فسلجة النبات
المرحلة الرابعة

أ.د. محمد سعيد فيصل
أ.م.د. فرح صبحي صالح

المحاضرة الأولى

العلاقات المائية للنبات

مقدمة عن علم Introduction to Plant Physiology فسلجة النبات

علم فسلجة النبات هو أحد فروع علم النبات يهتم بدراسة وظائف الأعضاء للنبات وكيفية قيام تلك الأعضاء بوظائفها المختلفة مثلاً كيف يقوم النبات بإنتاج الغذاء واستغلاله وكيف يستجيب نبات ما إلى المحيط .

تمتلك الخلية النباتية العديد من الخصائص التي تميزها عن الخلية الحيوانية، ويؤدي ذلك إلى وجود فروق كبيرة بين النباتات والحيوانات من ناحية السلوك والاستجابة.

تمتلك الخلية النباتية جدارًا خلويًا يحدد شكل الخلية النباتية وبذلك يحد من مرونتها وقدرة النباتات على الحركة.

تحوي الخلايا النباتية أيضًا مركب الكلوروفيل وهو مركب كيميائي يتفاعل مع الضوء بطريقة تمكن النبات من صنع غذائه بدلًا من استهلاك كائنات حية أخرى مثلما تفعل الحيوانات.

العلاقات المائية للنبات Plant water Relations

الماء :Water

من المعروف ان البروتوبلازم وسطاً تجري بداخله التفاعلات الحيوية ويشكل الماء بداخله مايقارب ٨٠ – اكثر من ٩٠ %، ولذا يعد الماء المكون المهم والعامل الفريد لحياة كل الكائنات الحية على الارض .

أهمية الماء : Importance of Water

١-يشترك الماء في الكثير من التفاعلات الحيوية التي تجري في الخلية مثل عمليات التنفس والبناء الضوئي وعمليات التحلل الانزيمي .... الخ.

مثلاً عملية البناء الضوئي تتم بوجود العوامل المُساعدة كضوء الشمس ومادة الكلوروفيل، كما في المعادلة الآتية:

$$6CO_2 + 6H_2O + light + chloroplasts \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O$$

٢- الماء مصدر للقوة الاختزالية والطاقة خلال عملية البناء الضوئي بما يعطيه من بروتونات أو الكترونات ذات طاقة عالية كما انه مصدر للاوكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي كما يتضح من المعادلة السابقة.

٣- مادة مذيبة لاغلب المواد التي يحتاجها النبات فضلاً عن دوره في نقل تلك المواد المذابة .

٣- يوجد معظم الماء في الفجوات العصارية بالبروتوبلاست للحفاظ على انتفاخ الخلية و تماسك النبات ككل.

٤- الماء يعد مادة منظمة ضد التغيرات المتطرفة في درجات الحرارة وهو مادة ضرورية للتبريد والتكيف البيئي.

خواص الماء Properties of Water

يمتاز جزئ الماء بتركيب كيميائي خاص حيث ترتبط ذرتا الهيدروجين مع ذرة اوكسجين ويكون شكل الماء الهندسي منحنياً، حيث تتشكّل زاوية مقدارها تقريبا ١٠٥ درجة (الشكل ١) بين مكونات جزيء الماء(H-O-H).وعليه فان جزئ الماء قطبي حيث جهة تحمل شحنة موجبة وجهة تحمل شحنة سالبة وهو متعادل كهربائياً .

الشكل ١ : تركيب جزئ الماء

ويمكن ادراج **خواص الماء الفيزيائية** بما يأتي :

١- **الماء سائل في درجات الحرارة الاعتيادية** وهي الحرارة الاكثر ملائمة للحياة مقارنة مع مركبات اخرى لها وزن جزيئي مقارب.

٢- **الحرارة النوعية specific heat** : يمتاز الماء بان حرارته النوعية عالية. وهذا يمكن الانسجة النباتية من امتصاص أو فقد كميات كبيرة من الحرارة دون حدوث تغيير كبير في درجة الحرارة. كذلك يمتاز الماء بان توصيله الحراري Thermal conductivity عال وهذا يعني ان الماء يوصل الحرارة بعيداً عن نقطة المعاملة .

٣- **قوة التماسك Cohesion Force وقوة التلاصق Adhesion Force** عاليتان وهاتان الصفتان لهما دور كبير في رفع الماء في داخل جسم النبات.

٤- **الإذابة solvability**: يطلق على الماء المذيب الشامل وذلك لأنه يذيب الكثير من المواد مقارنةً بالسوائل الأخرى وتعزى هذه الخاصية الى القطبية Polarity .

٥-**امتصاص الضوء Light Absorption**: يمتص الماء كمية ضئيلة من موجات الضوء المرئي خاصة عند منطقة الضوء الأحمر لكنه يبدي تشتيتاً بسيطاً للضوء الأزرق وتقوم الرابطة الهيدروجينية في الماء بامتصاص الضوء في منطقة الاحمر ابعيد Far – red بكفاءة عالية ويمكن ان يؤدي ذلك الى تبديد الطاقة الحرارية وبالتالي المحافظة على ثبات واستقرار درجة الحرارة في النبات او على سطخ الكرة الارضية. كما ان ذلك الامتصاص لايسمح بتسرب الحرارة من الارض خلال الليل.

اضافة الى الخواص الفيزيائية للماء **خصائص كيميائية chemical properties** وهي تلك الخواص التي يمكن رصدها فقط اذا حدث تغيّر كيميائي يغير من التركيب الداخلي للمادة، وتستخدم لوصف سلوك المادة عند تعريضها لبعض المواد مثل الهواء والماء والحوامض والقواعد وغيرها. ومن هذا الخصائص مايأتي:

١- **التّعادل الحمضيّ neutral pH** : للماء تساويان سبعة، وهذا يعني أنّ الماء مُتعادل كيميائيّاً، ولا يُعدّ مادّةً قاعديّة أو حامضيّة.

٢-**التوصيلية الكهربائية: Electrical conductivity** وهي قدرة المادة على توصيل الكهرباء، والماء النقي بشكل عام غير موصل للكهرباء، لكن عند وجود مواد ذائبة داخل الماء يصبح موصلا بسبب الأيونات الموجودة والناتجة عن الذوبان.

