



# المحاضرة الخامسة

## علاقة النبات بالماء

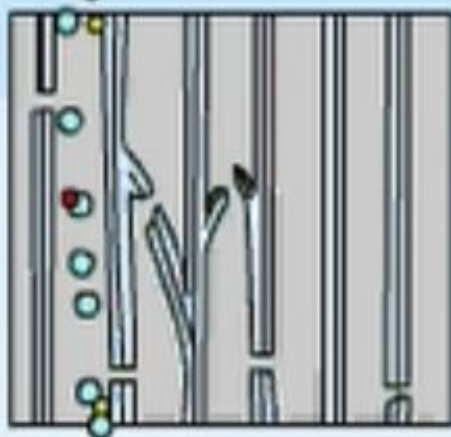
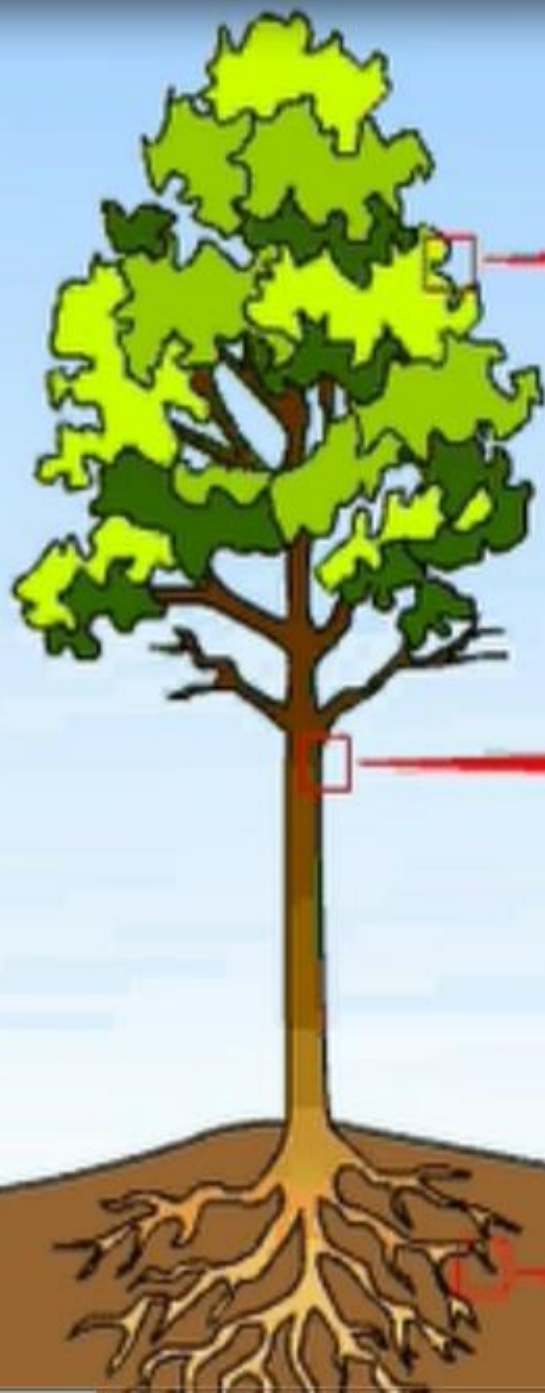
إعداد

أ.د/ أحمد لطفى ونس

أستاذ النبات وعميد الكلية

# مقدمة

يكون الماء الموجود فى التربة مع ماء النبات نظاماً متصلاً بصفة مستمرة من التربة وخلال النبات حتى أعلاه حيث تفقد الاوراق هذا الماء فى صورة بخار إلى الجو المحيط، ويمكن القول على وجه التقريب أن كل الماء الذى يتحرك داخل النبات إلى أعلاه يفقد فى عملية النتح، وأن حوالى ١% من هذا الماء هو الذى يستخدم فى العمليات الحيوية المختلفة لاسيما تفاعلات التحولات الغذائية داخل النبات وهو ما يعرف بالماء الفسيولوجى. وبالرغم من ذلك فإنه لكى تجرى التفاعلات الحيوية فى الخلية بمعدلات نشطة فإنه لا يسمح بتغير محتوى النسيج النباتى من الماء إلا فى حدود ضيقة للغاية، فقد وجد أن فقد النسيج النباتى لمقدار ٢٠ : ٢٥% من محتواه المائى عند أقصى درجة من درجات التميؤ (حالة الإمتلاء التام للخلايا) يودى إلى إيقاف معظم إن لم يكن كل العمليات الحيوية المكونة لظاهرة النمو. وإذا كان المحتوى المائى لبعض الأجزاء النباتية قليلاً فإن خلاياه تكون فى طور كمون كما هو الحال فى البذور الجافة التى لا يزيد محتواها المائى عن ١٠ : ١٥% من وزنها الطازج، ولا تبدأ خلايا هذه البذور فى إستعادة نشاطها الفسيولوجى إلا بعد أن يتوفر لها الماء اللازم للإنبات حيث تنشط بها الإنزيمات والعمليات الحيوية التى تودى إلى تكوين البادرة الجديدة.



## أهمية الماء للخلايا الحية

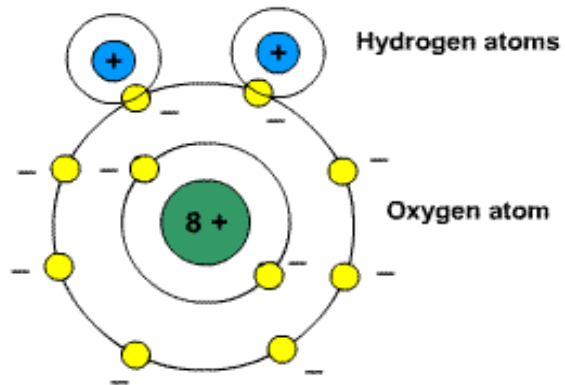
- ١) الماء مذيب عام لجميع المركبات بلا إستثناء والتي تذوب فيه بدرجة أو بأخرى (مثل السكريات والأحماض الأمينية والهرمونات والأملاح المعدنية والغازات وغيرها) والتي تنتقل إلى جميع أجزاء النبات فى وسط مائى، فصدر وأغشية الخلايا تنفذ الماء بسهولة وينتج عن ذلك إستمرارية الطور السائل فى كل أجزاء النبات مما يسهل عمليات النقل للمواد الذائبة فى الماء بين أجزاء النبات المختلفة.
- ٢) هو الوسط الذى تدخل فيه العناصر من التربة إلى النبات وتتحرك داخله إلى جميع الخلايا والأنسجة.
- ٣) هو الوسط الذى تجرى فيه جميع التفاعلات الحيوية فى الخلية.
- ٤) الماء ضرورى لإستمرار حالة الإمتلاء فى الخلية (ضغط الإمتلاء) والتي يعتمد عليها النشاط الحيوى بالخلية، كما أنه ضرورى لكبر الخلايا فى الحجم ونموها وبالتالي نمو النبات ككل.
- ٥) الماء مكون أساسى من مكونات البروتوبلازم فبدونه يفقد البروتوبلازم تنظيمه الدقيق الذى هو أساس الحياة كما أن الماء يحدد درجة سيولة البروتوبلازم ولزوجته.

