الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة حماة
كلية الصيدلة

Syrian Arab Republic
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
Hama University
Faculty of Pharmacy

د.فاديا الحاج حسين
د.تيسير عزام

التجربة الأولى : تحضير بعض المحاليل الكيميائية بتراكيز مختلفة

بعد دراسة الكيمياء التحليلية في المراحل السابقة سيتم في هذا الفصل دراسة التحليل الآلي وهو تطور للكيمياء التحليلية، و على ذلك يفترض أن يكون الطالب ملماً بالمفاهيم الرئيسية للكيمياء التحليلية و الحسابات الكيميائية.

الهدف من التجربة:

تحضير محاليل كيميائية لمواد صلبة وسائلة مختلفة التراكيز والحجوم.

تحضير المحاليل الكيميائية

للحصول على نتائج صحيحة ودقيقة في عمليات التحليل الكيميائي لا بد من استخدام محاليل عيارية أو قياسية وتختلف المحاليل عن بعضها بكمية المادة المذابة فيها أي التركيز والذي يعبر عنه بواحدات مختلفة تبعاً لنوع التحليل المدروس أو وفقاً لكمية العنصر الموجود في العينة المدروسة.

1. التركيز الغرامي

يُعرف بأنه عدد الغرامات من المادة المنحلّة في ليتر من المحلول، ووحدته الأساسية هي (gr/L)

ويُحسب التركيز الغرامي (C) للمحلول بتطبيق العلاقة:

$$C(gr/L) = \frac{m\ (gr)}{V\ (L)} \quad (1)$$

حيث تُمثِّل m كتلة المادة المنحلّة ويُمثِّل (V) حجم المحلول مقدراً بالليتر، في حال أعطي الحجم ب mL يصبح القانون:

$$\mathbf{C(gr/L) = \frac{m \times 1000}{V\ (mL)}}$$

احسب تركيز محلول حمض كلور الماء مقدراً بالغرام على الليتر إذا علمت أنه تم إذبة 5gr من الحمض في 500mL من الماء المقطر.

الحل:

Dr.Fadia Alhaj Hussien

$$C(gr/L) = \frac{m\,(gr)}{V\,(L)}$$

$$C(gr/L) = \frac{5 \times 1000}{500} = 10gr/L$$

2. التركيز الجزيئي الحجمي (Molarity)

يُعرف بأنه عدد الجزيئات الغرامية من المادة المنحلّة في ليتر من المحلول، ووحدته الأساسية هي المول/ل (mol/L)،ويُحسب التركيز الجزيئي الحجمي (M) للمحلول بتطبيق العلاقة:

$$M(mol/L) = \frac{n}{V} \qquad (1)$$

$$n = \frac{m\,(g)}{M_m(g/mol)}$$

$$M(mol/L) = \frac{m}{M_m \times V\,(L)}$$

حيث تُمثِّل M_m الكتلة الجزيئية للمادة المنحلّة (g/mol) ويُمثِّل (m) كتلة المادة المنحلّة مقدَّرةً بالغرام، عندما يعطى الحجم بـ mL يصبح القانون:

$$\mathbf{M(mol/L) = \frac{m \times 1000}{M_m \times V\,(mL)}}$$

<u>مثال (1):</u> احسب التركيز المولاري لـ 1.06gr من كربونات الصوديوم. مع العلم أن Mm=106gr/mol

<u>الحل:</u>

$$M = \frac{n}{V} = \frac{m}{M_m \times V} = \frac{1.06}{106 \times 1} = 0.01mol/L$$

<u>مثال (2):</u>احسب وزن ملح كلوريد الصوديوم اللازم لتحضير محلول منه بحجم 100mL وتركيز مقداره 0.1M.

مع العلم أن: MNa= 23, MCl=35.5

<u>الحل:</u>

Dr.Fadia Alhaj Hussien

د.فاديا الحاج حسين
د.تيسير عزام

$$M = \frac{n}{V} = \frac{m \times 1000}{M_m \times V(mL)}$$

$$m = \frac{M \times M_m \times V}{1000} = \frac{0.1 \times 58.5 \times 100}{1000} = 0.585gr$$

تُوضع الوزنة السابقة في دورق حجمي سعة 100mL ويتمم الحجم بالماء المقطر حتى الإشارة.