الانتشار Diffusion

حركة الجزيئات او الايونات من المنطقة ذات التركيز العالي الى المنطقة ذات التركيز الواطئ حتى يتساوى تركيز الجزيئات في المنطقتين. ويحدث الانتشار نتيجة للحركة الطليقة الذاتية للايونات او الجزيئات من منطقة ذات ضغط انتشاري Diffusion pressure عالي الى منطقة ذات ضغط انتشاري واطئ لتلك المادة.

يحتوي جسم النبات على مواد وعناصر كيمياوية موجودة في التربة او الهواء وتدخل هذه العناصر الجسم النباتي على شكل أيونات سالبة او موجبة او على شكل ذرات او جزيئات .

فضلاً عن ذلك فان النبات يفقد بعض هذه المواد الى المحيط الخارجي مثلا يفقد الماء من الاجزاء الخضرية على شكل بخار ماء وطرح الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون والمواد المتطايرة وبعض المواد العضوية وغير العضوية من الجذور.

من الامثلة على ظاهرة الانتشار انتشار العطر في هواء غرفة مغلقة ان سبب انتشار جزيئات العطر في هواء الغرفة هوحركتها المستمرة في جميع الاتجاهات ولكن عندما يكتمل انتشار جميع العطر ويتم توزيع الجزيئات بين جزيئات الهواء تحصل حالة توازن ديناميكية بين الحركة العشوائية للجزيئات المكونة للهواء وجزيئات العطر.

أنتشار الغازات Diffusion of Gases

تعد الغازات اقل حالات المادة الاخرى مقاومة لانتشار الجزيئات ويعزى ذلك الى المسافات الواسعة بين جزيئات الغاز مقارنة بالمسافات الموجودة بين جزيئات المادة السائلة او الصلبة . لذلك فان عدد مرات اصطدام جزيئات الغاز ببعضها يكون اقل من عدد مرات اصطدام جزيئات المادة السائلة او الصلبة وعليه تتوزع جزيئات غاز مابين جزيئات غاز اخر في جو مفرغ من الهواء.

العوامل المؤثرة على معدل انتشار الغازات :

١- كثافة الغاز Density of the gas

تنتشر الغازات المختلفة بمعدلات مختلفة حتى لو كانت تحت نفس الظروف الجوية ويمكن توضيح علاقة معدل الانتشار بالكثافة من خلال قانون كراهام Graham's Law اذ يتناسب معدل الانتشار تناسباً عكسياً مع الجذر التربيعي لكثافة الغازات .

$$\frac{r1}{r2} = \frac{d2}{d1}$$

r_1، r_2 تمثل معدل انتشار الغازات
d1 ، d2 تشير الى كثافة الغازات

واذا طبقنا المعادلة اعلاه على غاز الهيدروجين والاوكسجين تكون المعادلة كالاتي :

$$\frac{4}{1} = \frac{16}{1} = \frac{rH}{rO} = \frac{dO}{dH}$$

وبما ان كثافة الاوكسجين ١٦ مرة اكثر من كثافة الهيدروجين لذا معدل انتشار الهيدروجين ٤ مرات معدل انتشار الاوكسجين .

٢-درجة الحرارة Temperature

تزداد سرعة الانتشار بزيادة درجة الحرارة. ويعزى ذلك بالدرجة الاولى الى الزيادة في الطاقة الحركية للجزيئات.

٣-وسط الانتشار Medium in which diffusion occur

انتشار الجزيئات يكون ابطأ كلما زاد تركيز وسط الانتشار.

- منحدر (ممال الضغط الانتشاري) Diffusion pressure gradient

تزداد سرعة معدل الانتشار كلما زاد الفرق في منحدر الضغط الانتشاري بين منطقتين. وعليه فان معدل انتشار جزيئات مادة معينة من منطقة لاخرى يتناسب طردياً مع فرق التركيز للمادة المنتشرة بين هاتين المنطقتين وعكسياً مع المسافة بينهما.

الانتشار الغشائي (الخاصية الازموزية) Osmosis

تعد الازموزية نوعاً خاصاً من الانتشار حيث يتحرك الماء خلال غشاء انتخابي او اختياري النفاذية من منطقة ذات تركيز عالي للماء (تركيز واطئ للذائبات) الى منطقة ذات لتركيز واطئ للماء (تركيز عالي للذائبات). دون الحاجة الى صرف طاقة. الغشاء نصف نفاذ يسمح بمرور الماء فقط ولايسمح بمرور الذائبات مما يؤدي الى تدرج في الضغط عبر الغشاء.

آلية العملية الازموزية :

تعد أغشية الخلية النباتية اختيارية النفاذية وخاصة الغشاء البلازمي والغشاء الفجوي ولهما دور كبير ومهم في امتصاص الماء خلال العملية الازموزية لان الخلية النباتية تمتص وتفقد الماء عبر الخاصية الازموزية بالاعتماد على فرق التركيز للمواد المذابة داخل وخارج الخلية.

وهناك ثلاثة مكونات رئيسية مشمولة بدخول الماء الى الخلية النباتية وانتقاله من خلية الى اخرى مجاورة لها وهذه المكونات هي :-

.

1 -**الفجوة Vacuole** وتحتوي على محلول مائي لمواد لها قابلية الانتشار مثل الاملاح المعدنية والسكريات والحوامض العضوية. ومحاطة بغشاء انتخابي النفاذية يسمى الغشاء الفجوي Tonoplast أو Vacular membrane ويسمى محلول الفجوة بعصير الخلية Cell sap وهو محلول له صفات ازموزية وان اختلاف الضغط الازموزي يعتمد على تركيز الماء الموجود في الفجوة وعلى تركيز المواد المذابة فيه.

٢-السايتوبلازم Cytoplasm يحاط السايتوبلازم بالغشاء البلازمي Plasma membrane او Ectoplast والذي يتكون بصورة اساسية من البروتين Protein ومادة دهنية Lipid ويمر الماء عبر الغشاء البلازمي والغشاء الفجوي بصورة حرة . وتؤثر بعض العوامل على نفاذية الاغشية منها درجة الحرارة وعمر النسيج والاس الهيدروجيني pH وغيرها.