## أهمية الماء للخلايا الحية

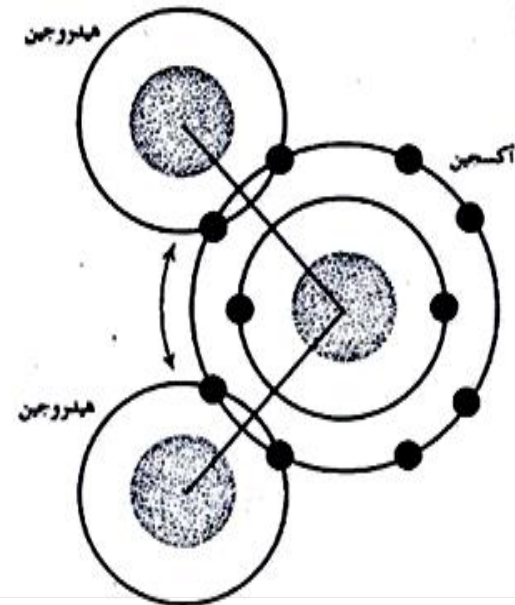
- (٦) يقوم الماء بدور هام في تنظيم درجة حرارة البروتوبلازم وبالتالي يحافظ على سير العمليات الحيوية التي تجرى في البروتوبلازم بكفاءة دون أن تتأثر بالتغيرات في درجة حرارة البيئة المحيطة.
- (٧) الماء له دور هام في حفظ الإيزان الكهربائي داخل الخلية عن طريق تأينه إلى  $H^+$ ،  $OH^-$ .
- (٨) يشارك جزئ الماء في كثير من التفاعلات الكيميائية داخل الخلية مثل تفاعلات التحلل المائي وفي تفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي كمصدر للهيدروجين اللازم لإختزال  $CO_2$ ، كما يعتبر الماء في هذه العملية مصدراً للأكسجين المتجدد للمحافظة على نسبته في الهواء الجوى.
- (٩) الماء هو الدعامة الأساسية في بعض النباتات (العشبية) وخاصة الأوراق فعند إمتلاء الفجوات العصارية بكميات كبيرة من الماء تجعل الخلايا تنتفخ وبذلك تدعم تلك الأعضاء وتحفظ لها شكلها، كما أن المحتوى المائي لبعض الخلايا له أهمية كبرى في حدوث بعض العمليات الهامة مثل فتح وغلق الثغور - إلتفاف وإنفراج الأوراق في بعض النباتات - حركة الأزهار.

# تركيب جزيء الماء

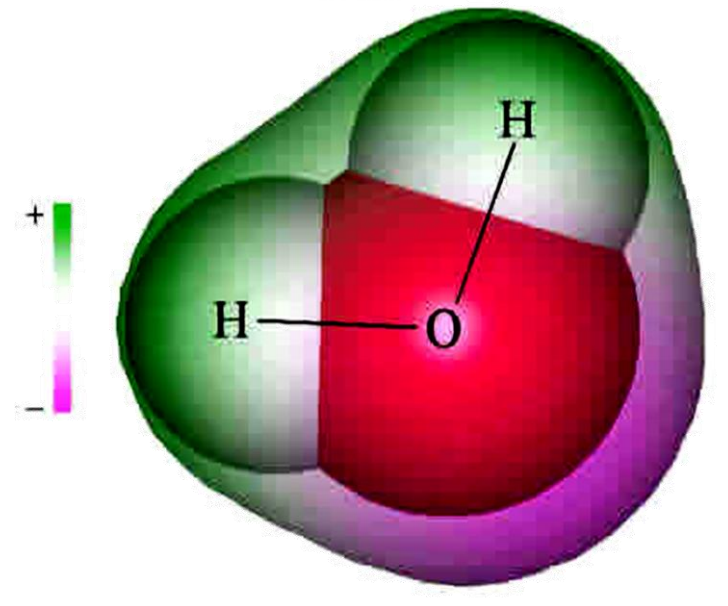
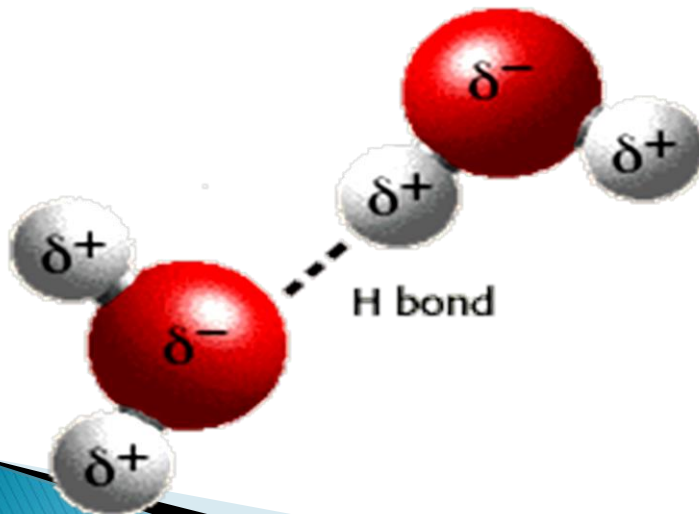
More positive charges



More negative charges

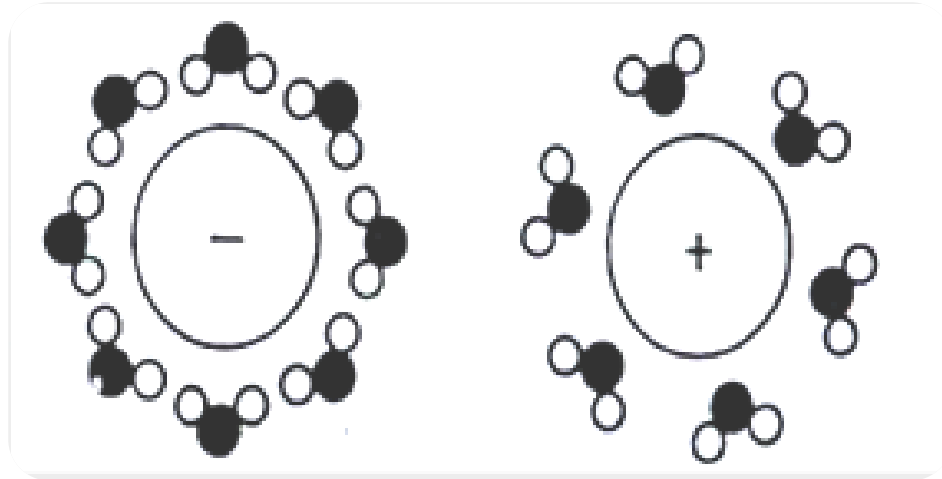


Hydrogen bonding  
between water molecules



## خواص الماء الهامة للنبات

- (١) تجمع جزيئات الماء
- (٢) إرتفاع الحرارة النوعية للماء
- (٣) إرتفاع حرارة التبخير للماء
- (٤) إرتفاع حرارة إنصهار الماء
- (٥) التوتر السطحي **Surface tension** والتماسك والتلاصق لجزيئات الماء
- (٦) الماء كمذيب **Water as solvent**
- (٧) الماء الحر والماء المرتبط



## Water relations of plant cell

تحكم العلاقات بين الخلايا النباتية والماء عدة ظواهر طبيعية لا بد من دراستها أولاً حتى يمكننا فهم الأسس التي تقوم عليها هذه العلاقات، وهذه الظواهر هي في الواقع صور لظاهرة واحدة وهي الانتشار والتي يتفرع منها ظاهرتين هما الانتشار الغشائي والتشرب، وهاتان العمليتان وغيرهما من العمليات الحيوية المسؤولة عن حركة الماء داخل النبات وخروجه وما يترتب على ذلك من عمليات حيوية ترتبط إرتباط كلي بقوانين التحول في الطاقة والتي تخضع بدورها لقوانين الديناميكا الحرارية. ويندر أن يوجد من بين العمليات الفسيولوجية التي تحدث في النبات ما لا يرتبط بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بظواهر الانتشار.

### أولاً: الانتشار **Diffusion**:

الانتشار هو عبارة عن صافي حركة جزيئات أو أيونات أو دقائق مادة من منطقة يكون تركيزها فيه مرتفع إلى منطقة يكون تركيزها فيها أقل، وهذا الانتشار يأتي نتيجة للحركة العشوائية لجزيئات أو دقائق المادة، بفعل الطاقة الوضعية الانتقالية (الطاقة الكينيتية) الكامنة في جزيئات أو دقائق المادة.

### \* الطاقة الانتقالية أو الكينيتية **Translational or Kinetic Energy**

هي عبارة عن كمية الطاقة الموجودة في دقائق أو جزيئات المادة سائلة كانت أو غازية عند درجة الصفر المطلق (-) ١٨, ٢٧٣ م) والمسؤولة عن تحريك الدقائق أو الجزيئات وجعلها في حالة حركة دائبة.

