

الباب الخامس

علاقة الماء بالأرض والمحصول والغلاف الجوى

تتأثر معظم العمليات الدائرة بالنبات بطريق مباشر أو غير مباشر بالإمداد المائى للنبات حيث يمثل الماء حوالى ٨٠-٩٠% من مكونات خلايا النبات يشكل تيارا مستمرا بين أنسجة جذور النبات مارا بأوعية التوصيل ليصل بها إلى النسيج الأوسط للورقة ثم إلى جدر التجاويف الواقعة أسفل الثغور (مواقع التبخير) تبعا لتدرج الجهد المائى للخلايا ثم يتم انتشار جزيئات بخار الماء إلى الغلاف الجوى من خلال الثغور ويؤثر المحتوى المائى للنبات على نمو وقدرة المحصول الإنتاجية. ويتأثر ذلك بعدة عوامل، تتمثل فى العوامل الأرضية ونعنى بها محتوى الأرض من الرطوبة، القوام، البناء، كثافة الأرض، ملوحة، خصوبة، تهوية، درجة الحرارة، الصرف والعوامل النباتية وتعتمد على نوع المحصول، كثافة وعمق الجذور، معدل نمو الجذور، درجة خشونة التربة التى تحدثها ديناميكية الهواء للنبات، مقاومة الجفاف، الصنف والعوامل الجوية مثل سطوع الشمس، درجة الحرارة، الرطوبة، الرياح وسقوط الأمطار. كما تؤثر عوامل أخرى مثل حجم الأرض، مسافات الزراعة وإدارة المحصول والأرض.

أهمية الماء للنبات

إن محتوى النبات من الماء له علاقة وثيقة بنشاطه حيث يتحكم فى معدل انقسام واستطالة الخلايا والإمداد بالمركبات العضوية وغير العضوية اللازمة لتمثيل البروتوبلازم وتكوين الجدر الخلوية. ويؤدى نقص المحتوى المائى إلى نقص انتفاخ الخلية وذبولها وإيقاف استطالتها وقفل الثغور مما يعمل على نقص عملية التمثيل الكربونى والتأثير على العديد من العمليات الفسيولوجية وباستمرار التعرض لنقص

الماء يختل نظام البروتوبلازم وتموت معظم الكائنات الحية. ويتضح جلياً العلاقة بين محتوى الماء والعمليات الفسيولوجية للبذور حيث يتضاعف التنفس والأنشطة الفسيولوجية الأخرى بإضافة الماء للبذور. كما أن الماء عامل مساعد هام لثنائي أكسيد الكربون فى عملية التمثيل الكربونى. ويعمل الماء كمذيب للغازات، العناصر الغذائية والمحاليل التى تدخل للخلايا وتتحرك بواسطة الماء من خلية إلى أخرى ومن نسيج إلى آخر. كما يؤثر فى نفاذية الجدر وأغشية الخلايا باستمرار تحرك الماء السائل لتتقل المحاليل خلال أنسجة النبات كما أن لها دوراً فى التحلل المائى كتحويل النشا إلى سكر والبروتين لأحماض أمينية والدهون إلى أحماض دهنية.

إن كمية الماء الكلية المطلوبة للوظائف الفسيولوجية تقل عن ٥% من الكمية الممتصة الكلية حيث أن معظم الماء الممتص يفقد فى عملية النتح ويؤدى الفشل فى تعويض هذا الماء إلى نقص ضغط الانتفاخ، إيقاف النمو وموت النبات.

كمية الماء بالنبات:

تختلف كمية الماء بالأعضاء المختلفة حيث تحتوى القمم النامية للجذور والسيقان على ٩٠% أو أكثر من الماء ويكون محتوى الأوراق والثمار الصغيرة غني فى محتواها من الماء وعند نضج الأعضاء يقل محتواها من الماء وتحتوى سيقان القمح، الشعير، الذرة الرفيعة على حوالى ٦٠-٧٠% وتقلص عند الحصاد لتصل الى ٥-١٠% أما الحبوب الغضة فتحتوى على ١٠-١٥% ويتوقف عليها درجة الحيوية، الإنبات وفترة التخزين.

وتبدأ رحلة الماء من خلال ثلاث عمليات هي امتصاص الماء وانتقال الماء وفقد الماء وسنتناول بالتفصيل كل عملية من العمليات الثلاث.

امتصاص الماء

تمتص النباتات الماء أساساً عن طريق الجذر ويسمى بالامتصاص الجذرى، ويمتص قدر قليل من الماء عن طريق المجموع الهوائى ويسمى بالامتصاص اللاجذرى.

إن المسار الكامل للماء من الأرض وخلال النبات حتى الغلاف الجوى يشكل نظام مستمر يعتمد أساسا على الفرق فى الجهد المائى بين المنطقة من الأرض المجاورة للجذور والجزء من الغلاف الجوى المجاور للورقة ويمكن تقسيم هذا المسار إلى أربع مسارات أو إن شئت قل أربع عمليات متتابعة وهى إمداد سطح الجذر بالماء السائل، ودخول الماء إلى الجذر، ومرور الماء خلال العناصر الناقلة ثم حركة بخار الماء خلال وخارج الأوراق. ويلاحظ أن معدل حركة الماء فى جميع هذه العمليات تتناسب طرديا مع تدرج الجهد وعكسيا مع مقاومة السوائل.

ويوضح جدول (٥-١) القيم التقريبية للجهد المائى فى نظام الأرض-النبات-الجو حيث يتضح أن الفرق فى الجهد المائى الكلى يولد قوة دفع تعمل على حركة الماء من الأرض خلال النبات إلى الجو.

جدول (٥-١) القيم التقريبية للجهد المائى فى نظام الأرض-النبات-الجو

المكونات	الجهد المائى (بار)
الأرض	من ٠,١ إلى -٢٠
الورقة	من ٥- إلى -٥٠
الجو	من -١٠٠٠ إلى -٢٠٠٠

ويختلف معدل امتصاص الجذور للماء باختلاف المحاصيل معتمدا فى ذلك على عمق وطول الجذر والانتشار الأفقى الذى بدوره يتأثر بالعوامل البيئية والتركيب الوراثى إلا أن امتصاص ماء الأرض يتوقف على خصائص الأرض والجذور. فلو قد وجد أن جذور النجيليات تمتد لتشغل ٢٠٠-٤٠٠٠ سم/سم^٢ من مساحة سطح الأرض على حين تصل إلى ١٥-٢٠٠ سم/سم^٢ فى المحاصيل غير النجيلية ويؤخذ فى الاعتبار النظام بأكمله وليس الجذور فقط عند امتصاص الماء حيث يحسب معدل تيار الماء الممتص فى النظام الكلى جذر-نبات-جو تبعا للمعادلة التالية:

$$\Psi = \text{معدل التيار} - \Psi \text{ الأرض} - \Psi \text{ سطح الجذر/مقاومة الأرض}$$

$$\Psi = \text{الخشب} - \Psi \text{ الورقة/مقاومة الخشب} - \text{مقاومة الورقة}$$

$$\Psi = \text{الورقة} - \Psi \text{ الجو/مقاومة الورقة} + \text{مقاومة الجو}$$

حيث Ψ : الجهد

ويعتمد امتصاص الماء بالجذور على الإمداد المائي لسطح الجذور والذي يتوقف على حركة الماء إلى سطح الجذور بالأرض. وعند جفاف الأرض من حالة التشبع فإن معدل حركة الماء تقل بسرعة، وتحدد حركة الماء بالأرض الجافة (التي يقل محتواها عن السعة الحقلية) المسافة التي يتم امتصاص الماء منها. ومن هنا يتضح معاناة الأرض للجفاف عند قلة سقوط الأمطار أو عدم الري. إن إمداد الجذور بالماء لتعويض الماء الذي فقد في عملية النتج يتوقف بدرجة كبيرة على قدرة الجذور على الاستمرار في التمدد أو شغل حيز كبير من الأرض لذلك فإن جميع العوامل المؤثرة على نمو الجذور وشغل الأرض تؤثر على امتصاص الماء بواسطة النبات.

أولاً- العلاقة بين المحصول والأرض

ترجع العلاقة بين المحصول والأرض إلى خواص كل من الأرض والمحصول التي تؤثر على حركة وحفظ واستعمال الماء. حيث تمتد الأرض المحصول بالماء والعناصر الغذائية التي يحتاجها لنموه الجيد من خلال الجذور ويتم ذلك من خلال سقوط الأمطار أو/والري الصناعي ويتوقف معدل احتفاظ الأرض بالماء وحركته والماء القابل للاستفادة بواسطة المحصول على الخواص الفيزيائية للأرض والماء وعلاقة ذلك بكفاءة إدارة عملية الري.

تتكون الأرض أساساً من الوسط الصلب (المكونات المعدنية، العضوية والمركبات الكيميائية) والماء (رطوبة الأرض) وهواء الأرض وتشغل المسافات البينية الموجودة بين مكونات الوسط الصلب بماء وهواء الأرض. لقد ذكر Brady and Weil (2002) أن مهد الأرض المثالي للزراعة يتكون من حبيبات التربة والمادة العضوية بنسبة حوالى ٥٠% ومسافات بينية بنسبة ٥٠% وتعتبر المواد المعدنية المكون الأساسى للوسط الصلب وهذه تختلف من حيث الشكل والحجم مما يؤدي إلى وجود الفراغات البينية التي تشكل المسافات البينية للأشكال الهندسية المختلفة. تمثل هذه الفراغات بالماء والهواء بنسب متباينة تعتمد على كمية الرطوبة الموجودة بالأرض وتتكون هذه الأوساط الثلاثة من وسط صلب وسائل وغازي، تشكل نظام معقد متعدد الخواص الطبيعية تختلف كثيراً تبعاً لهذه المكونات الثلاث الرئيسية. فعلى سبيل المثال تحتوى الأرض الصفراء على وسط صلب يبلغ ٥٠% ووسط مائي يبلغ ٣٠% ووسط غازي

يبلغ ٢٠%. تؤثر على عملية إدارة الري درجة رشح الماء واحتفاظ التربة به وقوام وبناء التربة ودرجة التوصيل الشعري وعمق قطاع التربة ومستوى الماء الأرضي.

وبالإضافة لهذه الأوساط الثلاثة الأساسية عادة ما تحتوى التربة على العديد من الكائنات الحية مثل البكتريا والطحالب والفطر والبروتوزوا والحشرات والحيوانات الصغيرة التى تؤثر تأثيرا مباشرا وغير مباشر على بناء التربة ونمو المحصول. وفى دراسة على استجابة محصول بنجر السكر للتسميد الحيوى والمعدنى وجدت نورالدين وآخرون ٢٠٠٢ Noureldin et al أن تسميد صنفين من بنجر السكر (Pleno و Lola) بالسماد الحيوى أزوتوباكترين وفوسفوباكترين + ٥٠ كجم فو.أه/فدان أعطى أعلى نسبة منوية لكل من السكروز والنقاوة والسكر المحول ومحصول الجذر والسكر والسكر المحول /فدان. كما كان للتلقيح ببكتريا العقد الجذرية لفول المانج مردود إيجابى على النمو والمحصول (نورالدين وآخرون ٢٠٠٠ Noureldin et al, a, b على الترتيب

مكونات الأرض:

يتكون الوسط الصلب من المركبات العضوية والمعدنية وتعرف باسم مهد الأرض وتكون فيما بينها فتحات غير منتظمة ذات تشكيلات مختلفة على شكل فراغات هندسية تعرف بالمسام عادة ما تمتلئ هذه الفراغات جزئيا بهواء الأرض وسائل فى صورة بخار والجزء الآخر بماء فى صورة سائلة. إن المحتوى المائى للأرض يشكل أهم مكونات الأرض التى يرجع اليها الخواص الديناميكية والعديد من الصفات الطبيعية والتفاعلات الكيميائية وكذلك نمو المحصول، هذه الخواص يمكن إرجاعها إلى التركيب الجزيئى للماء حيث يتكون جزئ الماء من ذرتين من الأيدروجين وذرة من الأكسجين يتحدد الفراغ الذى يشغله جزئ الماء أساسا بأيون الأكسجين حيث لا تمثل أيونات ذرتى الأيدروجين فراغا يذكر ولا تتواجد جزيئات الماء بمفردها وإنما يستخدم الأيدروجين فى ربط جزيئات الماء ببعضها بواسطة الرابطة الأيدروجينية وهى رابطة قوية نوعا ما (مرسى ونورالدين ١٩٧٧). وتستخدم الأرض كمخزن للماء إلا أن المحصول يستخدم الماء المخزن بمنطقة الجذور الذى يتم امتصاصه بواسطة المحصول فى كل من عملية النتج وبناء أنسجته وعندها تحصل النباتات على حاجتها

اليومية من الماء للنمو وتكوين المحصول الإقتصادى وباستمرار عملية الامتصاص يقل الماء القابل للاستفادة ويتأثر نمو النبات وإذا لم تروى النباتات يقف نموها ثم تموت. وتعتمد كمية الماء الذى ينبغى إضافتها على خواص الأرض والمحصول.

