جامعة حماة

كلية الصيدلة

السنة الثانية

عملي مقرر الكيمياء التحليلية صيدلانية1

د. تيسير العزام

٢٠٢٥-٢٠٢٦

الجلسة الأولى

المحاليل

المحلول: هو مزيج متجانس مكون من مادتين أو أكثر لا يحدث بينهما تفاعل كيميائي. تسمى المادة التي تتواجد بنسبة أكبر في المحلول بالمحل أو المذيب والمادة الأقل نسبة بالمذاب أو المادة المذابة (المادة المنحلة).

تصنيف المحاليل حسب طبيعة مكوناتها (المذيب والمذاب):

محلول غاز– صلب: والطور الناتج صلب، مثال: انحلال الغازات مثل الهيدروجين والأكسجين في المعادن.

محلول سائل – سائل: والطور الناتج سائل، مثال:محلول كحول مع الماء، والبنزن مع التولوين.

محلول صلب–سائل: والطور الناتج سائل، مثال:محلول الملح NaCl مثلاً في الماء.

محلول غاز– سائل: والطور الناتج سائل، مثال:محلول الهواء والغازات الأخرى في الماء.

محلول غاز–غاز: والطور الناتج غازي، مثال: الهواء مؤلف من الآزوت والأكسجين والأرغون

المحل أو المذيب: هو المادة الأكثر كمية في المحلول وفي حالة المحلول يحوي على الماء فإن الماء هو المحل مهما كانت كميته.

التركيز: هو مقدار المادة المنحلة في مقدار من المحلول(حجم أو وزن) هذا المقدار يعبر عنه بعدد الغرامات ، أو عدد المولات، أو عدد المكافئات الغرامية.

ويمكننا التعبير عن التركيز بعدة واحدات نذكر منها:

1- التركيز الوزني (قوة المحلول) أو التركيز الغرامي :

وهو عدد الغرامات من المادة المنحلّة في ليتر من المحلول، وواحدته الأساسية هي (g/L) ويُحسب بالعلاقة:

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

حيث تُمثِّل m كتلة المادة المنحلّة ويُمثِّل (V) حجم المحلول مقدراً بالليتر.

في حال أعطي الحجم بـ mL يصبح القانون:

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

مثال:1

احسب التركيز الوزني لمحلول كلوريد الحديد مقدراً بالغرام على الليتر إذا علمت أنه تم إذابة 1.25g من الملح وكان حجم المحلول 75 mL .

الحل:

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

$$C\ (gr/L) = \frac{1.25 \times 1000}{75} = 16.66 gr/L$$

2- التركيز الجزيئي الحجمي مقدراً بالمولارية (M):

يُعرف التركيز الجزيئي الحجمي باسم الجزيئية أو المولارية أو المولية بأنه عدد الجزيئات الغرامية (عدد المولات) من المادة المنحلّة في ليتر من المحلول، لذلك واحدته الأساسية هي المول /ليتر (mol/L)، ويمكن تعريف المولارية بشكل آخر على أنها تمثل وزن المادة المنحلة في (1) ليتر من المحلول مقسومة على الكتلة الجزيئية للمادة المنحلة وبالتالي :

$$M\ = \frac{\text{عدد الجزيئات الغرامية من المادة المنحلة}}{\text{عدد الليترات}}\ = \frac{\text{وزن المادة المنحلة في (1) ليتر من المحلول}}{\text{الكتلة الجزيئية للمادة المنحلة}}$$

ويُحسب التركيز الجزيئي الحجمي من حاصل قسمة كتلة المادة المنحلة (m) مقدرة بالغرام مقسومة على الكتلة الجزيئية M_w مقدرة غ/ مل ولو رمزنا إلى وزن المادة المنحلة في (1) ليتر من المحلول بالرمز (C) بالتالي تصبح العلاقة السابقة كما يلي:

$$M_{(mol/L)}\ =\ \frac{m/M_w}{V\ (L)}\ =\ \frac{C_{(g/l)}}{M_{w(g/mol)}}$$

حيث تُمثِّل M_w الكتلة الجزيئية للمادة المنحلّة (g/mol) وتمثِّل (m) كتلة المادة المنحلّة بالغرام .

