

الفصل الثاني

Chapter Two

جهد الماء

Water Potential

مقدمة

أن المعلومات المتعلقة بالعلاقات المائية بين النبات والتربة والجو قد اكتنفها الغموض بسبب تعدد المصطلحات فمثلاً:

١- قوة السحب **Suction Force**.

٢- قوة امتصاص الماء **Water Absorbing Force**.

٣- مصطلح **Hydrature**.

٤- نقص الضغط الانتشار **(DPD) Diffusion Pressure Deficit**.

أن هذه المصطلحات قد تتعلق بالعلوم الفيزيائية كثيراً لهذا استعمل مصطلح جهد الماء (**Water Potential**) الذي يتعلق بالطاقة والفيزياء وعلم التربة إلى جانب علم فسيولوجيا النبات.

جهد الماء **Water Potential**

لأجل أنك موضوع جهد الماء يستحسن مراجعة الطاقة الحرة (**Free Energy**) أو **Gibbs Free Energy** والتي تعني قابلية النظام لإنجاز العمل أو الشغل. ويطلق على الطاقة الحرارية للمول الواحد (**one mole**) من أية مادة في النظام الكيماوي ود طاقة الكيماوية الكامنة (**Chemical Potential**) ولهذا تكون الطاقة الكيماوية الكامنة للمادة تحت ظروف الضغط ودرجة الحرارة المتشابهة معتمدة على عدد مولات تلك المادة الموجودة في ذلك النظام. وعند دراستنا لعلاقة النبات بالماء فإن تلك الطاقة الكيماوية الكامنة للماء يشار إليها باصطلاح جهد الماء (**Water Potential**) ويرمز له (**W**).

أن حاصل الطاقة الكيماوية للماء في أي نظام (**U_w**) يعادل الطاقة الكيماوية للماء النقي الحر (**U^o_w**) مع القوى المؤثرة على ذلك النظام والتي تغير طاقته الكيماوية. وإذا كانت هذه القوى المؤثرة يظهر مفعولها أثناء تأثيرها على الضغط البخاري فإن الطاقة

الكيمائية للماء (جهد الماء) في ذلك النظام يمكن أن تكتب في المعادلة الآتية:

$$U_w = U^{\circ}_w + RT \ln \frac{e}{e^{\circ}} \dots\dots\dots (1-2)$$

حيث إن U_w هي الطاقة الكيمائية للماء في أي نظام وبوحدة erg/ mole .

وأن (U°_w) هي الطاقة الكيمائية للماء النقي وبوحدة erg/ mole .

وأن R هو معامل الغاز الثابت الذي يساوي $8.31 \times 10^7 \text{ erg/ mole/ degree}$

وأن T هي درجة الحرارة المطلقة (كالفن).

وأن \ln هو اللوغاريتم الطبيعي ويساوي $2.3 \log$

وأن e هو الضغط البخاري للماء في الدرجة الحرارية نفسها T بالمليمتر زئبق.

وأن e° هو الضغط البخاري للماء النقي في الدرجة الحرارية نفسها T بالمليمتر زئبق.

ويكون مجمل وحدات $RT \ln \frac{e}{e^{\circ}}$ كالآتي:

$$\frac{\text{erg}}{\text{mole} \cdot \text{degree}} \times \text{degree} \times \frac{\text{mm Hg}}{\text{mm Hg}}$$

وبعد إجراء الاختصارات تبقى erg/ mole وهي نفس وحدات U_w نفسها أو

الـ U°_w .

وبعبارة أخرى أن جهد الماء (w/w) يعني الاختلاف في الطاقة الكيمائية للماء في أي نظام

(U_w) والطاقة الكيمائية للماء النقي (U°_w) تحت الظروف القياسية كما في المعادلة

الآتية.

$$w/w = U_w - U^{\circ}_w = RT \ln \frac{e}{e^{\circ}} \dots\dots\dots (2-2)$$

وعندما تكون قيمة $\frac{e}{e^{\circ}}$ أقل من الواحد يصبح الحد $\ln \frac{e}{e^{\circ}}$ كمية سالبة ولهذا يكون

جهد الماء للماء في ذلك النظام (w/w) أقل مما هي للماء النقي أو كمية سالبة.

ولأجل أن يكون مفهوم جهد الماء أكثر ملائمة في علاقة الماء بالخليّة النباتية يستحسن استعمال وحدات الضغط (Pressure) بدلاً من وحدات الطاقة (erg/ mole).

خاصة وأن الخلايا تتعلق بالضغط الأزموزي (Osmotic Pressure) والضغط الانتفاخي (Turgor Pressure) لذلك تقسم المعادلة المرقمة (٢-٢) على حجم الوزن الجزيئي للماء \bar{V}_w (mole Volume of Water) كما في المعادلة الآتية:

$$\frac{U_w - U_w^0}{\bar{V}_w} = \frac{RT \ln e/e^0}{\bar{V}_w} \dots\dots\dots (٣-٢)$$

ومن المعلوم أن وحدة \bar{V}_w هي $18 \text{ cm}^3/\text{mole}$ وعند استعمال الوحدات في الجزء الأيسر من المعادلة (٣-٢) يتكون الآتي:

$$\psi_w = \frac{\text{erg/mole}}{\text{cm}^3/\text{mole}} = \frac{\text{erg}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{dyne.cm}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} = \text{Pressure unit}$$

ويذكر أن عدد الدينايت (dynes) أو القوة بالسنتيمتر للمربع يعتبر وحدة الضغط وإن وحدة الضغط (Pressure) يمكن إن يعبر عنها بالضغط الجوي (Atmosphere) أو البار (Bar) لأن البار الواحد يعادل 10^6 dyne/cm^2 . كما أن البار الواحد يعادل 0.987 من الضغط الجوي (Atmosphere). وبعبارة أخرى أن المعادلة التي تصف الطاقة الكامنة للماء أو جهد الماء (Water Potential) (ψ) هي:

$$\psi_w = \frac{U_w - U_w^0}{\bar{V}_w} = \frac{RT \ln e/e^0}{\bar{V}_w} \dots\dots\dots (٤-٢)$$

حسب قانون رؤولت (Raoult) المطبق على المحاليل المثالية (Ideal Solution) (المحاليل المخففة جداً) والذي ينص على أن الضغط البخاري الجزئي لأحد مكونات المزيج يتناسب طردياً مع عدد جزيئات ذلك المكون. أي أن.

$$N_w = \frac{e}{e^0} = \frac{n_w}{n_w + n_s} \dots\dots\dots (٥-٢)$$

حيث N_w هو الكسر المولي للماء أو المذيب (mole fraction of water).

وأن e هو الضغط البخاري للماء في المحلول بالمليمتر زئبق.

وأن e^0 هو الضغط البخاري للماء النقي بالمليمتر زئبق وبدرجة الحرارة نفسها.

وأن n_w هو عدد مولات (moles) الماء.

وأن n_s هو عدد مولات المادة غير المتأينة.

لذلك يمكن كتابة المعادلة (٢-٤) كالآتي:

$$\psi_w = \frac{RT}{V_w} \ln N_w \quad \dots(٦-٢)$$

ويذكر أن الكسر المولي للمذيب (mole fraction of solvent) والكسر المولي

للمذاب (mole fraction of solute) يعادلان للواحد. أي أن:

$$N_w + N_s = 1 \quad \dots(٧-٢)$$

حيث أن N_s هو الكسر المولي للمذاب.

أما إذا كانت المحاليل غير مثالية (كما هو موجود في محلول التربة والعصير الخلوي) عندئذ تستعمل فعالية الماء (Activity of Water) بدلاً من الكسر المولي للماء (N_w) وتكتب المعادلة المرقمة (٦-٢) كالآتي:

$$\psi_w = \frac{RT}{V_w} \ln A_w \quad \dots(٨-٢)$$

حيث أن A_w هي فعالية الماء أو ما يسمى (Activity of Water) أو التركيز الفعال.

