



## الفصل الأول

### مقدمة عامة General Introduction

#### المقدمة

الكيمياء التحليلية فرع هام من فروع الكيمياء هدفه الأساسي تحليل المواد الكيميائية غير العضوية والعضوية تحليلاً كيميائياً. والتحليل الكيميائي عملية يتم بواسطتها تحديد المادة كميّاً وكيفياً، ويشتمل هذا التعريف التحليل الكيفي والكمي للمركبات الكيميائية المختلفة وكذلك العناصر. كما يتضمن تحديد شكل المركب وصيغته الكيميائية حيث يمكن التعرف على المركبات حديثة التحضير، كما يمكن بواسطته التعرف على مكونات المادة المجهولة والتي ربما تتكون من عدة عناصر على هيئة أيونات موجبة Cations أو أيونات سالبة Anions .

#### فوائد الكيمياء التحليلية:

من أهم فوائد الكيمياء التحليلية ما يلي:

- ١- التعرف على المواد الكيميائية العضوية وغير العضوية، وكذلك العناصر المختلفة.
- ٢- تحديد شكل المركب وصيغته الكيميائية.
- ٣- إيجاد الصفات الطبيعية لتحديد صلاحية المواد.
- ٤- إيجاد الأوزان الجزيئية للمركبات الكيميائية.
- ٥- خدمة الصناعة والزراعة والطب وغيرها وذلك بالاستفادة من المحللين الكيميائيين.

## فروع الكيمياء التحليلية:

هناك فرعان أساسيان للكيمياء التحليلية وهما:

### ١ - التحليل الكيفي Qualitative Analysis

يهدف هذا التحليل إلى معرفة مكونات العينة، والكشف عن العناصر الموجودة فيها، وهذا يتضمن الكشف المبدئي على العينة والاستفادة من خواصها الفيزيائية أولاً ثم إتباع طرق كيميائية مختلفة للتعرف عليها، وتأكيد ذلك بتجارب إضافية تسمى التجارب التأكيدية، وقد يكون الكشف عن عنصر معين فيسمى تحليل عنصري Elemental Analysis حيث يتم التعرف على العناصر مثل الصوديوم والنحاس والرصاص وغيرها، أو يُستغل في التحليل العضوي للتعرف على العناصر الرئيسية الموجودة في المركبات العضوية مثل الكربون والهيدروجين والهاليدات والكبريت والنيتروجين وغيرها. ويجب التنويه إلى أن هناك طرقاً مختلفة للكشف عن الأيونات السالبة حيث قُسمت إلى مجاميع مختلفة لتسهيل عملية الكشف. كما أن المواد العضوية لها طرق كيميائية للتعرف عليها وعلى مجاميعها الفعالة.

### ٢ - التحليل الكمي Quantitative Analysis :

ويهدف التحليل الكمي إلى معرفة كمية المواد الموجودة، وليس هناك داع للكشف عليها وإنما السؤال هنا: كم من المكون موجود بالعينة؟ أي: كم تركيز المادة؟ وما نسبتها في العينة المجهولة؟. وللإجابة على هذا السؤال يجب إتباع عدة طرق لمعرفة ذلك. ومن هذه الطرق التحليل الكمي الكيميائي وهو التحليل المعتمد على التفاعل الكيميائي، فإذا كان لدينا التفاعل التالي:



حيث أن A المادة المتفاعلة المعلومة والتي تسمى بالكاشف Reagent و B تمثل المادة المجهولة والمطلوب معرفتها. أما C فهي الناتج المتكون Product من تفاعل المادتين A و B . فإذا كان دالة التحليل هو الوزن أي معرفة المجهول بحساب وزن المادة الناتجة C فإن هذا التحليل يسمى التحليل الوزني Gravimetric Analysis . أما إذا كانت المادة B تحدد من قبل ما استهلك حجمياً من الكاشف A عند نقطة نهاية التفاعل فإن ذلك يسمى بالتحليل الحجمي Volumetric Analysis . وهاتان الطريقتان هما أساس التحليل الكيميائي، ولا يستخدم فيهما أجهزة معقدة بل تعتمدان على الميزان لذا فإن مهارة المحلل ودقته مطلوبتان للحصول على نتائج بشكل دقيق.