خواص الأرض:

تحدد الصفات الفيزيائية خواص الأرض التى تؤثر على رشح واحتفاظ الأرض بالماء مثل قوام وبناء الأرض ومحتواها من المادة العضوية.

١ - قوام الأرض: يعتبر قوام الأرض ذو تأثير كبير على هذه الخواص. ويشير قوام الأرض إلى نسبة أقطار حبيبات ثلاثة مكونات بالتربة وهى الرمل والسلت والطين إلى بعضها البعض وتتراوح أقطار حبيبات الرمل والسلت والطين على الترتيب ما بين ٠,٠٥ - ٠,٠٢, ٢ - ٠,٠٠٢, ٥ - ٠,٠٠٥ أقل من ٠,٠٠٢ مم ويطلق عليها الحبيبات الناعمة بينما الحبيبات التى تزداد أقطار حبيباتها عن ٢ مم تعتبر حبيبات خشنة لا تدخل فى تعريف قوام الأرض.

وتقسم الأراضي المصرية تبعاً لقوامها إلى ما يأتى (عبد الجواد وآخرون ٢٠٠٧):

(أ) الأراضي الرملية: وهى الأراضي التى تحتوى على نسبة من السلن والطين تتراوح ما بين أقل من ١٠% إلى أقل من ٢٠% وتنقسم إلى قسمين: أراضى رملية وتحتوى على أقل من ١٠% وأراضى رملية صفراء وتحتوى على نسبة تتراوح ما بين ١٠% إلى أقل من ٢٠%. وتعرف الأراضي الرملية باسم الأراضي الخشنة القوام.

(ب) الأراضي الصفراء: وهى الأراضي التى تحتوى على نسبة من السلن والطين تتراوح ما بين ٢٠% إلى أقل من ٥٠% وتنقسم إلى أراضى صفراء خفيفة وتحتوى على نسبة تتراوح ما بين ٢٠% إلى أقل من ٣٠% وأراضى صفراء ثقيلة وتحتوى على نسبة تتراوح ما بين ٣٠% إلى أقل من ٥٠% وتعرف باسم الأراضي المتوسطة القوام.

(ج) الأراضي الطينية: وهى الأراضي التى تحتوى على نسبة من السلن والطين تتراوح ما بين ٥٠% إلى أكثر من ٨٠%. وتنقسم إلى أراضى طينية خفيفة

وتحتوى على ٥٠% إلى أقل من ٨٠% وطينية ثقيلة وتحتوى على أكثر من ٨٠%.

وتتميز الأرض الرملية بفقرها فى العناصر الغذائية وقلة احتفاظها بالماء. وفى دراسة عن استجابة محصول صنفين من الشلجم (ليراسبا ولينيتا) لفترات الري والتسميد النيتروجينى بالأرض الرملية ذكرت نور الدين وآخرون (١٩٩٣ Nouredin et al) أن أكبر محصول أمكن الحصول عليه من الصنفين من البذور والزيت والبروتين بالتسميد بمعدل ١٢٠ و ١٥٠ كجم ن/فدان تضاف على ثلاث دفعات متساوية والرى كل ٥ و ١٠ أيام للأول والثانى على الترتيب.

٢ - المواد الغروية: تشير إلى حبيبات الطين الناعمة والمواد العضوية بالتربة وترجع أهميتها إلى نشاطها الفيزيائي والكيميائي بالأرض فنظرا لصغر حجم حبيباتها فإنها تتميز بمساحة سطح هائلة بالنسبة لوحدة الوزن مقارنة بالحبيبات الكبيرة الحجم مما يزيد من قدرتها على الالتصاق بغيرها من الغرويات وبمحلل التربة وذلك لتكون روابط قوية بين حبيبات الغرويات و جزيئات الماء ويتضح ذلك جليا فى القدرة الكبيرة للأرض الطينية على الإحتفاظ بمائها مقارنة بالأرض الرملية. وفى هذا الصدد قامت نور الدين وآخرون (٢٠٠٣) بدراسة تأثير التسميد العضوى والتسميد الحيوى والتسميد المعدنى فى الأراضى الجديدة المستصلحة حديثا على إنتاجية محصول الكانولا بهدف الحفاظ على البيئة من التلوث الناتج عن كثرة استعمال الأسمدة المعدنية وطالما كان الهدف هو توفير الأزوت للنباتات سواء كان المصدر حيويا أو عضويا أو معدنيا، إذ أثبتت الدراسة أن التسميد الحيوى والتسميد العضوى على نفس المستوى من الكفاءة أو يزيد أو يقل قليلا عن التسميد المعدنى أحيانا، حيث أشارت النتائج إلى زيادة معنوية فى المحصول ومكوناته بإضافة السماد البكتيرى منفردا أو مع سماد القمامة أو السماد البلدى دون المعدنى. وفى دراسة أجريت بواسطة نور الدين وآخرون (٢٠٠٦ Nouredin et al) وعبد الهادى وآخرون (٢٠٠٦ Abd El- hady) على استجابة نمو ومحصول وجودة القمح وصفات الأرض الكيماوية لتكامل الزراعة العضوية والحيوية، حيث أشارت النتائج فى الدراسة الأولى إلى وجود تباين كبير فى صفات الأرض

الكيميائية مثل نسبة الكربون العضوى، النتروجين الكلى، المادة العضوية، الفوسفور والبوتاسيوم الميسرين لصالح استخدام ٢٠ كجم ن معدنى + ٦٠ كجم ن عضوى + باسيلس بوليميكسا كسماد حيوى. وأشارت نتائج الدراسة الثانية إلى أن أعلى إنتاجية وجودة للقمح كانت بالتسميد المعدنى بمعدل ٨٠ كجم نيتروجين /فدان + تسميد حيوى (باسيلس بوليميكسا) يليها التسميد بإضافة ٢٠ كجم ن معدنى + ٦٠ كجم ن عضوى + تسميد حيوى. لذلك نصح الباحثون باستخدام المعاملة الأخيرة للحفاظ على البيئة والبناء الجيد للتربة واستدامة خصوبتها.

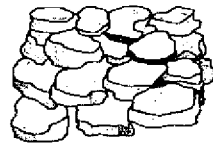
٣ - بناء الأرض: عبارة عن ترتيب وتجميع حبيبات الأرض المفردة فى تكوينات مركبة أو ما يعرف بالحبيبات المتجمعة وينبغى لتكوين هذه الحبيبات من توافر عوامل ثلاثة: حبيبات مفردة، مواد لاصقة وظروف تعمل على تقارب الحبيبات المفردة. وتكوين الحبيبات المتجمعة هام للحفاظ على ثبات الأرض الزراعية ضد عوامل التعرية والحفاظ على المسامية وحركة الماء وتحسين الخصوبة وحجز الكربون بالتربة (Nichols et al, 2004). وتتعدد أنماط بناء الأرض تبعا لتجمع تشكيلات الحبيبات المركبة (شكل ٥-١)

(أ) نمط صفائحي وفيه تترتب التشكيلات المركبة فى طبقات رقيقة أفقيا ويتبعه البناء الطبقي.

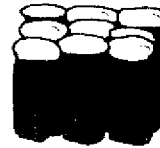
(ب) نمط شبه منشورى ويتبعه البناء العمودى الذى تترتب فيه التشكيلات المركبة رأسيا فى أعمدة والبناء المنشورى التى تترتب فيه التشكيلات المركبة كما فى العمودى مع استدارة أو تآكل أطراف الحبيبات.

(ج) نمط متكتل ويتبعه البناء الكتلى والبندقى، وتترتب التشكيلات المركبة فى كتل مكعبة ذات أوجه غير منتظمة، يتراوح طول كل من أضلاعها من جزء من سم إلى ١٠ سم فى البناء الأول وفى كتل مكعبة استدارت أركانها فى البناء الثانى.

(د) نمط كروى ويتبعه البناء الحبيبي والبناء الفتاتى وفى الأول تترتب التشكيلات المتجمعة فى كرات لا يزيد قطرها عن ١,١ سم وفى الثانى تكون الكرات مسامية ويعتبر البناء الفتاتى خير أنماط البناء فى الأرض الزراعية من حيث نمو النبات وسهولة خدمة الأرض (عبد الجواد وآخرون ٢٠٠٧).



بناء كلى



بناء شبة منتورى



بناء صفائى



بناء حبيبي

شكل (٥-١) أشكال بناء التربة المختلفة

صور الماء بالأرض:

عند إضافة الماء للأرض الجافة عن طريق الري الصناعى أو عن طريق الأمطار فإن الماء يتوزع حول حبيبات الأرض حيث تحتفظ به عن طريق قوى التلاصق (القوى التى تجذب الجزيئات المختلفة وبعضها البعض) والتماسك (القوى التى تجذب الجزيئات المتشابهة وبعضها البعض) ويحل الماء محل هواء الأرض فى المسافات البينية إلى أن تمتلئ تماما بالماء وعندما تمتلئ المسافات الكبيرة والصغيرة يقال أن الأرض فى حالة تشبع وفى حالة السعة العظمى للماء. وتترتب جزيئات الماء حول حبيبات الأرض فى صورة أغشية مائية ترتبط بها بقوة تتناقص بابتعاد جزئ الماء عن مركز الحبيبة. ويمكن تقسيم حالات الماء بالأرض إلى: (مرسى ونورالدين ١٩٧٧)

١- سعة حفظ الماء العظمى Maximum water holding capacity

هى كمية الماء التى تحتفظ بها الأرض عند امتلاء جميع مسامها بالماء. فعند إضافة الماء للأرض يحل الماء محل الهواء فى جميع المسام وتصبح الأرض مشبعة بالماء ويستمر الماء فى حركته إلى أسفل باستمرار إضافة حيث تصبح مسام الأرض جميعا ممتلئة بالماء.

٢- السعة الحقلية Field capacity

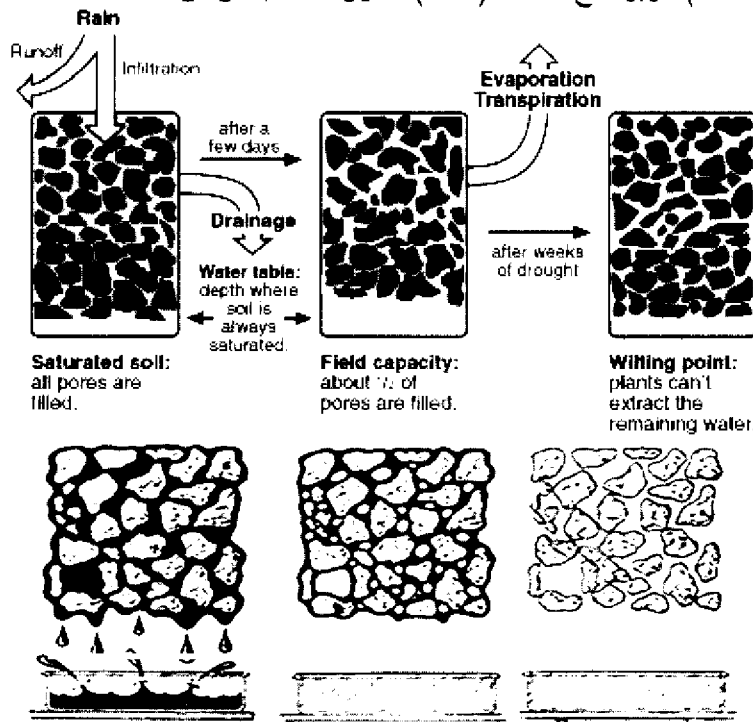
عبارة عن كمية الرطوبة التي تحتفظ بها الأرض بعد التخلص من الماء المنصرف بالجاذبية الأرضية. ويكون محتوى الماء الأرضى ثابتا نسبيا حيث تكون حركته بطيئة للغاية، وتقف الحركة الهابطة بعد فترة تتراوح من يوم إلى ثلاث أيام تبعا لنوع الأرض حتى تصبح الأرض عند السعة الحقلية.