-جدار الخلية Cell Wall يحدد شكل الخلية النباتية حيث يغلف بروتوبلاستها وهو تركيب متين ومرن في نفس الوقت وهذا يساعده على مقاومة المؤثرات الخاجية التي تسبب له الشد او الضغط او الالتواء .

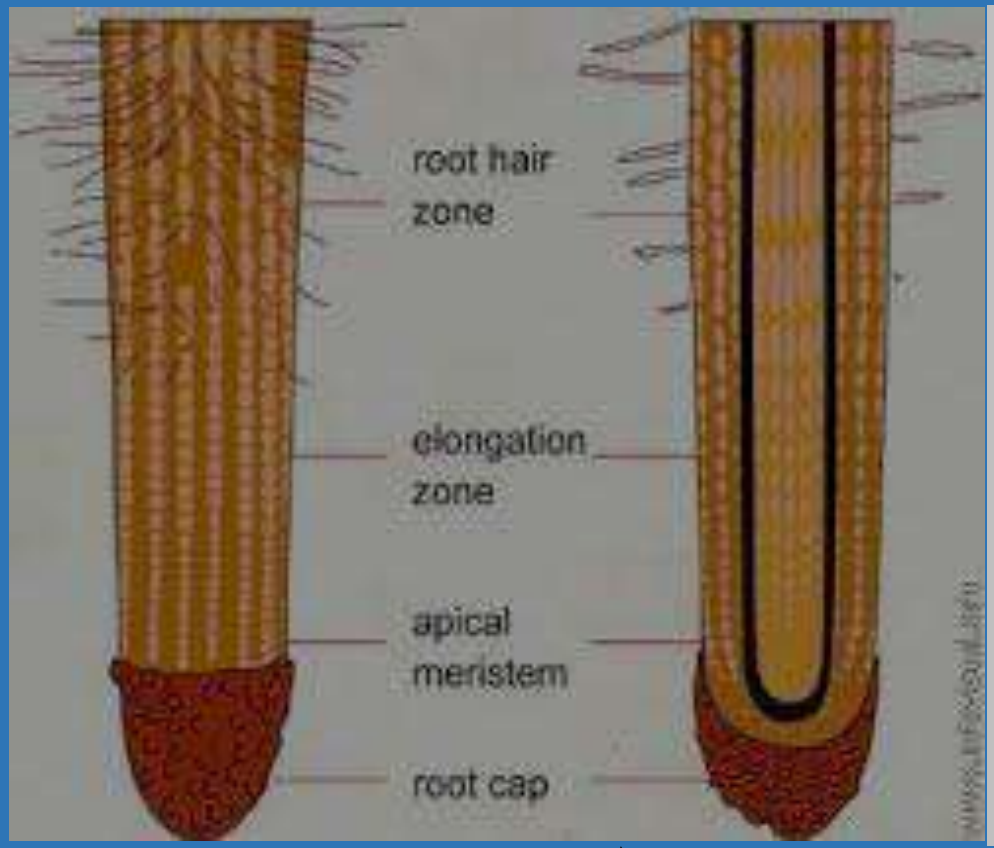
وجدار الخلية الفتية رقيق ومرن وشفاف ولايتميز بلون معين ويعتبر التركيب الأول الذي يفرز على الصفيحة الوسطى وعليه يسمى الجدار الابتدائي وهو يتكون اساساً من السليلوز واشباه السليلوز وبكتات الكالسيوم. وهو يسمح بمرور الماء والمواد المذابة فيه والغازات بسهولة كما يحتفظ بكميات من الماء في المساحات مابين اليافه الدقيقة.

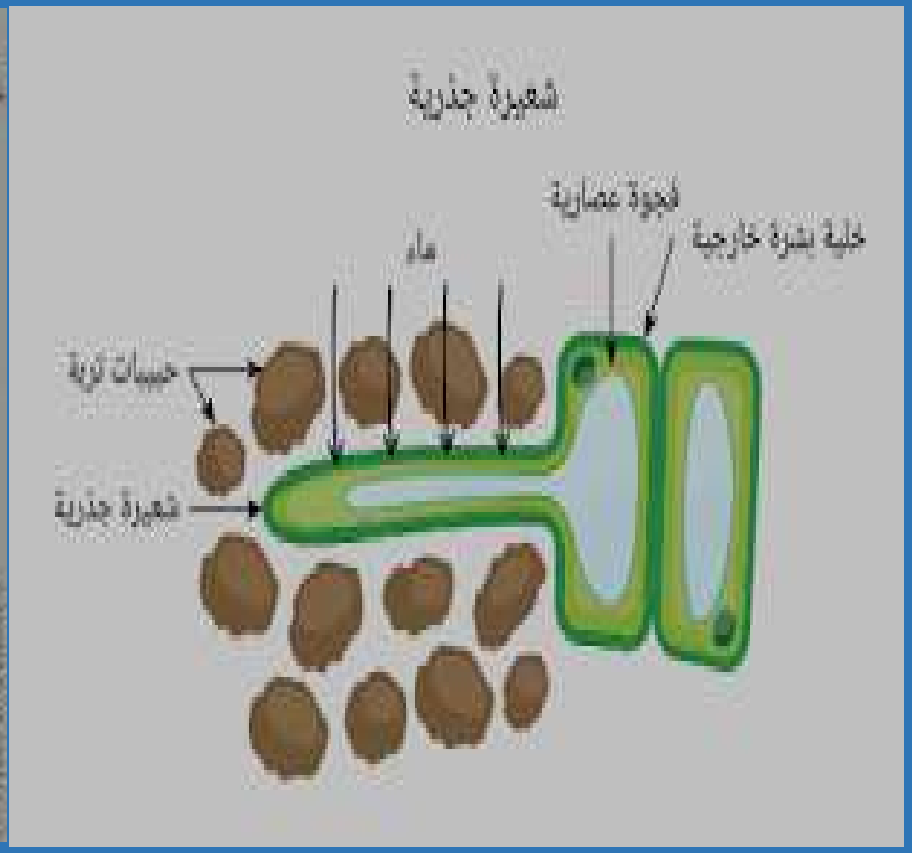
امتصاص ونقل الماء

Water Absorption and Translocation

تحصل معظم النباتات الأرضية على الماء الضروري لها من التربة بواسطة المجموع الجذري Root systemبعملية تسمى عملية امتصاص الماء الا انها تستخدم كمية قليلة من هذا الماء في النمو وفي البناء الضوئي. والقسم الاكبر من الماء الممتص عن طريق الجذور يفقده النبات بعملية النتح.