أما الآن وفي هذا العصر فإن الإنسان أخذ في الاعتماد على طرق التحليل الآلي Instrumental Analysis . وهذه الطرق تعتمد على الصفات الفيزيائية للمادة، وهي تعتمد كذلك على الآلة والأجهزة المعقدة التي تقيس الخواص الطبيعية بدرجة عالية من الدقة ولا يشترط هنا أن يكون التفاعل الكيميائي تاماً Complete لأن الطرق الآلية تقيس الطاقة بدلاً من الكتلة لذا فإنها تستخدم في التحليل الدقيق Microanalysis .

### خطوات التحليل الكمي:

#### ١ - طريقة أخذ العينة الممثلة:

العينة المطلوبة هنا هي العينة المعبرة التي تمثل تمام التمثيل نفس مكونات الكمية الكلية. والحصول على هذه العينة من المواد المتجانسة كالماء والنفط والهواء أمر ميسور ولكن تزداد صعوبة أخذ العينة الممثلة كلما قل تجانس المواد مثل الحديد والمعادن والتربة وغيرها ففي هذه الحالة يتم أخذ عدة عينات من أماكن مختلفة وتخلط جيداً وتقسّم بالطريقة الهرمية حيث تخلط العينات مع بعضها ثم تصب على شكل هرم مخروطي وتقسّم إلى أربعة أقسام ويؤخذ القسمان المتقابلان (وليس المتجاوران)

ويخلطان ويصبان على شكل هرم مخروطي وتكرر العملية حتى الحصول على عينة صغيرة مناسبة للتحليل. وهناك أدوات خاصة تساعد على أخذ عينات من حاويات كبيرة محملة بالقمح أو الدقيق أو الإسمنت أو غيرها من المواد بحيث تأخذ كميات صغيرة من مستويات مختلفة من الحاوية.

## ٢- تجفيف ووزن العينة:

بعد الحصول على العينة الصغيرة المعبرة وقبل عملية التحليل يجب تجفيف هذه العينة لمدة ساعة على الأقل في فرن درجة حرارته من ١٠٠ إلى ١١٠°م (عدا المواد التي تتحطم تحت هذه الحرارة مثل الغازات والسوائل) وذلك للتخلص من أكبر جزء ممكن من الماء الموجود بالعينة، وذلك لأن الماء عامل غير ثابت ويصعب التحكم به ويعتمد على رطوبة الجو المحيط، ثم بعد ذلك توزن العينة بدقة.

## ٣- إذابة العينة:

وبعد عملية تجفيف ووزن العينة يتم إذابتها في المذيب المناسب حسب التسلسل التالي:

- الماء: يعتبر الماء مذيب جيد لكثير من المركبات غير العضوية وربما يضاف إلى الماء كمية بسيطة من الحامض لمنع التمييه ولمنع الترسيب الجزئي لبعض الأيونات الفلزية.

- الأحماض المعدنية: تذيب الأحماض المخففة والمركزة مثل حمض النيتريك  $\text{HNO}_3$  أو الهيدروكلوريك  $\text{HCl}$  أكثر المعادن والسبائك المعدنية وربما يلزم أحياناً لإذابة بعض العينات الماء الملكي والذي هو مزيج من حمض الهيدروكلوريك المركز والنيتريك المركز بنسبة حجميه ٣ : ١ كما يستعمل حمض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$  وأحياناً حمض الفوسفوريك  $\text{H}_3\text{PO}_4$  وحمض البيركلوريك  $\text{HClO}_4$  لإذابة بعض العينات.

- الصهر: تصهر العينات التي لا يمكن إذابتها في الأحماض السابقة عند درجات حرارة عالية مع مواد حامضية مثل بيروكبريتات البوتاسيوم  $K_2S_2O_7$  ، أو مواد قاعدية مثل كربونات الصوديوم  $Na_2CO_3$  ، أو مواد مؤكسدة مثل فوق أكسيد الصوديوم  $Na_2O_2$  وبعد التبريد تذاب نواتج الصهر بالماء المقطر أو بحامض مخفف.

#### ٤ - فصل المكونات المتداخلة:

تعتبر عملية فصل المكونات المتداخلة في التحليل خطوة غاية في الأهمية حيث أن كثيراً من طرق التحليل ليست نوعية Specific ولكنها مختارة Selective بمعنى أنها تستعمل في تعيين عدد من المكونات في وقت واحد ولا بد من عملية فصل كل مكون على حدة عند الرغبة في تعيين كل منهما.