ففي درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق (-) ١٨, ٢٧٣ م) تكون جزيئات أي مادة في حركة دائبة نظراً لإحتوائها على كمية معينة من الطاقة الذاتية، هذه الحركة الدائبة هي حركة عشوائية حيث تتحرك الجزيئات في جميع الاتجاهات وفي

حالات عديدة تتصادم مع بعضها البعض. ٨





## الجهد الكيميائي **Chemical Potetial** :

هو كمية الطاقة الحرة لكل واحد وزن جزيئي جرامي للمادة وهذا يعنى أننا نسبنا الطاقة الحرة إلى كمية معلومة من المادة، والمقصود بالطاقة الحرة هو كمية الطاقة المتيسرة لعمل شغل، وبناءً على مفهوم الجهد الكيميائي يمكننا إذاً إعادة تعريف الإنتشار بأنه:

عبارة عن محصلة حركة دقائق أو جزيئات أى مادة من وسط يكون جهدها الكيميائي فيه مرتفع وسط يكون جهدها الكيميائي فيه أقل وهذه الحركة تعتمد على الطاقة الكينيتية للدقائق أو الجزيئات.

**\*إستقلالية الجهد لكل مادة:** إن إنتشار مادة ما يكون مستقلاً عن أى مادة أخرى قد توجد فى نفس الوسط وذلك حسب التركيز أو الجهد الكيميائي لكل مادة على حدة (**القانون الخامس للإنتشار**) وفيه أنه إذا وجد مادتين أو أكثر فى وسط الإنتشار، فإن كل منها تنتشر مستقلة عن الأخرى تمام الإستقلال. وتنطبق هذه القوانين على كل من المذاب والمذيب على حد سواء.

العوامل التي تؤثر على معدل إنتشار المواد المختلفة:

١) **درجة التركيز:** تتناسب سرعة الإنتشار طردياً مع درجة تركيز الأيونات أو الجزيئات المنتشرة (**قانون الإنتشار الأول**). وعلى ذلك فإن الذرات أو الجزيئات تنتقل من منطقة درجة تركيزها فيها عالية (ذات ضغط إنتشاري عالي) إلى منطقة أخرى درجة تركيزها فيها أقل (ذات ضغط إنتشاري أقل) بمعدل أسرع من إنتقالها في الإتجاه العكسي. وينص **القانون الرابع للإنتشار** على أن الذرات أو الجزيئات تنتقل من نقطة في الوسط تركيزها فيها مرتفع إلى نقطة أخرى في نفس الوسط يكون تركيزها فيها منخفض.

٢) **الحجم:** تتناسب سرعة الإنتشار تناسباً عكسياً مع حجم الأيونات أو الجزيئات المنتشرة (**قانون الإنتشار الثاني**) بمعنى أنه كلما صغر حجم الأيون أو الجزيء المنتشر كلما زادت سرعة إنتشاره..

٣) **الكتلة:** تتناسب سرعة الإنتشار تناسباً عكسياً مع الوزن الذري أو الجزيئي (**قانون الإنتشار الثالث**). لذلك إذا تساوت الدقائق في حجمها فإن الأثقل وزناً تكون الأبطىء في سرعة إنتشارها.

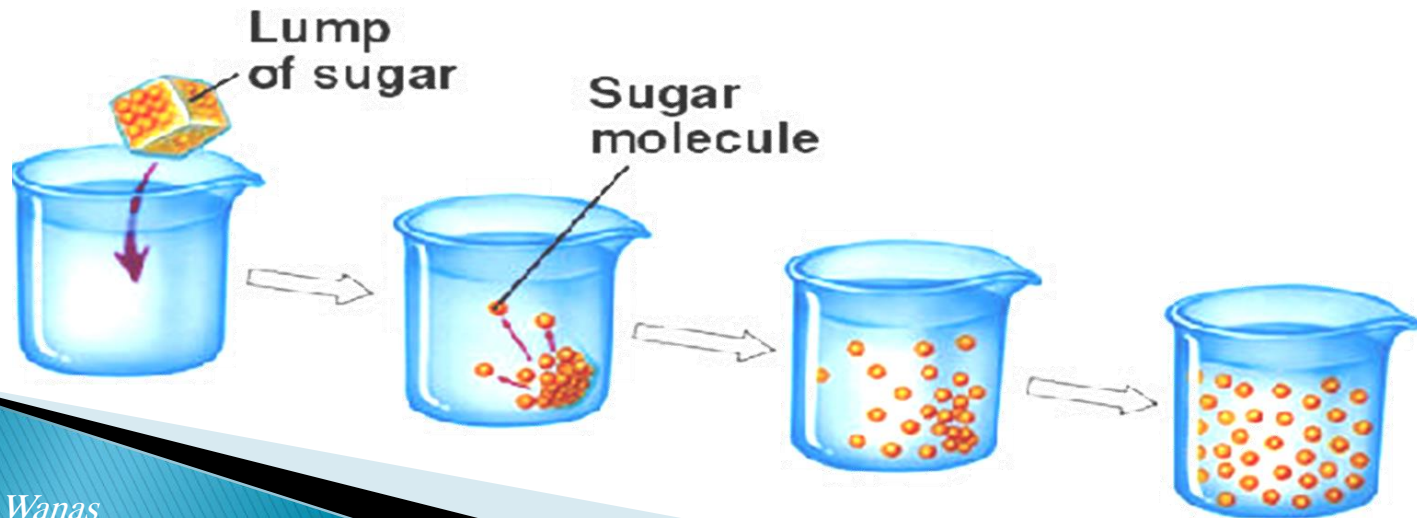
٤) **إنحدار الجهد الكيميائي:** هو مقدار الفرق في الجهد الكيميائي للمادة بين منطقتين، فكلما زاد إنحدار الجهد الكيميائي كلما زادت سرعة الإنتشار.

٥) **درجة الحرارة:** تزداد سرعة الإنتشار بارتفاع درجة الحرارة بسبب زيادة الطاقة الحركية للجزيئات.

٦) **قابلية الذوبان في وسط الإنتشار:** كلما زادت قابلية المادة للذوبان في وسط الإنتشار زادت سرعة إنتشارها في الوسط ولكن إذا كان وسط الإنتشار ذو تركيز مرتفع فسوف تزداد درجة مقاومته للمواد المنتشرة. كذلك يتناسب معدل إنتشار المواد عكسياً مع إتساع مساحة وسط الإنتشار.

وبناء على ما سبق فإن الإنتشار يعنى حركة الأيونات أو الجزيئات أو الدقائق المكونة لمادة ما من منطقة يكون تركيزها أو نشاطها فيها مرتفع إلى منطقة يكون تركيزها أو نشاطها فيها أقل كنتيجة لطاقتها الحركية الذاتية. وينشأ عن حركة الجزيئات أو الدقائق المنتشرة ضغط يعرف بالضغط الإنتشارى، وعلى ذلك فإن الضغط الإنتشارى يتناسب طردياً مع الطاقة الحركية (الجهد الكيميائى) للدقائق المنتشرة وعددها. ويكون معدل إنتشار مادة ما سريعاً إذا كان الفرق فى تركيز جزيئات المادة بين منطقتين كبيراً أى كلما زاد الإنحدار فى الجهد الكيميائى أو الضغط الإنتشارى بين المنطقتين، ومع إستمرار الإنتشار يقل الضغط الإنتشارى تدريجياً ويقل تبعاً لذلك معدل الإنتشار حتى يصل إلى حالة الإتزان الديناميكي وعندها يتوقف الإنتشار ظاهرياً فلا يحدث زيادة فى تركيز الدقائق فى إحدى المنطقتين على حساب الأخرى أى يتساوى عدد الجزيئات المنتشرة من كل منطقة إلى الأخرى فى وحدة الزمن.