عندما يعطى الحجم بـ mL يصبح القانون:

$$M_{(mol/L)} = \frac{m \times 1000}{M_w \times V\,(ml)}$$

مثال (1): احسب مولارية محلول حضر بحل 140g من هيدروكسيد البوتاسيوم في 1000ml من المحلول مع العلم أن وزنه الجزيئي(M_w=56 gr/mol)

الحل:

$$M_{(mol/L)} = \frac{m}{M_w \times V\,(L)} = \frac{140}{56 \times 1} = 2.5mol/L$$

مثال(2)**:** احسب وزن ملح كبريتات الزنك اللازم لتحضير محلول منه بحجم 500 mL وتركيز مقداره 4M. مع العلم أن وزنه الجزيئي (56g/mol)

الحل:

$$M_{(mol/L)} = \frac{m \times 1000}{M_w \times V\,(mL)}$$

$$m = \frac{M \times Mm \times V}{1000} = \frac{4 \times 161 \times 500}{1000} = 322gr$$

تُوضع الوزنة السابقة في دورق حجمي سعة 500 mL ويتمم الحجم بالماء المقطر حتى الإشارة.

3- التركيز مقدراً بالنظامية أو التركيز العياري (N) :

تعرف النظامية أو العيارية بأنها عدد المكافئات الغرامية (أو عدد الأوزان المكافئة) من المادة المنحلّة في ليتر من المحلول، لذلك واحدة النظامية الأساسية هي مكافئ غرامي/ ليتر (eq.g /L). كما يمكن تعريف النظامية بشكل آخر على أنها تمثل وزن المادة المنحلة في (1) ليتر من المحلول مقسومة على الوزن المكافئ للمادة المنحلة. وبالتالي يمكن التعبير عن تعريف النظامية بالعلاقة التالية:

$$N = \frac{\text{عدد المكافئات الغرامية للمادة المنحلة}}{\text{عدد الليترات}} = \frac{\text{وزن المادة المنحلة في (1) ليتر من المحلول}}{\text{الوزن المكافئ للمادة المنحلة}}$$

حيث تحسب عدد المكافئات الغرامية للمادة المنحلة من حاصل قسمة كتلة المادة المنحلة على وزنها المكافئ Ew

$$N_{(eq/L)} = \frac{m/E_w}{V} = \frac{C_{(g/l)}}{Ew_{(g/eq.g)}}$$

حيث C تمثل وزن المادة المنحلة في (1) ليتر من المحلول مقدرة بالغرام.
لذلك من الملاحظ أنه دائماً عند التحدث عن النظامية يرافقها الوزن المكافئ دائماً، ولهذا السبب يجب معرفة كيفية حساب الوزن المكافئ لمركب ما.

إن طريقة حساب الوزن المكافئ لمركب ما يتم عادة من حاصل قسمة الكتلة الجزيئية Mw على عدد المتبادلات (n) أو عدد الوحدات من المواد المتفاعلة (reacting units) في التفاعل الحاصل:

$$E_{w(g/eq.g)} = \frac{M_{w(g/mol)}}{n_{(eq.g/mol)}}$$

ولندرس كيفية حساب (n) لمادة ما:

- إذا كانت المادة حمضية :

فإن قيمة n تمثل عدد الوظائف الحمضية للحمض

فالوزن المكافئ لحمض كلور الماء ذو الوزن الجزيئي 36.5 غ/ مول هو:

$$E_{w(g/eq.g)} = \frac{36.5}{1} = 36.5\ g/eq.g$$

والوزن المكافئ لحمض الكبريت ذو الوزن الجزيئي 98 غ / مول هو يمثل وزنه الجزيئي مقسوماً على (2) لأنه يحتوي على وظيفتين حمضيتين:

$$Ew_{(g/eq.g)} = \frac{98}{2} = 49\ g/eq.g$$

$$\boldsymbol{H_3PO_4 + 3NaOH \rightleftarrows Na_3PO_4 + 3H_2O} \quad E = \frac{M}{3} = \frac{98}{3} = 32.67\ g/eq.g$$

أما في التفاعل الآتي:

$$\boldsymbol{H_3PO_4 + NaOH \rightleftarrows NaH_2PO_4 + H_2O} \quad E = \frac{M}{1} = 98\ g/eq.g$$

فإن حمض الفوسفور يشترك بهيدروجين واحد فقط (n=1) وبالتالي يكون مكافئه الغرامي في هذا التفاعلً مساوياً لكتلته الجزيئية، أي 98 g/eq g.