#### ٥ - القياس النهائي:

في هذه الخطوة تقاس كمية المادة المراد تعيينها أو كمية مادة مكافئة لها أو صفة فيزيائية ترتبط معها بعلاقة كمية. ويتم اختيار الطريقة المناسبة للتحليل بالاعتماد على مقدرة المحلل على اتخاذ القرار مستتيراً بخبرته وخلفيته التحليلية، وهذا لا يمنع من القول أن هناك اعتبارات عدة تعين المحلل على اختياره الناجح ومن أهمها:

السرعة - الدقة والمصدقية - سهولة تطبيق الطريقة وتوفير الأجهزة والمواد - عدد التحاليل المطلوبة فإذا كان عدد العينات المطلوب تحليلها كبير فإننا نضطر إلى استخدام الطرق السهلة التحويل إلى طرق ذاتية Automatic methods .

## ٦- حساب النتائج:

تعطي القياسات المشار إليها في الخطوة السابقة المعلومات الضرورية لحساب النتائج التي يمكن أن يعبر عنها بالنسبة المئوية الوزنية أو بأي صورة من الصور الأخرى التي تعبر عن التركيز وسنتعرض لها فيما بعد.

## ٧- معالجة النتائج التحليلية : Treatment of Analytical Data

ليست مهمة المحلل الكيميائي مقصورة فقط على إجراء التجارب بدقة عدداً من المرات بل عليه أن يحلل النتائج التي حصل عليها لتصبح ذات معنى ولتحقيق ذلك عليه إتباع ما يلي:

- ١- أن يسجل نتائج كل تحليل بصورة مناسبة ويحسبها بطريقة صحيحة.
- ٢- أن يكرر التجربة ثلاث مرات ويحسب متوسط القراءات مع استبعاد النتيجة الشاذة.
- ٣- على المحلل أن يقيم النتائج التي حصل عليها وأن يعين حدود الأخطاء التي يضمنها النتائج النهائية ومما يساعد على ذلك إجراء بعض الحسابات البسيطة.

## الدقة والمصادقية Precision and Accuracy:

**الدقة Precision** تعرف بأنها مدى توافق النتائج التي نحصل عليها من تجربة واحدة أعيدت أكثر من مرة مع بعضها البعض.

**المصادقية Accuracy** تعرف بأنها قرب كل نتيجة من النتائج التي تم الحصول عليها من القيمة الصحيحة للمكون في العينة.

والعامل المشترك المؤثر على الدقة والمصادقية هو مقدار الخطأ المقترف أثناء إجراء التجربة. وينقسم الخطأ إلى نوعين:

**الخطأ المنتظم Determinate or Systematic Error :** وهذا النوع من الأخطاء ينتج بسبب عجز في الطريقة المتبعة أو خلل في الجهاز المستخدم أو في المحلل نفسه، ويؤثر بشكل مباشر على مصداقية التجربة، ولكنه لا يؤثر على الدقة إذا كان ثابتاً. والأخطاء المنتظمة عادة تكون كبيرة وذات اتجاه واحد سلبي أو إيجابي ويمكن التعرف على مسبباتها وبالتالي تلافيها.

**الخطأ العشوائي Random Error :** ومصدر هذا النوع من الأخطاء مجهول، لذا لا يمكن التحكم بها، ولكنها لحسن الحظ ذات قيم صغيرة وتمتاز بالعشوائية (أي أنها قد تكون سالبة مرة وموجبة مرة أخرى)، لذا يمكن تقديرها بإتباع طرق الإحصاء كما يلي:

#### طرق التعبير عن الدقة والمصداقية:

أي التعبير عن الأخطاء العشوائية ويجري التعبير عن الدقة كالتالي:

**أ- المدى Range :** وهو مقدار الفرق بين أكبر قراءة وأصغر قراءة من مجموع القراءات المتحصل عليها أثناء إعادة التجربة لعدة مرات، وبطبيعة الحال كلما كان المدى صغيراً كلما دل على دقة التجربة والمحلل.

**ب- الحدود القياسي لمجموعة صغيرة من القراءات Sample Standard Deviation :** وهو مصطلح إحصائي جرى تطويره بحيث يمكن أن يطبق على مجموعة محدودة من القراءات ويرمز له بالرمز  $s$  ويحسب من القانون التالي:

$$s = \pm \sqrt{\sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{n-1} \right)^2}$$

حيث أن  $\bar{x}$  = المعدل ويساوي حاصل جمع القراءات مقسوماً على عددها.

$X_i$  = القراءة.  $N$  = عدد القراءات.