٣- نسبة الذبول الدائم Permanent wilting

هى نسبة الرطوبة التي تحتفظ بها الأرض عند ذبول النبات ذبولا دائما ويستدل على ذلك من الذبول الواضح لأوراق النبات والمستمر رغم إضافة الماء للأرض. وتعتبر السعة الحقلية الحد الأعلى لمحتوى الرطوبة المخزنة لنمو النبات على حين تعتبر النسبة المئوية للذبول الدائم الحد الأدنى لها. وعند التخلص من الماء نتيجة لقوى الجاذبية الأرضية، تشغل المسام بواسطة الماء الشعري بقوى تسمى بالقوى الشعرية أو قوى التوتر السطحي التي تربط بين الماء وحبيبات الأرض.

وتظل الأرض محتفظة بمائها ويطلق عليه الماء القابل للاستفادة حيث تقوم جذور النباتات بامتصاصه وباستمرار هذه العملية يقل مقداره بالأرض كما يقل بعملية التبخير. وتظل الأرض محتفظة بالماء إلى أن تصل إلى نقطة الذبول الدائم وعندها ترتبط جزيئات الماء بقوة كبيرة يصعب على النبات امتصاصه ليصل إلى حالة الذبول. يعتبر (Slatyer ١٩٦٧) أن حدوث الذبول يتم عند فقد أوراق النبات حالة الانتفاخ، ولهذا يعتمد الذبول على الخصائص الأسموزية للعصير الخلوى لأنسجة الأوراق. ويعنى هذا حدوث الذبول عند حدوث التوازن الحركى بين الإجهاد المائى لمحلول الأرض والجهد المائى للعصير الخلوى. ولهذا يختلف الذبول باختلاف الجهد الأسموزى. ولما كان الجهد الأسموزى للنبات يتراوح ما بين ٥ - إلى ٢٠٠ بار كان من المتوقع حدوث ذبول النباتات حينما يتراوح الإجهاد المائى لمحلول التربة فى هذا المدى ويمكن وصف درجات الذبول للنبات بتعبيرين هما الذبول العابر transient wilting والذبول الدائم permanent wilting. ويكفى لزوال مظاهر الذبول العابر تظليل النباتات بينما يلزم إضافة الماء فى حالة الذبول الدائم. ويعتبر كل من الذبول العابر والدائم حالة عكسية بخلاف الوضع فى حالة الذبول غير العكسى حيث لا تستعيد

النباتات انتفاخها مهما أضيف لها من ماء أو تعرضت لظروف جيدة من النمو (et al Tomas ١٩٧٣). ويوضح الشكل (٥-٢) صور الماء بالأرض.



شكل (٥-٢) صور الماء بالأرض

كما يمكن تقسيم ماء الأرض إلى صور (مرسى ونور الدين ١٩٧٧) رغما عن عدم وجود حدود فاصلة بينها، ويمكن تقسيم صور الماء بطريقتين إما فيزيائيا أو بيولوجيا.

أولاً- التقسيم الفيزيائي: يقسم ماء الأرض فيزيائيا إلى عدة صور وهي الماء الحر (ماء الصرف)، الماء الشعري، الماء الأيجروسكوبي، ماء التبلور، بخار الماء.

الماء الحر (ماء الصرف): عند سقوط المطر أو عند الري يحل الماء محل الهواء في المسافات البينية بين حبيبات الأرض وتمتلئ المسافات جميعها بالماء وما يزال يضاف الماء للأرض وما تزال حركته إلى أسفل باستمرار وحلوله محل الهواء. ويفقد هذا جزء الماء الزائد من الأرض والذي تزيد فيه قوة الجاذبية الأرضية على قوة حفظ الأرض للماء. وفي النهاية يفقد هذا الماء إلى

باطن الأرض. يرتبط الماء الحر بالأرض بقوة شد ضعيفة تتراوح ما بين ٠,١ - ٠,٥ بار وتعتبر فى المتوسط ٠,٣ بار، يفقد هذا الماء فى صورة ماء صرف وتفقد معه المغذيات الصغرى والكبرى أثناء حركته لأسفل استجابة لقوى الشد الغشائى والجاذبية الأرضية.

- الماء الشعرى: هو مقدار الماء بالأرض الممسوك بين السعة الحقلية والنسبة المئوية للذبول الدائم، ويتراوح مقدار مسكه بالأرض من ٠,١ - ٣١ بار. يتحرك الماء الشعرى عند اختلال التوازن بين الأغشية السميكة والرقيقة، كما يتحرك إلى أسفل ويتحرك عند الجفاف إلى أعلى كما يتحرك أفقياً حركة محدودة. وينتقل عموماً من الأماكن الرطبة (ذات الشد الرطوبى المنخفض) إلى الأماكن منخفضة الرطوبة (ذات الشد الرطوبى المرتفع). وتزداد القوة التى ينبغى للنبات أن يبذلها لسحب جزيئات الماء الشعرى من الجزيئات البعيدة عن سطح الحبيبة إلى الجزيئات القريبة من السطح لارتباط جزيئات الماء الشعرى القريبة من سطح الحبيبة بقوة أكبر من قوة ارتباط جزيئات الماء البعيدة عن سطح الحبيبة. ويمكن للنباتات امتصاص جزء من الماء الشعرى واستعماله فى العمليات الفسيولوجية وتظل النباتات قادرة على امتصاص الماء الشعرى واستعماله فى النمو إلى الوقت الذى تصبح فيه النباتات فى حالة ذبول. وتستخدم كمية الماء المتبقية بالأرض بعد وصول النباتات إلى حالة الذبول فى الإبقاء على حياة النبات وليس فى زيادة النمو.

- الماء الأيجروسكوبى: هو الماء الذى يمكن لحبيبات الأرض الجافة فى فرن درجة حرارته ١٠٥ درجة مئوية لمدة ٢٤ ساعة أن تمتصه من بخار الماء. ويترسب فى صورة غلاف رقيق حول الحبيبات. ويبلغ سمكه حوالى ١٥ - ٢٠ جزيئاً وترتبط جزيئات الماء الأيجروسكوبى بحبيبات الأرض بقوة أكبر من قوة امتصاص الجذور لها إذ يتراوح مقدار مسك الماء عند المعامل الأيجروسكوبى ٣١ - ١٠٠٠٠ بار. ويتحرك فى الأرض فى صورة بخار ماء غالباً. وكميته فى الأرض الرملية أقل مما فى الأرض الطينية، أى أن كمية الماء الأيجروسكوبى تقل بزيادة قطر حبيبات الأرض. ويمسك الماء الأيجروسكوبى بواسطة غرويات الأرض غالباً.

- ماء التبلمر: وهو مقدار الماء الذى يدخل فى تكوين بلورات الطين السيليكاتى.

- بخار الماء : ويوجد فى المسافات بين حبيبات الأرض.

ثانيا- التقسيم البيولوجى لماء الأرض: يقسم ماء الأرض تقسيما بيولوجيا حسب يسر الماء للنباتات وصلاحيته للنمو السريع إلى ما يلى:

- الماء الفائض: هو مقدار ما يزيد من ماء بالأرض عن السعة الحقلية. وليس للماء الفائض فائدة للنباتات الراقية. وينشأ عن وجوده بالأرض نقص مقدار محتوى الأكسجين، ونقص أو منع النشاط البكتيرى المفيد مثل النتجة وثبيت النيتروجين والنشدة وحدث بعض التغييرات الكيماوية الحيوية غير المرغوبة، وتنتقل المغذيات إلى طبقات سفلى بالأرض فى حالة الأراضي الناعمة القوام. و يلاحظ ذبول بعض النباتات بعد ريها لحلول هذا الماء محل الهواء بالمسافات البينية بالأرض حيث تصبح تهوية الجذر رديئة. يتأخر امتصاص الماء لبطء عمليات الأيض بالجذور ولهذا فقرة الجذور على امتصاص وتجمع الأملاح تؤثر على قدرة امتصاص الجذر للماء.

- الماء الميسر: هو مقدار الماء بين السعة الحقلية ومعامل الذبول ويتضمن الماء الميسر جزءا فقط من الماء الشعري إذ أن الجزء الآخر من الماء الشعري لا يفي بنمو النبات. ويوجد الماء الميسر فى صورة جزيئات ماء تترتب حول حبيبات ومكونات الأرض الصلبة. ونظرا لأن جزيئات الماء حول حبيبات الأرض ترتبط بقوى تتناسب عكسيا مع المسافة بين جزئى الماء ومركز الحبيبة، لهذا يتفاوت الشغل الذى ينبغى للنبات أن يبذله لكى يمتص الماء الميسر. وعموما تنمو النباتات النمو الأمثل بإضافة الماء حين استنفاد نحو ٥٠-٨٥% من الماء الميسر بالأرض (Richards and Richards, 1957).

- الماء غير الميسر: هو مقدار الماء عند نسبة الذبول الدائم ويتضمن الماء الأيجروسكوبى بالإضافة إلى جزء من الماء الشعري وتمتص النباتات هذا الماء الشعري ببطء شديد لا يكفى لمنع ذبولها.

من ذلك يتضح أن ماء الأرض ليس جميعه صالحا للامتصاص، فبينما يستنفذ الماء المباشر لأسطح الجذور تزداد صعوبة امتصاص النبات لما يتبقى من ماء حيث

تزداد القوة الرابطة للماء بالأرض بنقص مقداره. ويلاحظ أن كلا من السعة الحقلية ونقطة الذبول بالأرض الطينية أعلى مما بالأرض الرملية إذ بينما يكون مقدار السعة الحقلية رقما ثابتا لكل نوع من أنواع الأرض فإن نقطة الذبول تختلف باختلاف النبات إذ تقدر نقطة الذبول الدائم بعوامل أسموزية النبات أكثر من عوامل الأرض (Slatyer, 1967) وبينما يبلغ الضغط الأسموزى بأوراق النباتات وسطية الجفاف ٢٠ ض.ج. فإنه يزيد فى بعض النباتات عن ٢٠٠ ض.ج. (Kozlowski, 1964) ويشير ذلك إلى الاختلاف الكبير بين النباتات فى قدرتها على امتصاص الماء.

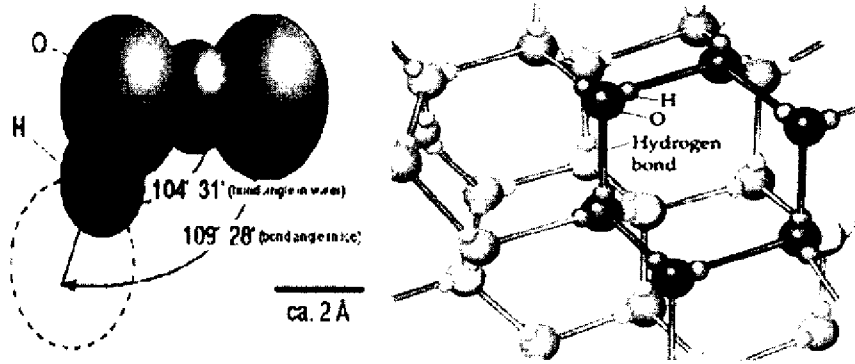
العوامل المؤثرة على كمية الماء الميسر بالأرض (مرسى ونورالدين ١٩٧٧)

لفهم حركة الماء بالأرض وصوره وامتصاصه بالنبات وعلاقة الماء بكل من الأرض والنبات ينبغى التعرف على بعض المصطلحات ذات العلاقة بذلك. وكما سبق الذكر يتضح أن الماء بالنبات والأرض إما أن يتواجد فى صورة بخار ماء أو فى صورة نقيّة أو فى صورة محلول وعلى ذلك ينبغى التعرض لبعض الصفات الفيزيائية لحالات الماء حتى يتيسر فهم العوامل المؤثرة على كمية الماء وحركته بالأرض وقدرة النبات على امتصاصه.

حيث تعتمد مصر فى رى أراضيها أساسا على ماء النيل ومياه بعض المصارف مباشرة أو بعد خلطها بمياه النيل بشرط عدم ارتفاع تركيز الأملاح بها بدرجة تحدث أضرارا للنبات والأرض. وحيث يتواجد الماء فى صورة بخار ماء بالأرض والنبات لذلك تعتبر الخصائص الفيزيائية للماء والمحاليل المائية عاملا هاما ومحددا للعلاقات الشدية بين الأرض والنبات والتى تؤثر على كمية وحركة الماء الميسر للنبات. حيث يتميز الماء بخصائص ينفرد بها عما سواه من سوائل، الأمر الذى يمكن معه القول بأن جميع خصائص الماء تقريبا شاذة.

أولا- الخصائص الفيزيائية للماء:

تتوقف الخصائص الفيزيائية للماء على صفات تركيب الجزيء ولعل من أهم هذه الصفات عدد وأنواع الذرات فى الجزيء والرابطة الأيدروجينية والترتيب الرباعى الأسطح والاستقطاب. ويوضح الشكل (٤-٣) التركيب الفراغى للثلج والماء.



