

**الفصل الثاني**

**Chapter Two**

**جهد الماء**

**Water Potential**

obeikandi.com

## مقدمة

أن المعلومات المتعلقة بالعلاقات المائية بين النبات والتربة والجو قد اكتتفها 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 فسجة النبات.

## جهد الماء **Water Potential**

لأجل أراك موضوع جهد الماء يستحسن مراجعة الطاقة الحرة (**Free Energy** Or **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 وند 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<sub>w</sub>**) يعادل الطاقة الكيماوية للماء النقي الحر (**U<sup>o</sup><sub>w</sub>**) مع القوى المؤثرة على ذلك النظام والتي تغير طاقته الكيماوية. وإذا كانت هذه القوى المؤثرة يظهر مفعولها أثناء تأثيرها على الضغط البخاري فإن الطاقة

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

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

حيث إن  $U_w$  هي الطاقة الكيميائية للماء في أي نظام وبوحدة  $\text{erg/ mole}$ .

وأن  $(U^{\circ}_w)$  هي الطاقة الكيميائية للماء النقي وبوحدة  $\text{erg/ mole}$ .

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  $e^{\circ}$  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  $\text{erg/ mole}$  وهي نفس وحدات  $U_w$  نفسها أو

الـ  $U^{\circ}_w$ .

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

( $U_w$ ) والطاقة الكيميائية للماء النقي ( $U^{\circ}_w$ ) تحت الظروف القياسية كما في المعادلة

الآتية.

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

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 بالخليعة 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:

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

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 الداينات (dynes) أو القوة بالسنتيمتر المربع يعتبر وحدة الضغط وإن وحدة الضغط (Pressure) يمكن إن يعبر عنها بالضغط الجوي (Atmosphere) أو البار (Bar) لأن البار الواحد يعادل  $10^6 \text{ dyne/cm}^2$ . 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) ( $\psi$ ) هي:

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

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

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

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 الواحد. 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 (٢-٦) 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 Activity of water Mm وأن C هو التركيز

بوحدة mm or M وأن  $\gamma$  هي معامل الفعالية (Activity Coefficient) أما معامل الفعالية

( $\gamma$ ) فيقاس حسب معادلة Debye- Huckel كالآتي:

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

حيث أن  $\gamma$  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  $1\text{mM}$  في  $\text{Na}_3\text{Citrate}$  ؟

الحل:

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

٢- نحسب القوة الأيونية  $I$

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

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

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

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

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

٣- نحسب معامل الفعالية  $\gamma$

$$\text{Log } \gamma = -0.51 \times \frac{z^2}{\sqrt{I}}$$

$$= -0.51 \times 1^2 \times \sqrt{0.006}$$

$$= -0.51 \times 0.08$$



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

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

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

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

٤- ونظراً لوجود ثلاثة أيونات للصوديوم لذا يكون

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

٥- نحسب التركيز الفعال أو فعالية الماء كالاتي:

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

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

هذا وأن جهد الماء ( $\psi_w$ ) 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 ( $\psi_w$ ) يزداد بزيادة الضغط الانتفاخي للخلية وبارتفاع درجة الحرارة ضمن حدود معينة.

وفي حالة الخلية النباتية تحت الظروف المتوازنة والمتشابهة يكون جهد الماء ( $\psi_w$ ) للخلية كالاتي:

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

حيث أن  $\psi_{\text{cell}}$  هو جهد الماء للخلية النباتية بالضغط الجوي.

وأن  $\psi_s$  هو الجهد الأزموزي المتسبب عن الذائبات بالضغط الجوي.

وأن  $\psi_p$  هو الجهد الهيدروستاتيكي أو الضغط الانتفاخي أو الضغط الجداري بالضغط الجوي.

وأن  $\psi_m$  هو الجهد المترى المتسبب عن التشرب أو التصاق الماء ببعض المواد كالغرويات أو الأسطح الفعالة في الخلية بالضغط الجوي.