ويأخذ الحيود القياسي إشارة  $\pm$  ويحمل وحدة القراءات المستخدمة في حسابه، وكلما صغرت قيمته دل على دقة جيدة. ولكي يسهل استنتاج نسبة التفاوت الحاصلة حول المعدل الحسابي فإنه يلجأ إلى استخدام

ما يعرف بالحيود القياسي النسبي (r.s.d.) Relative Standard Deviation

$$\text{r.s.d.} = s/\bar{x} \times 100$$

وللتعبير عن المصادقية يجب الحصول على القيمة الصحيحة التي عادة ما تكون مجهولة، ولذلك يلجأ إلى مقارنة النتيجة المتحصل عليها باستخدام الطرق المعروفة جيداً (الطرق القياسية)، حيث يستخدم الخطأ المطلق والخطأ النسبي للتعبير عن مصادقية القراءة أو المعدل.

#### الخطأ المطلق:

$$E_{xi} = x_i - \mu$$

$$E_{x-} = \bar{x} - \mu$$

حيث  $E_{xi}$  الخطأ المطلق للقراءة و  $E_{x-}$  الخطأ المطلق للمعدل و  $\mu$  القيمة الصحيحة.

#### بينما الخطأ النسبي للقراءة:

$$\%E_{xi} = ((x_i - \mu) / \mu) \times 100$$

#### وكذلك الخطأ النسبي للمعدل:

$$\%E_{x-} = ((\bar{x} - \mu) / \mu) \times 100$$

ويلاحظ الإبقاء على إشارة الناتج دلالة على كون الخطأ سلبياً أو إيجابياً.



### مثال (١-١):

بمعايرتك لمحلول قياسي ثانوي من حمض الهيدروكلوريك تركيزه  $0.1 \text{ N}$  بواسطة كربونات الصوديوم حصلت على النتائج الآتية بوحدة العيارية:  $0.110, 0.080, 0.095, 0.100, 0.090$  عبر عن دقة معايرتك باستخدام الحيود القياسي ثم أحسبي الخطأ النسبي لمعدل المعايرة؟

### الحل:

المعدل  $\bar{x} = (0.110, 0.080, 0.095, 0.100, 0.090) / 5 = 0.095$  عياري.

الحيود القياسي  $s =$

$$= \sqrt{(0.095-0.095)^2 + (0.100-0.095)^2 + (0.090-0.095)^2 + (0.080-0.095)^2 + (0.110-0.095)^2} / (5-1)$$

$$= \pm 0.011 \text{ N}$$

$$\% \text{ الخطأ النسبي لمعدل المعايرة } E_x = 100 \times (0.1-0.095)/0.095 = 5.3 \%$$

### مثال (٢-١):

جسم وزنه يساوي  $0.1000 \text{ g}$  وكان وزنه على الميزان  $0.1001 \text{ g}$  أوجدني النسبة المئوية للخطأ؟

### الحل:

$$\%e_{xi} = ((x_i - \mu) / \mu) \times 100$$

$$= (0.1001 - 0.1000) / 0.1000 \times 100 = 0.10 \%$$

**التركيز:**

يعرف بأنه النسبة بين كمية المذاب Solute إلى كمية المذيب Solvent أو المحلول Solution ويمكن التعبير عن التركيز بطريقتين حسب الوحدات المستخدمة لوزن المذاب.

**١ - الطريقة الطبيعية Physical Method :**

وهنا نستخدم وحدات الوزن كالجرام g ومشتقاته المليجرام  $mg = 10^{-3}g$  ، الميكروجرام  $\mu g = 10^{-6}g$  والنانوجرام  $ng = 10^{-9}g$  لوزن المذاب، بينما تكون وحدة حجم المحلول باللتر l أو مشتقاته الملييلتر  $ml = 10^{-3}l$  ، الميكروليتر  $\mu l = 10^{-6}l$  والنانولتر  $nl = 10^{-9}l$  ، ويمكن تمييز الأشكال التالية من طرق التعبير عن التركيز:

**أ - جم/لتر :**

ويعبر عن عدد الجرامات المذابة من المذاب في لتر من المحلول ومنه تعبير الجزء من الألف ppt والجزء من المليون ppm والجزء من البليون ppb :