- إذا كانت المادة قاعدية:

فالوزن المكافئ لها يحسب بالعلاقة $\mathrm{Ew}_{(\mathrm{g/eq}.g)} = \frac{\mathrm{Mw}_{(\mathrm{g/mol})}}{\mathrm{n}_{(\mathrm{eq.g/mol})}}$

حيث يمثل n عدد الوظائف الأساسية للأساس

وبالتالي الوزن المكافئ لهيدروكسيد الصوديوم يكون مساوياً إلى وزنه الجزيئي مقسوماً على واحد . بينما الوزن المكافئ لهيدروكسيد الكالسيوم يساوي إلى وزن الجزيئيي مقسوماً على(2).

- إذا كانت المادة تخضع لعملية الأكسدة والإرجاع:

فإن الوزن المكافئ لمادة ما تخضع لعملية الأكسدة أو الإرجاع تمثل كتلتها الجزيئية مقسومة على التغير في رقم الأكسدة.

فمثلاً برمنغنات البوتاسيوم في الوسط الحمضي تتحول كما يلي :

$$\mathrm{Mn}\boldsymbol{O}_4^- + 8\boldsymbol{H}^+ + 5\boldsymbol{e}^- \rightleftarrows \mathrm{Mn}^{2+} + 4\boldsymbol{H_2O}$$

لذلك فإن الوزن المكافئ لبرمنغنات البوتاسيوم يساوي إلى وزنها الجزيئيي مقسوماً على خمسة:

$$\mathrm{Ew}_{(g/eq.g)} = \frac{158.03}{5} = 31.61\ g/eq.g$$

- الوزن المكافئ لملح ما :

تحسب الأوزان المكافئة للأملاح المنحلة بالماء وذلك بتقسيم أوزانها الجزيئية على عدد ذرات المعدن مضروباً بتكافئه :

$$Ew = \frac{\text{الوزن الجزيئي للملح}}{\text{عدد ذرات المعدن} \times \text{تكافؤه}}$$

فالوزن الجزيئي لملح كربونات الصوديوم ذو الوزن الجزيئي 106غ/مول يحسب كما يلي:

$$E = \frac{106}{2\times1} = 53\ g/eq.gw$$

وتفيد عدد المتبادلات n في المساهمة عند الانتقال من واحدة المولارية إلى النظامية أو بالعكس كما هو موضح فيما يلي :

$$N = \frac{\text{وزن المادة المنحلة في (1) ليتر}}{\text{الوزن المكافئ}}$$

$$N = \frac{C_{(g/l)}}{Ew_{(g/eq.g)}} = \frac{C_{(g/l)}}{Mw/n}$$

$$N = n\frac{C}{Mw}$$

وبما أن الجزيئية (المولارية) تساوي : $M = \frac{C}{Mw}$

وبالتالي تصبح العلاقة : $N = n.M$

أي بمعرفة عدد المتبادلات يمكن الانتقال مابين النظامية والمولية.

مثال(1): احسب النظامية لمحلول يحوي 25 gr من كلوريد الكالسيوم وحجمه 1500 mL مع العلم أن الأوزان الذرية $M_{ca}= 40, M_{Cl}=35.5$

الحل:

$$N\left(\frac{eq}{L}\right) = \frac{m \times 1000}{Ew \times V\,(mL)} = \frac{25 \times 1000}{\frac{111}{2} \times 1500} = 0.3\ N$$

4. التركيز كنسبة مئوية حجمية أو التركيز المئوي الحجمي (وزن / حجم) V%

وهو يمثل وزن المادة المنحلة في 100 مل من المحلول ويرمز لها بـ V % وتعطى بالعلاقة: $V\% = \frac{V_{solute}}{V_{solution}} \times 100$

فالمحلول الذي يحوي على 10 % كنسبة مئوية حجمية من حمض كلور الماء يعني أن كل 100مل من المحلول يحتوي على 10 غ من حمض كلور الماء.