شكل (٥-٣): التركيب الفراغى للثلج والماء

وفيما يلي نبذة عن خصائص الماء:

- (١) الكثافة: عبارة عن كتلة وحدة الحجم وتمييزها جم /سم^٣. تبلغ كثافة الماء أكبر حد لها في درجة حرارة ٤ م° وتنخفض بانخفاض وارتفاع درجة حرارة الماء عن ذلك. ولما كان الماء يتجمد في درجة الصفر المئوى لهذا يطفو الثلج على الماء لانخفاض الكثافة النوعية للثلج عن الماء في درجات الحرارة الأكبر من الصفر وهو في الصورة السائلة. ويلعب دورا هاما في الإبقاء على حياة النباتات عند تعرضها للصقيع في ليالى الشتاء قارصة البرودة.
- (٢) الحرارة الكامنة: هي كمية الحرارة التي تمتصها مادة ما عندما تتغير حالتها من الصورة الصلبة إلى الصورة السائلة، أو الحرارة التي تفقدها المادة عندما تتغير من الصورة السائلة إلى الصورة الصلبة. وتميز الحرارة الكامنة بـ كالورى أو سعر /جم ويبلغ مقدار الحرارة الكامنة للماء نحو ٤٥٠ سعر/جم.
- (٣) حرارة التبخير: هي تحول السائل إلى بخار دون تغيير أى من خواصه الكيميائية وتميز بسعر /جم. ويتميز الماء ببطء تبخيره بالمقارنة مع غيره من السوائل الأخرى المتكونة من جزيئات بسيطة ويمكن القول أن الحرارة اللازمة لتبخير الماء مرتفعة نتيجة قوة الرابطة الأيدروجينية بين الجزيئات. وتعتبر الحرارة الكامنة للثلج عن انفصال التركيب الحلقى الشبكي للوحدات السداسية الأساسية، وتعتبر حرارة التبخير عن تحطيم جميع الروابط بين الجزيئات. ونتيجة لارتفاع

حرارة التبخير تنشأ أمور هامة هي نقص نقد الماء من المجارى المائية، تنظيم النتج لدرجة حرارة النبات وارتفاع درجة غليان الماء.

(٤) الحرارة النوعية: هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة واحدة مئوية وتميز سعر /جم وتبلغ مقدار الواحد.

(٥) التوصيل الحرارى: هو عبارة عن انتقال الحرارة خلال الوسط الصلب أو السائل أو الغازى. ويعرف معامل التوصيل الحرارى بأنه كمية الحرارة التى تسير فى الثانية الواحدة خلال الوجهين المقابلين لمكعب مساحة وجهه الوحدة عندما يكون الفرق بين درجتى حرارة هذين الوجهين درجة واحدة مئوية. ويميز بسعر/سم /ثانية /درجة مئوية. تتأثر سرعة امتصاص الماء بواسطة النبات بدرجة حرارة الأرض حيث تقل بانخفاض درجة الحرارة لنقص حركة الماء من الأرض إلى أسطح الجذور ولنقص نمو الجذور للحد من وصولها إلى ماء الحبيبات الأرضية ولنقص نفاذية الخلايا للماء وزيادة لزوجة البروتوبلازم والجل الغروى بالجدر الخلوية.

(٦) التوتر السطحي: ينشأ التوتر السطحي عن قوى التماسك (بين الجزيئات المتشابهة) أو قوى الالتصاق (بين الجزيئات المتباينة) فى سطح السائل وقريبا من السطح لأسفل بينما تكون محصلة قوى الجذب للجزيئات بوسط السائل صفراً لخضوع هذه الجزيئات للجذب من جميع الجهات، الأمر الذى يؤدى لميل السائل لى يصبح سطحه أصغر سطح. وارتفاع الماء وانخفاضه ظاهرة من ظواهر التوتر السطحي ولها أهمية بالغة فى الزراعة. وينشأ ارتفاع الماء لازدياد قوة تلاصق جزيئات الماء وحبيبات التربة عن قوة التماسك بين جزيئات الماء والعكس صحيح فى حالة الانخفاض لزيادة قوى التماسك عن قوى التلاصق.

(٧) اللزوجة: هي ظاهرة مقاومة السوائل للانسياب لما بين جزيئات السوائل من تجاذب. وتعرف بأنها المقاومة التى تبذلها السوائل ضد حركتها هي أو ضد حركة الأجسام فيها. ويقاس معامل اللزوجة بوحدة البواز. إذا سببت قوة مقدارها دايـن تحرك مستوى مساحته اسم^٢ بالنسبة لسطح آخر مماثل على بعد مسافة مقدارها اسم بسرعة مقدارها اسم /ث فيقال أن المانع بين السطحين له لزوجة تبلغ واحد بواز ويمكن أن تميز اللزوجة كذلك جم/سم/ث. ولما كان للماء طاقة رابطة كبيرة

لوجود الرابطة الأيدروجينية بين الجزيئات، لهذا يصبح للماء مقاومة كبيرة للانسياب. وتحد هذه المقاومة سرعة انسياب الماء بالأنابيب والمجارى المائية. وينخفض مقدار لزوجة الماء بارتفاع درجة الحرارة مما يعمل على سهولة حركته من الأرض إلى النبات. حيث تبلغ لزوجة الماء فى درجة الصفر المئوى ٢ مثل مقدارها فى درجة ٢٥ م°. وينشأ من نقص لزوجة الماء زيادة سرعة حركة جزيئات الماء من الأرض للنبات وخلال خلايا الجذر.

(٨) الالتصاق: يرجع إلى التجاذب بين الجزيئات المتباعدة بعضها ببعض. ويتوقف مقدار التصاق الماء بغيره من المواد على طبيعة تكوينها ويكون ذلك نتيجة لتكوين أو عدم تكوين روابط أيدروجينية بين الماء وغيره من المواد.

(٩) معامل الانكسار: يعرف بأنه النسبة بين سرعة الضوء فى الفراغ إلى سرعته فى هذا الوسط. ويستخدم لتقدير تركيز المحاليل والتعرف على المركبات الكيميائية وتعيين نقاوتها وتركيبها الجزيئى.

(١٠) الضغط البخارى: هو الضغط الناشئ عن تشبع وسط ما ببخار الماء أو السائل عند درجة حرارة معينة وحجم معين، وهو كذلك ضغط البخار الذى يكون فى حالة اتزان مع السائل المنتج له أو عندما يقف البخار الظاهرى للسائل ويزداد بارتفاع درجة الحرارة ويغلى السائل حينما يتساوى ضغطه البخارى مع الضغط الجوى. ويلعب الضغط البخارى دورا هاما فى حركة الماء بالأرض حيث يتحرك من المنطقة المرتفعة فى ضغطها البخارى إلى المنطقة المنخفضة الضغط البخارى.

(١١) القدرة على التوصيل الكهربى: تعبير للدلالة على عكس المقاومة -فبينما تعبر القدرة على المقاومة بالأوم وهى المقاومة التى يبذلها موصل معدنى أو إلكترولىتى طوله ١ سم ومقطعه اسم^٢- تعبر القدرة على التوصيل الكهربى بعكس الأوم أو الموه/سم فى درجة ٢٥ م°.

ثانيا- الخواص الفيزيائية للمحاليل المائية:

يقصد بالمحلول المزيج المتجانس من مادتين أو أكثر ولا يمكن فصلهما بأى وسيلة من الوسائل الميكانيكية كالترويق والترشيح وما إليها. ويمكن أن يتكون المحلول من مادتين بأى نسبة بينهما، بينما تكون النسب فى البعض الآخر محدودة. ويسمى

المكون الموجود بكمية أقل في المحلول بالذائب، بينما يسمى المكون الموجود بكمية أكبر بالمذيب. ويندر وجود الماء في النبات أو في الأرض في صورة نقية، إنما يوجد في صورة محلول، ولهذا كان على المشتغل بعلم المحاصيل الإلمام بكيفية تغيير صفات الماء في المحاليل عن صفاته وهو في الحالة النقية. وفيما يلي بعض من هذه المواصفات:

(١) التوصيل الكهربى: يمكن اتخاذ التوصيل الكهربى للمحلول لبيان درجة تركيز المواد المذابة.

(٢) الضغط البخارى: ينقص الضغط البخارى للمحاليل بزيادة تركيزها أى بزيادة ماتحتويه من ذائبات أو بتعبير آخر يتناسب الضغط البخارى لبخار الماء في حالة المحاليل المخففة تناسباً طردياً مع تركيز جزيئات الماء (المذيب). يلعب الضغط البخارى دوراً هاماً في فقد الماء من المجارى المائية عند ارتفاع درجة الحرارة. فيغلى الماء عندما يتساوى ضغطه البخارى مع الضغط الجوى ومن هنا فإن زيادة تركيز المحلول تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة غليان المحلول بالمقارنة مع الماء النقى، كما يلعب دوراً هاماً في حركة الماء بالأرض حيث يتحرك الماء من المناطق ذات الضغط البخارى المرتفع إلى المناطق ذات الضغط البخارى المنخفض.

(٣) نقطة الغليان ونقطة التجمد: تؤثر الذائبات على نقطة الغليان ونقطة التجمد للمحاليل المختلفة من خلال التأثير على الضغط البخارى للماء. وتؤدي إضافة المذاب إلى انخفاض نقطة التجمد لأن إضافة الذائبات تؤدي إلى انخفاض الضغط البخارى للمحلول وهكذا تنقص درجة الحرارة التى يكون فيها البخار والسائل والصلب في حالة اتزان. ويلعب ذلك دوراً هاماً في الحفاظ على الماء في المجارى المائية.

(٤) الضغط الأسموزى: يعرف بأنه الضغط الذى إذا وقع على المحلول الأكثر تركيزاً منع مرور المزيد من المذيب إلى هذا المحلول. ويعنى ذلك أن الضغط الأسموزى عبارة عن فرق الضغط بين محلولين مختلفين يكونان على جانبى غشاء منفذ للمذيب (الماء) فقط ولهما تركيزان مختلفان حيث ينشأ الضغط الأسموزى نتيجة

انتشار المذيب نحو المحلول أو المعلق الأكثر تركيزاً. ويستخدم المشتغلون بإنتاج المحاصيل مصطلح الجهد الأسموزى حيث يفضلونه على مصطلح الضغط الأسموزى (الجهد الأسموزى عبارة عن الطاقة الميكانيكية أو الكيميائية المخزنة التى فى وسعها أن تؤدى عملاً بسبب وجودها فى وضع خاص أو فى حالة كيمائية معينة) ويساوى الجهد الأسموزى من الناحية الحسابية مقدار الضغط الأسموزى إلا أن رقم الجهد الأسموزى يتميز بأنه رقم سالب بالنسبة للضغط الأسموزى. وتقاس هذه الطاقة بوحدات الأرج أو الجول ويوجد نوعان من هذه الطاقة إحداها ناتجة من الاختلاف فى الارتفاع والأخرى ناتجة من الاختلاف فى الضغط.

(٥) الجهد الكيماوى: الجهد الكيماوى لمادة ما فى نظام معين يحتوى على جزيئات مادة أو مواد أخرى عبارة عن مقدرة المادة على أداء شغل معين فى هذا النظام. ويعنى هذا أن الجهد الكيماوى للماء عبارة عن مقياس لقدرة جزيئات الماء على أداء شغل معين أو بتعبير آخر قدرة جزيئات الماء على الحركة فى هذا النظام. ويعرف الجهد الكيماوى للماء فى محلول معين بأنه عبارة عن متوسط الطاقة الحرة لكل جزيء من الماء فى المحلول بالنسبة لتركيز جزيئات الماء الأخرى ويقدر بالإرج /سم. ويتوقف الجهد الكيماوى فى المحاليل البسيطة غير الإليكتروليتيّة على متوسط الطاقة الحرة لجزيئات الذائب بالنسبة لتركيز جزيئات الماء. ولما كانت الطاقة الحرة لمحلول ما تنخفض بزيادة محتواه من الذائبات، لهذا يمكن قياس النقص فى الجهد الكيماوى للماء بإضافة الذائبات بالمقارنة مع مثيله من الماء النقى وهذا يعنى نقص قدرة حركة جزيئات الماء بالمحلول عن قدرتها بالماء النقى. ويبلغ مقدار الضغط البخارى النسبى صفراً فى حالة الماء النقى ولهذا يبلغ مقدار الفرق فى الجهد الكيماوى صفراً أيضاً. ويعنى هذا أن الماء النقى هو عبارة عن الماء الذى يبلغ ضغطه البخارى النسبى وفرق جهده الكيماوى صفراً. وعندما يقل الضغط البخارى لمحلول ما عن مثيله للماء النقى فيكون التعبير عنه فى هذه الحالة بالسالب وحيث أن القيمة صفر تفوق أى قيمة سالبة لذلك تتحرك جزيئات الماء من الماء ذو القيمة صفر إلى المحلول ذو القيمة السالبة أو بتعبير آخر من الماء ذو الضغط البخارى المرتفع إلى المحلول ذو

الضغط البخارى الأقل، وبنفس الطريقة تتحرك جزيئات الماء من المحلول ذو الرقم السالب الأقل (يعبر عن قيمة أعلى) إلى المحلول ذو الرقم السالب الأكبر (يعبر عن قيمة أقل). ويفضل عند قياس الجهد الكيماوى للماء بالنبات التعبير عنه بوحدات من الطاقة بالنسبة لوحدة الحجم (سم³). تفتح الثغور بشروق الشمس حيث يفقد الماء من الأوراق مما يؤدى إلى نقص أحجام وانتفاخ الخلايا يصاحبه نقص فى الجهد الرطوبى للأوراق مما يؤدى إلى تدرج انسياب الماء من الأرض (حيث ارتفاع الجهد المائى مقارنة فى هذه الظروف بالجهد المائى للأوراق) إلى الجذور ثم إلى السوق ثم إلى الأوراق للوصول إلى توازن فى الجهد الرطوبى، كما يوضح الجدول السابق (٥-١).

