الفصل السادس

المحاليل الموقية
Buffer Solutions

6-1- مفهوم المحلول الموقي :

غالباً ما يحتاج الكيميائي في المختبر لإجراء الكثير من التجارب الكيميائية والتي يكون فيها قيمة pH الوسط ثابتاً رغم إضافة كمية من الحمض أو الأساس إلى محاليلها . وفي الواقع إن معظم العمليات الفيزيولوجية تقريباً تتم في أوساط يكون فيها تركيز أيونات الهيدروجين ثابتاً من أجل عملية معينة ، حيث يؤدي انحراف قيمة pH المحلول باتجاه الزيادة أو النقصان إلى تخريب العملية الفيزيولوجية وأحياناً إلى توقفها تماماً .

فمثلاً يساوي pHدم الإنسان في الحياة الطبيعية 7.36 فأي تغير حاد لقيمة pH دم الإنسان يؤدي إلى هلاكه . ومن المعروف أنه نتيجة استقلاب الأغذية في جسم الإنسان تأتي إلى الدم باستمرار نواتج حمضية أو قاعدية ، ولكن على الرغم من ذلك يظل pH دم الإنسان ثابتاً يفسر هذا الأمر على أساس أن الدم يحتوي على منظمات تحفظ تركيزاً ثابتاً لأيونات الهدروجين وتدعى هذه المنظمات بالجمل أو المحاليل الموقية .

لذلك يعرف المحلول الموقي على أنه محلول يتصف بقدرته إلى حد ما على حفظ قيمة الـ pH ثابتة عند إضافة الحمض أو الأساس إليه بكمية محدودة.

6-2- أنواع المحاليل الموقية :

تقسم المحاليل الموقية من حيث تركيبها إلى قسمين رئيسيين , هما :

1- المحلول الموقي المؤلف من حمض ضعيف مع أحد أملاحه ، وهي تحافظ على قيمة pH المحلول في المجال الحمضي

وكأمثلة على هذا النوع من المحاليل الواقية :

المحلول الموقي الخلاتي : ويتألف من حمض الخل مع خلات الصوديوم $(CH_3COOH + CH_3COONa)$

المحلول الموقي البيكربوناتي : ويتألف من حمض الكربون مع بيكربونات الصوديوم $(H_2CO_3 + NaHCO_3)$.

2- المحلول الموقي المؤلف من قاعدة ضعيفة مع أحد أملاحها ، وكمثال على هذا النوع من المحاليل الموقية :المحلول الواقي النشادري والذي يتألف من محلول هيدروكسيد الأمونيوم مع كلوريد الأمونيوم (NH_4OH+NH_4Cl)

وهذا النوع من المحاليل يحافظ على قيمة pH المحلول في المجال الأساسي .

6-3- سعة المحلول الموقي :

من المعروف أن المحلول الموقي يساعد على ثبات pH المحلول عند إضافة أساس أو الحمض إليه بكمية محدودة . أي أن كل محلول موقي يقاوم تغيرات pH المحلول من أجل كمية معينة مضافة من الحمض أو الأساس وهذه الكمية المضافة تعرف بسعة المحلول الموقي .

وبالتالي يمكن تعريف سعة المحلول الموقي بأنها تمثل عدد مولات الأساس القوي أو الحمض القوي اللازم لحصول زيادة واحدة من الـ pH أو نقصانها في ليتر واحد من المحلول الموقي .

وللحصول على محلول موقي ذي سعة كبيرة يمكن اتباع إحدى الطريقتين التاليتين :

الأولى : أن يكون المحلول الموقي محضراً من مكونات تراكيزها كبيرة .

الثانية : جعل تركيز الحمض الضعيف أو الأساس الضعيف مساوياً تركيز ملحه

6-4- آلية عمل المحلول الموقي :

حتى يتم فهم آلية عمل المحلول الموقي بشكل واضح نأخذ المثال التوضيحي التالي الذي يدرس كيفية عمل المحلول الموقي الخلاتي أي المحلول الموقي المؤلف من حمض الخل مع خلات الصوديوم .