5. التركيز كنسبة مئوية وزنية أو التركيز المئوي الوزني % W (وزن / وزن):

هو يمثل وزن المادة المنحلة في 100غ من المحلول. وغالباً ما يرمز لها بـ.% W

$$W\% = \frac{m_{solute}}{m_{solution}} \times 100$$

وغالباً ما يتم الانتقال من النسبة المئوية الوزنية إلى النسبة المئوية الحجمية وبالعكس، لإجراء مثل هذا الانتقال لابد من إدخال مفهوم كثافة المحلول والذي يعبر عن وزن واحدة الحجم كما هو موضح في العلاقة التالية :

$$d = \frac{m}{V}$$

حيث تمثل كل من:

m = وزن المادة المنحلة مقدرة بالغرام

V = حجم المحلول مقدراً بالميلليتر

d = كثافة المحلول مقدراً بواحدة غ / مل

ولتوضيح كيفية الانتقال من النسبة الوزنية إلى النسبة الحجمية علينا ملاحظة المثالين التاليين:

مثال (1):

محلول من هيدروكسيد الصوديوم تركيزه 10% حجماً وكثافته1.1غ/مل والمطلوب حساب النسبة المئوية الوزنية له.

الحل:

كل100مل من المحلول يحتوي على10غ من هيدروكسيد الصوديوم

كل (100 ×1.1)غ من المحلول يحتوي على10غ من هيدروكسيد الصوديوم

كل 100غ من المحلول يحتوي على Xغ من هيدروكسيد الصوديوم

$$X = W\ \% = 9.09\%$$

6-التركيز الجزيئي الوزني أو المولالية (L) :

وهي تمثل عدد الجزيئات الغرامية(المولات) المنحلة في كيلوغرام واحد من المذيب. أو وزن المادة المنحلة في واحد كيلو غرام من المادة المذيبة مقسومة على الوزن الجزيئي :

$$L(\frac{\text{mol}}{\text{kg}}) = \frac{\boldsymbol{n}}{m_{solvent}}$$

مثال1 :

ماهي مولالية (التركيز الجزيئي الوزني) لمحلول من هيدروكسيد البوتاسيوم حضر بحل 41.44g منه في 0.5L ماء؟ مع العلم أن كتلته الجزيئية الغرامية تساوي 56g/mol.

الحل :

المحل هو الماء وحجمه 0.5L وكثافته واحد وحالة خاصة حجمه هو وزنه =500g=0.5Kg

$$\mathrm{n} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{Mw}} = \frac{41.44}{56} = 0.74mol$$

$$\mathrm{L}\left(\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{kg}}\right) = \frac{\mathbf{0.74}}{0.5} = 1.48mol/kg$$

7-التركيز بأجزاء من الألف وأجزاء من المليون :

- التركيز بأجزاء من الألف ppt:

هو التركيز في الميلي غرام لكل غرام أي يعبر عن وجود جزء وزني واحد في كل ألف جزء وزني من المادة (مغ / غ).

- التركيز بالأجزاء من المليون ppm: parts per million

هو التركيز في الميلي غرام لكل كيلو غرام أي (مغ/كغ) أي يعبر عن وجود جزء وزني واحد في كل مليون جزء وزني من المادة.

فعنما يقال عن تركيز الذهب في سبيكة ما 5 ppt يعني أن السبيكة تحتوي على خمسة أجزاء من الذهب في كل ألف جزء وزني في السبيكة .

وعندما يقال إن تركيز أيونات الكالسيوم في مياه الشرب هو 120 ppm يعني أن تركيز أيونات الكالسيوم 120 ملغ في واحد كيلو غرام من الماء. وبما أن كثافة الماء النقي تساوي الواحد. بالتالي يقال إن تركيز أيون الكالسيوم في مياه الشرب هو 120 ملغ / ليتر . أي بتقريب أولي تصبح واحدة الـ ppm تمثل وزن المادة المنحلة مقدرة بالميلي غرام في ليتر واحد من المحلول أي واحدتها مغ/ليتر وبالتالي يمكن أن نكتب:

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

مثال: محلول من NaOH تركيزه $0.01\mathrm{N}$ فإن تركيزه بوحدة ppm يحسب كما يأتي:

$$C\ (g/L) = N(eq/L) \times E\mathrm{w}\ (g/eq)$$

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

$$ppm = 0.4\ g/L \times 1000 = 400\ mg/L = 400mg/kg$$

وتستخدم وحدتا القياس ppt وppm عند التعبير عن تراكيز المواد المنخفضة في المحاليل .