A

ويذكر أن فعالية الماء تقاس كالآتي:

$$A_w = C \times \gamma \quad \dots(٩-٢)$$

حيث أن A_w هي فعالية الماء بوحدة Mm Activity of water وأن C هو التركيز

بوحدة mm or M وأن γ هي معامل الفعالية (Activity Coefficient) أما معامل الفعالية

(γ) فيقاس حسب معادلة Debye- Huckel كالآتي:

$$\text{Log } \gamma = -0.51 \frac{z^2}{\sqrt{I}} \quad \dots(10-2)$$

حيث أن γ هي معامل الفعالية وأن 0.51 - هي كمية ثابتة وأن Z هو حاصل شحنة الأيون وأن I هي القوة الأيونية Ionic Strength حسب المعادلة (1-10)

$$I = \frac{1}{2} \sum Z^2 X$$

مثال (1-2):

احسب التركيز الفعال (الفعالية) للصوديوم في محلول 1mM في $\text{Na}_3\text{Citrate}$ ؟

الحل:

$$10^{-3} \text{ M} = 1\text{mM}$$

2- نحسب القوة الأيونية I

$$I = \frac{1}{2} [3 \times 10^{-3} \times 1^2 + 10^{-3} \times 3^2]$$

$$I = \frac{1}{2} [3 \times 10^{-3} + 9 \times 10^{-3}]$$

$$I = \frac{1}{2} \times 10^{-3} (3 + 9)$$

$$I = \frac{1}{2} \times 12 \times 10^{-3} = 6 \times 10^{-3}$$

$$I = 0.006 \text{ M}$$

3- نحسب معامل الفعالية γ

$$\begin{aligned} \text{Log } \gamma &= -0.51 \times \frac{z^2}{\sqrt{I}} \\ &= -0.51 \times 1^2 \times \sqrt{0.006} \\ &= -0.51 \times 0.08 \end{aligned}$$

$$\text{Log } \gamma = -0.04$$

$$\gamma = \text{antilog } -0.04$$

$$\gamma = \text{antilog } -1 + 0.96$$

$$\gamma = 9 \times 10^{-1} = 0.9$$

٤- ونظراً لوجود ثلاثة أيونات للصوديوم لذا يكون

$$\gamma \text{ Na}^+ = 3 \times 0.9 = 2.7$$

٥- نحسب التركيز الفعال أو فعالية الماء كالآتي:

$$A_w = 10^{-3} \times 2.7 \text{ M}$$

$$A_w = 10^{-3} \times 1000 \times 2.7 = 2.7 \text{ mM}$$

هذا وأن جهد الماء (ψ_w) في أي نظام يتأثر بالعديد من العوامل التي تغير الطاقة الحرة أو الفعالية الكيماوية للجزيئات حيث وجد أن جهد الماء يقل بإضافة المواد الذائبة وكذلك بوجود القوى المنتشرة التي تمتص الماء وكذلك بالضغط السالب الحاصل في خشب النباتات ذات المنتج العالي وكذلك بتقليل درجة الحرارة جهد الماء (ψ_w) يزداد بزيادة الضغط الانتفاخي للخلية وبارتفاع درجة الحرارة ضمن حدود معينة.

وفي حالة الخلية النباتية تحت الظروف المتوازنة والمتشابهة يكون جهد الماء (ψ_w) للخلية كالآتي:

$$\psi_{\text{cell}} = \psi_s + \psi_p + \psi_m \quad \dots(11-2)$$

حيث أن ψ_{cell} هو جهد الماء للخلية النباتية بالضغط الجوي.

وأن ψ_s هو الجهد الأزموزي المتسبب عن الذائبات بالضغط الجوي.

وأن ψ_p هو الجهد الهيدروستاتيكي أو الضغط الانتفاخي أو الضغط الجداري بالضغط الجوي.

وأن ψ_m هو الجهد المترى المتسبب عن التثرب أو التصاق الماء ببعض المواد كالفرويات أو الأسطح الفعالة في الخلية بالضغط الجوي.

ومما يجدر ذكره أن كل من ψ_s و ψ_m تعبر عن قيم سالبة بينما تعبر ψ_p عن قيمة موجبة مالم يحدث ضغط سالب شديد على جدران الخلايا وهي حالة نادرة جداً. كما أن المصطلحات الثلاثة (ψ_m, ψ_p, ψ_s) تكون صفراً وأن جهد الماء يعادل الصفو ($\psi_{cell} = 0$) في حالة كون الخلية كاملة الانتفاخ.

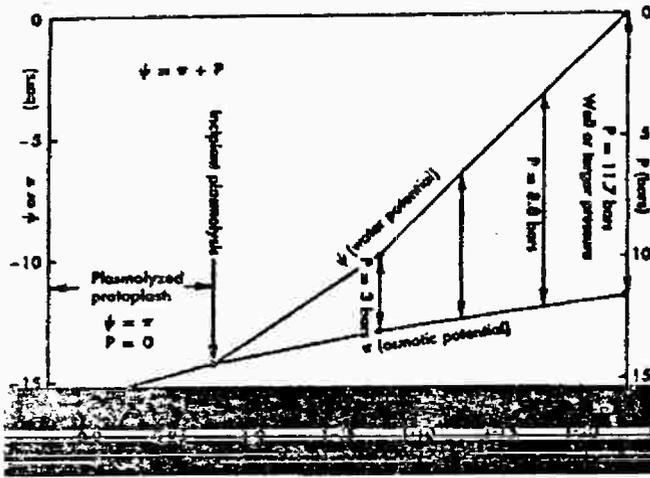
وباستثناء الأنسجة النباتية الجافة أو الخلايا النباتية ذات الفجوات الصغيرة (مثل الخلايا المرستيمية) فإن ψ_m تكون كمية ضئيلة وتهمل ولهذا نكتب للمعادلة (٢-١١) كالآتي:

$$\psi_{cell} = \psi_p + \psi_s \quad \dots\dots\dots(٢-١٢)$$

وقد نكتب المعادلة (٢-١٢) بالصورة الآتية:

$$\psi_{cell} = p + \pi \quad \dots\dots\dots(٢-١٣)$$

حيث أن ψ_{cell} هو جهد الماء في الخلية النباتية بوحدة الضغط الجوي وقد يكون جهد الماء سالب القيمة كما في أغلب الحالات الاعتيادية أو صفراً (في حالة انتفاخ الخلية الكامل (شكل رقم ٢-١) أو أحياناً نادرة موجب القيمة (كحالة وضع الخلية النباتية في منخفض شديد في الأرض عندما يكون الضغط المسلط على الخلية أعلى من الضغط الجوي).



شكل رقم (١-٢): في حالة ازدياد حجم الخلية النباتية (انتفاخها) تصح قم كل من ψ_{cell} و p و π صفاً. عن Levitt, 1974.

وأن P هو الضغط الانتفاخي بوحدة الضغط الجوي وقد يكون الضغط الانتفاخي ذا قيمة موجبة أو صفاً أو أحياناً نادرة سالبة القيمة كحالة الشد السالب أو نقص الماء الشديد في الخلية النباتية.

وأن π هو الضغط الازموزي بوحدة الضغط الجوي ويتسبب الضغط الازموزي عن وجود الذائبات في العصير الخلوي وقد يكون سالبة القيمة (الحالات الاعتيادية) أو صفاً في حالة انتفاخ الخلية.

ولكن بعض الباحثين يفضلون كتابة المعادلة المرقمة (١٣-٢) التي تحكم حركة الماء من محلول للتربة إلى الخلية النباتية أو بالعكس أو من خلية لأخرى أو من جزء معين من التربة إلى جزء آخر كالآتي:

$$\psi_{cell} = p - \pi \quad \dots(١٤-٢)$$

أو بصورة عامة

$$\psi = p - \pi$$

... (١٥-٢)

وهذه هي المعادلة العامة التي تحكم حركة الماء من وإلى الخلية أو بين الخلايا والأنسجة أو بين أجزاء التربة وأن الماء دائما يتحرك من الجهة ذات جهد الماء العالي إلى الجهة ذات جهد الماء اللواطي. وفي الماضي كان يستعمل مصطلح نقص الضغط الانتشار

(DPD) Diffusion Pressure Deficit

وأحيانا قد يسمى قوة الامتصاص الازموزية والتي عددياً تساوي جهد الماء ولكنها تختلف عنه في العلامة الجبرية وبعبارة أخرى:

$$\psi = -DPD$$

... (١٦-٢)

أو أن

$$DPD = -\psi$$

... (١٧-٢)

أو أن

$$DPD = -(P - \pi)$$

... (١٨-٢)

$$DPD = \pi - P$$

... (١٩-٢)

ويذكر أن جهد الماء للمحاليل غير المفصولة بغشاء نصف ناضج عن المحاليل الأخرى المختلفة التركيز يعادل الضغط الأزموزي مع تغيير العلامة الجبرية بسبب فقدان الضغط الانتفاخي أي أن

$$\psi = 0 - \pi$$

$$\psi = -\pi$$

... (٢٠-٢)

ويمكن تطبيق مفهوم جهد الماء على ماء التربة أيضا فقد وجد أن جهد ماء التربة يشمل القوى المتسببة عن اللذائبات أو الجهد الازموزي ($\psi \pi$) والقوى المتسببة عن الجاذبية الأرضية (ψg) والقوى المتسببة عن التشرب أو الخاصية الشعرية أو الجهد المنرى أو الحبيبي (ψp) والقوى المتسببة عن ضغط الغاز الخارجي (ψm) حسب المعادلة الآتية:

$$\psi_{\text{soil}} = \psi_{\pi} + \psi_g + \psi_m + \psi_p \quad \dots(21-2)$$

ويمكن تبسيط المعادلة (21-2) إلى ما يأتي:

$$\psi_{\text{soil}} = \psi_{\pi} + \psi_m \quad \dots(22-2)$$

حيث أن ψ_{soil} هو جهد ماء التربة بالضغط الجوي أو البار. وأن ψ_{π} هو الجهد الأزموزي للمحلول التربة بالضغط الجوي أو البار وأن ψ_m هو الجهد المترى أو التشربي أو الحبيبي بالضغط الجوي.

