفيف
Deviation	انحراف
Deviation , mean	متوسط الانحراف
Deviation , minimum	النهاية الصغرى للانحراف
Deviation , relative	الانحراف النسبي
Deviation , standard	الانحراف القياسي
Dilution	تخفيف

Dilution law	قانون التخفيف
Dilution effect	تأثير التخفيف
Differential titration	المعايرة التفاضلية
Diffusion current	تيار الانتشار
Digestion	هضم
Direct titration	المعايرة المباشرة
Direct weighing	الوزن المباشر
Displacement titration	المعايرة بالإزاحة
Dissociation constant	ثابت التفكك
Dispersion	تشتت
Dry of sample	تخفيف النموذج
Earth alkali metal	الفلزات القلوية الترابية
EDTA	محلول الإديتا
EDTA titration	المعايرة بمحلول الإديتا
Electro gravimetric analysis	التحليل الوزني الكهربائي
Electrolysis	التحلل الكهربائي
Electrolyre	الكترووليت ، المنحل بالكهرباء
Electrolyte concentration effect on Coagulation of colloids	تأثير تركيز الالكتروليت في تخثر الغرويات
Elemental analysis	تحليل العناصر
Extraction	استخلاص
Extactional separation	الفصل بالاستخلاص
Exothermic	طلود الحرارة

End point	نقطة الانتهاء
Emission spectrum	طيف الانبعاث
Emuloifier	مستحلب
Emulsify	حول الي مستحلب
Emulsifying agent	عامل استحلاب
Emulsion	مستحلب
Emulsion , colloidal	مستحلب غروي
Emulsoid	مستحلبات ، شبه مستحلب
Endothermic	ماص للحرارة
Equivalent point	نقطة التكافؤ
Equivalent weight	وزن مكافئ
Error	خطأ
Error in analysis	خطأ في التحليل
Error absolute	خطأ مطلق
Error , approximation	خطأ التقريب
Error limit	حد الخطأ
Error percentage	خطأ منوي
Fajan's indicators	دلائل فاجان
Feasibility of titration	مدي صلاحية المعايرة
Ferric alum	شب الحديد
Filterability	القابلية على الترشيح
Filterate	راشح
Filteration	ترشيح

Filter paper	ورق الترشيح
Filters	مرشحات
Fine grinding	طحن ناعم
Flame	لهب
Flame tests	اختبارات اللهب
Flame photometry	الطريقة الضوئية باللهب
Fluid	مائع
Fluorescein	فلورسين
Fluorescence	فلورة ، بريق
Fluorescent indicator	دليل فلوري
Flow	سريان ، اتسياب
Flux	تدفق
Foam	رغوة
Fractional crystallization	تبلور تجزيني
Fractional distillation	تقطير تجزيني
Fractional precipitation	ترسب تجزيني
Fractionation	تجزيني
Free energy	طاقة حرة
Freezing	تجميد ، تجمد
Fuel cell	خلية الوقود
Fuming nitric acid	حامض النتريك المدخن
Fundamental	أساسي
Fundamental units	وحدات أساسية

Fundamental principles	مبادئ أساسية
Funnel	قمع
Furnace	فرن
Fuse	صهر
Fusibility	قابلية الانصهار
Fusion	انصهار
Gel	جيل
Gelation	تجمد الغروائيات
Glass (pyrex)	زجاج البيركس
Glass electrode	قطب زجاجي
Glass ware	أوعية زجاجية
Gooch crucible	بودقة مثقبة ذات مسامات
Graduated cylinder	أسطوانة مدرجة
Graduated vessel	وعاء مدرج
Graduation error	خطأ التدرج
Gram – equivalent	مكافئ جرامي
Gram – formula weight	وزن صيغة جرامي
Gram – atomic weight	وزن ذري جرامي
Granule	حبيبي
Graphite crucible	بودقة جرافيتية
Graphite electrode	قطب جرافيتي
Gravimetric analysis	تحليل وزني
Gravimetric factor (g.f)	معامل وزني