**جزء من ألف (ppt) Parts per thousand** = وزن المذاب بالجم / حجم المحلول باللتر

= وزن المذاب بالملجم / حجم المحلول بالملييلتر

**جزء من مليون (ppm) Parts per million** = وزن المذاب بالملجم / حجم المحلول باللتر

= وزن المذاب بالميكروجم / حجم المحلول بالملييلتر

**جزء من بليون (ppb) Parts per billion** = وزن المذاب بالميكروجم / حجم المحلول باللتر

= وزن المذاب بالنانوجم / حجم المحلول بالملييلتر

## ب- النسب المئوية:

وتنقسم إلى ثلاثة أنواع:

**النسبة المئوية الوزنية:** وتعرف بأنها عدد الجرامات المذابة من المذاب في 100 g من المحلول. وعادة تستخدم في التعبير عن تراكيز المحاليل المائية التجارية فمثلاً زجاجة حمض الهيدروكلوريك تحوي محلولاً للحمض تركيزه 36% بمعنى أن كل 100 g من المحلول فيها 36 g من كلوريد الهيدروجين الذائب.

$$\text{وزن المذاب بالجـم} / \text{وزن المحلول بالجـم} \times 100 = \% \text{ w/w}$$

**النسبة المئوية الحجمية:** وهي عدد المليلترات من المذاب الموجودة في 100 ml من المحلول. وتستخدم للتعبير عن تركيز السوائل في السوائل مثلاً محلول الإيثانول في الماء بتركيز 60% بمعنى أن كل 60 ml من الإيثانول تم تخفيفها بـ 100 ml من الماء.

$$\text{حجم المذاب بالمليلتر} / \text{حجم المحلول بالمليلتر} \times 100 = \% \text{ v/v}$$

**النسبة المئوية الوزنية الحجمية:** وتعرف بعدد الجرامات من المذاب في 100 ml من المحلول وتستخدم للتعبير عن محاليل المواد الصلبة في الماء. فمثلاً محلول 2 % من نيتريت الصوديوم يعني أن كل 100 ml من المحلول تحتوي على 2 g من الملح.

$$\text{وزن المذاب بالجـم} / \text{حجم المحلول بالمليلتر} \times 100 = \% \text{ w/v}$$

## ٢- الطريقة الكيميائية Chemical Methods :

وهنا يعبر عن كمية المذاب بوحدات التعبير الكيميائية وهي:

**المول mole :** وهو عبارة عن الوزن الجزيئي للمادة أو الوزن الذري بالنسبة للذرات أو الأيونات (الوزن الذري الجرامي للذرات والوزن الأيوني للأيونات) ويحتوي المول الواحد على عدد أفوجادرو من الجزيئات  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء أو ذرة أو أيون ويأخذ وحدات الوزن الجرامية وكميته المطلقة تختلف باختلاف التركيب الذري للجزيء.

عدد المولات = وزن المركب بالجرام / الوزن الجزيئي للمركب

عدد المليمولات = وزن المركب بالمليجرام / الوزن الجزيئي للمركب

**الوزن المكافئ Equivalent Weight :** وهو عبارة عن الوزن المكافئ الجرامي كما تمليه معادلة تفاعل الكيميائي كما سيتضح فيما بعد.

وحسب هذه الوحدات يمكن تمييز الطرق التالية للتعبير عن التركيز:

## ١- الشكلية Formality :

هي عدد الأوزان الشكلية الجرامية من المادة المذابة في واحد لتر من المحلول ويرمز لها بالرمز F

التركيز الشكلي = وزن المادة المذابة بالجرام / (الوزن الشكلي الجرامي  $\times$  حجم المحلول باللتر)

## ٢- المولارية Molarity :

هي عدد الأوزان الجزيئية الجرامية من المذاب في لتر واحد من المحلول ويرمز لها بالرمز M

التركيز المولاري = عدد الأوزان الجزيئية الجرامية من المادة / حجم المحلول باللتر

التركيز المولاري = وزن المادة المذابة بالجرام / (الوزن الجزيئي × حجم المحلول باللتر)

## ٣- المولالية Molality :

هي عدد الأوزان الجزيئية الجرامية من المذاب في الف جرام من المذيب. ويرمز لها بالرمز m

التركيز المولالي = وزن المادة المذابة بالجرام / (الوزن الجزيئي × وزن المذيب بالكيلوجرام)

## ٤- العيارية Normality :

هي عبارة عن عدد الأوزان المكافئة الجرامية من المذاب في لتر واحد من المحلول. ويرمز لها بالرمز N

التركيز العياري = عدد الأوزان المكافئة الجرامية / حجم المحلول باللتر

التركيز العياري = وزن المادة المذابة بالجرام / (الوزن المكافئ × حجم المحلول باللتر)

## القوة Strength :

وتعرف قوة المحلول بأنها عدد الجرامات المذابة من المادة في لتر واحد من المحلول ويعبر عنها بالجرام / لتر (g/l)

القوة = وزن المذاب بالجرام / حجم المحلول باللتر

القوة = العيارية × الوزن المكافئ = جم / لتر.