من المعروف أن حمض الخل هو حمض ضعيف التأين أي تأينه غير تام :

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$$

بينما ملح خلات الصوديوم يتأين بشكل كامل :

$$CH_3COONa \longrightarrow CH_3COO^- + Na^+$$

وبالتالي توجد في المحلول الموقي الأيونات الثلاث التالية :

$$CH_3COO^- , Na^+ , H^+$$

ولنلاحظ ماذا يحدث عند إضافة حمض أو أساس إلى المحلول الموقي الخلاتي السابق :

1- عند إضافة حمض :

ليكن الحمض المضاف هو حمض كلور الماء الذي يتأين بشكل تام في المحلول وفق المعادلة التالية :

$$HCl \longrightarrow Cl^- + H^+$$

حيث يتفاعل هذا الحمض مع خلات الصوديوم كما في التفاعل الآتي :

$$HCl + CH_3COONa \longrightarrow CH_3COOH + NaCl$$

ويتشكل نتيجة التفاعل ملح كلوريد الصوديوم الملح المتأين وهو ملح معتدل ويتشكل أيضاً حمض الخل الضعيف التأين بالتالي قيمة pH المحلول تبقى ثابتةً من جراء إضافة حمض كلور الماء بكمية محدودة .

2-عند إضافة أساس :

ليكن الأساس المضاف هو هيدروكسيد البوتاسيوم ، فهذا الأساس سيتفاعل مع حمض الخل وفقاً للمعادلة التالية :

$$KOH + CH_3COOH \longrightarrow CH_3COOK + H_2O$$

إذاً يتشكل نتيجة التفاعل الماء وملح خلات البوتاسيوم اللذان لا يغيران كثيراً من قيمة pH المحلول .

وهكذا نجد نتيجة إضافة الحمض أو الأساس إلى المحلول الموقي السابق تبقى قيمة pH المحلول الموقي ثابتة .

ولندرس مثالاً آخر يوضح آلية عمل المحلول الموقي من النوع الثاني (قاعدة ضعيفة مع أحد أملاحها) . وليكن المحلول الموقي المؤلف من هيدروكسيد الأمونيوم مع كلوريد الأمونيوم . ولنلاحظ ماذا يحدث لهذا المحلول عند إضافة حمض أو أساس إلى المحلول الموقي النشادري السابق :

1- عند إضافة حمض له :

ليكن الحمض المضاف هو حمض كلور الماء . إن هذا الحمض سيتفاعل مع هيدروكسيد الأمونيوم وفق المعادلة التالية :

$$HCl + NH_4OH \longrightarrow NH_4Cl + H_2O$$

إذاً يتشكل نتيجة التفاعل السابق الماء وملح كلوريد الأمونيوم اللذان لا يغيران كثيراً من قيمة pH المحلول .

عند إضافة أساس :

وليكن الأساس المضاف هو هيدروكسيد الصوديوم ، فهذا الأساس سيتفاعل مع كلوريد الأمونيوم كما في المعادلة التالية :

$$NH_4Cl + NaOH \longrightarrow NH_4OH + NaCl$$

إذا يتشكل نتيجة التفاعل السابق ملح كلوريد الصوديوم و هيدروكسيد الأمونيوم الضعيف التأين . بالتالي قيمة pH المحلول تبقى ثابتة .

وهكذا نجد أن نتيجة إضافة الحمض أو الأساس إلى المحلول الموقي السابق تبقى قيمة pH المحلول الموقي ثابتة .

6–5– حساب pH المحاليل الموقية

6–5–1– حساب قيمة PH المحلول الموقي الحمضي

يمكن حساب قيمة pH المحلول الموقي الحمضي أي المؤلف من حمض ضعيف مع أحد أملاحه بالشكل التالي :

لنفرض أن الحمض هو حمض الخل وملحه هو خلات الصوديوم ، وبما أن حمض الخل ضعيف التأين ، تكتب معادلة تأينه بالشكل التالي :