العلاقة بين التركيز الغرامي والمولاري: $M(mol/L) = \frac{n}{V}$ $M(mol/L) = \frac{m}{M_m \times V\,(L)}$

$$M(mol/L) = \frac{C(g/L)}{M_m(g/mol)}$$

$$C\,(g/L) = M\,(mol/L) \times M_m\,(g/mol)$$

3. النظامية (العيارية): (Normality)

تُمثِّل النظامية (N) عدد المكافئات الغرامية (أو عدد الكتل المكافئة) من المادة المنحلّة في ليتر من المحلول، ووحدتها الأساسية مكافئ غرامي في الليتر م.غ/ل (eq/L).

وتُحسب النظامية N للمحلول بتطبيق العلاقة:

$$N(eq/L) = \frac{n_{eq}}{V(L)} = \frac{m}{E_q \times V(L)}$$

يُمثِّل neq الكتلة المكافئة للمادة المنحلّة (g/eq).

يُعَرَّف <u>المكافئ الغرامي أو الكتلة المكافئة E_q</u> لمادة ما بأنها الكتلة الناتجة عن حاصل قسمة كتلتها الجزيئية Mm على عدد المتبادِلات (n) في التفاعل الحاصل بالنسبة لجزيءٍ واحد أو شاردةٍ واحدة من المادة، أي:

$$E_q(g/eq) = \frac{M_m(g/mol)}{n(eq/mol)}$$

Dr.Fadia Alhaj Hussien

يتعلق عدد المتبادلات (n) في تفاعل ما بنوعية المواد المتفاعلة وبالتفاعل الحاصل وبالتالي لا يكون ثابتاً في مُركَّب ما.

تُمثِّل (n) لحمض ما عدد شوارد الهيدروجين التي يستبدلها جزيء واحد أو شاردة واحدة من الحمض خلال التفاعل. فلدى تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع كلٍ من الحموض الآتية:

$$(M_m = 36.5\ g/mol)\ HCl$$

$$(M_m = 98\ g/mol)\ H_2SO_4$$

$$(M_m = 98 g/mol)\ H_3PO_4$$

وإذا دخلت كافة هيدروجينات هذه الحموض في التفاعل فإن المكافئ الغرامي لكل منها يساوي إلى الكتلة الجزيئية للحمض مقسوماً على 1 و 2 و 3 ، بالترتيب أي: 36.5gr/eq و49gr/eq و32.67gr/eq على التسلسل، حيث تحصل التفاعلات الآتية:

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O \qquad E = \frac{M}{1} = 36.5 gr/eq$$

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O \qquad E = \frac{M}{2} = \frac{98}{2} = 49 gr/eq$$

$$H_3PO_4 + 3NaOH \underset{\leftarrow}{\rightarrow} Na_3PO_4 + 3H_2O \qquad E = \frac{M}{3} = \frac{98}{3} = 32.67 gr/eq$$

أما في تفاعلات الأكسدة والإرجاع فيُمثِّل (n) عدد الإلكترونات المتبادلة في كل تفاعل نصفي نسبةً إلى جزيءٍ واحدٍ أو شاردة واحدة من المادة المؤكسِدة أو المرجِعة. فلدى تفاعل كبريتات الحديدي $FeSO_4$ مع ثنائي كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ في وسط مناسب من حمض الكبريت تحصل تفاعلات الأكسدة والإرجاع النصفية الآتية :

$$Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+} + e^- \quad \text{أكسدة}$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftarrows 2Cr^{3+} + 7H_2O \quad \text{إرجاع}$$

وبالتالي فإن المكافئ الغرامي لكبريتات الحديدي يكون مساوياً إلى كتلته الجزيئية، والمكافئ الغرامي لثنائي كرومات البوتاسيوم يساوي إلى كتلته الجزيئية مقسومة على 6. أما إذا تمّ التفاعل الثاني في الاتجاه المعاكس، فيكون المكافئ الغرامي للكروم الثلاثي مساوياً إلى كتلته الجزيئية

Dr.Fadia Alhaj Hussien

مقسومة على 3 لأن شاردتين Cr^{3+} تخسر ستة إلكترونات وبالتالي فإن الشاردة الواحدة تخسر ثلاثة إلكترونات n=3 .