(٦) الطاقة الحرة للماء: لما كانت جزيئات الماء تتميز بظاهرة الاستقطاب حيث يميل جزئ ماء جهة الأكسجين للشحنة السالبة و يميل جزئ ماء آخر جهة الأيدروجين للشحنة الموجبة فيحدث تنافر بين الجزيئات. نتيجة لذلك تنشأ طاقة من قوى التنافر تؤدى إلى تباعدها عن بعضها البعض. تعرف بالطاقة الحرة للماء. والطاقة الحرة للمحاليل المائية هى قيد حركة جزيئات الماء فى المحلول بالنسبة لحركتها فى الماء النقى وهو تعبير يطلق على الماء بالأرض ويشير إلى قوى جذب حبيبات الأرض لجزيئات الماء مع الأخذ فى الاعتبار القوى المؤثرة على نمو النبات. وتقاس الطاقة الحرة للماء بالأرض بمقدار الفرق بينها وبين الطاقة الحرة لسطح مائى رقيق وهذا يعنى أن جزيئات الماء تتحرك من الماء ذو الطاقة الحرة المرتفعة إلى المحلول ذو الطاقة الحرة الأقل. وتنقص الطاقة الحرة لماء الأرض بفعل نوعين من القوى الأولى القوى الأسموزية بمحلول الأرض والثانية قوى التوتر الرطوبى (وهذه أحيانا تسمى بالجهد الشعرى وهو عبارة عن الشغل المبذول لتحريك الماء الأرضى ضد القوى الشعرية) ويشمل التوتر الرطوبى قوى جذب حبيبات الأرض لجزيئات الماء وقوى الجاذبية الأرضية والقوى الأيدروستاتيكية. تتناسب الطاقة الحرة لماء الأرض عكسيا مع القوى الأسموزية وقوى التوتر الرطوبى. ويطلق على مجموع هذين النوعين من القوى اصطلاح إجهاد الماء الأرضى ويعبر عنها بوحدات من الضغط الجوى. ويعبر عن الطاقة الحرة للماء بالأرض بإشارة سالبة إذ تنخفض بإضافة الذائبات وزيادة قوى

السطح. ولما كان حساب مقدار الطاقة الحرة مبنى على أساس الفرق فى الطاقة الحرة وليس مقادير مطلقة لهذا يصبح القياس عبارة عن مقياس لقياس الضغط اللازم لتغيير الطاقة الحرة للماء من حالته الجديدة أى عند احتوائه على الذائبات. ويتوازن الإجهاد المائى للأرض الزراعية مع الجهد المائى للخلية. وبذلك يمكن القول أن الجهد المائى للخلية يعبر كذلك عن الفرق فى الطاقة الحرة بين جزيئات الماء الحر وجزيئات الماء فى المحلول ويستخدم هذا الاصطلاح للتعبير عن ماء الأرض والنبات.

ولما كانت الخلية تتعرض للجهد الناشئ عن الماء لاحتواء عصير الخلية على الذائبات المختلفة والتي يرجع لها القوى الأسموزية وقوى الضغط (القوى الأيدروستاتيكية) والقوى المهادية (القوى التى تربط غرويات الخلية بأسطح الماء) لذلك يمكن قياس الجهد المائى للخلية بالمعادلة التالية:

$$\text{الجهد المائى للخلية} = \text{القوى الأسموزية} + \text{قوى الضغط} + \text{القوى المهادية}$$

ويكون الجهد المائى عادة سالبا إلا فى حالة انتفاخ الخلية حيث يبلغ مقداره صفراً. وفى هذه الحالة يعادل الجهد الموجب الناشئ من قوة الضغط الجهد السالب الناشئ من القوى الأسموزية والقوى المهادية. وتهمل القوى المهادية فى الحالة العادية إذ تكون صغيرة جدا بالمقارنة مع القوى الأسموزية وقوى الضغط. وعندئذ يمكن التعبير عن الجهد المائى للخلية كالتالى:

$$\text{الجهد المائى للخلية} = (-) \text{تأثير الذائبات} (+) \text{قوى الضغط}$$

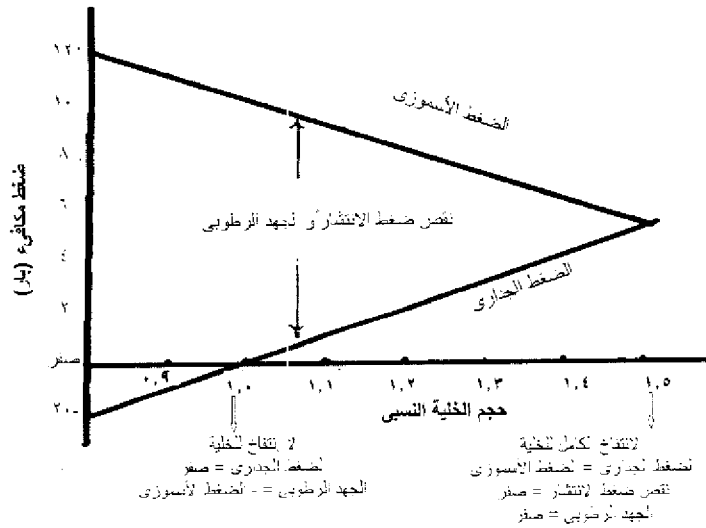
وبالتعويض عن قوى الضغط بالضغط الإستاتيكي أو فى تعبير آخر قوى ضغط انتفاخ الخلية وتأثير الذائبات بالضغط الأسموزى يمكن كتابة المعادلة السابقة كالتالى:

$$\text{الجهد المائى للخلية} = (-) \text{الضغط الأسموزى} (+) \text{الضغط الأيدروستاتيكي} \\ (\text{الضغط الجدارى أو ضغط إنتفاخ الخلية})$$

يلاحظ أنه بزيادة حجم الخلية يقل مقدار الضغط الأسموزى ويزداد مقدار الضغط الجدارى حتى إذا بلغت الخلية كامل انتفاخها يصبح مقدار الضغط الجدارى مساويا للضغط الأسموزى ويصبح الجهد الرطوبى للخلية مساويا صفراً.

ونظراً لكون الإشارة تكون سالبة للجهد المائى للخلية فى جميع الحالات عدا حالة إنتفاخ الخلية (صفر) لذلك تصبح المعادلة كالتالى:

$$(-) \text{ الجهد المائى للخلية (الجهد الكيماوى) } = (+) \text{ الضغط الجدارى } (-) \text{ الضغط الأسموزى}$$



ثالثاً - الإجهاد المائى بالأرض:

نظراً لارتباط جزيئات الماء بحبيبات الأرض ولوجود الأملاح الذائبة بماء الأرض لذلك توجد بالأرض العديد من القوى التى يمكن حصرها فى ثلاثة مجاميع هى القوى المهادية والقوى الأسموزية وقوى الضغط.

(١) القوى المهادية: تحتفظ الأرض بالماء نتيجة لوجود قوتين رئيسيتين، الأولى قوى التوتر السطحى وتنشأ نتيجة لتداخل الهواء مع محلول الأرض، والثانية تنشأ من قوى التلاصق بين المحلول وحبيبات الأرض. ويعبر عن مجموعهما بالقوى

المهادية للأرض التي ينشأ عنهما الجهد المهادي (مقدار الشغل المبذول لوحدة الحجم للماء النقي اللازم لتحريك وحدة الكتل من سطح مائي في اتجاه معاكس - يحتوى على محلول مماثل للمحلول الأرضي - من نقطة معينة بالأرض إلى ماء الأرض بشرط أن يحتوى المسطح المائي على محلول مماثل في تركيبه ودرجة حرارته وارتفاعه وضغط غازه الخارجى مع هذه النقطة بالأرض ويساوى الجهد المهادي السالب بالأرض) (Slatyer, 1967).

(٢) القوى الأسموزية: تنشأ عن وجود الأملاح المختلفة بمحلول الأرض وينشأ عنها ما يعرف بالجهد الأسموزي لمحلول الأرض (مقدار الشغل المبذول لتحريك وحدة الكتل من الماء النقي عكسيا من سطح مائي نقي عند ارتفاع معين وتحت الضغط الجوى إلى مسطح مائي آخر يحتوى على محلول متماثل في التركيب مع محلول الأرض). ويساوى الجهد الأسموزي السالب الضغط الأسموزي ويعبر عنهما بنفس الوحدات (Slatyer, 1967). ويتأثر بتركيز ونوع الأملاح بالمحلول الأرضي.

(٣) قوى الضغط: تشمل جميع القوى الأخرى المؤثرة على الضغط الكلى للماء الأرضي عدا قوى الجاذبية الأرضية. وهى عبارة عن مقدار الشغل المبذول لوحدة الحجم من الماء النقي اللازم لتحريك وحدة الكتل للماء النقي في اتجاه معاكس (متماثلة في درجة الحرارة) من سطح مائي مشابه في جميع الظروف ما عدا أنه تحت ضغط خارجي مماثل للماء الأرضي. ويساوى جهد الضغط مجموع الضغط الكلى ويعبر عنهما بنفس الوحدات وتكون إشارتهما موجبة (Slatyer, 1967).

ويعبر عن الثلاث مجاميع السابقة بمصطلح الإجهاد المائي للأرض وهو يناظر الجهد المائي للخلية

$$\text{الإجهاد المائي لمحلول الأرض} = (+) \text{ الجهد المهادي} (+) \text{ الجهد الأسموزي} (+) \text{ جهد الضغط} (+) \text{ جهد الجاذبية الأرضية}$$

وعند غياب تأثير الجاذبية الأرضية فإن الإجهاد المائي لمحلول الأرض يساوى ويكافئ الرقم السالب للامتصاص الكلى أو الإجهاد الكلى للماء الأرضي. وتعمل القوى

المهادية على إنقاص الطاقة الحركية أو الإجهاد المائي للأرض وزيادة احتفاظ الأرض بالرطوبة وعند زيادة الذائبات بمحلول الأرض ينخفض الضغط البخارى للماء الحر والطاقة الحرة والإجهاد المائي للأرض وبالتالي تحتفظ الأرض برطوبتها ويصعب امتصاص النباتات للماء. وبزيادة أملاح الأرض يرتفع الإجهاد المائي للأرض مما يؤثر على مقدار الماء القابل للإستفاده بواسطة النبات والذي يتوقف بدوره على أنواع وأصناف المحصول. وفى ذلك السياق وجدت نور الدين وآخرون (Noureldin et al, 1994) فى دراسة على استجابة صنفين من الكانولا (ليراسبا ولينيتا) للرى والتسميد فى الأراضى الملحية تحمل الصنف ليراسبا للملوحة المتوسطة مع التسميد بمعدل ١٠٠ كجم ن/فدان مضاف على ثلاث دفعات متساوية والرى كل ٢١ يوما من الإزهار وحتى النضج.