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

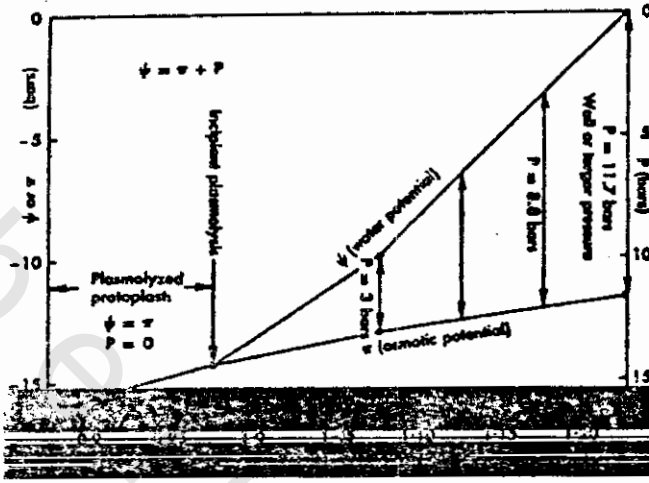
وباستثناء الأنسجة النباتية الجافة أو الخلايا النباتية ذات لفجوات الصغيرة (مثل الخلايا المرستيمية) فإن  $\psi_m$  تكون كمية ضئيلة وتهمل ولهذا تكتب المعادلة (٢-١١) كالآتي:

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

وقد تكتب المعادلة (٢-١٢) بالصورة الآتية:

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

حيث أن  $\psi_{cell}$  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) تصبح قيم كل من  $\psi_{cell}$  و  $p$  و  $\pi$  صفراً. عن Levitt, 1974.

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

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

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

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

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 دائماً يتحرك من الجهة ذات جهد الماء العالي إلى الجهة ذات جهد الماء الواطئ. وفي الماضي كان يستعمل مصطلح نقص الضغط الانتشار

(DPD) Diffusion Pressure Deficit

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

$$\psi = - \text{DPD}$$

...(١٦-٢)

أو أن

$$\text{DPD} = - \psi$$

...(١٧-٢)

أو أن

$$\text{DPD} = - (P - \pi)$$

...(١٨-٢)

$$\text{DPD} = \pi - P$$

...(١٩-٢)

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

$$\psi = 0 - \pi$$

$$\psi = - \pi$$

...(٢٠-٢)

ويمكن تطبيق مفهوم جهد الماء على ماء التربة أيضاً فقد وجد أن جهد ماء التربة يشمل القوى المتسببة عن الذائبات أو الجهد الأزموزي ( $\psi \pi$ ) والقوى المتسببة عن الجاذبية الأرضية ( $\psi g$ ) والقوى المتسببة عن التشرب أو الخاصية الشعرية أو الجهد المترى أو الحبيبي ( $\psi p$ ) والقوى المتسببة عن ضغط الغاز الخارجي ( $\psi m$ ) 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  $\psi_{\text{soil}}$  هو جهد ماء التربة بالضغط الجوي أو البار. وأن  $\psi_{\pi}$  هو الجهد الأزموزي للمحلول التربة بالضغط الجوي أو البار وأن  $\psi_m$  هو الجهد المئري أو التثريبي 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 ( $\psi_w$ ) 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 يحسب بالطرق الآتية:

1- من معرفة تركيز المذاب ثم استعمال المعادلة الآتية:

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

حيث أن  $\pi$  هو الضغط الأزموزي للمحلول بالضغط الجوي.

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

وأن  $n$  هو عدد مولات المذاب.

وأن  $v$  هو حجم المحلول باللتر.

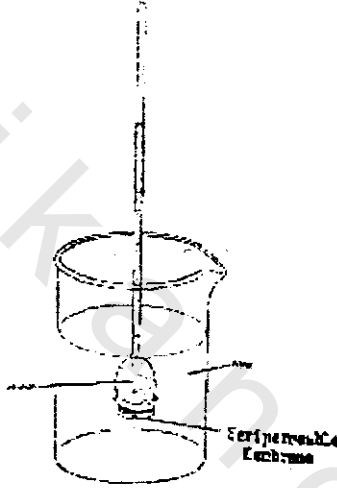
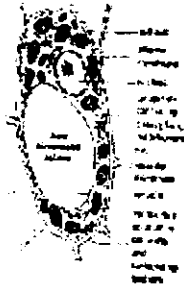
وأن  $\frac{n}{v}$  هو تركيز المذاب بوحدة mole / liter.