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$$

وليكن Ka ثابت تأين الحمض الضعيف الذي يُعطى بالعلاقة التالية :

$$Ka = \frac{[H^+][CHCOO^-]}{[CH_3COOH]}$$

ولنفرض $[CH_3COOH]=Ca$ تركيز الحمض
وبما أن ملح خلات الصوديوم هو ملح تام التأين

$$CH_3COONa \longrightarrow CH_3COO^- + Na^+$$

بالتالي تركيز الملح $[CH_3COO^-] = Cs$

بالتعويض في علاقة ثابت التأين للحمض الضعيف نجد :

$$Ka = \frac{[H^+] \times Cs}{Ca}$$

$$[H^+] = Ka \frac{Ca}{Cs}$$

وبآخذ اللوغاريتم السلبي ($-\log$) للطرفين :

$$-\log[H^+] = -\log Ka - \log \frac{Ca}{Cs}$$

ونعلم أن $pH = -\log[H^+]$

$$pH = -\log Ka - \log \frac{Ca}{Cs}$$

وبكتابة العلاقة بشكل عام نجد :

$$pH = pKa - \log \frac{[Acid]}{[salt]}$$

وتعرف العلاقة السابقة بعلاقة هندرسن–هايزلباخ لحساب قيمة pH المحلول الموقي الحمضي .

6-5-2- حساب قيمة pH المحلول الموقي الأساسي

ولنأخذ مثالاً المحلول الموقي المؤلف من هيدروكسيد الأمونيوم مع كلوريد الأمونيوم .

وبكتابة ثابت تأين الأساس الضعيف :

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

وليكن Kb ثابت تأين الأساس الذي يعطى بالعلاقة التالية :

$$Kb = \frac{[NH_4^+].[OH^-]}{[NH_4OH]}$$

ولنفرض تركيز الأساس يساوي إلى Cb أي :

$$[NH_4OH] = Cb$$

وبما أن ملح كلوريد الأمونيوم ملح تام التأين :

$$NH_4Cl \longrightarrow NH_4^+ + Cl^-$$

أي أن تركيز الملح Cs يساوي تركيز أيون الأمونيوم :

$$[NH_4^+] = Cs$$

وبالتعويض في علاقة ثابت تأين الأساس الضعيف نجد :

$$Kb = \frac{Cs.[OH^-]}{Cb}$$

وبما أن ثابت تأين الماء Kw يعطى بالعلاقة التالية :

$$Kw = [H^+].[OH^-] = 10^{-14}$$

بالتالي يمكن حساب قيمة $[OH^-]$

$$[OH^-] = \frac{Kw}{[H^+]}$$

وبالتعويض في علاقة ثابت تأين الأساس نحصل :

$$Kb = \frac{Cs}{Cb} \times \frac{Kw}{[H^+]}$$

$$\frac{Kw}{[H+]} = Kb\frac{Cb}{Cs}$$

$$[H+] = \frac{Kw.Cs}{Kb.Cb}$$

وبأخذ (log−)الطرفين :

$$-\log[H^+] = -\log\left(\frac{Kw.Cs}{Kb.Cb}\right)$$

$$pH = -\log Kw + \log Kb - \log\frac{Cs}{Cb}$$

$$pH = 14 - pKb - \log\frac{Cs}{Cb}$$

وبكتابة العلاقة بشكل عام نجد :

$$pH = 14 - pKb - \log\frac{[Salt]}{[Base]}$$

وهي العلاقة العامة التي يمكن حساب قيمة pH محلول موقي أساسي أي مؤلف من أساس ضعيف مع أحد أملاحه .

6-6- بعض التطبيقات على المحاليل الموقية

مثال (1):

احسب قيمة pH المحلول الموقي الناتج عن إضافة 10مل من محلول حمض الخل ذي التركيز 0.1 M إلى (5 مل) من محلول خلات الصوديوم تركيزه 0.2 M علماً أن ثابت تأين حمض الخل يساوي 1.8×10^{-5}

الحل :

يجب حساب تركيز كلٍ من حمض الخل و خلات الصوديوم في الحجم الجديد :

- لنحسب تركيز الحمض في الحجم الجديد :

$$M_1.V_1 = M_2.V_2$$

حيث :الدليل (1) : يمثل تركيز الحمض قبل الإضافة

والدليل (2) : يمثل تركيز الحمض بعد الإضافة

$$0.1 \times 10 = M_2 \,.\, 15$$

$$M_2 = [CH_3COOH] = 0.1 \times 10 / 15 = 0.07 \text{ mol /L}$$

وتركيز خلات الصوديوم في الحجم الجديد هو :

$$M_1.V_1 = M_2.V_2$$

$$0.2 \times 5 = M_2 \,.\, 15$$

$$M_2 = [CH_3COONa] = 0.2 \times 5 \,/\, 15 = 0.07 \text{ mol /L}$$

وبما أن المحلول الموقي المتشكل هو حمض ضعيف مع أحد أملاحه لذلك عند حساب قيمة pH هذا المحلول نطبق علاقة هندرسن– هايز لباخ :

$$pH = pKa - \log \frac{[Acid]}{[salt]}$$

$$pH = -\log(1.8x10^{-5}) - \log \frac{0.07}{0.07}$$

$$\text{pH} = 4.74 - 0 = 4.74$$

مثال (2) :