الضغط الأزموزي Osmotic Pressure

عند فصل الماء النقي أو المحلول المخفف عن محلول آخر أكثر تركيزاً بغشاء نصف ناضج (**Semipermeable Membrane**) كحالة الأزموميتر الاصطناعي (شكل رقم 2-2) أو بغشاء متمايز النفاذية (**Differentially Permeable Membrane**) كحالة الخلية النباتية (شكل رقم 2-2) فإن جهد الماء (ψ_w) للماء النقي أو المحلول المخفف يكون أكثر من جهد الماء للمحلول الأكثر تركيزاً وبذلك ينفذ الماء عبر هذا الغشاء إلى الجهة الحاوية على المحلول المركز وتسمى هذه العملية بالتنافذ أو الأزموزية (Osmosis) وتستمر عملية نفوذ الماء إلى أن يتعادل الضغط الناشئ عن ارتفاع المحلول في الأزموميتر الاصطناعي أو عن ازدياد حجم الخلية مع جهد الماء ويطلق على هذا الضغط بالضغط الأزموزي (Osmotic Pressure)

أن الضغط الأزموزي يحتسب بالطرق الآتية:

١- من معرفة تركيز المذاب ثم استعمال المعادلة الآتية:

$$\pi = \alpha \frac{n}{V} RT \quad \dots(23-2)$$

حيث أن π هو الضغط الأزموزي للمحلول بالضغط الجوي.

وأن α هي ثابت تأين المادة. فإذا كانت المادة غير متأينة فإن α تساوي الواحد. أما بالنسبة للمواد المتأينة فإن α تختلف باختلاف فعالية تأين المواد.

وأن n هو عدد مولات المذاب.

وأن V هو حجم المحلول باللتر.

وأن $\frac{n}{V}$ هو تركيز المذاب بوحدة mole / liter.

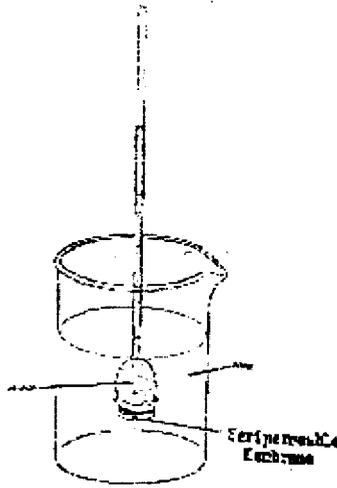
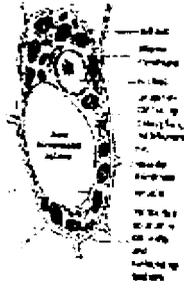
وأن R هو معامل الغاز الثابت ويساوي

0.082 liter. Atmosphere / mole. degree

وأن T هي درجة الحرارة المطلقة (كلفن).

٢- من معرفة الضغط البخاري للمحلول (Vapour Pressure). لقد وجد أن الذائبات تسبب انخفاضاً في ضغط الماء البخاري مقارنة بالضغط البخاري للماء النقي. وأن المعادلة الآتية تعبر عن علاقة الضغط البخاري للمحلول بالضغط الازموزي للمحلول.





شكل رقم (٢-٢): رسوم تخطيطية تبين الازوميتير الاصطناعي (اليسار) والازوميتير الطبيعي
 أو الخلية النباتية (اليمن). عن: Salisbury and Ross, 1978.

$$\pi = \frac{RH}{V_w} \ln \frac{e}{e^0} \quad \dots(٢٤-٢)$$

حيث أن π هو الضغط الازموزي للمحلول بالضغط الجوي

وأن R هو معامل الغاز الثابت الذي يساوي

0.082 liter. atmosphere / mole. degree

وأن T هي درجة الحرارة المطلقة.

وأن \ln هي اللوغاريتم الطبيعي.

وأن e هو الضغط البخاري للماء في المحلول بوحدة ملليمتر زئبق.

وأن e° هو الضغط البخاري للماء النقي بوحدة مليمتري زئبق.

٣- من معرفة مقدار الانخفاض في درجة الانجماد.

(Freezing Point Depression)

أو تسمى الطريقة الانجمادية (Cryoscopic Method)

لقد وجد أن الذائبات تسبب انخفاضاً في درجة انجماد المحلول مقارنة بدرجة انجماد الماء النقي (وهي صفر مئوي). والمعادلة الآتية علاقة الضغط الازموزي بانخفاض درجة الانجماد:

$$\pi = \frac{(22.4) (\Delta F)}{(1.86)} \dots (25-3)$$

حيث أن π هو الضغط الازموزي للمحلول أو العصير الخلوي بوحدة الضغط الجوي.

وأن 22.4 هو الضغط الازموزي لمحلول مولر واحد من مادة غير متأينة وأن 1.86 هو مقدار الانخفاض بالدرجة المئوية الناتج عن إذابة مول واحد من المعادلة غير المتأينة.

وأن ΔF هو مقدار الانخفاض في درجة انجماد المحلول بالدرجة المئوية الناتج عن إذابة المادة غير المتأينة. هذا وقد تختصر المعادلة (٢-٢٥) إلى ما يأتي:

$$\pi = (12.2) (\Delta F) \dots (26-2)$$

بعض الحسابات المتعلقة بجهد الماء ومكوناته للمحاليل

Calculations of Water Potential and its Components for Solutions

مثال (٢-٢)

احسب جهد الماء (Water Potential ψ_w) ومكوناته كما يأتي:

أ- الماء المقطر علماً بأن درجة الحرارة هي 28م°.

ب- محاليل السكر ذات التركيز.

$$0.6 \text{ M} - 1$$

$$0.8 \text{ M} - 2$$

$$0.10 \text{ M} - 3$$

$$1.2 \text{ M} - 4$$

وذلك في درجة حرارة 28 م° كما أن α تعادل الواحد.

الحل

أ- بحسب الضغط الازموزي من استعمال المعادلة المرقمة (٢-٢٣) وهي:

$$\pi = \alpha \frac{n}{V} RT$$

فبالنسبة للماء النقي (عديم الذائبات) تكون قيمة n تساوي الصفر. لذلك يكون الضغط الازموزي كالاتي:

$$\pi = \alpha \frac{(0)}{V} RT = 0 \text{ atm}$$

ثم يحسب جهد الماء من تطبيق المعادلة المرقمة (٢-١٥) وهي:

$$\psi = p - \pi$$

بعد معرفة مكوناته وهي الضغط الانتفاخي للماء المقطر (النقي) المعادل للصفر والضغط الازموزي للماء النقي المعادل للصفر كما حسبناه ويكون جهد الماء كالاتي:

$$\psi = 0 - 0 = 0 \text{ atm}$$

ب- محاليل السكر ونحسب أولا الضغط الازموزي لمحلول السكر ذي التركيز (1.2 M) بانتباع المعادلة (٢-٢٣) كالاتي:

$$\pi = (1) \frac{(1.2)}{(1)} (0.082) (301)$$

$$\pi = 30 \text{ atm}$$

أما الضغط الانتفاخي لأي محلول غير مفصول بغشاء نصف ناضج عن محلول آخر مختلف التركيز فيعادل الصفر. لذلك يكون جهد الماء كالاتي:

$$\psi = P - \pi$$

$$\psi = 0 - 30$$

$$\psi = -30 \text{ atm}$$

أما القيم الأزموزية لمحاليل السكروز الأخرى فيمكن أتباع المعادلة السابقة (٢٣-٢) لحسابها كما يمكن أتباع المعادلة الآتية لتقدير الجهود الأزموزية للمحاليل:

$$\frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{M_1}{M_2} \dots\dots\dots(٢٧-٢)$$

حيث أن π_1 هو الضغط الأزموزي الأول بالضغط الجوي.

وأن π_2 هو الضغط الأزموزي الثاني بالضغط الجوي.

وأن M_1 هو تركيز المحلول الأول.

وأن M_2 هو تركيز المحلول الثاني.

وعلى ذلك يكون

$$\frac{30}{\pi_2} = \frac{1.2}{1}$$

$$\therefore \pi_2 = \frac{30}{1.2} = 25 \text{ atm}$$

ويتطبيق المعادلة (٢٠-٢) وهي

$$\psi = -\pi$$

$$\psi = -25 \text{ atm}$$

وكذلك

$$\frac{30}{\pi_2} = \frac{1.2}{0.8}$$

$$\psi = -\pi = -20 \text{ atm}$$

وكذلك

$$\therefore \pi_2 = \frac{30 \times 0.8}{1.2} = 20 \text{ atm}$$

$$\frac{30}{\pi_2} = \frac{1.2}{0.6}$$

$$\therefore \pi_2 = \frac{30 \times 0.6}{1.2} = 1.5 \text{ atm}$$

$$\psi = -\pi = -1.5 \text{ atm}$$

وكما ذكر فإن قيم الضغط الانتفاخي (p) لأي محلول أو الماء المقطر (النقي) معرضاً إلى الضغط الجوي الواحد تعادل الصفر لأن الضغط الانتفاخي يتكون فقط عندما يوجد النظام الازموزي الخلوي كما يمكن تطبيق الفرضية نفسها على قيم p لمحلول التربة.