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 الأزموزي للمحلول.



شكل رقم (٢-٢): رسوم تخطيطية تبين الازومومتر الاصطناعي (اليسار) والازومومتر الطبيعي

أو الخلية النباتية (اليمن). عن: Salisbury and Ross, 1978.

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

حيث أن  $\pi$  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  $e^\circ$  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  $\pi$  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  $\Delta F$  هو مقدار الانخفاض في درجة انجماد المحلول بالدرجة المئوية الناتج عن إذابة المادة غير المتأينة. هذا وقد تختصر المعادلة (٢٥-٢) إلى ما يأتي:

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

بعض الحسابات المتعلقة بجهد الماء ومكوناته للمحاليل

### Calculations of Water Potential and its Components for Solutions

مثال (٢-٢)

احسب جهد الماء Water Potential ( $\psi_w$ ) ومكوناته كما يأتي:

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

ب- محاليل السكر ذات التركيز.

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

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

$$-3 \text{ } 0.01.0 \text{ M}$$

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

وذلك في درجة حرارة 28 م° كما أن  $\alpha$  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 بحسب 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) بانتياع 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 ناضح 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 (٢-٢٣) لحسابها كما يمكن أتباع المعادلة الآتية لتقدير الجهود الأزموزية للمحاليل:

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

حيث أن  $\pi_1$  هو الضغط الأزموزي الأول بالضغط الجوي.

وأن  $\pi_2$  هو الضغط الأزموزي الثاني بالضغط الجوي.

وأن  $M_1$  هو تركيز المحلول الأول.

وأن  $M_2$  هو تركيز المحلول الثاني.

وعلى ذلك يكون

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

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

وبتطبيق المعادلة (٢-٢٠) وهي

$$\psi = -\pi$$

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

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

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

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

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

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

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

وكذلك

وكذلك

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):

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

الحل:

في البداية

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  $\psi$  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 ( $\psi_w$ ) أعلى من جهد الماء للخلية النباتية ( $\psi_{\text{cell}}$ ) ولهذا ينتقل الماء من المحلول إلى الخلية حتى يحدث التوازن ويتساوى  $\psi$  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

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

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

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

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

$$\psi = p - \pi$$

$$\psi = p - \pi$$

$$\psi = 0 - 10 = -10 \text{ atm}$$

$$\psi = 0 - 10 = -10$$

atm

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 (٢-٣) قد وضعت في محلول جهده

الازموزي يساوي 15 atm أي في محلول زائد الأزموزية **Hypertonic Solution**

فماذا يحدث للخلية النباتية بعد حصول التوازن.

في البداية

الحل:

الخلية النباتية

المحلول

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

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

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

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

$$\psi = p - \pi$$

$$\psi = p - \pi$$

$$\psi = 0 - 10 = -10 \text{ atm}$$

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

atm

أي أن جهد الماء للخلية  $\psi_{\text{cell}}$  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:



الحجم. فإذا كان الضغط الأزموزي للمحلول يعادل 15 atm فما قيمة  $\psi$  للخلايا وماذا يحدث للخلايا.

الحل:

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

الخلايا  
 $\pi = 15 \text{ atm}$

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

$p = 0 \text{ atm}$

المحلول

$\pi = 15 \text{ atm}$

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

$p = 0 \text{ atm}$

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  $\psi$  و  $\pi$  للخلايا بعد حصول البلازمة والتوازن.

الحل

الخلية بعد حصول البلازمة

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

$p = 0 \text{ atm}$

$\psi = p - \pi$

$-25 = 0 - \pi$

$\pi = 25 \text{ atm}$

المحلول

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

$p = 0 \text{ atm}$

$\psi = p - \pi$

$\psi = 0 - 25$

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

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  $\Delta F$  يساوي 1.637 درجة مئوية. أحسب الجهد الأزموزي لهذا العصير الخلوي.

الحل:

باتباع المعادلة المرفقة (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 البلمرة البدائية بسبب

امتزاج المحتويات السايوتوبلازمية 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 البلمرة.