## Diffusion



## ثانياً: التشرّب Imbibition

تعتمد خاصية التشرّب أساساً على قابلية بعض المواد لإنفاذ وإنتشار الماء أو أى سائل آخر خلال مكوناتها مما يترتب عليه زيادتها فى الحجم وإنتفاخها، وهذه المواد عادة من نوع الغرويات المحبة للمذيب والقادرة على تكوين هلام أو جيل من النوع المرّن، حيث تتميز هذه المواد الغروية بأن دقائقها تحمل على أسطحها شحنات سالبة ولذلك عند ملامسة هذه المواد الغروية للماء فإن جزيئات الماء تتخلل المسام الموجودة بين دقائقها وتنجذب إلى الشحنات السالبة الموجودة على أسطحها وترتبط بها مكونة أغلفة تحيط بالدقائق الغروية مسببة زيادتها فى الحجم. تسمى المادة الغروية (المتشربة) بالمادة الإدمصاصية بينما يسمى الماء أو السائل بالمادة المدمصة. تحتوى الخلية النباتية على كثير من المواد القادرة على تشرّب أو إدمصاص الماء بكميات كبيرة مثل السليلوز والنشا والبروتينات، وتظهر خاصية التشرّب بوضوح فى البذور الجافة خاصة البروتينية منها حيث تقدر الزيادة فى حجم البذور بعد تشرّبها للماء بحوالي ١٥ : ١٠٠ مرة من الحجم الأصيلى للبذرة حسب نوع الغرويات الموجودة بها وكميتها.

يمكن إعتبار التشرّب ظاهره أساسها الإنتشار إلا أن الخاصة الشعرية قد تشترك فى إحداث هذه الظاهرة، فغالباً ما تتخلل دقائق المادة المتشربة أنابيب شعرية دقيقة جداً تساهم فى إمتصاص الماء بالخاصية الشعرية.



يتجمع الماء المتشرب على هيئة جزيئات منضغطة في أغلفة مائية محيطة بدقائق المادة المتشربة التي تنتفخ وينتج عن إنتفاخها ضغط يعرف باسم ضغط التشرب والذي قد يبلغ حداً عالياً عند إحتواء المادة المتشربة في حيز محدود، والسبب الأساسي لحدوث عملية التشرب هو زيادة الضغط الإنتشاري للماء في الوسط الخارجى عن الضغط الإنتشارى للماء في المادة المتشربة، وتستمر المادة في التشرب حتى يتساوى الضغطان أى تحدث حالة الإتزان. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه لا بد أن توجد قابلية إمتزاجية بين مكونات المادة الإدمصاصية والمادة المدمصة أو المُتَشْرَبَة.

### تغيرات الحجم والطاقة **Volume and energy changes**

نتيجة للتشرب يزداد حجم المادة الإدمصاصية ومع ذلك فإن الحجم الكلى للنظام (حجم الماء الذى تُغْمَس فيه المادة الإدمصاصية + حجم المادة الإدمصاصية) يكون أقل بعد التشرب عنه قبل التشرب ويمكننا بسهولة ملاحظة هذه الحقيقة، ويرجع السبب فى هذا الإختلاف فى الحجم إلى أن جزيئات الماء تدمص على سطح الدقائق الغروية الموجودة فى المادة الإدمصاصية (بذور نبات مثلاً) وتلتصق بها بشدة وهذا الإلتصاق الشديد ينقص من حجم النظام، ونتيجة لشدة الإدمصاص لجزيئات الماء فإن بعض الطاقة الكينيتية لهذه الجزيئات تفقد وهذا الفقد فى الطاقة يُرى فى النظام على هيئة حرارة وبالتالي يوجد دائماً زيادة فى الحرارة نتيجة التشرب.

## ثالثاً: الإنتشار الغشائي (الأسموزية) **Osmosis**:

تعتبر الأسموزية نوع خاص من الإنتشار يخص حركة الماء بين المحاليل عبر غشاء شبه منفذ، فالمحلول المائي هو خليط من الماء (المذيب) ومادة أو أكثر ذائبة في الماء (المذاب). والماء النقي (المقطر) تكون كل جزيئاته حرة ولها القدرة على عمل شغل معتمدة على طاقتها الذاتية. وعند إذابة مادة ما في الماء النقي فإن جزيئات أو أيونات المذاب ترتبط بعدد من جزيئات الماء يتناسب مع عدد جزيئات أو أيونات المذاب، ويؤدي ذلك إلى حدوث نقص في عدد جزيئات الماء الحرة أى يحدث نقص في كمية الطاقة الحرة للماء وبالتالي يقل الجهد الكيميائي للماء. والجهد الكيميائي للماء هو تعبير عن كمية الطاقة الحرة للماء أى كمية الطاقة المتيسرة لعمل شغل أو إتمام تفاعل ما. وإذا أخذنا في الحسبان أن إضافة ذائبات الى الماء تسبب خفض الطاقة الحرة لجزيئات الماء في المحلول لذا فإن الجهد الكيميائي للماء في أى محلول يكون أقل من الجهد الكيميائي للماء النقي.

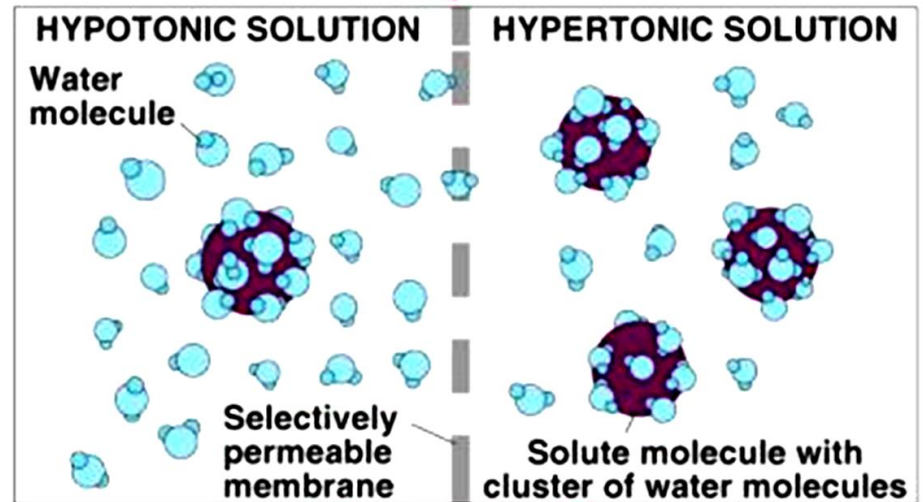
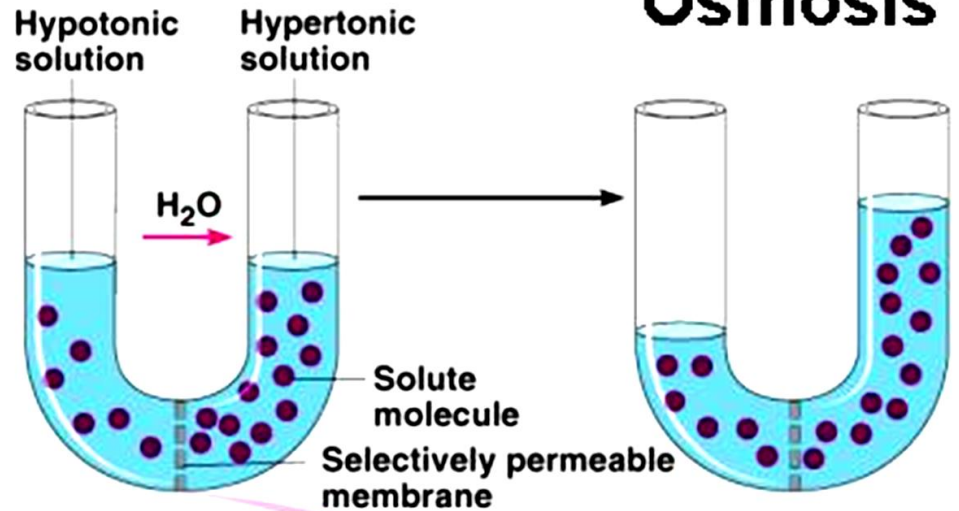
بناء على ما سبق يمكن تعريف الأسموزية بأنها إنتشار أو تحرك الماء (المذيب) من محلول إلى آخر خلال غشاء شبه منفذ نتيجة لفرق الجهد الكيميائي للماء على جانبي الغشاء.