وأخيراً يُمثِّل (n) في تفاعلات انحلال الأملاح في الماء عدد الذرات المعدنية في الجزيء الواحد للملح مضروباً بتكافؤ المعدن.

فالمكافئ الغرامي للمركَّبات الآتية:

$$NaCl \rightarrow E = M$$

$$FeSO_4 \rightarrow E = \frac{M}{2 \times 1}$$

$$Na_2CO_3 \rightarrow E = \frac{M}{2 \times 1}$$

$$Al(NO_3)_3 \rightarrow \frac{M}{3 \times 1}$$

$$Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow \frac{M}{3 \times 2}$$

يتضح مما تقدَّم أن عدد المتبادلات في تفاعل انحلال ملح كبريتات الحديدي $FeSO_4$ يكون (n=2)، أما في تفاعل كبريتات الحديدي مع ثنائي كرومات البوتاسيوم فيكون (n=1)، مما يُبيِّن أن عدد المتبادلات يرتبط بالتفاعل الحاصل ولا يكون ثابتاً بالنسبة لمركَّبٍ ما.

العلاقة بين النظامية والتركيز الجزيئي الحجمي: $N(eq/L) = M(mol/L) \times n$

مثال (1):

احسب النظامية لمحلول يحوي 10gr من حمض الكبريت في 250mL. مع العلم أن:

M_O= 16, M_S=32

الحل:

$$N(eq/L) = \frac{n_{eq}}{V(L)} = \frac{m \times 1000}{E_q \times V(mL)} = \frac{10 \times 1000}{\frac{98}{2} \times 250} = 0.8163N$$

مثال (2):

Dr.Fadia Alhaj Hussien

احسب عدد الغرامات في 500mL من محلول كبريتات الصوديوم تركيزه 0.1N. مع العلم أن:

M_O= 16, M_{Na}=23, M_S=32

الحل:

$$N(eq/L) = \frac{n_{eq}}{V(L)} = \frac{m \times 1000}{E_q \times V(mL)}$$

$$m = \frac{N \times E_q \times V(mL)}{1000} = \frac{0.1 \times \frac{142}{2} \times 500}{1000} = 3.55gr$$

العلاقة بين التركيز الغرامي والنظامية

$$N(eq/L) = \frac{C(g/L)}{E_q(g/eq)} \qquad C\,(g/L) = N\,(eq/L) \times E_q\,(g/eq)$$

4. التركيز الجزيئي الغرامي (Molality)

يُعَرَّف التركيز الجزيئي الغرامي (L) أو المولالية بأنه عدد الجزيئات الغرامية من المادة المنحلّة في كيلوغرام واحد من المذيب.

ويُحسَب L بتطبيق أيٍّ من العلاقات الآتية:

$$L(mol/kg) = \frac{moles\ of\ solute}{mass\ of\ solvent(kg)} = \frac{n}{m_{Solvent}}$$

$$L(mol/kg) = \frac{m_1(gr)}{m_2(Kg) \times M_m(gr/mol)}$$

حيث m_1 كتلة المادة المنحلّة (g)، m_2 كتلة المذيب (kg)

مثال:

احسب التركيز الجزيئي الغرامي لمحلول حمض كلور الماء التجاري يحوي الليتر 11.8mol وكثافته 1.19gr/mL. مع العلم أن MH= 1, MCl=35.5

الحل:

Dr.Fadia Alhaj Hussien

من علاقة الكثافة نحسب كتلة الليتر من المحلول:

$$d(gr/mL) = \frac{m(gr)}{V(mL)} \rightarrow m(gr) = \frac{1.19 \times 1000}{1(mL)} = 1190gr$$

نحسب كتلة المذاب:

$$m = n \times M_m = 11.8 \times 36.5 = 430.7gr$$

وبالتالي كتلة المذيب:

$$1190 - 430.7 = 759.3gr = 0.7593Kg$$

وبالتالي:

$$L(mol/kg) = \frac{m_1(gr)}{m_2(Kg) \times M_m(gr/mol)} = \frac{430.7}{0.7593 \times 36.5} = 15.54\ mol/$$

5. النسبة المئوية الكتلية (Percent by Mass)

تُعَرَّف النسبة المئوية الكتلية (m%) بأنها كتلة المادة مقدَّرةً بالغرام المنحلّة في 100g من المحلول أو من العينة الصلبة.