بعض الحسابات المتعلقة بجهد الماء ومكوناته للخلايا والأنسجة النباتية والتربة

Calculations of Water Potential and its Components for Plant cells and tissues

مثال (٢-٣):

لنفترض وجود خلية نباتية جهدها الازموزي يعادل (10 atm) وغير ممثلة (P = 0 atm) ثم وضعت في الماء المقطر. أحسب قيم الضغط الأزموزي (π) والضغط الانتفاخي (p) وجهد الماء (ψ) للخلية بعد حصول التوازن.

الحل:

الخلية النباتية

الماء المقطر

$$\pi = 10 \text{ atm}$$

$$\pi = 0 \text{ atm}$$

$$p = 0 \text{ atm (غير ممثلة)}$$

$$p = 0 \text{ atm}$$

$$\therefore \psi = p - \pi$$

$$\psi = 0 \text{ atm}$$

$$\psi = -\pi = -10 \text{ atm}$$

ولهذا ينتقل الماء من منطقة ذات جهد الماء العالي (من الماء المقطر) إلى المنطقة ذات جهد الماء الواطيء (إلى الخلية النباتية) حتى حدوث التوازن. وعند حصول التوازن فإن ψ للخلية يعادل الصفر. أي أنه:

في النهاية (الخلية بعد حصول التوازن)

الخلية النباتية

الماء المقطر

$$\psi_{\text{cell}} = 0 \text{ atm}$$

$$\psi = 0 \text{ atm}$$

$$\pi = 10 \text{ atm}$$

$$\pi = 0 \text{ atm}$$

$$\psi_{\text{cell}} = p - \pi$$

$$p = 0 \text{ atm}$$

$$0 = p - 10$$

$$\therefore p = 10 \text{ atm}$$

مثال (٢-٤):

لنفرض أن الخلية الواردة في المثال (٢-٣) قد وضعت في محلول ضغطه الأزموزي (6 atm) أي في محلول ناقص الأزموزية (Hypotonic Solution) فماذا يحدث للخلية بعد حصول التوازن.

في البداية	الحل:
الخلية النباتية	المحلول
$\pi = 10 \text{ atm}$	$\pi = 6 \text{ atm}$
$p = 0 \text{ atm}$	$p = 0 \text{ atm}$
$\psi = p - \pi$	$\psi = p - \pi$
$\psi = 0 - 10$	$\psi = 0 - 6$
$\psi = -10 \text{ atm}$	$\psi = -6 \text{ atm}$

أي أن جهد الماء للمحلول (ψ_w) أعلى من جهد الماء للخلية النباتية (ψ_{cell}) ولهذا ينتقل الماء من المحلول إلى الخلية حتى يحدث التوازن ويتساوى ψ للخلية والمحلول. أي أنه:

في النهاية (بعد حصول التوازن)

الخلية النباتية	المحلول
$\psi_{\text{cell}} = -6 \text{ atm}$	$\psi = -6 \text{ atm}$
$\pi = 10 \text{ atm}$	$\pi = 6 \text{ atm}$
$\psi = p - \pi$	$p = 0 \text{ atm}$
$-6 = p - 10$	
$p = 10 - 6 = 4 \text{ atm}$	

مثال (٢-٥):

لنفرض أن الخلية النباتية الواردة من المثال (٢-٣) قد وضعت في محلول جهده الأزموزي يساوي 10 atm أي في محلول سوى الأزموزية Isotonic Solution فماذا يحدث للخلية النباتية بعد حصول التوازن؟

في البداية	الحل:
الخلية النباتية	المحلول
$\pi = 10 \text{ atm}$	$\pi = 10 \text{ atm}$
$p = 0 \text{ atm}$	$p = 0 \text{ atm}$
$\psi = p - \pi$	$\psi = p - \pi$
$\psi = 0 - 10 = -10 \text{ atm}$	$\psi = 0 - 10 = -10$

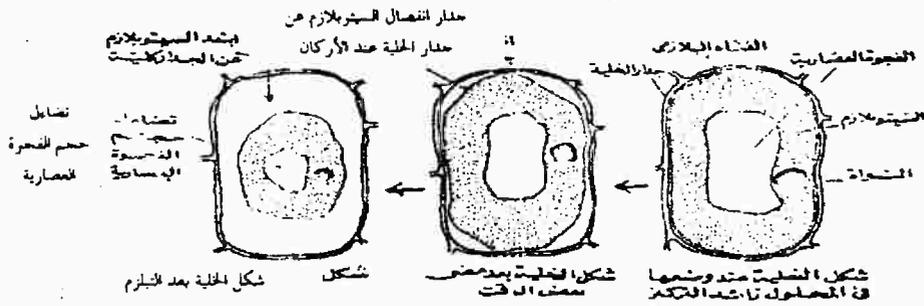
أي يوجد توازن ديناميكي بين الخلية والمحلول الخارجي بسبب تساوي جهد الماء في الجانبين وفي هذه الحالة لا يحدث امتصاص الماء أو فقدان الماء من قبل الخلية النباتية.

مثال (٢-٦):

لنفرض أن الخلية النباتية الواردة في المثال (٣-٢) قد وضعت في محلول جسده الازموزي يساوي 15 atm أي في محلول زائد الأزموزية **Hypertonic Solution** فماذا يحدث للخلية النباتية بعد حصول التوازن.

في البداية	الحل:
الخلية النباتية	المحلول
$\pi = 10 \text{ atm}$	$\pi = 15 \text{ atm}$
$p = 0 \text{ atm}$	$p = 0 \text{ atm}$
$\psi = p - \pi$	$\psi = p - \pi$
$\psi = 0 - 10 = -10 \text{ atm}$	$\psi = 0 - 15 = -15$

أي أن جهد الماء للخلية ψ_{cell} أعلى من جهد الماء للمحلول الخارجي ولذلك يخرج الماء من الخلية النباتية إلى المحلول الخارجي حتى يحدث التوازن ويتساوى جهد الماء للخلية والمحلول وفي هذه الحالة يحدث انقباض الخلية (Plasmolysis) (شكل رقم ٢-٣). وبعبارة أخرى يحدث ما يأتي:



شكل رقم (٢-٣):

توضيح ظاهرة البلازمة

في النهاية (الخلية بعد حصول التوازن)

الخلية النباتية

المحلول

$$\pi = 10 \text{ atm}$$

$$p = -15 \text{ atm}$$

$$\psi = p - \pi$$

$$-15 = p - 10$$

$$p = -15 + 10$$

atm

$$p = -5 \text{ atm}$$

$$\pi = 15 \text{ atm}$$

$$p = 0 \text{ atm}$$

$$\psi = p - \pi$$

$$\psi = 0 - 15 = -15$$

ومما يجدر ذكره أن البلازمة أو انقباض الخلية Plasmolysis قد تكون مؤقتة أو دائمة معتمدة على تركيز المحلول الخارجي ونوعية المادة المذابة وعلى درجة سماح الغشاء الدلوي لنفوذ جزيئات المذاب إلى العصير الخلوي فإذا كانت البلازمة مؤقتة فهذا يعنى السماح لنفوذ بعض جزيئات المذاب إلى العصير الخلوي (عصير الفجوة) وامتصاصها للماء بعد ذلك ثم انتفاخ الخلية أخيراً.

حساب الضغط الازموزي للخلايا النباتية في حالة عدم حدوث أي تغير في الحجم

مثال (٢-٧):

لنفرض أن الأنسجة النباتية التي وضعت في محلول ما لم يحدث فيها أي تغير في

الحجم. فإذا كان الضغط الأزموزي للمحلول يعادل 15 atm فما قيمة ψ للخلايا وماذا يحدث للخلايا.

الحل:

يشابه هذا المثال، المثال المرقم (٢-٥) لان عدم حصول أي تغير في حجم النسيج يعني أن الضغط الأزموزي وجهد الماء للخلايا يساوي الضغط الأزموزي وجهد الماء للمحلول. أي أن:

الخلايا	المحلول
$\pi = 15 \text{ atm}$	$\pi = 15 \text{ atm}$
$\psi = -15 \text{ atm}$	$\psi = -15 \text{ atm}$
$p = 0 \text{ atm}$	$p = 0 \text{ atm}$

Incipient Plasmolysis
حساب الضغط الأزموزي للأنسجة النباتية في حالة البلازمة البدائية

مثال (٢-٨):

وضعت خلايا نباتية في محلول ضغطه الأزموزي يعادل 25 atm فحدثت البلازمة البدائية. أحسب قيم ψ و π للخلايا بعد حصول البلازمة والتوازن.