محلول موقي حجمه 250 مل مؤلف من حمض الخل و خلات الصوديوم وتركيز كل من مكوناته تساوي إلى 0.35 M ،أضيف إليه محلول من حمض كلور الماء حجمه 30 مل وتركيزه 0.1M .علماً أن ثابت تأين حمض الخل يساوي 1.8×10^{-5} والمطلوب ما يلي :

1- حساب قيمة pH المحلول الموقي قبل إضافة حمض كلور الماء :

2- حساب قيمة pH المحلول بعد إضافة حمض كلور الماء

3- حساب قيمة مقدار التغير في قيمة الـ pH المحلول نتيجة هذه الإضافة

الحل :

1- حساب قيمة pH المحلول الموقي قبل إضافة حمض كلور الماء :

يتم حساب قيمة ال pH بتطبيق علاقة هندرسن - هايزلباخ :

$$pH = pKa - \log \frac{[Acid]}{[salt]}$$

$$pH = -\log(1.8 \times 10^{-5}) - \log \frac{0.35}{0.35}$$

$$\mathrm{pH} = 4.74 - 0 = 4.74$$

2- حساب قيمة pH المحلول بعد إضافة حمض كلور الماء

في هذه الحالة يجب حساب التراكيز الجديدة لمكونات المحلول في الحجم الجديد للمحلول ، حيث أصبح حجم المحلول الكلي يساوي :

$$250 + 30 = 280\ ml$$

$$M_1.V_1 = M_2.V_2$$

حيث الدليل (1) قبل الإضافة

الدليل (2) بعد الإضافة

$$0.35 \times 250 = M_2 \times 280$$

$$M_2 = [CH3COOH] = [CH3COONa] = \frac{0.35 \times 250}{280} = 0.3125M$$

وأيضاً يمكن بالطريقة نفسها حساب تركيز حمض كلور الماء في الحجم الجديد:

$$M_2 = \frac{0.1 \times 30}{280} = 0.0107\ mol/L$$

وبما أن حمض كلور الماء المضاف سوف يتفاعل مع خلات الصوديوم كما في المعادلة التالية :

$$HCl + CH_3COONa \longrightarrow CH_3COOH + NaCl$$

وبالتالي تستهلك كمية من خلات الصوديوم تكافئ كمية حمض كلور الماء المضاف ويتشكل نتيجة لذلك كمية من حمض الخل تكافئ كمية حمض كلور الماء المضاف أيضاً . بعد التفاعل تصبح تراكيز المكونات كالتالي :

$$[\ CH_3COONa\ ] = 0.3125 - 0.0107 = 0.3018\ mol/L$$

$$[\ CH_3COOH\ ] = 0.3125 + 0.0107 = 0.3232\ mol/L$$

بالتالي تصبح قيمة الـ pH بعد الإضافة هي :

$$pH = pKa - \log \frac{[Acid]}{[salt]}$$

$$pH = -\log(1.8 \times 10^{-5}) - \log \frac{0.3232}{0.3018}$$

$$pH = 4.74 - 0.03 = 4.71$$

3- حساب مقدار التغير في قيمة الـ pH نتيجة الإضافة :

$$\Delta pH = 4.74 - 4.71 = 0.03$$

أي يلاحظ أن التغير في قيمة الـ pH هي طفيفة للغاية .

مثال (3) :

محلول من حمض النمل (HCOOH) تركيزه 2N وحجمه 100 مل، وأضيف إليه 30مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه1.5 N وذلك بغية تحضير محلول موقي والمطلوب :

أ- حساب قيمة pH المحلول الموقي الناتج .