تمتص النباتات أكبر قدر من الماء بواسطة الجذور ويسمى بالامتصاص الجذرى ويتوقف ذلك على خصائص جذور الحاصلات الحقلية ومدى تعمقها وانتشارها الأفقى ويتم امتصاص قدر يسير للغاية عن طريق المجموع الهوائى خلال الثغور والكيوتيكل. ولما كان ماء الندى هو المصدر الرئيسى للماء الممتص عن طريق الثغور ولما كان الندى يحدث ليلا وفى الصباح الباكر فى وقت تكون فيه الثغور مغلقة لمعظم المحاصيل لهذا يبدو أن معظم الامتصاص يكون عن طريق الكيوتيكل أساسا. ورغمما عن أن ماء الندى لا يمثل سوى نسبة ضئيلة جدا من احتياج النبات إلا أنه يمثل مصدرا مائيا هاما للنبات تحت ظروف الإجهاد الرطوبى. ويؤدى إلى إعادة انتفاخ خلايا الورقة بعد تخلف الامتصاص عن النتج فى اليوم السابق وهذا يشجع النمو. كما يظل الندى على الأوراق لبضع ساعات بعد شروق الشمس مما يؤخر تجديد الإجهاد المائى. وتتم عمليات التخلص من الماء فى صورة بخار ماء من ثغور المجموع الهوائى فى عملية النتج. ويتم تبخير الماء بواسطة أشعة الشمس مما يؤثر كما سبق القول على تدرج الجهد المائى بين النبات والأرض. وينقص الماء فى النبات نتيجة الفقد السريع للماء فى عملية النتج عن الزيادة فى مقدار الماء عن طريق الامتصاص فى الضوء الساطع للشمس.

حركة الماء بالأرض والنبات

حركة الماء بالأرض:

يتحرك معظم الماء الموجود على الكرة الأرضية في دورة مستمرة بين الأرض والغلاف الجوى ويعتبر جزء دورة الماء بالأرض أهم جزء في هذه الدورة. حيث أن عمليات دخول الماء وحركته وخروجه منها هامة للحفاظ على النباتات والكائنات الحية الدقيقة وحركة المغذيات وإمداد سطح وأعماق الأرض بالماء. يشير محلول الأرض إلى المكونات الذائبة لمحلول الأرض التي من الممكن أن تشتمل على الغازات والمغذيات والمعادن والمركبات الكيميائية. يتحرك ماء الأرض تبعا لتدرج الجهد من مناطق ذات الجهد المائى المرتفع إلى مناطق ذات الجهد المائى المنخفض. يتحرك الماء بالأرض إلى أسفل أو إلى أعلى تبعا لقوى الجاذبية الأرضية من المسام كبيرة الحجم فى الأرض المشبعة بالماء وأفقيا وإلى أعلى بالقوى الشعرية (القوى التى تربط كل من جزيئات الماء بحبيبات الأرض وجزيئات الماء ببعضها) من المسام صغيرة الحجم بالأرض غير المشبعة بالماء. ويتأثر الانسياب الشعرى بقوام الأرض وحجم المسام حيث تحتفظ الأرض الطينية (ناعمة القوام) بالماء بدرجة أكبر من الأرض الرملية (خشنة القوام). ومن العمليات الهامة التى تتضمنها حركة الماء بالأرض عملية الرشح وتطلق على عملية دخول الماء خلال سطح الأرض وتلعب دورا هاما فى التحكم بكمية ومعدل دخول الماء إلى الأرض وبالتالي تؤثر على مخزون الماء بالأرض، كمية المحصول، كفاءة الري ودخول المحاليل إلى قطاع الأرض.

تتوقف قدرة الأرض على إمداد النبات بالماء وصلاحية الماء للاستفادة على قدرة الماء على الحركة بالأرض. فيضاف الماء للأرض عن طريق الري أو المطر ويتخلل الأرض ليكون المحلول الأرضى ويتوقف معدل تخلل الماء للأرض على محتوى الرطوبة، نفاذية سطح الأرض، كمية المياه المضافة عن طريق الري أو المطر، صفات الأرض مثل حجم المسام، درجة انتفاخ غرويات الأرض، ومحتوى الأرض من المادة العضوية. ومتى تخلل الماء الأرض فإنه يتحرك فى جميع الاتجاهات معتمدا على درجة التوصيل الهيدروليكي والإجهاد المائى للأرض وينقص الإجهاد المائى للأرض يتوقف التوصيل الهيدروليكي حينما يصل الإجهاد المائى إلى - ١٥ بار تقريبا

أو بتعبير آخر عند وصول الأرض لنقطة الذبول. يقل معدل حركة الماء بالأرض وكذلك التوصيل الهيدروليكي بنقص أحجام المسام بالأرض. كما تتأثر حركة الماء للأرض بقوى الجاذبية الأرضية حينما يكون محتوى الرطوبة بالأرض أعلى من السعة الحقلية على حين تتأثر بالجهد المهادى فى الأراضى الجافة التى يقل محتواها من الماء عن السعة الحقلية. وعموما تنقسم حركة الماء بالأرض إلى ثلاث أنواع هى:

١. السريان غير المشبع (التوصيل الشعري): يتم بالأرض فى حالة نقص الرطوبة الأرضية عن السعة الحقلية ويعتمد أساسا على الخاصية الشعرية أو الجهد المهادى وتتحرك فى صورة أغشية مائية حول حبيبات الأرض ونظرا لاعتماده على الخاصية الشعرية لذلك يتحرك الماء من مستوى مائى بالأرض إلى أعلى تبعا لهذه الخاصية ويتحرك بدرجة محدودة إلى أسفل، وتمتص جذور النباتات الماء وهكذا يختلف محتوى الماء بالأرض من جزء إلى آخر ويختلف مقدار الشد الذى ترتبط به جزيئات الماء بسطح الجزء الصلب من الأرض أى يتأثر بالجهد المهادى للأرض. وينتقل الماء من المناطق ذات الشد المنخفض (العالية فى الرطوبة الأرضية) أو من الجهد المائى المرتفع إلى المناطق ذات الشد المرتفع (المنخفضة الرطوبة الأرضية) أو ذات الجهد المائى المنخفض.

٢. السريان المشبع (الرشح أو التوصيل المشبع): ويقصد به تحرك الماء إلى أسفل بعد تشبع الطبقة السطحية بماء الرى أو المطر. وتشجع الجاذبية الأرضية والخاصية الشعرية السريان المشبع إلا أن تأثير الأولى أكبر بكثير من تأثير الثانية فى حالة الأراضى التى يزداد محتواها الرطوبى عن السعة الحقلية. وتتوقف سرعة السريان على معامل التوصيل الهيدروليكي والإجهاد المائى الكلى وعمق الماء. ومن الناحية العملية تتوقف على قوام وبناء الأرض بالآفاق المختلفة من الأرض فالأرض الرملية ذات سعة رشح ودرجة توصيل كلية مرتفعة. ويعنى هذا نقص مقدار احتفاظها بالرطوبة بسهولة وسرعة رشحها. بينما الأرض الناعمة القوام ذات معدل رشح منخفض. ولما كان بناء الأرض مختلفا من مكان لآخر بالأرض الناعمة القوام كان معنى ذلك أن الأرض الطينية أرض تتميز بتعقد عملية الرشح فيها، فتنتفخ المادة الغروية عند تشربها الماء ولهذا تعلق القنوات الموصلة الصغيرة والكبيرة وتعمل هذه المادة كعائق ولهذا يلاحظ أن الرشح يكون سريعا فى البداية

بالأرض الناعمة القوام ثم لا يلبث أن يصبح بطيئا ما لم تكن هناك عوامل تتخذ لتشجيع تحبيب الأرض. ويمكن الحكم على مقدرة الأرض على صرف الماء بالاستعانة بقيمة معامل التوصيل الهيدروليكي حيث تعتبر الأرض رديئة الصرف عندما تبلغ قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي ٠,٢٥ سم/ ساعة وحينما تصل قيمته إلى ٢٥ سم/ ساعة تعتبر الأرض سريعة النفاذية للماء إلى الحد الذي لايمكنها الاحتفاظ بالماء لنمو النبات.

٣. الموازنات البخارية (حركة بخار الماء): يحدث التبخير عند سطح الأرض وعندئذ تفقد الأرض جزءا من مائها، كما يحدث التبخير في مسام الأرض البعيدة عن السطح. يتحول الماء إلى بخار بصعوبة شديدة إذا كان الماء بالأرض بقدر يقل عن المعامل الأيجروسكوبى ويكون الضغط البخارى للماء قليلا وعند معامل الذبول (إجهاد الماء = - ١٥ بار) فإن الماء لا يتحرك إلا فى صورة بخار وبارتفاع الرطوبة بالأرض عن معامل الذبول يقل شد الماء ويصبح الماء حرا ويحدث بخر للماء بسهولة تمكنه من حفظ الرطوبة النسبية بهواء الأرض نحو ١٠٠% تقريبا. ويتحرك بخار الماء بالأرض تبعا للاختلاف فى الضغط البخارى ويتحرك الماء من المنطقة التى يرتفع بها الضغط البخارى للماء إلى المنطقة التى يقل فيها هذا الضغط أى تبعا لانحدار الضغط البخارى وتمثل كمية الرطوبة فى صورة بخار بطبقة سلاح المحراث بالفدان جزءا قليلا لا يزيد عن ١٠ أرطال (حوالى ٤,٤٤ كيلوجرام) ورغما عن ذلك فالرطوبة النسبية بهواء الأرض ذات أهمية بالغة حيث ينبغى أن تظل قريبة من ١٠٠% لعلاقة ذلك بالنشاط الحيوى بالأرض. كما أن الرطوبة الجوية النسبية ذات أهمية للنباتات الصحراوية المقاومة للجفاف إذ يمكن لبعض هذه النباتات المعيشة على مستويات منخفضة من الرطوبة تقل عن معامل الذبول.

حركة الماء بالنبات:

تمتص النباتات قدرا كبيرا من الماء، وينتقل هذا الماء بالنباتات ويفقد معظمه ولا يتبقى منه سوى قدر ضئيل لا يتعدى ١-٢% ويعتبر امتصاص الماء وانتقاله خلال النبات عنصرا رئيسيا لازمان لاستمرار الحياة النباتية. تمتص النباتات الماء أساسا

عن طريق الجذر ويسمى بالامتصاص الجذرى ويمتص قدر قليل من الماء عن طريق المجموع الهوائى ويسمى بالامتصاص اللاجذرى.

أولاً- الإمتصاص الجذرى:

يمتد المجموع الجذرى رأسياً فى الأرض ويسمى بالامتداد الرأسى، كما يمتد عرضياً ويسمى بالامتداد الأفقى أو الجانبى. وتختلف الأنواع النباتية فيما بينها فى الامتداد الأفقى والرأسى لها. كما تؤثر العوامل البيئية على الامتداد الأفقى والرأسى. فتمتد جذور الذرة الشامية رأسياً لمسافة ٦-٨ أقدام وعرضياً لمسافة ٤ أقدام بينما يمتد جذر الذرة السكرية أفقياً إلى أكثر من نصف ارتفاع الساق ورأسياً إلى مسافة تماثل طول الساق. ويبلغ مجموع أطوال جذور نبات التمثح وتفرعاته نحو ٤٤ ميلاً.

مناطق الإمتصاص بالجذر:

ينشأ الجذر الابتدائى من منطقة القمة النامية التى تتكشف من الجنين بالبذرة وهكذا فالجذر الابتدائى هو الامتداد السفلى للمحور الأصلى للجنين، ويستطيل هذا المحور ويكون الفروع الجانبية ويسمى الجذر الأصلى والأفرع الجانبية بالمجموع الجذرى الابتدائى ويظل المجموع الابتدائى هو الوحيد أو الواضح أثناء حياة كثير من الأنواع النباتية.

وتسمى الجذور المتكونة من أى عضو نباتى خلاف منطقة القمة النامية التى تتكشف من الجنين باسم الجذور العرضية. وتنشأ من الأعضاء المختلفة من النباتات، كما قد تتكون من العقد السفلية لكثير من الأنواع النباتية، وقد تخرج من العقد السفلية القريبة من سطح الأرض مثل الأرز والذرة الشامية وغيرها وتسمى بالجذور المساعدة. وعموماً يوجد نوعان رئيسيان من الجذور أحدهما الجذر الوتدى ويسود فى هذا النوع المجموع الجذرى الابتدائى كما فى البرسيم الحجازى والقطن وثانيهما الجذر الليفى ويتضمن هذا النوع جميع المجموعات الجذرية العرضية كما فى النجيليات كالقمح والشعير والأرز.