الحل

الخلية بعد حصول البلازمة	المحلول
$\psi = -25 \text{ atm}$	$\pi = -25 \text{ atm}$
$p = 0 \text{ atm}$	$p = 0 \text{ atm}$
$\psi = p - \pi$	$\psi = p - \pi$
$-25 = 0 - \pi$	$\psi = 0 - 25$
$\pi = 25 \text{ atm}$	$\psi = -25 \text{ atm}$

حساب الضغط الأزموزي بطريقة الانخفاض في درجة الانجماد Cryoscopic Method

مثال (٢-٩):

نفرض أنه عند استخلاص العصير الخلوي وجد أن مقدار الانخفاض في درجة الانجماد ΔF يساوي 1.637 درجة مئوية. أحسب الجهد الأزموزي لهذا العصير الخلوي.

الحل:

باتباع المعادلة المرقمة (٢-٢٦) وهي

$$\pi = (\Delta F) (12.2)$$

وبالتعويض يكون الضغط الأزموزي للعصير الخلوي كالآتي:

$$\pi = (12.2) (1.637)$$

$$\pi = 20 \text{ atm}$$

$$\psi_{\text{cell}} = -\pi = -20 \text{ atm}$$

هذا وقد ظهر أن الضغط الأزموزي للعصير الخلوي المحسوب بهذه الطريقة

Cryoscopic Method يقل بحوالي 20 % عما وجد بطريقة البلازما البدائية بسبب

امتزاج المحتويات السايٲوبلازمية مع العصير الخلوي (عصير الفجوة) وكذلك بسبب

التخفيف الناتج عن عملية الاستخلاص نفسها حيث يختلط الماء الموجود في سيليلوز الجدار

الخلوي مع العصير المستخلص **Apoplastic Water**.

حساب التغير في حجم الخلايا بطريقة البلازما.

مثال (٢-١٠):

لنفرض أنه قيس حجم بروتوبلاست للخلايا في بداية ونهاية البلازما البدائية **In cipient**

Plasmolysis ووجد أن حجم الخلايا قد قل إلى 90 % من الحجم الأصلي (أي مقدار قلة

الحجم 10 %). أحسب القيمة الأزموزية الأصلية للعصير الخلوي علما بأن الضغط

الأزموزي المقاس للعصير الخلوي بعد البلازما يعادل 25 atm.

الحل: لأجل حل المثال نتبع المعادلة الآتية:

$$\pi_1 V_1 = \pi_2 V_2 \dots\dots\dots(٢-٢٨)$$

حيث أن π_1 هو الضغط الأزموزي للعصير في الحالة الأولى بالضغط الجوي.

وأن π_2 هو الضغط الأزموزي للعصير في الحالة الثانية بعد تغير الحجم بالضغط الجوي.

وأن V_1 هو حجم الخلية في الحالة الأولى.

وأن V_2 هو حجم الخلية في الحالة الثانية بعد تغير الحجم.

والآن نفرض أن حجم الخلية الأصلي هو 100 % والحجم الجديد بعد التغير هو 90 %

وبالاستعاضة في المعادلة (٢٨-٢) يكون:

$$(\pi_1) (100\%) = (25) (90\%)$$

$$\pi_1 = \frac{25 \times 90}{100} = 22.5 \text{ atm}$$

وهذا هو الضغط الأزموزي للخلايا النباتية قبل حدوث البلزمة.

تصحيح درجات الحرارة

لقد وجد Van't Hoff بان الضغط الأزموزي يتناسب طرديا مع درجات الحرارة المطلقة ضمن حدود معينة. ونظرا لان طريقة الـ **Cryoscopy** تقيس الضغط الأزموزي قرب درجة الانجماد لذلك يجب التصحيح لدرجات الحرارة الاعتيادية.

مثال (٢-١١):

أحسب الضغط الأزموزي للعصير الخلوي في درجة حرارة 28م° علما بان العصير الخلوي يسبب انخفاضا في درجة الانجماد بمقدار - 1.637 درجة مئوية.

الحل:

باتباع المعادلة المرقمة (٢٦-٢) يحسب الضغط الأزموزي للعصير الخلوي.

$$\pi = (12.2) (\Delta F)$$

$$\pi = (12.2) (1.637)$$

$$\pi = 20 \text{ atm}$$

ثم تستعمل المعادلة الآتية لتصحيح درجات الحرارة

$$\frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (29-2)$$

حيث أن π_1 هو الضغط الأزموزي الأول للعصير الخلوي بالضغط الجوي.

وأن π_2 هو الضغط الأزموزي الثاني للعصير الخلوي بالضغط الجوي.

وأن T_1 هي درجة الحرارة المطلقة الأولى.

وأن T_2 هي درجة الحرارة المطلقة الثانية.

$$\frac{20}{\pi_2} = \frac{(273 + 1.637)}{(273 + 28)}$$

أي أن

$$\frac{20}{\pi_2} = \frac{271.363}{301}$$

$$\therefore \pi_2 = \frac{(301)(20)}{271.363} = 22.2 \text{ atm}$$

وبعبارة أخرى أن الضغط الأزموزي في درجة حرارة 28°م قد قل نسبياً.

مثال (٢-١٢):

خلية غير منتقخة عصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.93°م. وضعت هذه الخلية في لترين ماء مقطر مذاب فيه 36 غم سكر الكلوكوز في درجة حرارة 20°م. أحسب ما يأتي:

١- قيم π ، ψ ، P ، DPD، للخلية والمحلول بعد حصول التوازن.

٢- اتجاه حركة الماء.

٣- أفرض أن الخلية بعد التوازن قد وضعت في محلول مركز جداً وقل حجمها. بمقدار 20% أحسب الجهد الأزموزي للخلية بعد حصول البلزمة.

الحل:

١- تسحب عدد مولات الكلوكوز باللتر الواحد:

$$n = \frac{36}{180} = 0.2 \text{ mole} / 2 \text{ liter} = 0.1 \text{ mole} / \text{ liter}$$

٢- نحسب الضغط الأزموزي للمحلول كالآتي:

$$\pi_{\text{Solution}} = \alpha \frac{n}{V} RT = (1)(0.1)(0.082)(293) = 2.4 \text{ atm}$$

٣- نحسب الضغط الأزموزي للخلية:

$$\pi_{\text{cell}} = \frac{(22.4)(\Delta F)}{1.86} = \frac{(22.4)(0.93)}{1.86} = 11.2 \text{ atm}$$

٤- نصصح الضغط الأزموزي إلى درجة حرارة المحلول 20 م° كالآتي:

$$\frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{11.2}{\pi_2} = \frac{273 - 0.93}{273 + 20}$$

$$\frac{11.2}{\pi_2} = \frac{272.07}{29.3}$$

$$\therefore \pi_2 = \frac{(11.2)(293)}{272.07} = 12 \text{ atm}$$

٥- نحسب القيم قبل التوازن وبعد التوازن كالآتي:

المحلول	قبل التوازن	الخلية
$\pi = 2.4 \text{ atm}$		$\pi = 12 \text{ atm}$
$\psi = P - \pi$		$P = 0 \text{ atm}$
$\psi = 0 - 2.4 = -2.4 \text{ atm}$		$\psi = P - \pi$
$p = 0 \text{ atm}$		$\psi = 0 - 12 = -12 \text{ atm ...}$
$DPD = -\psi$		$DPD = +12 \text{ atm}$
$DPD = +2.4 \text{ atm}$		

الماء ينتقل من المحلول ذي جهد الماء العالي 2.4 atm - إلى الخلية ذات جهد الماء الواطي 12 atm - حتى يتم للتوازن ويكون جهد الماء معادلا 2.4 atm - للجانبين.

المحلول	قبل التوازن	الخلية
$\psi = -2.4 \text{ atm}$		$\pi = 12 \text{ atm}$
$\pi = 2.4 \text{ atm}$		$\psi = -2.4 \text{ atm}$
$P = 0 \text{ atm}$		$\psi = P - \pi$
$DPD = +2.4 \text{ atm}$		$-2.4 = P - 12$

$$P = 12 - 2.4 = 9.6 \text{ atm}$$

$$DPD = +2.4 \text{ atm}$$

٦- نحسب الضغط الأزموزي للخلية بعد حصول البلزمة كالآتي:

$$(\pi_1)(V_1) = (\pi_2)(V_2)$$

$$(\pi_1)(80) = (100)(12)$$

$$\pi_i = \frac{(100)(12)}{(80)} = 15 \text{ atm}$$

حساب حركة الماء بين الخلايا النباتية

مثال (٢-١٢):

أ- خليتان نباتيتان A و B ولنفرض أن الخلية النباتية A كانت ذات ضغط أزموزي

يعادل 10 atm وضغطها الانتفاخي يعادل 4 atm . أما الخلية النباتية B فأنها ذات π

يعادل 6 atm و p يعادل 3 atm . وعند تلامس الخليتين فإين يتحرك الماء ؟

الحل:

نحسب قيمة جهد الماء لكل من الخليتين:

$$\psi_A = P - \pi$$

$$\psi_A = 4 - 10 = -6 \text{ atm}$$

$$\psi_B = P - \pi$$

$$\psi_B = 3 - 6 = -3 \text{ atm}$$

الماء يتحرك من الجهة ذات جهد الماء العالي (ψ_B) وهي الخلية B إلى الجهة ذات

جهد الماء الواطي وهي الخلية A حتى يحدث التوازن عندما يصبح ψ لكل منهما

يساوي (-4.5 atm) .