الماء يمتص بواسطة الجذور بصورة رئيسية في منطقة الشعيرات الجذرية. وتمتاز الشعيرة الجذرية باحتوائها على فجوة كبيرة الحجم لها ضغط ازموزي معين وعلى هذا الاساس فان الفجوة الموجودة في الشعيرة الجذرية هي المسؤولة عن امتصاص الماء.


root hair
zone
elongation
zone
apical
meristem
root cap


شعيرة جذرية
لجوة عصارية
خلية بشرة خارجية
ماء
حبيبات تربة
شعيرة جذرية

مناطق الجذر

النباتات المائية أو التي تنمو في مزارع مائية عادة لاتوجد فيها شعيرات جذرية وتتم عملية امتصاص الماء خلال سطح الجذر كله .
ان الشعيرات الجذرية وخلايا سطح الجذر الاخرى التي هي على اتصال بحبيبات التربة تمتص الماء مادام الجهد المائي في الفجوات اقل من الجهد المائي للماء في محلول التربة.

آلية امتصاص الماء :

يدخل الماء الى الجذور خلال جدران الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة لقمة الجذور نتيجة ممال الضغط الانتشاري وباستمرار كون نقص الضغط الانتشاري للعصير الفجوي لخلايا الجذر اكبر من مثيله في محلول التربة فان الماء يستمر بالدخول الى داخل خلايا الجذر وعليه فان معظم الماء الممتص يتم بالالية الازموزية اي انه يمتص **بصورة سلبية Passively** الا انه يعتقد ان هناك نوعاً **من الامتصاص الفعال Active absorption** غير ازموزي يتطلب استخدام طاقة حيوية.

-الأمتصاص السلبي : Passive Absorption

عندما تفقد خلايا النسيج المتوسط للورقة الماء في عملية النتح بسبب كون جهدها المائي أعلى منه للجو الخارجي فان قيمة الجهد المائي لها تصبح أقل قيمة من الجهد المائي للخلايا المجاورة وبذلك تسحب الماء من هذه الخلايا وهذه الخلايا بدورها تقل قيمة جهدها المائي وبذلك تسحب الماء مما يجاورها من خلايا وهكذا الى يصل السحب الى الأوعية الخشبية للورقة .

ويطلق على هذه العملية بالامتصاص السلبي وذلك لان دخول الماء الى الجذور يحدث نتيجة فعالية خلايا الاعضاء العليا للنبات (الاوراق) ولم تقم الجذور الا بدور امتصاص الماء فقط في هذه العملية وبهذه الآلية يتم دخول الجزء الاعظم من الماء الى النبات.

٢-الامتصاص النشط أو الفعال Active Absorption

يحدث الامتصاص الفعال للماء نتيجة نشاط وفعالية خلايا الجذور والتي تتطلب استخدام طاقة ايضية لهذا الغرض وبصورة عامة يحدث الامتصاص النشط بطريقتين:

أ-الامتصاص النشط الأزموزي Osmotic active absorption

وفيه تحدث حركة الماء بفعل الازموزية نتيجة لوجود فرق الجهد المائي (الطاقة الحرة المتاحة لحركة الماء) بين محلول التربة وعصارة الاوعية الخشبية في الجذر وفي هذا النوع من الامتصاص فان الماء يتحرك خلال بشرة الجذر وقشرته الى قنوات الخشب بسبب زيادة تركيز الملح (قلة الجهد المائي في خلايا الجذر الداخلية).

ب- الأمتصاص غير الازموزي للماءNon-osmotic water absorption

في هذه الطريقة ينتقل الماء ضد ممال التركيز أي من التركيز الواطئ للماء الى التركيز العالي له وهذا يتطلب استخدام طاقة أيضية .

العوامل المؤثرة على امتصاص الماء Factors Effecting Water Absorption

١- درجة حرارة التربةTemperature of the Soil

تعد الدرجات الحرارية التي تقع ضمن المدى من ٢٠-٣٠ مº هي درجة الحرارة المثالية لامتصاص الماء من قبل النبات .وبصورة عامة فان درجات الحرارة العالية جدا تؤدي الى قتل الخلايا أما درجة الحرارة المنخفضة فانها تقلل من امتصاص الماء ويرجع سبب تأثير درجات الحرارة الواطئة في التقليل من امتصاص الماء الى العوامل الأتية :

أ- قلة نمو الجذر وتفرعاته .

ب-هبوط سرعة حركة الماء من التربة الى الجذر.

ج-زيادة مقاومة الجذر حيث تقل نفاذية الاغشية الخلوية وتزداد لزوجة البروتوبلازم.

د- تزداد لزوجة الماء في درجات الحرارة الواطئة .

٢- تركيز محلول التربة : تمتص الجذور الماء نتيجة للفرق في الجهد المائي بين التربة والجذر. ان زيادة تركيز محلول التربة تعني قلة الجهد المائي لمحلول التربة يصبح ذو قيمة أكثر بالسالب وبالتالي قلة حركة الماء باتجاه الجذور وصعوبة امتصاصها.

٣-تهوية التربة :

ان عملية امتصاص الماء تكون أكثر كفاءة في الترب جيدة التهوية مقارنة بالترب رديئة التهوية ومن المحتمل ان يكون السبب هو هبوط في كفاءة عملية التنفس الهوائي بسبب نقص الأوكسجين في الترب سيئة التهوية الأمر الذي يؤثر على العمليات الحيوية الاخرى وكذلك يؤثر على نمو الجذور ونتيجة لهذا الاضطراب في العمليات الفسيولوجية ينخفض معدل امتصاص الماء .

٤ـ الماء الميسور للتربة (كمية الماء القابلة للامتصاص في التربة)

من المعروف ان ليس جميع الماء الموجود في التربة يمكن ان يمتصه النبات وعادة النباتات تمتص الماء من التربة إذا كان محتوى ماء التربة يقع بين نقطة الذبول الدائم والسعة الحقلية Field capacity

ان نقطة الذبول الدائمي Permanent wilting point تمثل النسبة المئوية لماء التربة الباقي فيها عندما تبدأ أعراض الذبول الدائم لاوراق النبات النامي في هذه التربة بالظهور .