تنتهى قمة الجذر بمنطقة قصيرة بيضاء تسمى القلنسوة يليها المنطقة المرستيمية ثم منطقة الاستطالة ثم منطقة الشعيرات الجذرية. يلي منطقة الشعيرات الجذرية منطقة

الجزور الثانوية. وتختلف سرعة امتصاص الماء خلال المناطق المختلفة على طول الجذر فمنطقة القلنسوة غير نفاذة للماء نسبيا والمنطقة المرستيمية بطيئة النفاذية للماء لإعاقة البروتوبلازم الكثيف ونقص عناصر الخشب لامتناس الماء ومنطقة الاستطالة سريعة الامتناس للماء ومنطقة الشعيرات الجذرية أكبر منطقة ينفذ الماء خلالها إلى الجذر وتكون نفاذية الماء سريعة إذ يحدث أكبر امتناس للماء حيث لا يكون الخشب كامل البلوغ، بينما تكون البشرة والاندودرمس مازالا نافذين للماء. يزداد مسطح الامتناس بواسطة الشعيرات الجذرية بدرجة كبيرة حيث يبلغ ٦ أضعاف في الذرة الشامية و ٣,٢ ضعف في محصول القصب. وقد يصل عدد الشعيرات الجذرية/مم^٢ من سطح الجذر إلى بضع مئات حيث يصل عددها في مم^٢ لجذر الذرة ٤٢٠ شعيرة بينما لا تحمل بعض النباتات مثل المخروطيات شعيرات جذرية. أما المنطقة المسويرة والملجنة بالجذر فسرعة مرور الماء خلالها بطيئة ويمر الماء خلال المنطقة المسويرة من ثلاثة منافذ وهي العدسات والكسور حول الأفرع والجروح، وتتوقف سرعة مرور الماء خلال هذه المنطقة على مدى ما يسمح به تشريح الجذر لتكوين هذه المنافذ الثلاثة، ويمكن القول أن معظم الماء الممتص خلال الجذر يقع في المنطقة من ١-١٠ سم خلف قمة الجذر.

ويتكون التركيب الداخلي للجذر الحديث من طبقات تحاط من الخارج بطبقة البشرة، تبرز الشعيرات الجذرية من بعض خلاياها ولا تحتوى بشرة الجذر على ثغور ويلاحظ تكون ثغور تنفسية على الجذور الهوائية لبعض النباتات. القشرة عبارة عن خلايا برانشيمية يوجد بينها وبين بعضها مسافات بينية أكثر وضوحا مما نلاحظه في قشرة الساق. وتتميز جدر خلايا الإندودرمس بتركيب غريب ويمكن تمييز طرزين أساسيين من خلايا الإندودرمس وتوجد خلايا رقيقة الجدر ومنعزلة عن غيرها من خلايا الإندودرمس أمام الطرف الخارجي لكل مساحة من نسيج الخشب وتسمى بالخلايا الممررة. يلي طبقة الإندودرمس للداخل نسيج البريسكل وتظهر هذه الطبقة كحلقة كاملة وتتقطع هذه الطبقة في بعض الأنواع النباتية. وتنشأ الجذور الجانبية من منطقة البريسكل. يوجد الخشب الابتدائي واللحاء الابتدائي على أنصاف أقطار متبادلة ويتكون مركز الاسطوانة الوعائي في كثير من الجذور من الخشب بينما يكون في البعض الآخر سيما في نباتات ذات الفلقة الواحدة من النخاع. تستغل جذور بعض النباتات تغلظا ثانويا بينما لا يتم ذلك في بعض الأنواع (الفلقة الواحدة).

وتختلف الأنواع النباتية فيما بينها فى شكل وتركيب المجموع الجذرى كما قد يتحور المجموع الجذرى لنبات النوع الواحد باختلاف الظروف البيئية.

مسار الماء خلال الجذر:

يأخذ الماء طريقه من الوسط الذى ينمو فيه إلى داخله خلال خلايا البشرة المغلفة للقمم الجذرية وجدران الشعيرات الجذرية. ثم يمر الماء من البشرة خلال القشرة فى صف طويل من خلية لأخرى إلى خلايا الإندودرمس ثم يصل إلى الأوعية الخشبية. وتعتمد آلية امتصاص الماء فى جزءها الأكبر على منطقة الشعيرات الجذرية، كما يمتص خلال الخلايا الأخرى لبشرة الجذر نتيجة ميل نقص ضغط الانتشار. ويستمر الماء فى الانتقال إلى داخل الجذر طالما كان نقص ضغط الانتشار بعصير خلايا الجذر أكبر من محلول الأرض. وتؤدى زيادة تركيز محلول الخلية وكذلك نقص ضغط الانتفاخ إلى زيادة ضغط الانتشار لعصير الخلية ويزداد امتصاص الماء نتيجة لذلك. يمتص الماء طبقا لقوانين الانتشار العادية ويسمى هذا الامتصاص بالامتصاص السالب، كما يمتص نتيجة بذل طاقة ويسمى هذا الامتصاص بالامتصاص النشط.

وتؤثر كثير من العوامل على امتصاص الجذور للماء ولعل من أهمها حرارة الأرض، تهوية الأرض، تركيز محلول الأرض، صلاحية ماء الأرض للامتصاص، خصائص الجذور والإصابة بالأمراض.

تخلف الإمتصاص عن النتح:

قد يحدث النتح بسرعة كبيرة، ويصبح امتصاص النبات للماء أقل من أن يعوض المياه المفقودة. ويشير ذلك إلى وجود مقاومة واضحة لحركة الماء خلال النبات. وتقع أكبر مقاومة داخلية لحركة الماء فى النباتات السليمة فى الجذور، كما يواجه انتقال الماء مقاومة كبيرة فى الأوراق. ويؤدى قتل الجذور إلى زيادة معدل انتقال الماء خلال النبات للتغلب على المقاومة بالجذور وترجع مقاومة الجذور لانتقال الماء إلى زيادة عدد الخلايا التى ينبغى أن تعبرها المياه قبل أن تصل إلى عناصر الخشب.

ويزيد تخلف الامتصاص عن النتح بسرعة النتح، وبإعاقة امتصاص رطوبة الأرض وبارتفاع الضغط الأسموزى لمحلول الأرض وبانخفاض درجات الحرارة

وبزيادة حركة الهواء إذ يستجيب النتح لإبعاد بخار الماء من حول الأوراق بينما لايزداد امتصاص الماء إلى أن يؤدي نقص الماء بالأوراق إلى زيادة امتصاص الماء خلال الجذور حيث تكون مقاومة حركة الماء خلال الجذر كبيرة.

ثانيا- الامتصاص اللاجذري:

يحمل الجو قدرا كبيرا من الماء وتتعدد صور الماء بالجو ومنها بخار الماء والضباب والندى وقطرات الماء، كما يضاف الماء إلى المجموع الخضرى للحاصلات أثناء نموها في حالة الرى بالرش ورش الحاصلات بالمحالييل المائية. وتمتص الأعضاء الهوائية للحاصلات الماء من الجو. وقد وجد بعض الباحثين امتصاص الماء من الجو القريب من درجة التشبع، إلا أن الكمية الممتصة من الجو قليلة كما أن إعادة توزيع الماء الممتص عن طريق المجموع الخضرى بطيئة للغاية.

آلية امتصاص الأوراق للماء:

ينفذ الماء بالجو إلى داخل الأوراق عن طريق ثلاث منافذ وهى:

١- الثغور: يمكن أن ينفذ ماء الجو إلى داخل النبات خلال الثغور إلا أنه من المتوقع أن يكون الماء الممتص خلال هذا الطريق قليلا للغاية. حيث تكون المقاومة الداخلية والخارجية لانتشار بخار الماء كبيرة الأمر الذى يؤدي إلى أن يكون الماء الممتص في صورة بخار قليلا للغاية.

٢- الكيوتيكل: ينبغى لامتناس النبات للماء خلال الكيوتيكل بل الكيوتيكل. وتختلف قابلية أوراق الحاصلات المختلفة للبلل لاختلاف تركيب الكيوتيكل وللشعر الذى يكسو أوراق بعض النباتات، كما تختلف المحاليل المختلفة فى إحداث البلل وتعتبر قدرة السائل على بلل السطح دالة لزواية تماسه على السطح. وتتوقف زاوية التماس على التوتر السطحي للسائل وطبيعة سطح الأنواع المختلفة من النباتات وعمر الورقة والمحتوى المائى لها. ولما كان ماء الندى هو المصدر الرئيسى للماء الممتص عن طريق الثغور، ولما كان الندى يحدث ليلا وفى الصباح الباكر فى وقت تكون فيه الثغور فى معظم أنواع النباتات مغلقة لهذا يبدو أن معظم الامتناس يكون عن طريق الكيوتيكل أساسا. وفى الظروف التى يمتص فيها

الماء عن طريق الثغور تكون أهمية ذلك قليلة في الأنواع التي تتميز بكيوتيكل سريع النفاذية نسبيا لتدفق الماء.

٣- خلايا متخصصة بالبشرة: تمتص النباتات الماء خلال خلايا متخصصة ببشرة الورقة.

انتقال الماء

تختلف الآراء من حيث حركة الماء خلال الأوراق إلى الجذر ثم إلى الأرض فبعض الباحثين يؤيد ذلك بينما يعارض البعض هذه الآراء، وترجع الاختلافات في النتائج بين الباحثين في هذا الصدد إلى ما يلي:

١. الامتصاص البطئ للماء خلال الأوراق، ولهذا تكون الكميات الممتصة صغيرة جدا مما يصعب معه التحقق من حركة الماء خلال الأوراق.
٢. رغما عما وجدته بعض الباحثين من انتقال الماء إلى الأفرع الأخرى يبدو أن معدل الحركة الداخلية بطئ ومن ثم تصبح كميات الماء المنقولة إلى الأفرع الأخرى والجذور غير كافية في بعض الحالات للمساعدة في شفاء الانتفاخ بالأعضاء البعيدة من النباتات، ومن ثم يصعب اكتشافها.

أهمية الامتصاص اللاجذري تحت الظروف الطبيعية:

يؤثر الماء بالجو على الامتصاص المائي للنبات بطريق مباشر بدخول الماء إلى النبات أو بطريق غير مباشر بإنقاص معدل النتح ويقلل كل من هذين العاملين درجة نقص ماء الورقة الأمر الذي يؤدي إلى احتفاظ الخلايا بانتفاخها وتشجيع النمو. وتحدث هذه الظاهرة في الظروف العادية ببل الأوراق بماء المطر أو الندى أو قطرات الماء عند الري بالرش.

ورغما عن أن ماء الندى لا يمثل سوى نسبة صغيرة جدا من احتياج النبات إلا أنه يمثل مصدرا مائيا هاما للنبات تحت ظروف الإجهاد الرطوبي، فيؤدي الندى إلى إعادة انتفاخ خلايا الورقة بعد تخلف الامتصاص عن النتح في اليوم السابق وهذا يشجع النمو. كما يظل الندى على الأوراق غالبا لبضع ساعات بعد شروق الشمس مما يؤخر تجديد الإجهاد المائي.

الانتقال الجذري:

ينتقل الماء بالنبات من مناطق الامتصاص إلى المناطق التى يستخدم فيها أو ينطلق منها إلى خارج النبات ولا يوجد الماء بالنبات بصورة نقية إنما يوجد محلول مائى يحتوى على كميات صغيرة ذائبة من ذائبات غير عضوية وذائبات عضوية ويسمى هذا المحلول المخفف بعصارة الخشب ويطلق على حركة العصارة خلال النبات بعملية الانتقال.

مسار الماء:

يدخل الماء إلى النبات أساسا عن طريق الشعيرات الجذرية وخلايا بشرة الجذر ثم يمر إلى القشرة فالأنودرمس فالبريسكيل ويمر خلال الخلايا الممررة أو خلال النقر بخلايا الإنودرمس إلى أن يصل إلى تجويف أوعية الخشب الجذرى أو قصبية ثم يرتفع الماء إلى أعلى خلال النسيج الناقل أو إن شئت قل خلال نسيج الخشب حيث توجد أنماط من الخلايا الحية والميتة. ويمتد نسيج الخشب ابتداء من بعد القمم الجذرية مباشرة خلال الجذور فالسوق فأعناق الأوراق ثم يتفرع كثيرا فى ميزوفيل الورقة.

يتحرك الماء كتلة واحدة فى معظم مجراة خلال نسيج الخشب ابتداء من الجذور إلى خلايا الميزوفيل بالورقة حيث يتحرك من خلية إلى أخرى ثم يفقد بتبخيره فى المسافات بين الخلايا. وتتحرك كميات صغيرة من الماء على طول مسار الماء من الجذر إلى الأوراق وتدخل فى الخلايا الحية المجاورة حيث تستخدم فى زيادة أحجام الخلايا سيما فى طبقة الكميوم كما تستخدم فى زيادة أحجام الخلايا فى القمم الساقية والجذرية والثمار.

آلية انتقال الماء:

تتعدد النظريات الخاصة بارتفاع الماء بالنبات لارتفاعات كبيرة وأهم هذه النظريات هى نظرية الضغط الجذرى، النظريات الحيوية، نظرية التوتر والتماسك.