ب- عند وضع الخلية A في محلول ضغطه الأزموزي 2 atm والذية B وضعت في

محلول ضغطه الأزموزي 5 atm (شكل رقم ٢-٤). فما قيمة P ، ψ للخليتين بعد

حدوث التوازن علما بان حجم الخليتين لم يتغير.

الحل:

الخلية A في حالة التوازن مع محلولها يكون جهد الماء (ψ_A) لها يساوي -2 atm كالآتي:

$$\psi_{wA} = P - \pi$$

$$\psi_{wA} = 0 - 2 = -2 \text{ atm}$$

$$\psi_{\text{cell}} = -2 \text{ atm}$$

$$-2 = P - 10$$

$$\therefore P = 10 - 2 = 8 \text{ atm}$$

أما الخلية B شكل رقم (٣-٤) ففي حالة التوازن مع محلولها يكون جهد الماء لها يساوي (-5 atm) أي أن:-

$$\psi_{wA} = p - \pi$$

$$\psi_{wB} = 0 - 5 = -5 \text{ atm}$$

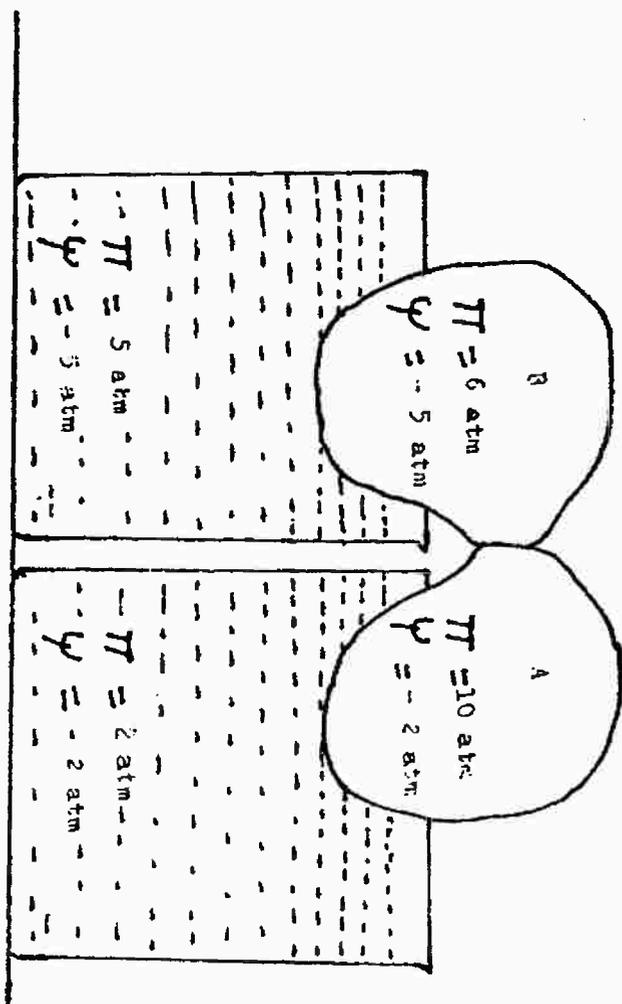
$$\psi_{\text{Cell B}} = -5 \text{ atm}$$

$$-5 = p - 6$$

$$\therefore P = 6 - 5 = 1 \text{ atm}$$

وبما أن جهد الماء للخلية A هو أكثر مما للخلية B لذلك يتحرك الماء من الخلية A إلى الخلية B ($\psi = -5$) في حالة تلامسهم حتى يحدث التوازن ويكون ψ لكل منهما يعادل (-3.5 atm).

ج- لنفرض أنه حدث تغيراً في الحجم حيث أن حجم الخلية A قد تضاعف وحجم B قد ازداد بنسبة 10% فقط وعند وضعهما في محلولين ضغطهما الأزموزي (2 atm) و(5 atm) على التوالي فإلى أي الاتجاهين يتحرك الماء؟



شكل رقم (١-٧) : ترتيب كيفية خلاص الطرفين اللذين هما A و B التجارزين

$$\pi_1 V_1 = \pi_2 V_2$$

وبالتعويض في الخلية A

$$(10)(1x) = (\pi_2)(2x) \therefore \pi_2 = \frac{10x}{2x} = 5 \text{ atm}$$

أما بالنسبة للخلية النباتية B فيحسب الضغط الأزموزي الجديد كالآتي:

$$\pi_1 V_1 = \pi_2 V_2$$

$$(6)(100\%) = (\pi_2)(110\%)$$

$$\therefore \pi_2 = \frac{6 \times 100}{110} = 5.45 \text{ atm}$$

والآن عند وضع الخليتين A و B في محلولين ضغطهما الأزموزي (2 atm) و (5 atm) على التوالي وحدث التوازن بين الخليتين والمحاليل يحصل ما يأتي:

الخلية A

$$\psi_{\text{cell A}} = \psi_{\text{Solution}} = -2 \text{ atm}$$

$$\pi_A = 5 \text{ atm}$$

$$\psi = P - \pi$$

$$-2 = P - 5$$

$$\therefore P = 5 - 2 = 3 \text{ atm}$$

الخلية B

$$\psi_{\text{Cell}} = \psi_{\text{Solution}} = -5 \text{ atm.}$$

$$\pi_B = 5.45 \text{ atm.}$$

$$\psi = P - \pi$$

$$-5 = P - 5.45$$

$$\therefore P = 5 - 5.45 = -0.45 \text{ atm}$$

وبعبارة أخرى أن الماء يتحرك من الخلية A ($\psi = -2 \text{ atm}$) إلى الخلية B ($\psi =$

5) - عند التلامس.

د- لنفرض أن حجم الخلايا كان غير معروف لسبب ما ولكن الخلايا أصبحت في حالة متوازنة مع المحاليل ثم وضعت بصورة متلامسة؟ كيف يجري الماء؟

الحل:

بغض النظر عن حدوث أي تغير في حجم الخلايا وبالنتيجة ضغطها الانتفاخية (p) فإنه عند حصول التوازن مع محاليلها فإن الخلايا سوف تمتلك جهد الماء نفسها للمحاليل المنغمة فيها للخلايا ولذلك فإن الخلية A سوف يكون لها ψ يعادل (- 2 atm) والخلية B سيكون لها ψ يعادل (-5 atm) وبالتالي فالماء يتحرك من الخلية A إلى الخلية B.

الأخطاء المحتملة

أن غالبية هذه الطرائق تقريبية فمثلا قيمة العامل الثابت للتأين يجب أن تكون معروفة لاجل معرفة تركيز كل محلول ومن ثم حساب الضغط الأزموزي له وكذلك بالنسبة لطريقة البلازما فإنها لا تخلو من أخطاء بسبب صعوبة تعيين البلازما البدائية Incipient Plasmolysis بالميكروسكوب وكذلك صعوبة معرفة تغير الحجم.

أما طريقة Cryoscopy فهي الأخرى تقريبية بسبب امتزاج السايوتوبلازم بالفجوة.

أما معادلة التصحيح للحجم (٢-٢٨) فهي تفترض عدم تبادل المواد الذائبة بين الخلايا والمحيط للخارجي بيد أن هذه للفرضية تقريبية أيضا.

التأين Ionization

مثال (٢-١٤)

أ- لنفرض أن العصير الخلوي الذي ضغطه الأزموزي يساوي (22.2 tm) مكمون من مواد غير متأينة فماذا تكون قيمة ثابت التأين (α) الموجودة في معادلة فان هوف t (Van'Hoff) المراقبة (٢-٢٣) وهي

$$\pi = \alpha \frac{n}{V} RT$$

الحل

أن قيمة α تساوي للواحد. أي أن:

$$\alpha = \frac{1}{1} = 1$$

ب- لنفرض أن المادة كانت متأينة بنسبة % 100 فما هي قيمة α ؟

الحل

أن المادة المتأينة بنسبة 100 % تعني أن كل 100 جزيئية تنتج بعد تأينها 200 أيون (ions) أو دقيقة وأن α ستكون كالآتي:

$$\alpha = \frac{200}{100} = 2$$

ج. لنفرض أن المادة كانت متأينة بنسبة 10 % فما هي قيمة α ؟

الحل

أن نسبة التأين 10 % تعني أن كل 100 جزيئية يتأين منها 10 جزيئات ويبقى منها 90 جزيئية غير متأينة وأن هذه العشرة جزيئات ستكون 20 أيون أو دقيقة ولهذا يكون المجموع الكلي للدقائق كالآتي:

$$90 + 20 = 110$$

$$\alpha = \frac{110}{100} = 1.1$$

حساب للتركيز

بعد معرفة درجة الحرارة والضغط الأزموزي للمحلول يمكن حساب تركيز المحلول.

مثال (٢-١٥)

أحسب تركيز المحلول الذي ضغطه الأزموزي يساوي (22.2 atm) وثابت تأينه $\alpha = 1.1$ (في درجة حرارة 28°).