أما السعة الحقلية Field capacity فهي تمثل مقدار الماء الموجود في التربة بعد سقيها بصورة جيدة وتركها حتى يتوقف ترشيح الماء الزائد منها. ويختلف مقدار السعة الحقلية والنسبة المئوية للذبول الدائم باختلاف طبيعة التربة فالتربة الطينية مثلاً ذات سعة حقلية ونسبة مئوية للذبول الدائم أعلى بكثير من الترب الرملية.

٥- **معدل النتح بالنبات** : تتناسب كمية الماء الممتصة تناسبا طريا مع كمية الماء المفقودة بالنتح إذا كانت رطوبة التربة عاملاً غير محدداً وعلى هذا الساس فان جميع العوامل التي تؤثر بسرعة النتح تلعب دورا مهما في امتصاص الماء.

٦- **تعمق الجذور وانتشارها:** تختلف جذور النباتات من حيث التفرعات وانتشارها والعمق الذي تصل اليه. تمتص الجذور معظم الماء من أطرا ف الجذور الحديثة النمو ويقل الامتصاص من مناطق الجذر المسنة نتيجة لتصلبها .

٧- **صفات المجموع الخضري** : كل صفات المجموع الخضري التي تؤدي الى زيادة النتح تؤدي الى زيادة سرعة امتصاص الماء حيث ان هاتين العمليتين مترابطتين تماما وعموما تزداد سرعة امتصاص الماء كلما زادت نسية المساحة السطحية للجزء الخضري للمساحة السطحية للجذور.

ميكانيكية انتقال الماء Mechanism of Water Translocation

ان المسافة التي تفصل اعضاء الامتصاص (الجذور) عن الاعضاء المنتجة (الاوراق) تكون كبيرة في كثير من النباتات وقد وضعت عدة نظريات لتفسير صعود الماء خلال النبات الى مثل هذه الارتفاعات :

١- **الضغط الجذري Root Pressure** يلاحظ عند قطع ساق لنبات عشبي انسياب عصارة الخشب نتيجة الضغط الجذري وهو عبارة عن قوة تنشأ في عصارة الأوعية الخشبية نتيجة الفعاليات الايضية للجذور ولذلك يعتبر عملية فعالة Active process الان ان صعود الماء خلال الساق نتيجة الضغط الجذري يعود الى الآلية الازموزية المتولدة نتيجة الامتصاص الفعال للاملاح من قبل الجذور .

ان الضغط الجذري يفسر تحرك جزء من الماء الى اعلى في بعض انواع النبات وخاصة العشبية ولكنه لايعد الالية الأساسية لصعود الماء الى ذرى الأشجار الباسقة التي يزيد ارتفاعها عن ١٥٠ متر وفي مثل هذه الحالات فان آلية الأمتصاص السلبي هي المسؤولة عن صعود الماء الى قمة الأشجار الباسقة .
ان الأسباب المسؤولة عن عدم اعتبار الضغط الجذري الآلية الأساسية لصعود الماء الى قمة الأشجار الباسقة هي:

- ان مقدار الضغط الجذري الناشئ صغيراً وغير كافي لصعود الماء الى ارتفاعات الاشجار.
- هناك أنواع كثيرة من النباتات لم تشاهد فيها ظاهرة انسياب العصارة عند القطع.
- ان ظاهرة الضغط الجذري لم يتم إيضاحها في بعض النباتات وخاصة المخروطيات (عارية البذور)
- ان معدل انسياب العصارة ابطأ بكثير من معدل النتح وان العصير الخشبي بالظروف الاعتيادية يكون تحت تاثير شد وليس تحت تاثير ضغط .

ومن الظواهر الاخرى التي تدل على الضغط الجذري هي **ظاهرة الأدماع Guttation** وتشاهد هذه الظاهرة في الصباح الباكر بعد ليلة صافية ودافئة حيث يساعد الدفء على امتصاص الماء ونظراً لأن الثغور تكون مغلقة في الصباح الباكر فيخرج الماء على هيئة نقاط من حواف الأوراق وتسمى هذه الظاهرة بالأدماع.

٢-النظريات الحيوية Vital Theories

على الرغم من ان الاوعية والقصيبات التي يتم انتقال الماء خلالها غير حية الا ان صعود الماء فيها يكون بتاثير فعاليات حيوية تحدث في نسيج الخشب الذي يحتوي على خلايا حية تشمل برنكيما الخشب واشعة الخشب ولكن لاتوجد أدلة تعزز هذه النظرية .

٣-نظرية الشد – التماسكي Cohesion – Tension Theory

من المعروف ان جزيئات الماء يجذب بعضها البعض بشدة ويمكن ايضاح ذلك عندما يكون الماء منحصراً في انابيب شعرية واذا ماتعرض الماء عند قمة هذه الانابيب الى شد سوف يسري هذا الشد على طول العمود المائي بسبب الجذب المتبادل بين جزيئات الماء (تماسك) بالأضافة الى الجذب الحاصل بين جزيئات الماء وجدار الانبوب (تلاصق). ان جهاز نقل الماء في النباتات يؤلف نظاما مماثلاً. وهو ينتقل بهيئة اعمدة مائية خيطية متواصلة وبفضل تماسك جزيئات الماء وتلاصقها بجدران القنوات الخشبية فان الشد الذي يقع عند اي نقطة في هذا الجهاز ينتشر نحو جميع اجزائه.

وقد وضعت هذه النظرية من قبل ديكسون Dixon وهي اكثر النظريات شيوعاً لتفسير انتقال الماء في النباتات حيث ان آلية الضغط الجذري قادرة على تحريك الماء نحو الاعلى ولكن ليس بالكمية والارتفاع التي تتطلبه معظم النباتات . كما وانها النظرية الوحيدة التي تفسر صعود الماء في النباتات شديدة النتح .

النتحTranspiration

جميع النباتات تحتاج الى كميات كبيرة من الماء خلال فترة نموها وتطورها ونسبة كبيرة من الماء الممتص في النبات يفقد بظاهرة النتح وإن هناك نسبة قليلة من هذا الماء يتبقى داخل النبات لاستعماله في العمليات الفسيولوجية والأيضية المختلفة.