تحسب بتطبيق العلاقة الآتية:

$$m\% = \frac{mass\ of\ Solute\ (gr)}{mass\ of\ Solution(gr)} \times 100\%$$

$$m\% = \frac{m_{Solute}}{m_{Solution}} \times 100\%$$

مثال:

احسب تركيز محلول كربونات الصوديوم مقدراً بالنسبة المئوية الوزنية عند إذابة 50gr منه في 250gr من الماء المقطر.

الحل:

$$m\% = \frac{m_{Solute}}{m_{Solution}} \times 100\%$$

$$m\% = \frac{50}{250 + 50} \times 100 = 16.67\%$$

Dr.Fadia Alhaj Hussien

د.فاديا الحاج حسين
د.تيسير عزام

6. النسبة المئوية الحجمية (Percent by Volume)

تُعَرَّف النسبة المئوية الحجمية (V%) بأنها كتلة المادة مقدَّرةً بالغرام المنحلّة في 100mL من المحلول.

تحسب بتطبيق أيٍّ من العلاقتين الآتيتين:

$$V\% = \frac{mass\ of\ Solute\ (gr)}{Valume\ of\ Solution(mL)} \times 100\%$$

$$V\% = \frac{m_{Solute}}{V_{Solution}(mL)} \times 100\%$$

مثال:

كم غراماً من ملح كلوريد البوتاسيوم يلزم لتحضير محلول تركيزه 30% حجماً وحجمه 1L.

الحل:

$$V\% = \frac{m_{Solute}}{V_{Solution}(mL)} \times 100\%$$

$$30 = \frac{m}{1000} \times 100 \rightarrow m = 300gr$$

7. التركيز بأجزاء المليون ppm Concentration by Part per million

ويتم استخدامه عندما تكون المحاليل ممددة جداً. ويعبر **عن عدد الأجزاء من المادة في مليون جزء من العينة الصلبة أو السائلة.** ويحسب من العلاقة:

$$ppm = \frac{mass\ of\ solute}{mass\ \ of\ soln} \times 10^6$$

وبالتالي نكتب:

$$ppm = mg/kg = \mu g/g$$

فإذا كان المذيب هو الماء الذي كثافته 1g/mL، وكمية المادة المذابة قليلة بحيث يمكن اعتبار كثافة الحلول مساوية للواحد، وبالتالي يمكن أن نكتب:

$$ppm = mg/L = \mu g/mL$$

Dr.Fadia Alhaj Hussien

د.فاديا الحاج حسين
د.تيسير عزام

فإذا كان لدينا محلول من NaOH تركيزه 0.01N فإن تركيزه بوحدة ppm يحسب كما يأتي:

$$C\,(g/L) = N\,(eq/L) \times E_q\,(g/eq)$$

$$\mathrm{C\ (g/L)} = 0.01\ \mathrm{(eq/L)} \times 40\ \mathrm{(g/eq)} = 0.4\mathrm{g/L}$$

$$\mathrm{ppm} = 0.4 \times 1000 = 400\mathrm{mg/L}$$

$$\mathrm{ppm} = 400\mathrm{mg/kg}$$

ملاحظة:

يتم تحضير المحاليل الممددة لمختلف المواد الكيميائية السائلة بدءاً من المحاليل المركزة. فعند تمديد المحاليل العيارية المعلومة التركيز، نستخدم القانون:

$$\boldsymbol{C_1.V_1 = C_2.V_2}$$ **(قبل التمديد) (بعد التمديد)**

حيث يُستخدَم أحد الطرفين للتعبير عن تركيز وحجم المحلول قبل التمديد، والطرف الآخر للتعبير عن تركيز وحجم المحلول بعد تمديده.