الحل

تستعمل المعادلة المرقمة (٢-٢٣) وهي:

$$\pi = \alpha \frac{n}{V} RT$$

ومن المعلوم أن $\frac{n}{V}$ هو التركيز بالمولر (M) لهذا تحور المعادلة (٢-٢١) إلى ما يأتي:

$$\pi = \alpha MRT$$

.....(٢-٣٠)

وتحور المعادلة (٢-٣٠) إلى ما يأتي:

$$M = \frac{\pi}{\alpha RT} \dots\dots\dots(2-31)$$

وبالتعويض يتكون

$$M = \frac{(22.2)}{(1.1)(0.082)(301)} = 0.807M$$

مثال (2-16):

خلايا نبات الطماطة عصرت ووجد أن عصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.93 م عندما كان النبات في حالة ذبول والنبات مزروع في تربة جهدها المترى (ψ_m) يعادل -4 atm. أضيف للتربة محلول ملح الطعام بتركيز 0.1M بدرجة حرارة 20 م حتى الوصول إلى السعة الحقلية. هل يمتص النبات الماء. بين ذلك بالحسابات.

الحل

$$\pi_{cell} = \frac{(22.4)(\Delta F)}{(1.86)}$$

$$\pi_{cell} = \frac{(22.4)(0.93)}{(1.86)} = 11.2 \text{ atm}$$

$$\frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{11.2}{\pi_2} = \frac{273 - 0.93}{273 + 20}$$

$$\pi_2 = \frac{11.2 \times 293}{272.07} = 12 \text{ atm}$$

$$\psi_{cell} = p - \pi = 0 - 12 = -12 \text{ atm}$$

$$\pi_{soil} = \alpha \frac{n}{V} R T = (2)(0.1)(0.082)(293) = 4.8 \text{ atm}$$

$$\psi_{\pi} = -\pi = -4.8 \text{ atm}$$

$$\psi_{soil} = \psi_m + \psi_{\pi}$$

$$\psi_{soil} = -4 - 4.8 = -8.8 \text{ atm}$$

$\psi_{soil} > \psi_{cell}$ أكثر من ψ_{cell} وبذلك يستطيع النبات امتصاص الماء حتى يصبح ψ .

cell يعادل ψ_{soil} أو -8.8 atm وتتفتح الخلايا ويزداد ضغطها الانتفاخي كالاتي:

$$\psi_{\text{cell}} = p - \pi$$

$$-8.8 = P - \pi$$

$$\therefore P = 12 - 8.8 = 3.2 \text{ atm}$$

مثال (٢-١٧):

إذا كانت الخلية A ذات ضغط انتفاخي يقدر بـ 5 atm تحتوي على اسم^٣ من $0.001M$ كلوكوز والخلية B ذات ضغط انتفاخي يقدر بـ 5 atm وتحتوي على اسم^٣ من $0.001M$ سكروز أصبحنا في حالة تماس وكانت درجة الحرارة صفر منوي ففي أي اتجاه يتحرك الماء؟

الحل:

١- نحسب الضغط الأزموزي المتساوي لكل من الخليتين

$$\pi = \alpha \frac{n}{V} R T$$

$$1 \text{ cm}^3 = 0.001 \text{ liter}$$

$$\pi = (1) \frac{0.001}{0.001} (0.082) (273)$$

$$\pi = 22.4 \text{ atm}$$

٢- نحسب جهد الماء للخليتين

$$\psi_{\text{cell}_A} = P - \pi$$

$$= 5 - 22.4 = -17.4 \text{ atm}$$

$$\psi_{\text{cell}_B} = 5 - 22.4 = -17.4 \text{ atm}$$

أي أن جهد الماء متساوي ولا يتحرك الماء من الناحية النظرية إذا افترضنا أن محلولي السكروز والكلوكوز يسلكان سلوك المحاليل المثالية ideal solution فيكون الضغط الأزموزي للخليتين متشابهة وكذا جهد الماء ولكن من الناحية العملية أن السكروز

ذو الوزن الجزيئي الأكثر سوف يخفض الضغط البخاري للمحلول أكثر من الكلوكوز ولهذا يكون الضغط الأزموزي له أكثر للكلوكوز وبالتالي جهد الماء أقل من الخلية الحاوية على الكلوكوز وبعبارة أخرى يتحرك الماء من الخلية الحاوية على الكلوكوز إلى الخلية الحاوية على السكروز.

الأسئلة

(١-٢) استعملت طريقة البلازما البدائية لتقدير الضغط الأزموزي للعصير الخلوي في الخلية الحية. وكانت الخلية المبلزمة بدائياً **Incipient Plasmolysis** متوازنة مع محلول السكر الذي ضغطه الأزموزي يعادل **10 ضغط جوي atm**. أحسب الضغط الأزموزي وجهد الماء والضغط الانتفاخي للخلية المتوازنة مع المحلول.

(٢-٢) عند إضافة غرام واحد من سكر الكلوز إلى **1000** غرام ماء مقطر. أحسب مقدار التغير في درجة الانجماد بسبب إضافة السكر.

(٣-٢) عند إضافة غرامين من السكر إلى **2000** غرام من الماء المقطر. أحسب مقدار التغير في درجة الانجماد بسبب إضافة السكر.

(٤-٢) افترض وعاء قصبي (خشبى) في الجذر ويلامس خلية برنكيميا وقد اعطيت القيم المذكورة ادناه.

املا الفراغات الآتية مفترضا وجود حالة التوازن.

الخلية البرنكيمياية	الوعاء القسبي
Parenchyma Cell	Xylem Vessel
$\psi = \dots\dots\dots$	- 4 atm
P = \dots\dots\dots	\dots\dots\dots
$\pi = 10 \text{ atm}$	1 atm

(٥-٢) اعطي محلول سكر كلوز (**0.1M**) بدرجة حرارة **20** م°. أحسب قيمة **e** لهذا المحلول علما بان قيمة **e** بدرجة حرارة **20** م° هي **17.54 mm Hg**.

(٦-٢) محلول قيمة **e** له بدرجة حرارة **20** م° هي **17.51** ملليمتر زئبق وقيمة **e** له بنفس الدرجة الحرارية تعادل **17.54** ملليمتر زئبق. أحسب الضغط الأزموزي

والضغط الانتفاخي وجهد الماء لهذا المحلول.

(٧-٢) خلايا **A, B, C** ذات ضغوط أزموزية **6, 8, 3** ضغط جوي على التوالي. وضع جزء من الخلية **C** فقط في محلول ضغطه الأزموزي **2** ضغط جوي. وإن الخليتين **A** و **B** تلامسان الخلية **C** ولم يحدث تبخر الماء من الخلايا. أحسب قيم الضغوط الأزموزية والانتفاخية وجهد الماء للخلايا بعد حصول التوازن.

(٨-٢) اعطي محلول جهده المائي يعادل **22.4 atm** - وأن α للمحلول تعادل الواحد. أحسب درجة حرارة ذلك المحلول.

(٩-٢) من المعلوم أن الضغط الأزموزي للمحلول يتعلق بدرجة الحرارة لغاية **35**°م فاذا كان الضغط الأزموزي للمحلول هو **10** ضغط جوي في درجة الصفر المئوي فما هي قيمة الضغط الأزموزي للمحلول في درجة حرارة **25**°م.

(١٠-٢) احسب جهد الماء لمحلول **9** % سكر للكلوز في درجة حرارة الصفر المطلق.

(١١-٢) خلية غير منتفخة عصيرها الخلوي يسبب انخفاضا في درجة الانجماد بمقدار **0.93** م° وضعت هذه الخلية في لترين من الماء المذاب فيه **11.1** غم كلوريد الكالسيوم في درجة **20** م°. بين حركة اتجاه الماء واحسب قيم π, ψ, DPD, P لكل من الخلية والمحلول بعد حصول التوازن بينهما.

(١٢-٢) خلية عصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار **0.93** م° وضغطها الانتفاخي يعادل ضغط **6.2** ضغط جوي. وضعت في محلول **0.2 M** كلوريد الكالسيوم في درجة الصفر المئوي. احسب جهد الماء والضغط الأزموزي والضغط الانتفاخي لخلية بعد توازنها مع المحلول.

(١٣-٢) خلية غير ممتلئة ضغطها الأزموزي يعادل **10** ضغط جوي وضعت في محلول **0.1M** كلوريد الصوديوم في درجة الصفر المئوي. أحسب جهد الماء والضغط الانتفاخي للخلية بعد حصول التوازن.

(١٤-٢) خلية غير منتفخة عصيرها الخلوي يسبب انخفاضا في درجة الانجماد بمقدار

0.93 م°. وضعت هذه الخلية في ثلاثة لترات من الماء المقطر المذاب فيه **11.1**

غم من كلوريد الكالسيوم اللامائي في درجة حرارة **20 م°.**

اسحب ما يأتي:

١. قيم كل من π ، ψ ، P ، DPD للخلية والمحلول بعد التوازن.

٢. اتجاه حركة الماء.