Grinding	طحن
Ground bottom flask	دورق منبسط القاعدة
Hardness	عسرة
Hard water	ماء عسر
Homogeneous precipitation	ترسيب متجانس
Hot plate	صفحة حارة
Humidity	رطوبة
Hydrate	هيدرات ، تميأ
Hydrolysis	تحلل مائي
Hydrolysis constant	ثابت التحلل
Hydrophile	مادة ماصة للماء
Hydrophilic colloid	غرواتي محب للماء
Hydrophobe	مادة كارهه للماء
Hydroscopic substance	مادة ممتصة الرطوبة
Identification	تشخيص
Ignite	أحرق
Ignition	تحميص
Ignition of precipitate	احراق الرواسب في درجة حرارة عالية جداً
Indicator	دليل
Indicator	دليل ، كاشف
Infra red radiation	اشعاع تحت الحمراء
Insoluble	عديم الذوبان
Instrumental Analysis	التحليل الآلي

Interionic attraction	التجاذب بين الأيونات
Interference	تداخل
Iodimetry	طرق المعايرة اليودية
Ionization	تأين
Ionization constant	ثابت التأين
Ionization potential	الجهد الأيوني
Iron wire	سلك حديد
Leaching	غسل بالاذابة
Limits of detection	حدود الكشف
Limestone	حجر الكلس
Line spectra	الأطياف الخطية
Masking agent	كاشف الحجب
Match colour	توافق لوني
Maximum	نهاية عظمى
Maximum value	القيمة القصوى
Mean	متوسط ، وسط
Mean absolute error	معدل الخطاء المطلق
Mean , arithmetical	الوسط الحسابي
Mean , deviation	متوسط الانحراف
Mean difference	متوسط الفرق
Mean error	متوسط الخطأ
Mean value	القيمة الوسطية
Measure	علير

Measure device	وسيلة قياس
Measure , liquid	مقياس السوائل
Measurement	قياس
Measuring cylinder	اسطوانة مدرجة
Measuring error	خطاء في القياس
Measuring flasks	دوارق قياس
Melt	صهر
Melting	اتصهار
Melting point	نقطة الانصهار
Membrane	غشاء
Metallic indicator	دليل فلز لوني
Metalloid	شبه فلز
Metamorphic	متحول الشكل
Method	طريقة
Methyl Blue	أزرق المثيل (دليل)
Methyl orange	برتقالي المثيل (دليل)
Methyl red	احمر المثيل (دليل)
Methyl yellow	أصفر المثيل (دليل)
Methyl violet	بنفسج المثيلين (دليل)
Microanalysis	التحليل بالعينات الصغيرة جداً
Microbalance	ميزان حساس جداً
Microscopical analysis	التحليل الميكروسكوبي
Mineral	معنى

Mineral analysis	تحليل المعادن
Minor analysis	تحليل المحتويات الثانوية
Mohrs salt	ملح مور
Moisture	رطوبة
Moisture content	محتوي الرطوبة
Molecular weight	الوزن الجزيئي
Molecular volume	الحجم الجزيئي
Molecular dissociation	تفكك جزيئي
Monochromatic light	ضوء أحادي اللون
Monochromatic radiation	اشعاع أحادي الموجة
Mortar	هاون
Muffle furnace	فرن لهب
N (normal)	عيارى (التركيز)
Net weight	الوزن الصافى
Net contents	صافى المحتويات
Neutralization	تعادل
Non – aqueous solution	محلول لامائى
Non – metal	عنصر لا فلزى
Non – volatile	غير متطاير
Normal concentration	تركيز عيارى
Normality	عيارية
Normal error curve	منحنى الخطأ الطبيعى
Odour	رائحة

Odourless	عديم الرائحة
Optimal conditions	ظروف مثلى
Oxidant , Oxidation	مؤكسد
Oxidation number	رقم أو عدد التأكسد
Oxidation potential	جهد التأكسد
Oxidation – reduction indicator	دليل تأكسدي - اختزالي
Oxidation – reduction reaction	تفاعل تأكسدي - اختزالي
Oxidizable	قابل للتأكسد
Oxidize	يؤكسد
Oxidizing agent	عامل مؤكسد
Oxidizing flame	لهب مؤكسد
Percentage Concentration	التركيز المئوي
Personal error	خطأ شخصي
Phenol red	أحمر الفينول (دليل)
Phenolphthalein	الفينولفثالين (دليل)
pH – meter	مقياس الأس الهيدروجيني
Photometer	مقياس التحليل الضوئي
Photometric	المعايرة الفوتومترية
Pipette	ماصة
Platinum crucible	بونقة البلاتين
Potentiometer	مقياس فرق الجهد
Potentiometric titration	المعايرة الجهدية
Precipitation	ترسيب