مثال (٢-١٠):

نفرض أنه قيس حجم بروتوبلاست الخلايا في بداية ونهاية البلمرة 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 علماً بأن الضغط

الأزموزي المقاس للعصير الخلوي بعد البلمرة يعادل 25 atm.

الحل: لاجل حل المثال تتبع المعادلة الآتية:

$$\pi_1 V_1 = \pi_2 V_2 \dots\dots\dots(2-28)$$

حيث أن  $\pi_1$  هو الضغط الأزموزي للعصير في الحالة الأولى بالضغط الجوي.

وأن  $\pi_2$  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:

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

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

وهذا هو الضغط الأزموزي للخلايا النباتية قبل حدوث البلزمة.

تصحیح 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 (١١-٢):

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

الحل:

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

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

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

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

ثم تستعمل المعادلة الآتية لتصحيح درجات الحرارة

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

حيث أن  $\pi_1$  هو الضغط الأزموزي الأول للعصير الخلوي بالضغط الجوي.

وأن  $\pi_2$  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 28م° 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  $\pi$ ،  $\psi$ ،  $P$ ،  $DPD$ ، للخلية والمحلول بعد حصول التوازن.

٢- اتجاه حركة الماء.

٣- افرض 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:

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

٢- نحسب الضغط الأزموزي للمحلول كالاتي:

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

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- نصحح 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:

الخلية	قبل التوازن	المحلول
$\pi = 12 \text{ atm}$		$\pi = 2.4 \text{ atm}$
$P = 0 \text{ atm}$		$\psi = P - \pi$
$\psi = P - \pi$		$\psi = 0 - 2.4 = -2.4 \text{ atm}$
$\psi = 0 - 12 = -12 \text{ atm} \dots$		$p = 0 \text{ atm}$
<b>DPD = + 12 atm</b>		<b>DPD = - <math>\psi</math></b>
		<b>DPD = + 2.4 atm</b>

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

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

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

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

٦- نحسب الضغط الأزموزي للخلية بعد حصول البلازمة كالآتي:

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

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

$$\pi_1 = \frac{(100)(12)}{(80)} = 15 \text{ atm}$$

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  $\pi$

يعادل 6 atm و p يعادل 3 atm. وعند تلامس الخليتين فإلى أين 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 ( $\psi_B$ ) وهي الخلية B إلى الجهة ذات

جهد الماء الواطئ وهي الخلية A حتى يحدث التوازن عندما يصبح  $\psi$  لكل منهما

يساوي (-4.5 atm).

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

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

حدوث التوازن علما بأن حجم الخليتين لم يتغير.

الحل:

الخلية A في حالة التوازن مع محلولها يكون جهد الماء ( $\psi_A$ ) لها يساوي -2 atm كالاتي:

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

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

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

$$-2 = P - 10$$

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

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

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

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

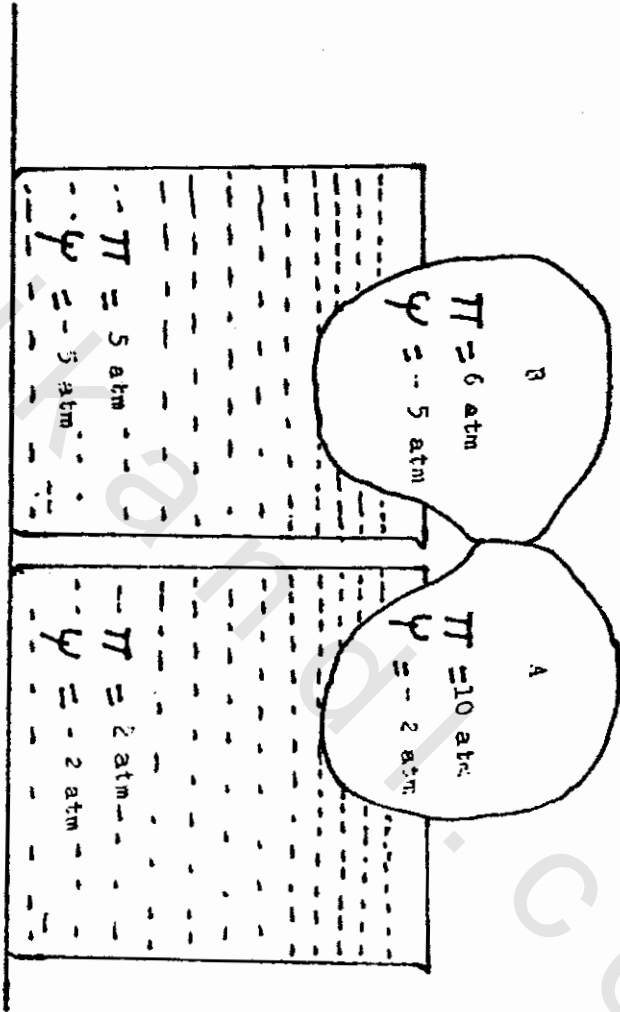
$$\psi_{\text{Cell B}} = -5 \text{ atm}$$