٣. افرض أن الخلية بعد التوازن قد وضعت في محلول مركز جدا وقل حجمها بمقدار **20 %**. احسب الضغط الأزموزي للخلية بعد البلازمة.

(١٥-٢) خلية غير ممثلة ضغطها الأزموزي يعادل **4** ضغط جوي وضعت في محلول مكون من إذابة **5.85** غم كلوريد الصوديوم في لتر ماء مقطر في درجة الصفر المئوي. احسب جهد الماء والضغط الأزموزي والانتفاخي للخلية بعد حصول التوازن.

(١٦-٢) خلية غير منتفخة عصيرها الخلوي بسبب انخفاضها في درجة الانجماد بمقدار **0.93 م°** وضعت في لترين من الماء المقطر المذاب فيه **٦٨,٤** غم سكروز. بين حركة الماء واحسب قيمة ψ ، π ، DPD ، P لكل من الخلية والمحلول بعد حصول التوازن بينهما في درجة حرارة **20 م°.**

(١٧-٢) لنفرض وجود خليتين نباتيتين أ، ب متجاورتين ويمكن للماء أن ينتشر بينهما. وكان الضغط الأزموزي للخلية أ هو **14** ضغط جوي وضغطهما الانتفاخي **7** ضغط جوي. أما الخلية ب فكان ضغطها الأزموزي **11** ضغط جوي وضغطهما الانتفاخي **3** ضغط جوي. أي الخليتين تكتسب الماء من الأخرى ولماذا؟

(١٨-٢) خليتان نباتيتان أ، ب متماستان وهما في حالة انقباض. قيمة π لكل منهما **10** ضغط جوي، لنفرض أن الخلية ب قد وضعت فقط بتماس مع لتر من الماء المقطر المذاب فيه **68.4** غم سكروز احسب قيمة ψ ، DPD ، P للخليتين بعد حصول التوازن بينهما وبين المحلول في درجة حرارة **20 م°.**

(٢-١٩) خليتان نباتيان متجاورتان، الأولى قيمة P و π لها هي (-5 atm) و (5 atm) على التوالي. بينما الخلية الثانية كانت غير منتفخة وقيمة π لها (10 atm) بين حركة اتجاه الماء ولحسب قيم P, ψ, DPD للخليتين بعد التوازن.

(٢-٢٠) لنفرض أن شعيرة جذرية لنبات ذات ضغط انتفاخي بمقدار 8.2 ضغط جوي وعصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.93 م° وكانت موجودة في محلول للترية ذي التركيز $(0.1M)$ ودرجة الحرارة 27 م°. فهل أن الشعيرة الجذرية تمتص الماء أو تفقده ولماذا؟

(٢-٢١) لنفرض أن شعيرة جذرية ذات ضغط انتفاخي بمقدار 5 ضغط جوي وعصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.93 م° وكانت موجودة في تربة جهدها المائي يعادل (-6 atm) . هل يمكن لهذه الشعيرة الجذرية أن تمتص الماء أو تفقده ولماذا؟

(٢-٢٢) خليتان نباتيتان أ، ب موضوعتان في محلولين أ، ب على التوالي وهذان المحلولان مفسولان بغشاء نصف ناضج. الخلية أ ذات الضغط الانتفاخي المعادل 10.6 ضغط جوي وعصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.465 م° وموضوعة في المحلول أ المذاب فيه 11.7 غم ملح الطعام في لترين من الماء المقطر بدرجة الصفر المئوي. أما الخلية ب فإن ضغطها الانتفاخي 4 ضغط جوي وضغطها الأزموزي 10 ضغط جوي ووضعت في محلول ب المكون من $(0.2M)$ سكر الكوكوز في درجة الصفر المئوي. أحسب قيم كل من P, π, DPD, ψ للخليتين والمطلوب بعد التوازن.

(٢-٢٣) خلية غير منتفخة عصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.93 م° وضعت هذه الخلية في ثلاثة لترات من الماء المقطر المذاب فيه 13.2 غم كبريتات الأمونيوم في درجة حرارة 20 م°. أحسب ما يأتي:

أ. قيم من P, π, ψ, DPD للخلية والمحلل بعد التوازن.

ب. اتجاه حركة الماء.

جـ. افرض أن الخلية بعد التوازن قد وضعت في محلول مركز جدا وقل حجم الخلية بمقدار 20 %. أحسب الضغط الأزموزي للخلية بعد البلازمة.

(٢٤-٢) محلول ملح الطعام NaCl تركيزه 1 مول (1M) حضر في درجة حرارة 27 م°.

أ. ماهو جهد الأزموزي ؟

ب. ماهي درجة انجماده ؟

(٢٥-٢) غشاء بهيئة كيس مغلق مليء كاملا بمحلول ضغطه الأزموزي 27 atm ثم غمس في محلول ضغطه الأزموزي 21 atm. افرض أن الغشاء منفذ للماء فقط. احسب الجهد المائي، الضغط الأزموزي والضغط الانتفاخي للمحلول الداخلي عند التوازن.

(٢٦-٢) الخلية ذات ضغط أزموزي قدره 15 atm وغمست في محلول ضغطه الأزموزي 10 atm بينما الخلية ب تمتلك ضغط أزموزي 8 atm وغمست في محلول ضغطه الأزموزي 6 atm تركت كل من الخليتين للوصول إلى حالة التوازن في المحلول الذي غمست فيه ثم رفعتا من المحلول وتم التصاقهما ببعض. افرض عدم فقدهما للماء بالتبخر. في أي اتجاه ينتشر الماء ولماذا ؟

(٢٧-٢) لو أن NH_4Cl قد حقن مباشرة إلى الخلية النباتية فأن العصير الخلوي يصبح أكثر حامضية بينما في حالة غمس الخلية النباتية فسي محلول NH_4Cl يصبح العصير الخلوي أكثر قاعدية. علل ذلك.

(٢٨-٢) سلسلة من الخلايا كل منها يمتلك ضغط أزموزي قدره 10 atm وضعت بحيث غمست الخلية الطرفية في جهة معينة في محلول ضغطه الأزموزي 10 atm بينما الخلية الطرفية في الجهة الأخرى غمست في محلول ضغطه الأزموزي 8 atm. إن حجم المحلولين كبير بالنسبة لحجم الخلايا ومنع التبخر. هل يتحرك الماء ؟

(٢٩-٢) خلية غير منتفخة ضغطها الأزموزي 12 atm تبخر الماء منها حتى انكمش

الجدار الخلوي للداخل لدرجة أن الجهد المائي للخلية قد نقص بمقدار 4 atm --
ما هو الجهد المائي والضغط الأزموزي والانتفاخي للخلية بعد تلك الحالة.

(٢-٣٠) خلايا أ، ب، ج، لها ضغط أزموزي 5 atm , 11 atm , 7 atm على التوالي. جزء من الخلية للسفلية ج غمس في محلول ضغطه الأزموزي 3 atm وكانت الخلايا للباقية جميعها بعيدة عن الماء الذي كان حجمه كبير بالنسبة للخلايا وافرض أن التبخر قد منع. ما هو الضغط الأزموزي والانتفاخي وجهد للماء لكل خلية بعد التوازن.

(٢-٣١) لو غمست جميع الخلايا الواردة في السوائل (٢-٣٠) في المحلول. ما هو الجهد المائي والضغط الأزموزي والانتفاخي لكل خلية بعد التوازن.

(٢-٣٢) خلية ضغطها الانتفاخي 8 atm وضغطها الأزموزي 16 atm وضعت في بيكر مملوء بالماء المقطر. ما هو جهد الماء في الخلية والبيكر في البداية. في أي اتجاه يتحرك الماء وفي حالة التوازن ما قيم مكونات جهد الماء في الخلايا والبيكر ؟
(٢-٣٣) إذا وضعت الخلية في السؤال المرقم (٢-٣٢) في بيكر حاوي على محلول ضغطه الأزموزي 7 atm ففي أي اتجاه يتحرك الماء ثم في حالة التوازن ما قيم مكونات جهد الماء في الخلايا والبيكر ؟

(٢-٣٤) خلية أ تملك ضغط أزموزي يقدر بـ 20 atm وضغط انتفاخي 6 atm وقد وضعت هذه الخلية بصورة تماسية مع الخلية ب ذات الضغط الأزموزي 16 atm والضغط الانتفاخي 12 atm . ففي أي اتجاه يتحرك الماء وما هي مكونات جهد الماء للخليتين بعد التوازن.

(٢-٣٥) افرض أن جنور نباتية مزروعة في تربة تمتلك جهد متري ψ_m وجهد أزموزيا ψ_x بما يقارب 1 atm - وان الجذور ذات ضغط أزموزي 10 atm وضغط انتفاخي 7 atm فإذا أصبحت الجذور متوازنة مع التربة فما هي مكونات جهد الماء للجانبين في حالة التوازن. ولنفرض بعد التوازن أن التربة قد سقيت بمحلول ملحي وأصبح جهد الماء فيها 5 atm - فما هي مكونات جهد الماء للجذور في الحالة الجديدة.