Precipitant	مرسب
Precipitation from Homogeneous Solution (PFHS)	الترسيب من محلول متجانس
Precision balance	ميزان بالغ
Primary standard	معيار أولي
Proportional error	الخطأ التناسبي
Pyrolysis	تحلل حراري
Polarography	البولاروجرافيا
Poroelain Crucible	بودقة خزفية
Porcelain wares	أدوات خزفية
Post precipitation	ترسيب لاحق
Quality	نوعية
Qualitative Analysis	التحليل النوعي
Qualitative test	اختبار نوعي
Quantitative	كمي ، مقداري
Quantitative analysis	التحليل الكمي
Quarz ceucible	بودقة كوارتزية
Quinolin yellow	اصفر الكونيولين (دليل)
Raclioanalytical chemistry	الكيمياء التحليلية الاشعاعية
Radiometric titration	المعايرة بالطريقة الاشعاعية
Range	مدي
Rare	نادر
Rare earth metals	الفلزات الترابية النادرة

Rare earth minerals	معادن الفلزات الترابية النادرة
Rate earth oxide	أكسيد الفلزات الترابية النادرة
Rate	معدل
Rate of oxidation	معدل أو سرعة التأكسد
Rate of reaction	معدل سرعة التفاعل
Reactants	المواد الداخلة في التفاعل
Reaction	تفاعل
Reaction mechanism	آلية التفاعل
Reagent	كاشف - مفاعل
Recrystallization	إعادة التبلور
Reduce	يختزل
Reduced	مختزل
Reducing agent	عامل إختزال
Reducing flame	لهب مختزل
Reflux condenser	مكثف عاكس
Refining	تكرير
Refining process	عملية التكرير
Rejection of results	اهمال النتائج
Remains	بقايا
Removal of contaminants	ازالة الملوثات
Repeatability	تكرارية
Report	تقرير ، بيان
Residue	راسب

Residua	متخلفات
Residual ash	الرماد المتبقي
Residual errors	أخطاء متبقية ولا يمكن تلافيها
Resonance	رنين
Resorb	الممتص ثلثية
Round bottom flask	دورق كروي القاعدة
Rubber tube	أنبوب مطاطي
Safety	أمن ، سلامة
Salt	ملح
Salting out	فصل بالتلميح
Sample	عينة
Sand	رمل
Sand bath	حمام رملي
Saturate	شبع
Saturation	اشباع ، تشبع
Saturated solution	محلول مشبع
Scale	مقياس
Scale error	خطأ القياس
Schematic	تخطيطي
Sealed tube	أنبوب مغلق
Selective	انتقائي
Selective reaction	تفاعل انتقائي
Selectivity	انتقائية

Seed crystal	بلورة بدء التبلور
Semi micro – qualitative analysis	تحليل نوعي شبه دقيق
Sensitive	حساس
Sensitive balance	ميزان حساس
Sensitive reaction	تفاعل حساس
Sensitivity	حساسية
Separation	فصل
Separating funnel	قمع فصل
Silver reduction	الاختزال بالفضة
Single pan balance	ميزان احادي الكفة
Single beam photometer	فوتومتر احادي الحزمة
Soda ash	رماد الصودا
Soda , Caustic	الصودا الكاوية
Soda lime	جير الصودا
Solid solution	محلول صلب
Solubility	ذوبانية
Solubility curve	منحنى الذوبانية
Soluble	قابل للذوبان
Solute	المذاب
Solution	محلول
Solution aqueous	محلول مائي
Solution Colloidal	محلول غرواني
Solvate	تذائب