لذلك يمكن تعريف **النتح Transpiration** بأنه فقدان الماء من الأجزاء الخضرية للنبات على هيئة بخار ماء . وتحدث عملية النتح نتيجة لوجود فرق في الجهد المائي (ضغط بخار الماء) بين الهواء وسطح النبات ويمكن تقسيم النتح حسب المسالك أو الطرق التي يفقد الماء عن طريقها على هيئة بخار الى:

١-النتح الثغري Stomatal transpiration

ان احتواء سطح الاوراق وبشكل خاص البشرة على عدد كبير من الثقوب تسمى الثغور (Stomata)يجعل من سطح الورقة السفلي والعلوي مجالاً سهلاً لتبخر الماء . ومعظم الماء المفقود في عملية النتح يمرعبر هذه الثغور. وتتحكم الثغور بكمية الماء الخارجة ، فعندما تذبل الوراق تقل معه فتحات الثقب الثغري أو قد تنغلق الثغور كليا وبذلك يتوقف تبخر الماء عن طريق هذا المسلك.

٢-النتح الأدمي Cuticular Transpiration

كمية الماء المفقودة بهذه الطريقة غير ذي أهمية عند مقارنتها بالنتح الثغري، ويعرف النتح الأدمي بانه تبخر الماء على هيئة بخار بصورة مباشرة خلال بشرة الورقة شاقا طريقه عبر الطبقة الشمعية الكيوتينية المغلفة لسطح البشرة الخارجي والتي تسمى بالادمة أو الكيوتكل وتختلف نسبة الماء المفقود عن هذا الطريق باختلاف سمك ونفاذية الكيوتكل حيث تقل النسبة (نسبة الماء المفقود) بزيادة سمك طبقة الكيوتكل أو تغطيتها بطبقة شمعية.

٣-النتح العديسي Lenticular Transpiration

يفقد الماء ايضاً من خلال العديسات lenticels وهو ما يعرف بالنتح العديسى lenticular transpiration هى تلك الفتحات الدقيقة فى الأنسجة الفلينية التى تغطى أسطح السيقان والأفرع . وربما يسبب النتح العديسى جفاف للاشجار متساقطة الاوراق فى فصل الشتاء حيث انه فى فصل الشتاء البارد تكون كمية الماء الممتصة بواسطة الجذور عند ادنى مستوى لها وفى هذه الحالة تزداد اهمية النتح العديسى فى هذا الوقت من السنة.

الثغور Stomata

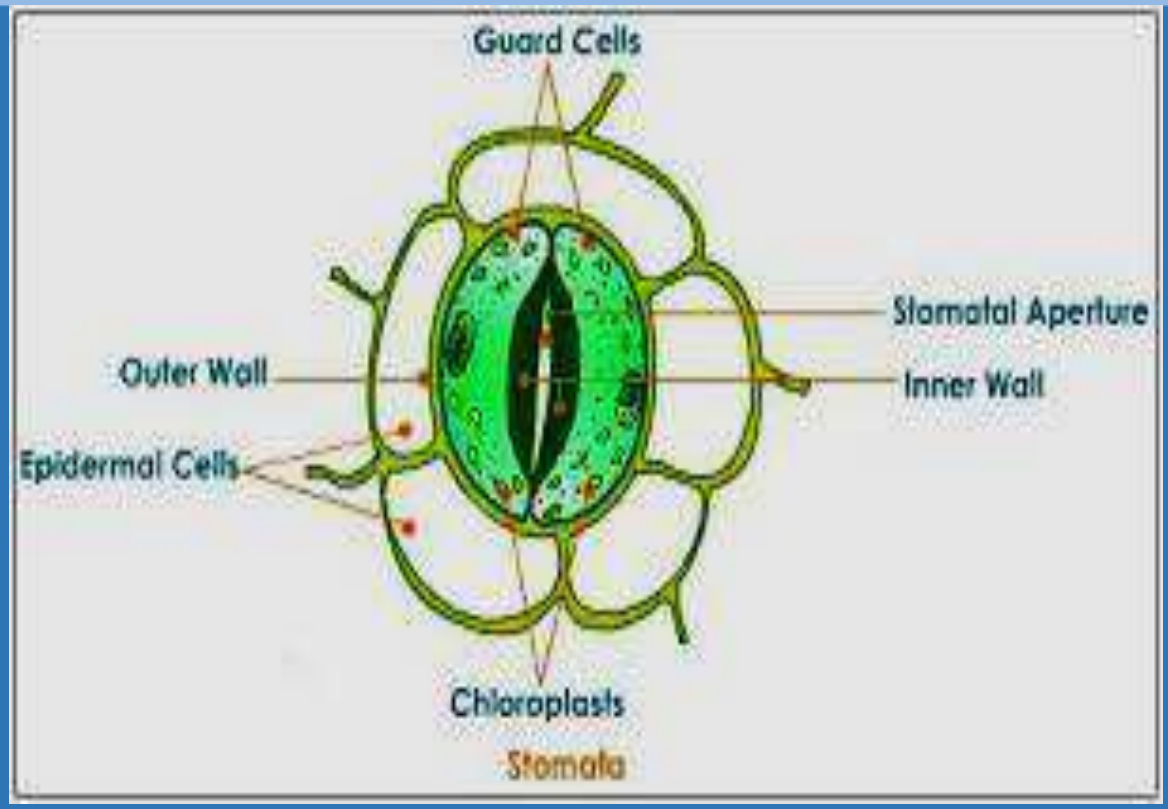
الثغور هي فتحات في الأوراق عن طريقها يتم الاتصال بين المحيط الخارجي والنبات حيث يتم من خلالها تبادل الغازات مثل الاوكسجين O_2 وثاني اوكسيد الكاربون CO_2 وبخار الماء.