### معامل المحلول المعيار Titer :

هو وزن المادة المراد تعيينها والتي تكافئ كيميائياً 1 ml من المحلول المعيار.

وللتسهيل يمكن استخدام القانون العام للتركيز وهو:

وزن المادة المذابة = الوزن المكافئ  $\times$  التركيز العياري  $\times$  الحجم باللتر

أو وزن المادة المذابة = الوزن الجزيئي  $\times$  التركيز المولاري  $\times$  الحجم باللتر

أو وزن المادة المذابة = الوزن الشكلي  $\times$  التركيز الشكلي  $\times$  الحجم باللتر

### مثال (٣-١):

إحسبي عدد المليمولات الموجودة في الآتي: 10 mg من اليوريا - 1 g من كلوريد الصوديوم -

1 kg من الإديتا EDTA

### الحل:

عدد المليمولات = وزن المركب بالمليجرام / الوزن الجزيئي للمركب

الوزن الجزيئي لليوريا ( $\text{H}_2\text{NCONH}_2$ ) =  $(12 \times 1) + (16 \times 1) + (1 \times 4) + (14 \times 2) = 60$

عدد المليمولات =  $60 / 10 = 0.17 \text{ m mole}$  مليمول من اليوريا في 10 mg

عدد المليمولات من كلوريد الصوديوم ( $\text{NaCl}$ ) =  $58.5 / 1 = 17.09 \text{ m mole}$

عدد المليمولات من الإديتا ( $\text{Na}_2\text{N}_2\text{C}_{10}\text{O}_8\text{H}_{14}$ ) =  $336 / 10^6 = 2976.2 \text{ m mole}$

مثال (١-٤):

إحسبي التركيز المولاري لأيونات الصوديوم في المحاليل الآتية:

أ- محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH نسبته % 0.1 (نسبة مئوية وزنية حجمية).

ب- محلول كبريتات الصوديوم  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  الذي يحتوي اللتر منه على 14.2 mg من الملح.

الحل:

يحسب التركيز المولاري للأملاح

$$\text{أ- عدد المليمولات} = 40 / 100 = 2.5 \text{ m mole}$$

$$\text{التركيز المولاري} = 2.5 / 100 = 0.025 \text{ M}$$

$$\text{ب- عدد المليمولات} = 14.2 / 142 = 0.1$$

$$\text{التركيز المولاري} = 0.1 / 1000 = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$$

## مسائل

١- إحصبي التركيز المولاري للمحاليل الآتية:

أ- محلول حجمه 500 ml ماء مذاب به 6 g من غاز كلوريد الهيدروجين HCl

ب- محلول من كربونات الصوديوم  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  تركيزه 1.06 mg/ml

ج- محلول من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH يحتوي ربع اللتر منه على 56.11 g؟

٢- أذيب 2 g من NaCl في الماء وأكمل الحجم إلى 100 ml إحصبي التركيز بوحدة g/l؟

٣- إحصبي وزن المادة A اللازم لتحضير محلول 50 ml ذي التركيز 5 g/l؟

٤- 2.6 g من عينة تحتوي على 3.6  $\mu\text{g}$  من الزنك. إحصبي تركيز الزنك في العينة بوحدة ppm

وبوحدة ppb؟

٥- زجاجة تحتوي على 500 ml من الكحول مكتوب عليها 30 % v/v إحصبي حجم الكحول النقي فيها؟

٦- أذيب 1.26 g من  $\text{AgNO}_3$  في الماء وأكمل الحجم إلى 250 ml إحصبي التركيز المولاري لـ

$\text{AgNO}_3$  في هذا المحلول؟

٧- 10 ml من محلول المادة A الذي تركيزه 0.1 M خفف إلى 500 ml إحصبي تركيز A في المحلول

المخفف؟

٨- إحصبي عدد جرامات NaCl في المليلتر الواحد لمحلول 0.25 M NaCl؟