Solvent	منيب
Solvent extraction	الاستخلاص بالمذيبات
Sorption	امتصاص
Specific gravity	الوزن النوعي
Spectrum	طيف
Spectrum absorption	طيف الامتصاص
Spectrum analysis	التحليل الطيفي
Spectrum analyzer	محلل طيفي
Spectrum , (emission)	طيف الانبعاث
Spectrometer	مقياس الطيف
Spectrophotometer	فوتومتر طيفي
Stable stability	مستقر
Standard solution	ثبات
Standardization	محلول
Standard deviation	معايرة
Standard samples	الانحراف القياسي
Starch	نماذج قياسية النشا (دليل)
Steam bath	حمام بخاري
Standard temperature and pressure (S . T . P)	درجة الحرارة والضغط القياسيين
Stirring	تقليب
Substitution	استبدال
Summation of analytical results	مجموع النتائج التحليلية

Supernatant liquid	السائل الرائق فوق الراسب
Supersaturated solution	محلول فوق المشبع
Surface tension	الشد السطحي
Suspension	معلق
Suspensoid	شبه معلق
Symmetry	تماثل
Synthetic resin	الراتجات الاصطناعية
Talc	سليكات الماغنسيوم (التلك)
Temporary Hardness	العسرة المؤقتة
Test	فحص ، اختبار
Testing of weights	فحص الأوزان
Thermal methods of analysis	طرق التحليل الحرارية
Thermometer	مقياس درجة الحرارة
Thermometric	طرق المعايرة الحرارية
Thymol blue	التمويل الأزرق (دليل)
Titer = Titre	عيار حجمي
Titration	معايرة
Titration Curve	منحني المعايرة
Titrimetric analysis	التحليل الكمي العياري
Titrimetry	طريقة التحليل الكمي بالمعايرة
Total acidity	الحموضة الكلية
Trace element	عناصر نادرة
Transition metal	فلز انتقالي

True solution	محلول حقيقي
Turbidity	نقل
Turbidity	تعكر
Turbidimetric analysis	طريقة التحليل بقياس التعكر في محلول مطلق
Ultramicro analysis	تحليل المقادير فائق الصغر
Ultra – violet absorption spectrometry	طريقة قياس طيف الامتصاص الأشعة فوق البنفسجية
Ultra – violet spectrum	طيف الأشعة فوق البنفسجية
Unsaturated	غير مشبع
Unstable compound	مركب غير مستقر
Vacuum distillation	التقطير الفراغي
Vapour pressure	ضغط البخار
Variance	تباين
Vaseline	الفازلين
Ventilation	تهوية ؛ تجديد الهواء
Viscosity	لزوجة
Visible radiations	اشعاعات مرئية
Visible spectrum	طيف مرئي
Volatilization	تطاير
Voltmeter	مقياس الفولتية
Volumetric	حجمي
Volumetric analysis	التحليل الحجمي
Volumetric flask	لورق حجمي

Volumetry	طريقة التحليل الحجمي
Washing bottle	قنينة الغسيل
Washing of precipitate	غسل الراسب
Water bath	حمام مائي
Water content	المحتوي المائي
Water hardness	عسرة الماء
Water of crystallization	ماء التبلور
Water of hydration	ماء التنيف
Water – soluble	ذائب في الماء
Wave length	الطول الموجي
Weak acid	حامض ضعيف
Weak base	قاعدة ضعيفة
Weighing bottle	قنينة الوزن
Weights	أوزان
Wool , glass	صوف الزجاج
X – ray	الأشعة السينية
X – ray spectrometer	مقياس طيف الأشعة السينية
Yield	النتج
Zeolite	مركب من سليكات الألومنيوم المميا مع الصوديوم أو الكالسيوم
Zeolite process	طريقة الزيوليت لإزالة عسرة الماء

الملاحق

" الملاحق "

جدول (1) خواص بعض الأحماض والقواعد

العيارية التقريبية	الكثافة	النسبة المنوية	الوزن المكلف	الصيغة	المادة
17.5	1.05	99.5	60.05	CH ₃ COOH	حامض الخليك
11.0	1.18	35.0	36.50	HCl	حامض الهيدروكلوريك
26.5	1.15	46	20.01	HF	حامض الهيدروفلوريك
16.0	1.42	71-70	63.03	HNO ₃	حامض النيتريك
-	-	-	630.3	(COOH) ₂ ·2H ₂ O	حامض الأوكزاليك
11.6	1.66	70	110.47	HClO ₄	حامض البركلوريك
36	1.84	96	49.04	H ₂ SO ₄	حامض الكبريتيك
44	1.69	85	32.67	H ₃ PO ₄	حامض الفوسفوريك
14.3	0.88	27	17.03	NH ₃	أمونيا
-	-	-	56.10	KOH	هيدروكسيد البوتاسيوم
-	-	-	40.06	NaOH	هيدروكسيد الصوديوم