وفى أى نظام إسموزى يجب ملاحظة أن جزيئات الماء تتحرك باستمرار عبر الغشاء فى كلا الإتجاهين أى من كل محلول إلى المحلول الأخر إلا أن عدد جزيئات الماء المنتشرة من المحلول المنخفض إلى المحلول الأكثر تركيزاً فى وحدة الزمن يزيد عنه فى الإتجاه العكسى فتكون صافى حركة الماء فى إتجاه المحلول ذو الجهد المائى الأقل.

ويمكن تعريف الغشاء شبه المنفذ **Semi-permeable membrane** بأنه الغشاء الذى يسمح لجزيئات الماء بالمرور خلاله فى حرية تامة بينما يعطل أو يمنع كليةً نفاذ المواد الذائبة فى الماء مثل أغشية السلوفان والكلوديون والبارشمنت. ينشأ عن حركة جزيئات الماء خلال الغشاء ضغط يعرف بالضغط الأسموزى **Osmotic pressure** ويصل هذا الضغط أقصاه عند الفصل بين المحلول والماء النقى بغشاء شبه منفذ، لذا يعرف الضغط الأسموزى بأنه أقصى ضغط يمكن أن ينشأ فى محلول عند فصله عن الماء النقى بغشاء شبه منفذ وأن قيمته تعادل الضغط اللازم إحداثه على المحلول لمنع دخول الماء إليه عبر الغشاء. يعتمد الضغط الأسموزى أساساً على تركيز المادة الذائبة فى المحلول ودرجة تأينها، ويقدر الضغط الأسموزى لماده ذائبة غير متأينة مثل سكر القصب إذا أذيب الوزن الجزيئى الجرامى منها فى لتر من الماء المقطر بمقدار ٢٢,٤ ضغطاً جويماً عند درجة الصفر المئوى أما المواد المتأينة فيزيد ضغطها الأسموزى عن ذلك بقيم متفاوتة حسب درجة تأينها وعلى العكس من ذلك تعطى المواد التى تتجمع جزيئاتها فى المحلول (مثل المواد الغروية) ضغوط أسموزية أقل بكثير من القيم المتوقعة.

# Osmosis



NET FLOW OF WATER

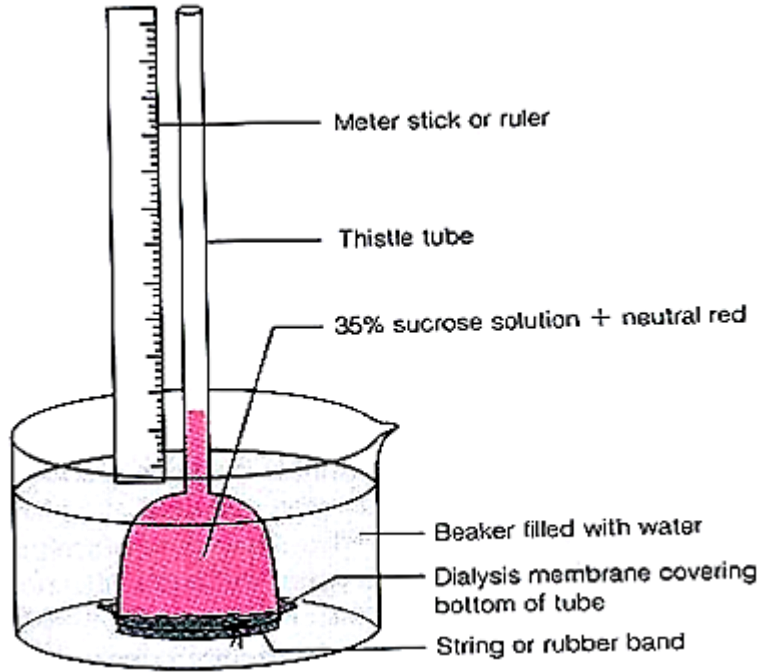
$$\psi = 0 \text{ MPa}$$

$$\psi_p = 0.23$$

$$\psi_s = -0.23$$

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

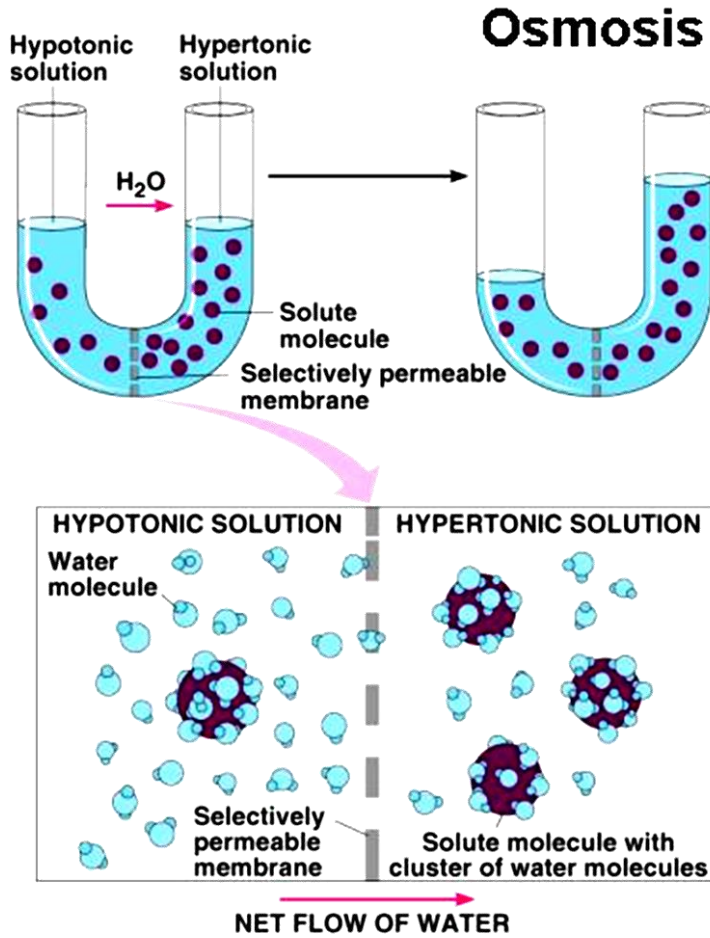
ويمكن شرح ظاهرة الأسموزية والضغط الأسموزي وذلك بتجربة الأسموميتر أو باستخدام قمع ثيسل **Thistle funnel** له ساق طويلة. حيث يملأ الجزء المتسع من القمع بمحلول سكري مركز ويوضع غشاء شبه منفذ (السلفون مثلاً) على فوهة القمع مع ربطه بأستك ثم يوضع القمع مقلوباً في كأس به ماء مقطر فيلاحظ بعد فترة إرتفاع المحلول في ساق القمع نتيجة إنسياب وانتقال الماء من الكأس حيث الجهد الكيميائي للماء عالي إلى القمع حيث الجهد الكيميائي للماء أقل. يستمر دخول الماء مسبباً إرتفاع عمود الماء إلى أن يصبح ثقل عمود الماء في القمع معادلاً لقوة دخول الماء إلى داخل القمع وعندها يثبت إرتفاع عمود الماء ويحدث إتران، وعند الإتران يتساوى الضغط الهيدروستاتيكي مع القوة التي تسبب دخول الماء إلى المحلول الموجود في القمع ويمكن قياس الضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن الزيادة في الحجم الماء في ساق الأسموميتر باستخدام أنقال. إذن القوة الناشئة في المحلول والتي تسبب دخول الماء إليه عندما يفصل بينه وبين الماء النقي بغشاء شبه منفذ تسمى بالضغط الأسموزي وقيمته تساوي مقدار الضغط اللازم عمله لوقف إنتشار الماء النقي إلى المحلول تحت ظروف الأسموزية المثالية، وبالتالي فإن الضغط الأسموزي ما هو إلا جهد حقيقي أي قوة حقيقية تمثل بجهد أو طاقة.