$$-5 = p - 6$$

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

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  $\psi$  لكل منهما يعادل (- 3.5 atm).

ج- لنفرض أنه حدث تغييراً 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؟



نحل رقم (١-٧) : نوضح كيفية تلاش التوازن بين A و B المتوازنين

$$\pi_1 V_1 = \pi_2 V_2$$

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 الخلايا ولذلك فإن الخلية A سوف يكون لها  $\psi$  يعادل (- 2 atm) والخلية B سيكون لها  $\psi$  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 السائتوبلازم بالفجوة.

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

### التأين Ionization

مثال (٢-١٤)

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

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

### الحل

أن قيمة  $\alpha$  تساوي الواحد. أي أن:

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

ب- لنفرض أن المادة كانت متأينة بنسبة % 100 فما هي قيمة  $\alpha$  ؟

الحل

أن المادة المتأينة بنسبة 100 % تعني أن كل 100 جزيئية تنتج بعد تأينها 200 أيون (ions) أو دقيقة وأن  $\alpha$  ستكون كالاتي:

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

جـ لنفرض أن المادة كانت متأينة بنسبة 10 % فما هي قيمة  $\alpha$  ؟

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 كالاتي:

$$90 + 20 = 110$$

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

حساب التركيز

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 28م°).

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:

$$\pi = \alpha MRT \dots\dots\dots(٢-٣٠)$$

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 ( $\psi_m$ ) 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

∴  $\psi_{\text{soil}}$  أكثر من  $\psi_{\text{cell}}$  وبذلك يستطيع النبات امتصاص الماء حتى يصبح  $\psi$

cell يعادل  $\psi_{\text{soil}}$  أو  $-8.8 \text{ atm}$  وتتفخ 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  $5 \text{ atm}$  تحتوي على  $1 \text{ سم}^3$  من  $0.001 \text{M}$  كلوكوز والخلية B ذات ضغط انتفاخي يقدر بـ  $5 \text{ atm}$  وتحتوي على  $1 \text{ سم}^3$  من  $0.001 \text{M}$  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  $\text{ideal solution}$  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 بدائيا **Incipient Plasmolysis** متوازنة مع محلول السكر الذي ضغطه الأزموزي يعادل 10 ضغط جوي **10 atm**. أحسب الضغط الأزموزي وجهد الماء والضغط الانتفاخي للخلية المتوازنة مع المحلول.

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

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

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

املا الفراغات الآتية مفترضا وجود حالة التوازن.

الخلية البرنكيميية

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  $e^\circ$  بدرجة حرارة 20 م° هي **17.54 mm Hg**.

(٦-٢) محلول قيمة  $e$  له بدرجة حرارة 20 م° هي **17.51** مليمتري زئبق وقيمة  $e^\circ$  له

بنفس الدرجة الحرارية تعادل **17.54** مليمتري 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  $\alpha$  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) لحسب جهد الماء لمحلول **9** % سكر الككوز 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  $\pi$ ,  $\psi$ , **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 انخفاضاً 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:

1. قيم كل من  $\pi$ ،  $\psi$ ،  $P$ ،  $DPD$  للخلية والمحلول بعد التوازن.

2. اتجاه حركة الماء.