جدول (2) بعض المواد القياسية الأولية
للأحماض والقواعد

نوع الدليل	الصفة	الوزن المكافئ	الصفة	مادة قياسية أولية
فينولفتالين	حامض ضعيف	204.22	$C_6H_4(COOH)(COOK)$	فتالات البوتاسيوم الحمضية
فينولفتالين	حامض قوي	97.1	NH_2SO_4H	حامض الكبريتيك
فينولفتالين	حامض قوي	389.93	$KH (IO_3)_2$	أيونات البوتاسيوم الحمضية
فينولفتالين	حامض ضعيف	122.12	C_6H_5COOH	حامض البنزويك
فينولفتالين	حامض ضعيف	112.08	C_6H_5OCOOH	أرثوكلور حمض البنزويك
فينولفتالين	حامض ضعيف	156.57	$C_6H_4Cl(COOH)$	حامض الفورميك
المنيل الأحمر	قاعدة ضعيفة	190.72	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	البوراكس
المنيل البرتقالي	قاعدة	53.00	Na_2CO_3	كربونات الصوديوم
بروموفينول الأزرق	قاعدة ضعيفة	100.12	$KHCO_3$	كربونات البوتاسيوم الحمضية

جدول (3) عدد من المواد القياسية
الأولية الفضية

الوزن المكافئ	الصيغة	مادة قياسية أولية
58.45	NaCl	كلوريد الصوديوم
74.56	NaCl	كلوريد البوتاسيوم
169.89	AgNO ₃	نترات الفضة
107.88	Ag	الفضة
322.61	Hg (NO ₃) ₂	نترات الزئبق
49.04	K ₂ Cr ₂ O ₇	دايكرومات البوتاسيوم
27.84	KBrO ₃	كرومات البوتاسيوم
53.50 · 3567	KIO ₃	أيودات البوتاسيوم
32.50	KH (IO ₃) ₂	يوريد البوتاسيوم الحامض
67.01	Na ₂ C ₂ O ₄	لوكرات الصوديوم

جدول (4) جهود الاختزال القياسية لبعض المواد عند 25°

وتركيز M 1 و ضغط جوي واحد

حالة التأكسد	نصف التفاعل	E° (Volt)
$S_2O_8^{2-} SO_4^{2-}$	$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}$	2.01
$H_2O_2 H_2O$	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	1.78
$MnO_4^- Mn^{+2}$	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{+2} + 4H_2O$	1.51
$Cl_2 Cl^-$	$Cl_2(g) + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	1.36
$Cr_2O_7^{2-} Cr^{+3}$	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{+3} + 7H_2O$	1.33
$MnO_2 Mn^{+2}$	$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Mn^{+2} + 2H_2O$	1.23
$O_2 H_2O$	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	1.23
$Ag^+ Ag$	$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$	0.80
$Hg_2^{+2} Hg$	$Hg_2^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons 2Hg$	0.79
$Fe^{+3} Fe^{+2}$	$Fe^{+3} + e^- \rightleftharpoons Fe^{+2}$	0.77
$I_2 I^-$	$I_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2I^-$	0.54
$Cu^{+2} Cu$	$Cu^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$	0.34
$H^+ H_2$	$2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$	0.00
$Sn^{+2} Sn$	$Sn^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Sn$	-0.14
$Fe^{+2} Fe$	$Fe^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Fe$	-0.44
$Cr^{+3} Cr$	$Cr^{+3} + 3e^- \rightleftharpoons Cr$	-0.74
$Zn^{+2} Zn$	$Zn^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Zn$	-0.76
$Al^{+3} Al$	$Al^{+3} + 3e^- \rightleftharpoons Al$	-1.66
$Mg^{+2} Mg$	$Mg^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Mg$	-2.37
$Na^+ Na$	$Na^+ + e^- \rightleftharpoons Na$	-2.71
$Ca^{+2} Ca$	$Ca^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Ca$	-2.87
$Li^+ Li$	$Li^+ + e^- \rightleftharpoons Li$	-3.05