## جهد الذائبات $s\Psi$ Solute potential

يسمى أيضا بالجهد الأسموزي **Osmotic pressure** يرمز له بالرمز  $s\Psi$  حيث  $\Psi$  تنطق **psi** وترمز للجهد **Potential** و  $s$  هي إختصار **Solutes** أى الذائبات. والجهد الأسموزي (جهد الذائبات) هو إصطلاح يستخدم للتعبير عن مقدار النقص فى الطاقة الحرة للماء النقى عند تحويله إلى محلول أو هو مقدار النقص الحاصل فى جهد الماء نتيجة لوجود واحد أو أكثر من المواد الذائبة فيه، وذلك لأن جزيئات وأيونات الذائبات ترتبط بعدد من جزيئات الماء فتقل بذلك عدد جزيئات الماء الحرة القادرة على عمل شغل وبالتالي تقل كمية الطاقة الحرة (الجهد الكيميائى) للماء. ويتناسب الجهد الأسموزي طردياً مع تركيز المذاب فى المحلول ومع النقص فى الجهد المائى (الجهد الكيميائى للماء) فى المحلول.

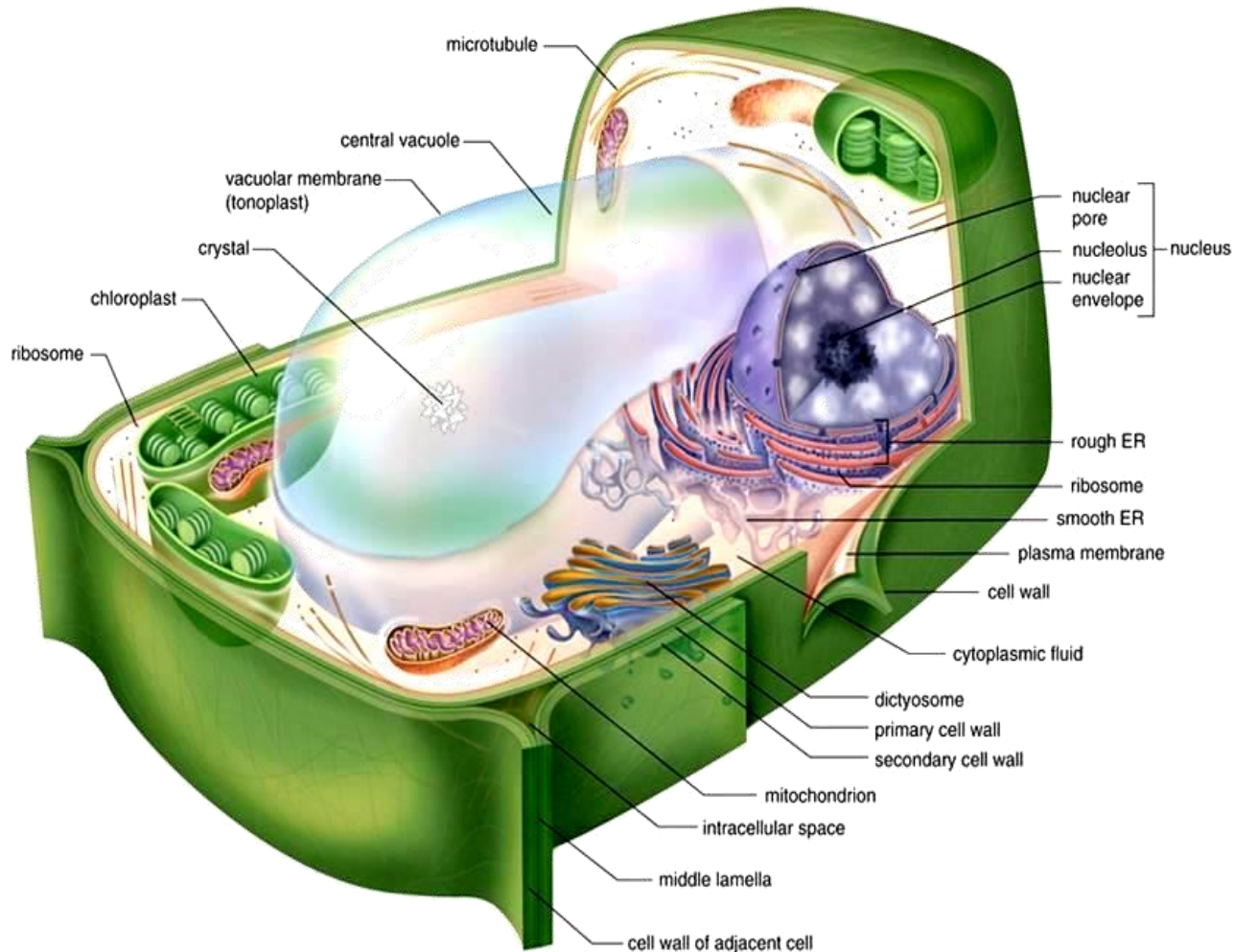
والجهد الأسموزي يساوى الضغط الأسموزي فى القيمة ويخالفه فى الإشارة أى يكون سالب ( $s\Psi = -$ ) لأنه يعبر عن نقص الطاقة الحرة للماء (أى نقص الجهد المائى) تبعاً لقوانين الديناميكا الحرارية.



# الخلية النباتية كنظام إسموزي

## The plant cell as an osmotic system

### Plant Cell Structure



## ١- الجهد المائي ( $\Psi_w$ ) Water potential

هو مصطلح للتعبير عن الجهد الكيميائي للماء ويرمز له بالرمز  $\Psi_w$ .

ويعرف الجهد المائي بأنه عبارة عن الفرق بين الجهد الكيميائي للماء في المحلول والجهد الكيميائي للماء النقي تحت ظروف قياسية من الضغط ودرجة الحرارة، فالماء كغيره من المواد له طاقة وتكون هذه الطاقة أعلى ما يكون في الماء النقي، ويطلق على الطاقة الحرة للمادة اسم الجهد الكيميائي.

**الجهد الكيميائي** لأي مادة سواء كانت نقية أو كجزء من محلول هو مقدار الطاقة الحرة الكلية لكل وزن جزيئي جرامي من تلك المادة ويعبر عن قدرتها على أداء شغل، إذاً الجهد الكيميائي للماء هو الطاقة الحرة لكل وزن جزيئي جرامي منه في المحلول. والجهد الكيميائي للماء يستخدم للتعبير عن حالة طاقة الماء في أي نظام من الأنظمة. والماء كغيره من المواد ينتقل أو يتحرك من منطقة جهده الكيميائي بها عالي (طاقته عالية) إلى منطقة أخرى جهده الكيميائي بها منخفض (طاقته بها منخفضة) أي يتحرك الماء نتيجة للفرق في الجهد الكيميائي للماء بين منطقتين ويكون صافي الحركة في اتجاه إنحدار الجهد الكيميائي للماء.

ولقد إتفق العلماء على أن جهد الماء النقي يساوي صفر (أي أعلى جهد للماء عندما يكون نقي يساوي صفر) ويكون الجهد المائي أقل من الصفر (أي سالب) في المحاليل لوجود مواد ذائبة فيه. والماء في المحاليل مثل محلول التربة ومحلول العصير الخلوي في الخلايا النباتية غير نقي لوجود مواد ذائبة ترتبط مع عدد من جزيئات الماء فتقلل الجهد المائي للمحلول ويصبح الجهد المائي للمحاليل ذو قيمة سالبة وكلما زاد تركيز المادة الذائبة كلما زادت سالبية الجهد المائي.

إذا وضعت الخلية النباتية في ماء نقي يدخل الماء النقي الفجوة ويسبب زيادة حجمها ويحدث تخفيف لمحلول الفجوة وتنتفخ الخلية وينشأ ضغط إنتفاخي أو ضغط إمتلائي **Turgor pressure** ويسمى جهد الضغط **Pressure Potential ( $\psi_p$ )**، والذي يحدث ضغط على السيتوبلازم والذي بدوره يضغط على الجدار الخلوي مسبباً تمدده بدرجة محدودة فيحدث الجدار الخلوي ضغط مساوي في القيمة ومعاكس في الإتجاه لضغط الإنتفاخ أو الإمتلاء يسمى بالضغط الجداري **wall pressure** وهذا الضغط يوقف إنتقال الماء إلى الخلية ويحد من إمتلائها بالماء لتأخذ الخلية شكلها المنتفخ دون حدوث مزيد من الزيادة في حجم الخلية، وأيضاً يصبح ضغط الإمتلاء المتولد مساوياً لقوة جهد الماء المتدفق إلى داخل الخلية.