توزيع الثغور :

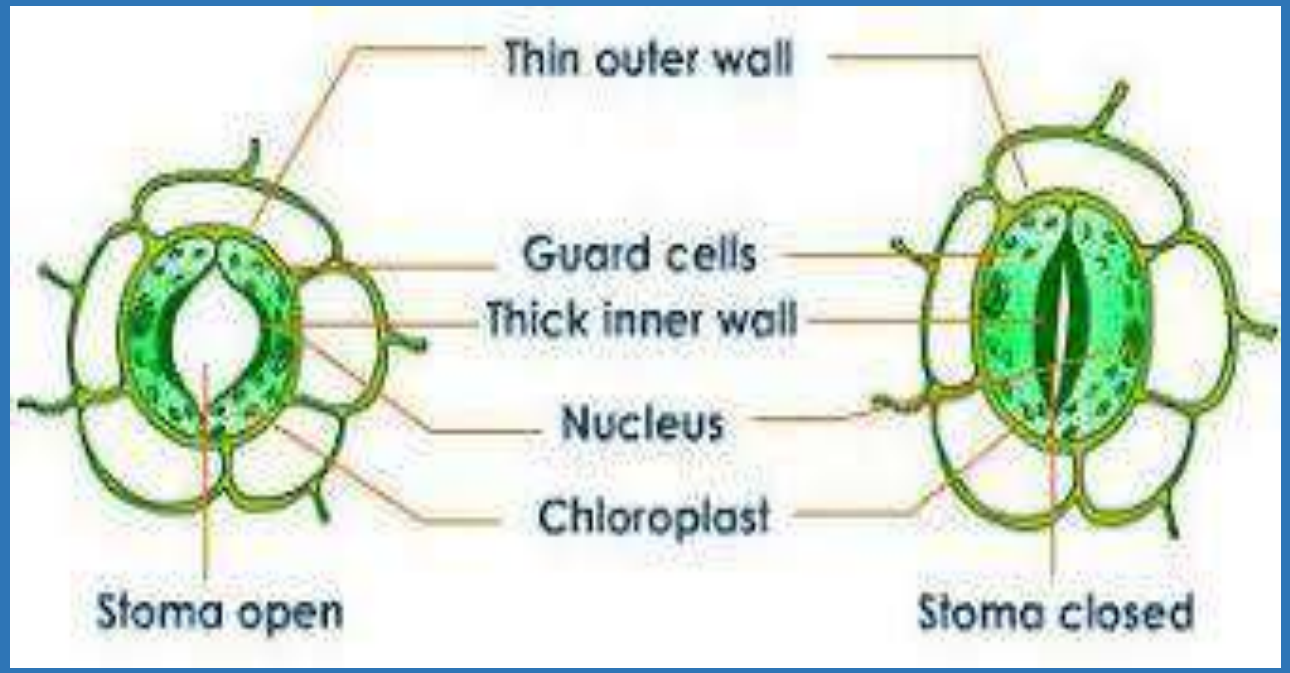
تتواجد الثغور في بشرة الأجزاء النباتية الهوائية عادة كالأوراق والسيقان الفتية، وتنعدم في الجذور والاجزاء المغمورة في الماء. ويختلف عددها وتوزيعها حسب نوع النبات فقد تتوزع الثغور على سطحي الورقة أي على البشرتين العليا والسفلى او تتواجد على السطح العلوي فقط أو على البشرة العليا أو توجد على البشرة السفلى فقط . في الاوراق التي يتعرض سطحها العلوي للضوء توجد الثغور بكثرة على السطح السفلي . أما الاوراق التي يتعرض سطحيها للشمس يتساوى عدد الثغور فيها على سطحي الورقة .

الجهاز الثغري :

الجهاز الثغري يتكون من 1- **فتحة الثغور Aperture** هي فتحات دقيقة توجد في بشرة النبات وتعمل وهي مفتوحة كممرات رئيسية يتم خلالها تبادل للغازات بين الجو الداخلي للورقة والجو الخارجي ٢- **الخليتان الحارستان Guard Cells** يحيط بفتحة الثغر خليتان تشبهان شكل الكلية أو حبة الفاصوليا هما الخليتان الحارستان وذلك لنباتات ذوات الفلقتين(شكل١) .



وتتميز الخليتان الحارستان عن غيرها من خلايا البشرة العادية بشكلها الخاص وباحتوائها على بلاستيدات خضراء وتغلظ جدرانها الخلوية تغلضات موضعية غير منتظمة في جدران الخلايا الحارسة اذ تكون الجدران الداخلية للخليتين الحارستين المحيطة بفتحة الثغر سميكة ومرنة، بينما الجدران الخارجية رقيقة . عندما يدخل الماء إلى الخليتين الحارستين، يزيد الضغط داخل هاتين الخليتين وتنتفخان وتنتفخ الجدران الخارجية الرقيقة مما يسحب الجدران الداخلية الأكثر سمكًا للخارج. ينتج عن هذا فتحة الثغر الذي يمكن أن يتبخر من خلالها بخار الماء. عندما تفقد الخليتان الحارستان الماء، فإنهما تفقدان انتفاخهما وترتخيان وهو ما يتسبب في إغلاق فتحة الثغر.



آلية فتح وغلق الثغور:

أوضحت الكثير من الدراسات التي أجريت أن ميكانيكية فتح وغلق الثغور تعتمد على مقدار الزيادة أوالانخفاض في الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة . فالتغيير في الضغط االأزموزي للخلية الحارسة سيحدد دخول أو خروج الماء منها واليها .ووضعت عدة نظريات لتفسير آلية فتح وغلق الثغور:

النظرية الأولى : أقترح الباحثون أن عملية البناء الضوئي Photosynthesis في النهار تؤدي إلى تكون وتراكم السكر في الخلايا الحارسة مما يسبب ارتفاعاً في الضغط االأزموزي لها فتفتح الثغور وعند الظلام تغلق الثغور نتيجة لتوقف عملية البناء الضوئي وبالتالي ينخفض تراكم السكر في الخلايا الحارسة مما يسبب انخفاضاً في الضغط الأزموزي لها فتغلق الثغور. لم تلق هذه النظرية قبولاً من قبل مجموعة من الباحثين لكون أن عملية فتح الثغور أسرع من عملية البناء الضوئي أي ان نواتج البناء الضوئي المتكونة والمتراكمة تحتاج الى فترة طويلة لكي تسبب ارتفاعاً في الضغط الأزموزي داخل الخلايا الحارسة وفتح الثغور.