المراجع

" المراجع "

- 1- " أسس التحليل الحجمي " د . عيسى مصطفى عيسى وآخرون . مكتبة القاهرة الحديثة - القاهرة - مصر 1968 .
- 2- " الكيمياء التحليلية " د . عبد الخالق السباعي ، د . جمال الدين طنطاوي ، د . نبيلة بكري ، د . عبد السلام محمد مرعي . دار المطبوعات الجديدة - القاهرة مصر 1974 .
- 3- " الكيمياء التحليلية الكمية " د . مجيد محمد علي القيسي ، د . جواد سلمان البدري . د . عالية حسن يسار . د . كنعان جميل ، د . سامي طوبيا جامعة بغداد 1978 .
- 4- " الأساسيات النظرية للكيمياء التحليلية اللاعضوية - التحليل الحجمي والوزني " د . هادي عوض . د . جواد سلمان البدري . د . صالح سعيد ، د . عبد الكريم الشلال . جامعة بغداد . 1982
- 5- " الكيمياء التحليلية " أ . كريشكوف ، أ . يارسالافتسيف . دارمير للطباعة والنشر - روسيا . 1982 (الجزء الأول)
- 6- " الكيمياء التحليلية " أ . كريشكوف ، أ . يارسالافتسيف . دارمير للطباعة والنشر - روسيا . 1982 (الجزء الثاني)
- 7- " أسس الكيمياء التحليلية " د . مؤيد قاسم العباجي ، د . ثابت سعيد الغبشة . جامعة الموصل . كلية التربية _ الموصل 1983
- 8- " الكيمياء التحليلية " د . دونالد ، د . بيتر زيك ، زكلايد . د . فرانك منشورات مجمع اللغة العربية الأردني 1984

- 9- " التحليل الوصفي والحجمي " د . ثابت سعيد الغبشة ، د . مؤيد قاسم
العباي . جامعة الموصل - 1985
- 10- " مقدمة في الكيمياء التحليلية والفيزيائية " د . مهدي ناجي الزكدم -
جامعة البصرة 1986
- 11- " التحليل الكيميائي في الصناعة " ف . بوسيبكاكو . ن . فاسينا . دار
مير للطباعة والنشر _ روسيا . 1987
- 12- " التحليل النوعي غير العضوي " د . صلاح الدين مصطفى سلطان ، د .
محمد بن عبد العزيز الحجامي - جامعة الملك سعود
1987
- 13- الكيمياء التحليلية - التحليل الحجمي والوزني " د . إبراهيم زامل الزامل
وآخرون جامعة الملك سعود . الرياض 1988
- 14- " الكيمياء التحليلية " د . محمود أبو دان . جامعة حلب 1989
- 15- " مبادئ الكيمياء التحليلية " د . محمد عيد سمرة ، د . خليل محمود طويل
. جامعة عمر المختار 1992 .
- 16- " الكيمياء التحليلية - التحليل الآلي " د . إبراهيم زامل الزامل . دار
الخريجي للنشر والتوزيع - الرياض 1996
- 17- " الكيمياء التحليلية " د . محمد علي خليفة الصالح . جامعة الملك سعود
الرياض 1997 .
- 18- " الكيمياء التحليلية الحجمية " د . يحيى محمد الشعبي ، د . عبد الله
عوض بالميسي ، د . محمد عبد القادر خطاب . جامعة
صنعاء 1997
- 19 - " الكيمياء التحليلية " د . عبد الحكيم طه قنديل . دار الفكر العربي ز
القاهرة 2002

- 20 - "أسس الكيمياء الفيزيائية" أ. د. محمد مجدي واصل . دار الفجر للنشر والتوزيع - القاهرة - 2003 .
- 21 - "التحليل الآلي في الكيمياء التحليلية" د. مؤيد قاسم السعياجي . د. محمد صالح . عبد القادر الحافظ . الدار العلمية الدولية للنشر والتوزيع ودار الثقافة للنشر والتوزيع . عمان 2002 .
- 22 - "مبادئ الكيمياء العامة" أ. د. محمد مجدي واصل . دار الفجر للنشر والتوزيع - القاهرة - 2003 .