عندما يزداد ضغط الإمتلاء (جهد الضغط) في الخلية يزداد الجهد المائي لها وتقل ساليته، وعندما تصل الخلية إلى حالة الإمتلاء الكامل **full turgid** يمنع ضغط الإمتلاء أى زيادة في المحتوى المائي للخلية وتصل الخلية إلى حالة الإتزان وعندها يتساوى جهد الضغط (ضغط الإمتلاء) الموجب مع الجهد الأسموزي السالب في القيمة للخلية ويصبح الجهد المائي للخلية (المحصلة) يساوى صفر.

$$\text{أى عندما } \psi_p = \psi_s - \text{تصبح } \psi_w = \text{صفر}$$

الخلايا التي تكون فيها قيمة جهد الضغط (ضغط الإمتلاء) تساوى قيمة الجهد الأسموزي تكون في حالة إمتلاء كامل، وكلما قلت قيمة جهد الضغط عن الجهد الأسموزي تصبح الخلايا أقل إمتلاءً وإذا إنخفضت قيمته إلى الصفر تكون الخلايا وصلت إلى حالة البلزمة، مثال:

- الجهد المائي للخلية (صفر) = الجهد الأسموزي (-٢٠) + ضغط الإمتلاء (٢٠) الخلايا منتفخة.
- الجهد المائي للخلية (-١٠) = الجهد الأسموزي (-٢٠) + ضغط الإمتلاء (١٠) الخلايا أقل إنتفاخاً.
- الجهد المائي للخلية (-٢٠) = الجهد الأسموزي (-٢٠) + ضغط الإمتلاء (صفر) الخلايا في حالة بلزمة.

مما سبق يتضح أن: الجهد المائي للخلية عبارة عن محصلة قوتين متعاكستين في الإتجاه هما:

١- الجهد الأسموزى  $\Psi_s$  لمحلول الخلية وقيمه سالبة.

٢- جهد الضغط (الإمتلاء) وقيمه موجبة فى الخلايا الممتلئة ويتضح ذلك من المعادلة التالية:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s$$

إذاً الجهد المائي هو مقياس القوة المسئولة عن إنتقال الماء إلى داخل الخلية من المحلول الخارجى. ويستخدم الجهد المائي لمعرفة إتجاه حركة الماء وإنتقاله بين خليتين متجاورتين أو بين نسيجين متجاورين أو بين محلول التربة والنبات حيث ينتقل الماء من منطقة جهدها المائي عالى (أقل سالبية) إلى منطقة أخرى جهدها المائي منخفض (أكثر سالبية). ولتوضيح العلاقة المتبادلة بين الجهود الثلاثة السابقة (الجهد المائي ، والجهد الأسموزى ، وجهد الضغط) فى الخلايا النباتية تابع الأمثلة التالية:

**إنتقال الماء بين الخلايا والأنسجة المتجاورة.**

لو إفترضنا خليتين متجاورتين **A** , **B** العصير الخلوى لهما له القيم الأسموزية التالية:

الخلية (**A**) لها جهد إسموزى يساوى - ١٥ بارز وضغط إمتلاى يساوى ٩ بارز.

الخلية (**B**) لها جهد إسموزى يساوى - ١٢ بارز وضغط إمتلاى يساوى ٢ بارز.



باستعمال القانون السابق بحسب الجهد المائي (المحصلة) في كل منهما في البداية وعند الإتزان كالتالى .

$$\text{عند الإتزان} \\ \text{A} \quad \Psi_w = -15 + 7 = -8$$

$$\text{B} \quad \Psi_w = -12 + 4 = -8$$

$$\text{فى البداية} \\ \text{A} \quad \Psi_w = -15 + 9 = -6 \text{ bars}$$

$$\text{B} \quad \Psi_w = -12 + 2 = -10 \text{ bars}$$

يتضح من هذا المثال أن صافى حركة الماء تكون من الخلية (A) ذات الجهد المائي العالى (الأقل سالبية) إلى الخلية (B) ذات الجهد المائي المنخفض (الأكثر سالبية)، وبانتقال الماء إلى الخلية (B) يزداد ضغطها الإمتلائى عن الخلية (A) لفقدائها الماء وهكذا حتى يصبح الضغط الإمتلائى للخلية (A) مساوياً ٧ بارز بينما يصبح الضغط الإمتلائى للخلية (B) مساوياً ٤ بارز وعندها يتساوى الجهد المائى لكل من الخليتين أى تصلان إلى حالة الإتزان ويتوقف إكتساب إحدهما الماء على حساب الأخرى.

وبالتالى فإنه بناء على قيم الجهد المائى ينتقل أو ينساب الماء بين الخلايا وبعضها والانتقال يعتمد على الجهد المائى وليس على الجهد الأسموزى، كما ينتقل الماء من محلول التربة إلى خلايا الشعيرات الجذرية بناء على الفرق فى الجهد المائى لكل منهما. ويكون إنتقال الماء من المحلول ذو الجهد المائى العالى (الأقل سالبية) إلى المحلول ذو الجهد المائى المنخفض (الأكثر سالبية).

## ✚ تقسيم المحاليل بالنسبة لمحلول الفجوة العصارية للخلية:

إذا فرضنا أن لدينا خلية نباتية جهدها الأسموزي ( $\Psi_s$ ) يساوي - ١٠ بار وأن هذه الخلية عند بداية الإمتلاء أى أن ضغطها الامتلائي ( $\Psi_p$ ) يساوي صفر فيكون جهدها المائي ( $\Psi_w$ ) يساوي - ١٠ بار ثم وضعت الخلية في المحاليل التالية، مع ملاحظة أن المحاليل التي توضع بها الخلية هي نظم أسموزية مفتوحة لذا لا يكون لها ضغط إمتلائي، لذا يكون جهدها المائي مساوياً لجهدها الأسموزي دائماً أى أن  $\Psi_w = \Psi_s$

### أولاً- في ماء نقي:

الماء النقي جهده الأسموزي يساوي صفر وليس له ضغط إمتلاء أى ضغط الإمتلاء له يساوي صفر وبالتالي فإن جهده المائي يساوي صفر، لذلك فإن الماء يبدأ في الدخول إلى الخلية بقوة إمتصاص أسموزية (الفرق بين الجهد المائي للخلية والجهد المائي للماء النقي) قدرها عند الإبتداء - ١٠ بار وتتناقص تدريجياً بزيادة إمتلاء الخلية حتى يصبح ضغطها الإمتلائي يساوي ١٠ بار فيقف دخول الماء إلى الخلية حيث يصبح جهدها المائي يساوي صفر.