النظرية الثانية : نظرية النشأ والسكر : تقترح هذه النظرية أن ميكانيكية فتح وغلق الثغور تعتمد على تركيز CO2والـ pH في الخلايا الحارسة ، أي أن في النهار تفتح الثغور بسبب انخفاض CO_2 في الخلايا الحارسة نتيجة لاستهلاكه في عملية البناء الضوئي فيؤدي ذلك الى ارتفاع pH الخلية فيصل الى ٨ فيؤدي ذلك الى تحلل النشا الى سكر كما في المعادلة التالية:

Starch → Glucose-1-phosphate

أما في الظلام فأن تركيز CO_2 سوف يزداد بسبب توقف عملية البناء الضوئي وزيادة سرعة التنفس فيتكون حامض الكاربونيك من CO2مؤدياً الى انخفاض pH الخلية الحارسة الى ٥ فيؤدي ذلك الى تكون النشا من Glucose ١-phosphateمسبباً انخفاضاً في الضغط الازموزي الذي يؤدي الم غلق الثغور . لم تلاقي هذه النظرية قبولا من عدد من الباحثين وخصوصا الباحث Steward الذي أثبت أن Glucose-1- phosphateهو غير كافي لرفع الضغط الازموزي في الخلية الحارسة المسبب لفتح الثغور كما هو الحال فيGlucose .

النظرية الثالثة : نظرية المضخة الايونية : Ion pump theory وهي النظرية الأكثر قبولاً من الباحثين. وتنص هذه النظرية على ان هناك مضخة أيونية تقوم بضخ ايونات الهيدروجين H^+الى خارج الخلية الحارسة وضخ ايونات البوتاسيوم K^+ الى داخل الخلية الحارسة باستخدام الطاقة من مركب ATP المتكون من الفسفرة الضوئية في النهار مما يؤدي الى ارتفاع pH في الخلية الحارسة الى أن يصبح قاعدي فيؤدي ذلك الى تحلل النشأ الى Phospho enol pyruvate (PEP)ومنه يتكون Oxalo acetic acid(OAA) ومنه يتكون حامض الماليك Malic acid (MA) الذي ينتقل الى الفجوة ويتحد مع أيون البوتاسيومK^+ ليكون مركب يدعى Potassium malateالذي يتجمع في الفجوة للخلية الحارسة مسبباً زيادة في الضغط الأزموزي للخلية الحارسة فتنتقل جزيئات الماء من الخلايا المجاورة الى الخلايا فتمتلأ بالماء مسببة فتح الثغور وعكس ذلك يحدث في الظلام حيث تغلق الثغور.

العوامل المؤثرة على معدل عملية النتح

أولاً : العوامل النباتية

١-**نسبة المجموع الجذري إلى المجموع الخضري** عندما يزداد المجموع الجذري عن المجموع الخضري للنبات ووجود الظروف الملائمة للامتصاص والنتح تكون كمية الماء الممتص اكبر من كمية الماء المفقود بالنتح وبالتالي ينمو النبات والعكس عندما يقل المجموع الجذري عن المجموع الخضري يحدث ذبول للنباتات.

٢- **مساحة الورقة** من المعلوم ان زيادة مساحة الورقة يتبعها زيادة الماء المفقود وغالبا ما تنتح النباتات الصغيرة بمعدل اكبر عن النباتات الكبيرة وذلك على أساس وحدة المساحة ولو أن النباتات الكبيرة تفقد كميات من الماء اكبر الا ان الماء المفقود بالنسبة لوحدة المساحة يكون اكثر فى النباتات الصغيرة.

٣-تركيب الورقة: تختلف عدد الثغور الموجودة وسمك طبقة الكيوتين المغطية للأوراق وسطحية وتعمق الثغور على سطح الورقة وتعريق الأوراق باختلاف الأنواع النباتية مما يؤثر على معدل النتح.

ثانيا: العوامل البيئية

١-الرطوبة النسبية في الجو: ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو يترتب علية زيادة الضغط البخاري لبخار الماء فى هذا الجو ،ويؤدى ذلك بالطبع إلى تقليل التبخر وبالتالي تقليل النتح.

٢-الرياح : يتسبب عن حركة الهواء تقليل الرطوبة النسبية بإزالة الهواء الرطب في الجو الملامس مباشرة لسطح الأوراق وبالتالي يزداد النتح . أما عند اشتداد الرياح فان الثغور تقفل ، وبالتالي يقل معدل النتح وتقفل الثغور هنا بسبب فقد النبات لكميات هائلة من الماء تؤدى الى نقص شديد فى انتفاخ البشرة والخلايا الحارسة وبالتالى تقفل الثغور.

٣- درجة الحرارة : يؤدى ارتفاع درجة الحرارة الى زيادة التبخر وبالتالى الى زيادة النتح وتعتبر عملية النتح عملية تلطف من حرارة النبات لان قدر كبير من الحرارة التى تتعرض لها أسطح الأوراق تستنفذ فى تبخير كميات كبيرة من الماء فى صورة نتح.

٤- الضوء: يتجلى دور الضوء من خلال تأثيرة على حركة فتح وغلق الثغور كما ان الضوء الشديد يزيد من درجة الحرارة وبالتالى يزيد من معدل النتح.

٥- تييسر ماء التربة كلما كان ماء التربة محددا كلما قل امتصاص الجذور للماء ويؤثر ذلك بالطبع على التوازن المائى فى النبات وعلى النتح. اي انه يتوقف استمرار النتح من الاجزاء الهوائية للنبات على استمرار إمداد الجذور لهذه الأجزاء بالماء ، فإذا ما عجزت الجذور عن الحصول على الماء لسبب أو لآخرفان النتح يستمر لفترة من الوقت على حساب ماء الأوراق والأغصان.

فوائد النتح للنبات :

١- تبريد الأوراق:Effect of leaf Cooling خاصة عند ارتفاع درجة حرارة النبات.

٢- امتصاص العناصر الغذائية وانتقالها Absorption and Translocation of Minerals : حيث تساهم حركة الماء في نقل الأيونات من الجذور إلى أعلى النبات . وزيادة النتح يسرع في حركة الماء وبتالي زيادة امتصاص وانتقال العناصر الغذائية .

٣-يساعد على صعود العصارة النباتية من الجذر إلى أعلى النبات وذلك للتعويض عن النقص الحاصل في الأجزاء الخضرية نتيجة للتبخر .