أما في حسابات المعايرة فيستخدم القانون:

$$\boldsymbol{N.V = N'.V'}$$ **(للمادة الأولى) (للمادة الثانية)**

لأنه تتم معايرة مكافئ غرامي من المادة الأولى بمكافئ غرامي من المادة الثانية

وبالتالي لتحضير محلول مولاري او عياري من حمض مركز يلزمنا النسبة المئوية الوزنية (نقاوة)وكثافة هذ الحمض من عبوة الحمض المركز لمعرفة الحجم الذي يجب ان يؤخذ من عبوة الحمض المركز أو نظاميته نظراً لصعوبة اخذ وزنة منه وفق القوانين

$$C(g/L) = \frac{d(g/mL) \times (1000mL/1L) \times m\%}{100}$$

$$M(mol/L) = \frac{d(g/mL) \times (1000mL/1L) \times m\%}{M_m(g/mol) \times 100}$$

$$N(eq/L) = \frac{d(g/mL) \times (1000mL/1L) \times m\%}{E_q(g/eq) \times 100}$$

Dr.Fadia Alhaj Hussien

د.فاديا الحاج حسين
د.تيسير عزام

ثم تطبيق قانون التمديد السابق

العمل المخبري حل المسائل التالية وحضر المحاليل المطلوبة

المجموعة الأولى : محلول من حمض الكبريت كثافته 1.84g/mL ونسبته المئوية الكتلية m%= 98%. فإذا كانت الكتلة الجزيئية لحمض الكبريت 98g/mol فاحسب:

أ- تركيز الحمض بوحدات g/L و mol/L و eq/L.

ب- الحجم اللازم من الحمض السابق لتحضير محلول ممدد منه تركيزه 1mol/L بحجم مقداره 500mL.

الحل: أ- نطبق العلاقات الآتية:

$$C(g/L) = \frac{d(g/mL) \times (1000mL/1L) \times m\%}{100}$$

$$C(g/L) = \frac{1.84(g/mL) \times (1000mL/1L) \times 98\%}{100} = 1803.2\text{g/L}$$

$$M(mol/L) = \frac{d(g/mL) \times (1000mL/1L) \times m\%}{M_m(g/mol) \times 100}$$

$$M(mol/L) = \frac{1.84(g/mL) \times (1000mL/1L) \times 98\%}{98(g/mol) \times 100} = 18.4\text{mol/L}$$

$$N(eq/L) = \frac{d(g/mL) \times (1000mL/1L) \times m\%}{E_q(g/eq) \times 100}$$

وباعتبار أن:

$$E_q(g/eq) = \frac{M_m(g/mol)}{n(eq/mol)}$$

وبالتالي بعد التعويض نجد:

$$N(eq/L) = \frac{1.84(g/mL) \times (1000mL/1L) \times 98\%}{\frac{98}{2}(g/eq) \times 100} = 36.8\text{eq/L}$$

Dr.Fadia Alhaj Hussien

ب- نطبق قانون التمديد:

(بعد التمديد) $M_1.V_1 = M_2.V_2$ (قبل التمديد)

$$18.4\ m.mol/mL \times V_1 = 1\ m.mol/mL \times 500mL$$

$$\Rightarrow V_1 = 27.17mL$$

- حضر 100 مل من هيدروكسيد الصوديوم 0.5N

المجموعة الثانية: محلول حمض كلور الماء التجاري تركيزه الجزيئي الحجمي 11.8 M وكثافته 1.19 g/mL. فإذا علمت أن: Cl:35.5 , H:1 O:16 فاحسب:

أ- التركيز الغرامي C g/L.

ب- التركيز الجزيئي الغرامي L mol/kg.

جـ - النسبة المئوية الكتلية m%.

ء- النسبة المئوية الحجمية V%.