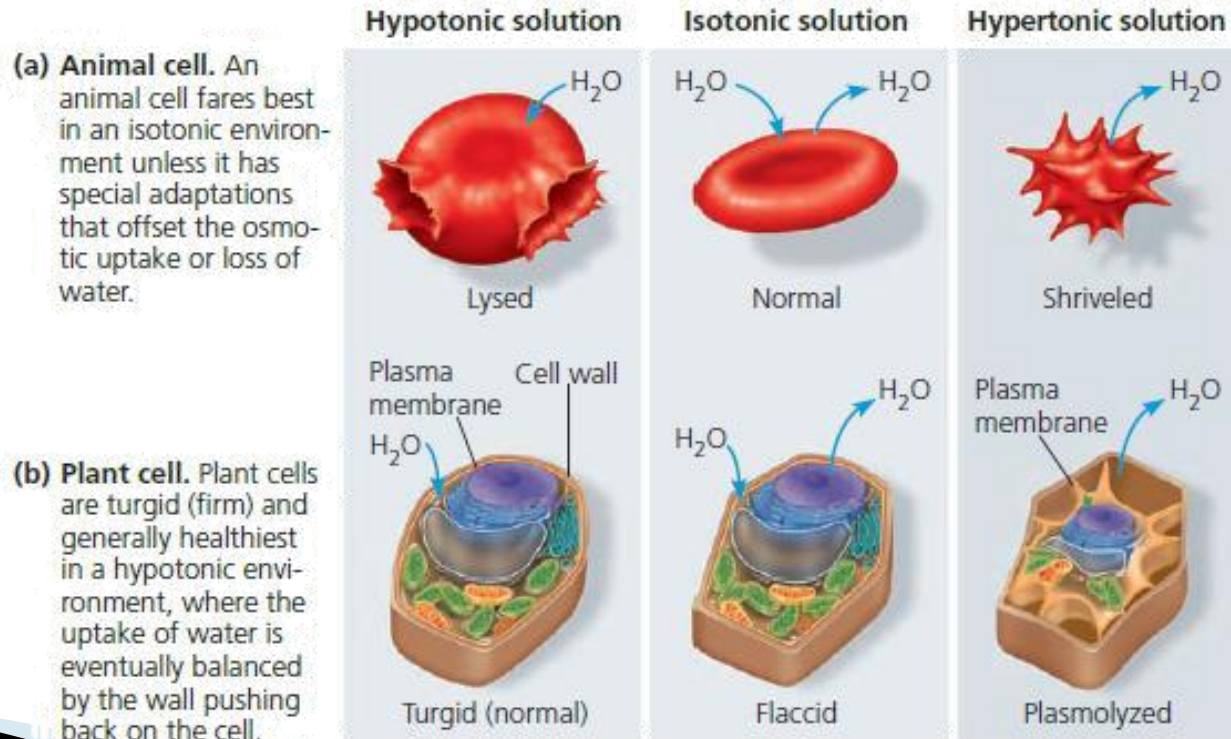
كذلك الحال فيما لو وضعنا الخلية في محلول جهده الأسموزي أقل من الجهد الأسموزي للخلية، فمثلاً إذا وضعنا الخلية في محلول جهده الأسموزي - ٦ بار فإن الخلية تبدأ في إمتصاص الماء بقوة إمتصاص أسموزية قدرها ٤ بار وتتناقص تدريجياً إلى أن يصبح الضغط الإمتلائي للخلية مساوياً ٤ بار فيصبح جهدها المائي يساوي - ٦ بار مساوياً للجهد المائي للمحلول فيحدث الإتران ويتوقف إمتصاصها للماء.

وتسمى المحاليل ذات الجهود الأسموزية الأقل من الجهد الأسموزي للخلية بالمحاليل ناقصة التركيز أو ناقصة الأسموزية **Hypotonic** وفيها تزيد الخلية في الحجم نتيجة إمتصاصها للماء حتى تصبح ممتلئة تماماً.

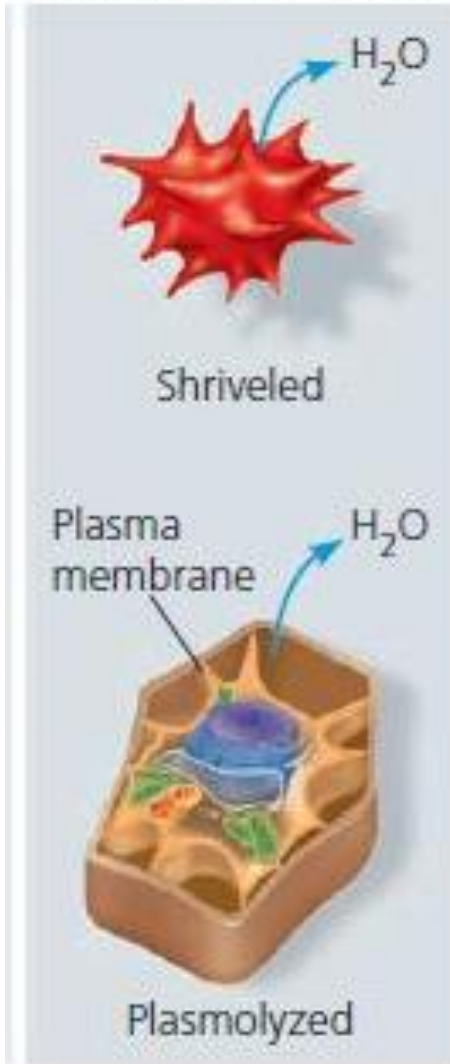
ثانياً- عند وضع الخلية السابقة في محلول جهده الأسموزي مساوياً للجهد الأسموزي للخلية: في هذه الحالة تصبح الخلية في حالة إتران ديناميكي مع المحلول الخارجي بمجرد وضعها فيه فلا تكتسب أو تفقد شيئاً من مائها وبالتالي لا يتغير حجمها وتسمى مثل هذه المحاليل بالمحاليل سوية التركيز أو الأسموزية **Isotonic**.

ثالثاً- عند وضع الخلية السابقة في محلول جهده الأسموزي يزيد عن الجهد الأسموزي للخلية: في هذه الحالة يكون الجهد المائي للخلية أعلى (أقل سالبية) من الجهد المائي للمحلول (أعلى سالبية) فتفقد الخلية جزءاً من مائها إلى المحلول الخارجي ويقل حجمها وتمر بعدة تغيرات يطلق عليها في مجموعها عملية البلازمة وتسمى مثل هذه

المحاليل بالمحاليل زائدة التركيز أو الأسموزية **Hypertonic**.



## Hypertonic solution



## البلمزة Plasmolysis

تحدث عند وضع الخلية في محلول زائد الأسموزية حيث تمر الخلية بسلسلة من التغيرات تبدأ بأن تفقد الخلية مائها بالتدرج إلى المحلول الخارجي فتفقد إمتلائها ويأخذ حجمها في الإنكماش إلى أن تصل إلى نقطة بداية البلمزة وفيها تكون الخلايا غير ممتلئة أي أن ضغطها الإمتلائي يساوى صفر، وباستمرار فقد الخلية لمائها بعد ذلك يقل ضغط العصير الخلوي على السيتوبلازم المبطن لجدار الخلية فيبدأ السيتوبلازم في الانفصال عن الجدار الخلوي السليلوزي ويظهر هذا بوضوح في البداية عند أركان الخلية وتسمى هذه المرحلة بمرحلة **البلمزة المؤقتة** أي التي يمكن إزالتها وشفاء الخلية منها بنقلها من المحلول زائد الأسموزية إلى محلول ناقص الأسموزية أو ماء نقي، أما إذا إستمر بقاء الخلية في المحلول زائد الأسموزية فإنها تستمر في فقدانها للماء فينكمش السيتوبلازم في أحد أركانها أو يتكور في وسطها ويفقد تنظيمه وحيويته وتتمزق وتموت الخلية نتيجة لجفافها وتسمى هذه المرحلة بمرحلة البلمزة المستديمة والتي لا يمكن شفاء الخلية منها.

## أهمية الأسموزية فى حياة النبات:

- ١) هى المسئولة عن إمتصاص الماء بواسطة الشعيرات الجذرية من محلول التربة وإنتقال الماء من خلية إلى أخرى مجاورة لها ومن نسيج إلى آخر داخل النبات.
- ٢) تجعل الخلية النباتية فى حالة إمتلاء تام باستمرار وهذا يلائم القيام بالعمليات الأيضية والنمو على أكمل وجه للنبات.
- ٣) هامة فى حركة فتح وغلق الثغور نتيجة لحركة الخلايا الحارسة وإعتمادها على الخاصية الأسموزية.
- ٤) تعطى القمم النامية التى لا تحتوى على أنسجة دعامية الدعامة والقوة وذلك لإمداد خلاياها بالماء لدرجة الإمتلاء التام.
- ٥) هى المسئولة عن إنتقال الماء وتحركه والتحكم فى توزيعه داخل النبات حيث يعتمد توزيع الماء على الفرق فى الجهد المائى للخلايا.
- ٦) زيادة الجهد الأسموزى للخلايا تساعد فى زيادة مقاومة النبات للتجمد والجفاف (بسبب زيادة تركيز الذائبات).