3. افرض أن الخلية بعد التوازن قد وضعت في محلول مركز جدا وقل حجمها

بمقدار **20 %**. احسب الضغط الأزموزي للخلية بعد البلازمة.

(15-2) خلية غير متنتجة 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.

(16-2) خلية غير منتجة عصيرها الخلوي يسبب انخفاضا في درجة الانجماد بمقدار

**0.93 م°** وضعت في لترين من الماء المقطر المذاب فيه **68.4** غم سكروروز. بين

حركة الماء واحسب قيمة  $\psi$ ،  $\pi$ ،  $DPD$ ،  $P$  لكل من الخلية والمحلول بعد حصول

التوازن بينهما في درجة حرارة **20 م°.**

(17-2) 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؟

(18-2) خليتان نباتيتان أ، ب متماستان وهما في حالة انقباض. قيمة  $\pi$  لكل منهما **10**

ضغط جوي، لنفرض أن الخلية ب قد وضعت فقط بتماس مع لتر من الماء المقطر

المذاب فيه **68.4** غم سكروروز احسب قيمة  $\psi$ ،  $DPD$ ،  $P$  للخليتين بعد حصول

التوازن بينهما وبين المحلول في درجة حرارة **20 م°.**

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

(٢-٢٠) لنفرض أن شعيرة جذرية لنبات ذات ضغط انتفاخي بمقدار  $8.2$  ضغط جوي وعصيرها الخلوي بسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار  $0.93$  م° وكانت موجودة في محلول التربة 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 بسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار  $0.93$  م° وكانت موجودة في تربة جهدها المائي يعادل  $(-6 \text{ atm})$ . 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 مفصولان بغشاء نصف ناضج. الخلية أ ذات الضغط الانتفاخي المعادل  $10.6$  ضغط جوي وعصيرها الخلوي بسبب 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 المنوي. أما الخلية ب فإن ضغطها الانتفاخي  $4$  ضغط جوي وضغطها الأزموزي  $10$  ضغط جوي ووضعت في محلول ب المكون من  $(0.2M)$  سكر الكلكوز في درجة الصفر المنوي. أحسب قيم كل من  $P, \pi, DPD, \psi$  للخليتين والمحلولين بعد التوازن.

(٢-٢٣) خلية غير منتفخة عصيرها الخلوي بسبب 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  $P, \psi, DPD$  للخلية والمحلول بعد التوازن.

ب. اتجاه حركة الماء.

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

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

أ. ماهو جهده الأزموزي ؟

ب. ماهي درجة انجماده ؟

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

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

(٢٧-٢) لو أن  $\text{NH}_4\text{Cl}$  قد حقن مباشرة إلى الخلية النباتية فأن العصير الخلوي يصبح أكثر حامضية بينما في حالة غمس الخلية النباتية فسي محلول  $\text{NH}_4\text{Cl}$  يصبح العصير الخلوي أكثر قاعدية. علل ذلك.

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

(٢٩-٢) خلية غير منتفخة ضغطها الأزموزي  $12 \text{ atm}$  تبخر الماء منها حتى انكمش



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

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

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

(٣٢-٢) خلية ضغطها الانتفاخي  $8 \text{ atm}$  وضغطها الأزموزي  $16 \text{ atm}$  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 ؟  
(٣٣-٢) إذا وضعت الخلية في السؤال المرقم (٢-٣٢) في بيكر حاوي على محلول ضغطه الأزموزي  $7 \text{ atm}$  ففي أي اتجاه يتحرك الماء ثم في حالة التوازن ما قيم مكونات جهد الماء في الخلايا والبيكر ؟

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

(٣٥-٢) افرض أن جنور نباتية مزروعة في تربة تمتلك جهد مئري  $\psi_m$  وجهد أزموزيا  $\psi_p$  بما يقارب  $1 \text{ atm}$  - وان الجنور ذات ضغط أزموزي  $10 \text{ atm}$  وضغط انتفاخي  $7 \text{ atm}$  فإذا أصبحت الجنور 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  $5 \text{ atm}$  - فما هي مكونات جهد الماء للجنور في الحالة الجديدة.