هـ- حضر من عبوة حمض كلور الماء الموجودة في المخبر 100 مل بنظامية 0.25

الحل: أ- نطبق العلاقة الآتية:

$$C\ (g/L) = M\ (mol/L) \times M_m\ (g/mol)$$

$$C\ (g/L) = 11.8\ (mol/L) \times 36.5\ (g/mol) = 430.7 g/L$$

ب- من علاقة الكثافة نحسب كتلة ليتر من المحلول:

$$d\left(\frac{g}{mL}\right) = \frac{m(g)}{V\ (mL)} \Rightarrow m(g) = \frac{1.19g}{mL} \times 1000mL = 1190g$$

وبالتالي كتلة المذيب:

$$1190g - 430.7g = 759.3g = 0.7593kg$$

ومنه نجد:

Dr.Fadia Alhaj Hussien

د.فاديا الحاج حسين
د.تيسير عزام

$$C'\ (g/kg) = \frac{430.7g}{0.7593kg} = 567.23(g/kg)$$

نطبق العلاقة الآتية:

$$L\ (mol/Kg) = \frac{C'\ (g/kg)}{M_m\ (g/mol)} = \frac{567.23(g/kg)}{36.5(g/mol)} = 15.54(mol/Kg)$$

جـ- وجدنا من الطلب الأول أن التركيز الغرامي:

$$C\ (g/L) = 11.8\ (mol/L) \times 36.5\ (g/mol) = 430.7g/L$$

ومن الطلب الثاني أن كتلة الليتر الواحد من المحلول:

$$m(g) = \frac{1.19g}{mL} \times 1000mL = 1190g$$

نطبق العلاقة الآتية:

$$m\% = \frac{mass\ of\ solute\ (g)}{mass\ of\ soln\ (g)} \times 100\%$$

$$m\% = \frac{430.7\ (g)}{1190\ (g)} \times 100\% = 36.19\%$$

ء- نطبق العلاقة الآتية:

$$V\% = \frac{C\ (g/L)}{10} \quad \% = \frac{430.7g/L}{10} = 43.07\ \%$$

- حضر 100 مل من هيدروكسيد الصوديوم 0.5N

المجموعة الثالثة: احسب حجم محلول حمض الآزوت المركز ذي الكثافة 1.42g/mL والنسبة المئوية الكتلية 72%، اللازم لتحضير حمض ممدد منه تركيزه 0.25N بحجم مقداره 200mL.

علماً أن:

H:1, O:16 N: 14.

الحل: نحسب أولاً التركيز النظامي للحمض المركز من القانون الآتي:

Dr.Fadia Alhaj Hussien

د.فاديا الحاج حسين د.تيسير عزام

$$N(eq/L) = \frac{d(g/mL) \times (1000mL/1L) \times m\%}{E_q(g/eq) \times 100} \Rightarrow$$

$$N(eq/L) = \frac{1.42(g/mL) \times (1000mL/1L) \times 72}{\frac{63}{1}(g/eq) \times 100} = 16.23(eq/L)$$

لحساب الحجم نطبق قانون التمديد:

(بعد التمديد) $N_1.V_1 = N_2.V_2$ (قبل التمديد)

$$16.23\ m.eq/mL \times V_1 = 0.25\ m.eq/mL \times 200mL$$

$$\Rightarrow V_1 = 3\ mL$$

- حضر 100 مل من كربونات البوتاسيوم 0.5N

المجموعة الرابعة : محلول من حمض الفوسفور كثافته 1.69g/mL ونسبته المئوية الكتلية m%= 85%. فإذا كانت الكتلة الجزيئية لحمض الفوسفور 98g/mol فاحسب:

الحجم اللازم من الحمض السابق لتحضير محلول ممدد منه تركيزه 1eq/L بحجم مقداره 1L.

أ- C= 1436.5 g/L ، M=14.66mol/L ، N=43.97eq/L.

ب- V=22.74 mL.

- حضر 100 مل من كربونات الصوديوم 0.2N

المجموعة الخامسة: احسب حجم محلول حمض فوق الكلور $HClO_4$ المركز ذي الكثافة 1.66g/mL والنسبة المئوية الكتلية 70%، اللازم لتحضير حمض ممدد منه تركيزه 0.1M بحجم مقداره 1L. علماً أن: Cl:35.5 , O:16 , H:1.

الجواب 8.65mL.

حضر 200 مل من هيدروكسيد الكالسيوم 0.2N

Dr.Fadia Alhaj Hussien