ب- حساب مقدار التغير في قيمة الـ pH عند إضافة 20مل من محلول حمض كلور الماء تركيزه 0.1 N إلى المحلول السابق ، علماً أن ثابت تأين حمض الخل يساوي إلى 2×10^{-4}

الحل :

أ- حساب قيمة PH المحلول الموقي الناتج :

بداية لابد من حساب حجم حمض النمل المتفاعل مع هيدروكسيد الصوديوم :

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

حيث الدليل (1) : لحمض النمل

الدليل (2) : لهيدروكسيد الصوديوم

$$2 \times V_1 = 1.5 \times 30$$

أي حجم الحمض المتفاعل هو :

$$V_1 = 22.5 \text{ ml}$$

بالتالي حجم الحمض غير المتفاعل :

$$100 - 22.5 = 77.5 \text{ ml}$$

ولنحسب تركيز حمض النمل غير المتفاعل بعد إضافة هيدروكسيد الصوديوم أي في الحجم الجديد:

$$100 + 30 = 130\ ml$$

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2$$

$$2 \times 77.5 = N_2 \times 130$$

$$N_2 = [CHOOH] = 1.19$$

أما تركيز الملح المتشكل عن التفاعل يحسب الشكل التالي :

$$HCOOH + NaOH \longrightarrow HCOONa + H_2O$$

أي تركيز الملح المتشكل من نملات الصوديوم يساوي عملياً تركيز هيدروكسيد الصوديوم المتفاعل ولنحسب تركيزه في الحجم الجديد :

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2$$

$$1.5 \times 30 = N_2 \times 130$$

$$N_2 = [NaOH] = [HCOONa] = \frac{1.5 \times 30}{130}$$

$$[HCOONa] = 0.346$$

وبالتالي المحلول الموقي المتشكل هو حمض النمل HCOOH مع نملات الصوديوم CHCOONa . وتحسب قيمة pH المحلول الناتج من علاقة هندرسن – هايزلباخ :

$$pH = pKa - \log \frac{[Acid]}{[salt]}$$

$$pH = -\log(2 \times 10^{-4}) - \log \frac{1.19}{0.346}$$

$$pH = 3.16$$

ب–حساب مقدار تغير الـ PH عند إضافة محلول حمض كلور الماء :

إن الحجم الكلي الناتج عن إضافة حمض كلور الماء إلى المحلول الأصلي أصبح يساوي $130 + 20 = 150\ ml$

بالتالي يجب حساب تركيز حمض كلور الماء في الحجم الجديد :

$$N_1 . V_1 = N_2 . V_2$$

$$0.1 \times 20 = N_2 \times 150$$

$$N_2 = [HCl] = 0.0133$$

وبما أن حمض كلور الماء سوف يتفاعل من نملات الصوديوم :

$$HCl + HCOONa \longrightarrow HCOOH + NaCl$$

بالتالي سوف تستهلك كمية من نملات الصوديوم تكافئ كمية حمض كلور الماء المضاف ويتشكل نتيجة لذلك كمية من حمض النمل تكافئ كمية حمض كلور الماء المضاف أيضاً . وهكذا بعد التفاعل تصبح تراكيز المكونات كالتالي:

$$[HCOONa] = [salt] = 0.346 - 0.0133 = 0.3327\ mol/L$$

$$[HCOOH] = [acid] = 1.19 + 0.0133 = 1.2\ mol/L$$

وبالتعويض في علاقة هند رسن – هايزلباخ نجد :

$$pH = pKa - \log \frac{[Acid]}{[salt]}$$

$$pH = -\log(2 \times 10^{-4}) - \log \frac{1.2}{0.3327}$$

$$pH = 3.14$$

ويحسب مقدار التغير في قيمة الـ pH نتيجة الإضافة :

$$\Delta pH = 3.16 - 3.14 = 0.02$$

يلاحظ أن التغير في قيمة الـ pH طفيفة .

مثال (4) :

محلول من حمض الخل وخلات الصوديوم تركيز كل من مكوناته هي 0.1 M وحجمه (1) ليتر ،علماً أن ثابت تأين حمض الخل يساوي 1.76×10^{-5} و المطلوب حساب ما يلي:

1- قيمة pH المحلول الموقي السابق .

2- قيمة تغير pH المحلول عند إضافة 0.01 M من حمض كلور الماء .

3- قيمة تغير pH المحلول عند إضافة 0.01 M من هيدروكسيد الصوديوم

4- حساب قيمة pH المحلول عند تمديده مئة مرة بالماء المقطر .

الحل :

1- حساب قيمة PH المحلول الموقي قبل إضافة أي محلول آخر له :

$$pH = pKa - \log \frac{[Acid]}{[salt]} \qquad (1)$$

$$pH = -\log(1.8\times 10^{-5}) - \log \frac{0.1}{0.1}$$

$$pH = 4.75$$

2–حساب قيمة pH المحلول عند إضافة حمض كلور الماء :

يتفاعل حمض كلور مع كمية مكافئة من خلات الصوديوم وتتشكل كمية مكافئة له من حمض الخل وفق التفاعل التالي :

$$HCl + CH_3COONa \longrightarrow CH_3COOH + NaCl$$

$$[CH_3COONa] = 0.1 - 0.01 = 0.09 \text{ mol/L}$$

$$[CH_3COOH] = 0.1 + 0.01 = 0.11 \text{ mol/L}$$

وبالتعويض في العلاقة رقم (1) نجد :

$$pH = -\log(1.76 \times 10^{-5}) - \log \frac{0.11}{0.09}$$

$$pH = 4.663$$

وبالتالي قيمة التغير في الـ pH :

$$\Delta pH = 4.75 - 4.663 = +0.08$$

3- حساب قيمة pH المحلول عند إضافة هيدروكسيد الصوديوم :

تتفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع كمية مكافئة من حمض الخل وتتشكل كمية مكافئة لها من خلات الصوديوم وفق التفاعل التالي :

$$NaOH + CH_3COOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$$

$$[CH_3COOH] = 0.1 - 0.01 = 0.09 \text{ mol/L}$$

$$[CH_3COONa] = 0.1 + 0.01 = 0.11 \text{ mol/L}$$

وبالتعويض في العلاقة (1) نجد :

$$pH = -\log(1.76 \times 10^{-5}) - \log \frac{0.09}{0.11}$$

$$pH = 4.837$$

وبالتالي قيمة التغير في الـ pH :

$$\Delta pH = 4.75 - 4.837 = -0.08$$

4–حساب قيمة PH المحلول عند تمديده مئة مرة بالماء المقطر :

لنحسب تركيز كل من حمض الخل وخلات الصوديوم في الحجم الجديد :

لنفرض أن الحجم قبل التحديد هو V_1 فيصبح الحجم بعد التحديد $100\ V_1$:

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

حيث : الدليل(1) : قبل التمديد

الدليل (2) : بعد التمديد

$$0.1\times V_1 = M_2\ (100\ V_1)$$

$$M_2 = 0.001\ mol/L$$

أي أن التركيز في الحجم الجديد للمكونات هو :

$$[CH_3COOH] = [CH_3COONa] = 0.001\ mol/L$$

وبالتعويض في العلاقة رقم (1) نجد :

$$pH = -\log\left(1.76 \times 10^{-5}\right) - \log\frac{0.001}{0.001} = 4.75$$

نلاحظ من جراء تمديد المحلول 100 مرة بقيت قيمة pH المحلول ثابتة.

مثال (5)

حضر محلولاً موقياً من حمض الخل و خلات الصوديوم بحيث تكون قيمة pH المحلول الموقي الناتج يساوي pH =5 ، علماً أن pka=4.73 لحمض الخل.

الحل :

تعطى قيمة pH المحلول الموقي الحمضي بالعلاقة :

$$\mathrm{pH} = \mathrm{pKa} - \log \frac{[Acid]}{[salt]}$$

و بالتعويض نجد :

$$5 = 4.73 - \log \frac{Ca}{Cs}$$

$$\log \frac{Ca}{Cs} = 0.27$$

$$\frac{Ca}{Cs} = 10^{0.27} = 1.862$$

ثم نختار لا على التعيين تركيزاً لحمض الخل في المزيج وليكن $Ca = 0.1M$ وفيه يمكن حساب تركيز خلات الصوديوم في المزيج للحصول على قيمة $pH= 5$ ويكون مساوياً :

$$Cs = Ca \times 1.862$$

$$Cs = 0.1 \times 1.862 = 0.1862 \text{ mol/L}$$

The End