سرعة حركة الماء:

تتباين سرعة صعود الماء خلال النسيج الناقل فقد تكون بطيئة للغاية وقد تكون سريعة تصل إلى مايزيد عن ٧٥ سم فى الدقيقة. ويختلف معدل صعود الماء أثناء اليوم ويمائل التغير فى معدل صعود الماء التغير فى معدل النتج.

اتجاه حركة الماء:

تأخذ حركة الماء بالنبات اتجاهات متعددة وهى الاتجاه إلى أعلى والاتجاه إلى أسفل والاتجاه الجانبي وتعتبر الحركة لأعلى هى الحركة الغالبة فى النبات. يتحرك الماء أساسا فى نسيج الخشب إلا أنه يختلف نمط الانتقال خلال الساق باختلاف النباتات لاختلافاتها فى التركيب. فالانتقال فى عديد من النباتات فى خشب الحزم الوعائية والتى تكون منتشرة أو موزعة فى نمط معين. وتتعدد أنماط اتجاه صعود الماء بالنباتات، فمنها الصعود الحلزوني المتجه لليمين والصعود الحلزوني المتجه لليسار والصعود الملف قطاعيا والصعود المستقيم قطاعيا والصعود المتشابك. وترجع الاختلافات فى أنماط صعود الماء إلى الاختلافات التشريحية فى تركيب الخشب. ويمكن أن يتحرك الماء لأسفل النبات ويحدث ذلك فى حالة نقص مائى داخلى للنبات بالأعضاء السفلى. وتحدث الحركة السفلية طالما كان نقص ضغط الانتشار بخلايا عضو ما قاعدى أكبر من نقص انتشار خلايا عضو آخر أقرب إلى القمة ويأخذ الماء فى الحركة سفلية الاتجاه من نسيج الخشب بالورقة فالعناق فالساق فالأعضاء الأرضية. ويمكن أن يتحرك الماء جانبيا فى اتجاه قطرى حيث ينتقل الماء من خلية لأخرى بالأشعة النخاعية فى سوق معظم أنواع النباتات، كما يمكن أن ينتقل الماء جانبيا فى اتجاه مماس حول الساق ويحدث ذلك فى السوق الخشبية.

الانتقال بين النباتات:

يلاحظ أن جذور بعض النباتات تتجدل مع بعضها بدون حدوث تطعيم بين المجاميع الجذرية لها ويمكن للماء أن ينتقل بين النباتات ذات المجاميع الجذرية التى أصبحت فى صفائر.

فقد الماء:

يفقد جزء كبير من الماء الممتص ولايقوم هذا الجزء من الماء بدور ايجابى دائم فى نمو الأنواع النباتية أو فى عملياتها الأيضية. حيث يستخدم جزء يسير منه فى النمو والتمثيل الضوئى. وتتعدد طرق فقد النبات للماء، فهو يفقد أساسا عن طريق النتح، كما يفقد جزء يسير عن طريق الإدماع أو من خلال بشرة عدد كبير من النباتات العشبية وبعض الأنواع الخشبية، كما تفرز بعض أنواع الغدد المحاليل بالية داخل الغدة نفسها.

الإدماع:

يفقد الماء فى صورة سائل من النباتات السليمة غير المجروحة وتسمى هذه العملية بعملية الإدماع. وهى ظاهرة شائعة فى النباتات ويشاهد الإدماع عادة أثناء الليل أو فى الصباح الباكر وقد يحدث أحيانا أثناء النهار بالنباتات النامية فى الجو الرطب والأرض الرطبة الدافئة ولا يحدث عادة بالأرض الباردة أو الجافة ذات التربة الملحية أو المواد السامة أو التهوية الرديئة ويلاحظ تجمع قطرات الإدماع فى قمم أنصال النجيليات وفى قمم وحواف أوراق كثير من النباتات. ويعتبر مقدار الماء المفقود عن طريق الإدماع قليلا إلا أن الكميات المفقودة فى بعض النباتات الاستوائية قد تكون كبيرة. ويبدو أن ماء الإدماع لا يلعب دورا فسيولوجيا هاما وغالبا ما تنمو الكائنات الدقيقة لمسببات الأمراض على محلول الإدماع.

وتتم هذه العملية من خلال أجهزة دمعية وهى تراكيب نباتية يخرج منها الماء فى صورة سائل فى ظروف الرطوبة المرتفعة والنتح القليل وتسمى هذه التراكيب بالأجهزة الدمعية أو الفتحات المائية أو الثغور المائية وتوجد عند أطراف الأوراق كما فى النجيليات أو عند قمم الأسنان فى حواف الأوراق أو فى أماكن أخرى ويعتبر الثغر المائى من الناحية التركيبية ثغرا كبيرا ويتركب الثغر النموذجى من فتحة واسعة تشبه فتحة الثغر تحتها غرفة واسعة محاطة بكتلة من الخلايا المفككة رقيقة الجدر وتسمى بالطبقة الطلائية حيث تنتهى عناصر الوعاء الخشبى للحزمة الوعائية تحتها مباشرة.

ويندفع الماء من الأوعية الخشبية إلى المسافات البينية تحت الطبقة الطلائية ثم إلى خارج النبات خلال فتحة الثغر المائى. ويعتبر الإدماع تعبير عن الضغط الجذرى الموجب ولا ينشأ اندفاع الماء من الثغر المائى نفسه.

سائل الإدماع ليس ماءً نقيًا إنما هو عبارة عن محلول يحتوى على عدد كبير من المواد ومنها عناصر مثل الفوسفور والبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم والمنجنيز والنحاس والحديد والبورون وغيرها وبعض السكريات مثل الأرابينوز والفركتوز والجالكتوز والجلوكوز والريبوز والسكروز وغيرها وبعض الأحماض الأمينية مثل حامض الأسبارتك والجلوتامك والفيتامينات مثل الريبوفلافين والبيوتين وعديد من الأنزيمات.

تترسب المواد الذائبة في سائل الإدماع على أسطح الأوراق بعد تبخير الماء وقد تمتص الأوراق أحيانا سائل الإدماع الذى يكون قد ازداد فيه تركيز الأملاح. وقد تحدث أضرار للنباتات نتيجة تبخير سائل الإدماع أو امتصاص ماء الإدماع ثانية.

النتج:

يفقد النبات الماء في صورة بخار ماء خلال عملية النتج من الأجزاء المختلفة من النبات مثل الأوراق والسوق والبراعم وأعضاء التكاثر. ويمكن تقسيم النتج إلى أنماط مختلفة حسباً لمكان تبخير الماء. لاتغطى الحراشيف البراعم تغطية كلية ولهذا فهى لاتمنع الفقد الكلى للماء ويعتمد النتج أساساً على عملية التبخير والتى تختلف عما يحدث فى التبخير من السطوح المائية حيث يتأثر بتركيب وسلوك الثغور وعلاقتها بالعوامل الطبيعية التى تحكم عملية التبخير حيث تنتج التدرج فى الطاقة المسببة لحركة الماء خلال النبات. ويعتمد معدل النتج على الإمداد بالطاقة اللازمة لتبخير الماء والضغط البخارى أو بتعبير آخر تدرج تركيز البخار بالجوى الذى يولد القوة الدافعة والمقاومة اللازمة لانتشار البخار. إن عوامل المناخ والأرض والنبات تؤثر على عملية النتج حيث أن شدة الضوء والضغط البخارى للجوى ودرجة الحرارة والرياح وعوامل الأرض مثل امتداد الجذور وكفاءتها فى امتصاص الماء و مساحة وترتيب وتركيب الأوراق وسلوك الثغور تلعب دوراً هاماً.

يتأثر النتج بفتح وغلق الثغور حيث يؤدى غلق الثغور إلى نقص معدل النتج والعكس صحيح عند فتح الثغور، كما يتأثر النتج أيضاً بتدرج تركيز بخار الماء من السطح الداخلى للورقة إلى الهواء المحيط بها حيث يزداد معدل النتج بزيادة فرق التركيز بين هذين السطحين، كما تؤثر المقاومة الكلية التى تبديها طبقة الهواء المحيطة والمقاومة التى تبديها الورقة وطبقة الكيوتيكل لانتقال بخار الماء وتكون مقاومة الهواء لانتقال بخار الماء مرتفعة والهواء ساكن كما تكون مقاومة الثغور مرتفعة عند غلق الثغر. ولما كان تحكم الثغر يشكل جزءاً فقط من المقاومة الكلية لذلك فإن تأثير قفل الثغر يختلف بدرجة مقاومة الثغر منسوبة إلى مقاومة الهواء المحيط ومقاومة الكيوتيكل.

أنماط النتح:

يمكن تقسيم النتح الى أنماط حسباً لمكان تبخير الماء إلى:

النتح الثغرى Stomatal transpiration

النتح الكيوتيني Cutical transpiration

النتح العديسى Lenticular transpiration

- النتح الثغرى:

ويفوق مقدار الماء المفقود في النتح الثغرى عموماً الماء المفقود عن طريق النتح الكيوتيني والنتح العديسى ويختلف مقدار النتح الثغرى على سطحى الورقة إذ يبلغ معدل النتح على السطح السفلى لورقة دوار الشمس ٥,٤ جم من الماء/ مم^٢/ دقيقة بينما يبلغ ٧,٢ جم من الماء/ مم^٢/ دقيقة فى السطح العلوى (Sivadjan, 1960)

- النتح الكيوتيني:

وفيه ينتشر بخار الماء مباشرة خلال الكيوتكل، وبالرغم من أن وجود الكيوتكل يقلل فقد الماء إلا أنه نفاذ لدرجة ما لبخار الماء. وتزداد أهمية النتح الكيوتيني بانغلاق الثغر كما يحدث أثناء الجفاف لعدد من الأنواع النباتية ويتراوح مقدار الماء المفقود فى النتح الكيوتيني بالمقارنة مع المقدار الكلى للماء المفقود من نسبة قليلة للغاية إلى ٥٠% إلا أنه عموماً يقل عن ١٠% فى الكثير من النباتات وتؤثر كثير من العوامل على معدل النتح الكيوتيني ومن أهمها سمك طبقة الكيوتين، الغلاف الراتنجى والزيت الطيارة للورقة، عمر الورقة.

- النتح العديسى:

يفقد بخار الماء عن طريق العديسات فى النتح العديسى ومقدار الماء المفقود فى هذا النوع من النتح أقل كثيراً من مقدار الماء المفقود عن طريق النتح الثغرى.

تركيب وحجم وتوزيع الثغور:

الثغر عبارة عن فتحة فى البشرة تقع بين خليتين حارستين والخلايا الحارسة خلايا متخصصة من خلايا البشرة ويتحكم التغير فى شكل وحجم الخلايا الحارسة فى

فتح وغلق الثغر، وتحتوى الخلايا الحارسة بخلاف خلايا البشرة على بلاستيدات خضراء كما يزيد مقدار السيئوبلازم بالخلايا الحارسة عن بقية خلايا البشرة.

ويختلف حجم الثغر باختلاف نوع النبات كما يختلف على النبات الواحد وتتراوح فتحة الثغر حينما يكون كامل الانتفاخ من ٣-٥ ميكرون وتتراوح الطول من ١٠-٤٠ ميكرون وفتحة الثغر كافية لإمرار جزيئات الغاز والماء خلالها. ويبلغ مقدار فتحات الثغور نحو ١-٢% من مساحة السطح الكلى للورقة. وتتراوح عدد الثغور بالسم المربع الواحد بين ١٠٠٠-٦٠٠٠٠ ويتوقف هذا العدد على النوع وظروف البيئة التى تنشأ فيها الأوراق وتزيد أعداد الثغور بالبشرة السفلى عن البشرة العليا وقد يقتصر وجود الثغور على البشرة السفلى، وتوجد الثغور فى الأوراق الطافية على البشرة العليا فقط.

انفتاح الثغور:

تتسع فتحة الثغر نتيجة زيادة امتلاء الخلايا الحارسة بالنسبة لخلايا البشرة، ويزداد مقدار الإتساع بازدياد الفرق بين درجتى الامتلاء بينهما، وتختلف آلية انفتاح الثغر باختلاف تركيب وشكل ووضع الثغر. وتتميز الخلية الحارسة فى النوع الشائع بزيادة سمك الجدار المبطن للفتحة عن الجدار الملاصق لخلايا البشرة. وتتمدد الجدر الرقيقة بدرجة أكبر من الجدر السمكة بازدياد امتلاء الخلايا الحارسة بالماء فيتقعر شكل الجدر السمكة ويفتح الثغر. وتفتح الثغور بنباتات الفصيلة النجيلية والسعدية بانتفاخ نهايات الخلايا الحارسة حيث يؤدى هذا إلى إبعاد الجزء الأوسط من الجدر المتاخمة للخليتين الحارستين المتجاورتين. وتؤثر كثير من العوامل على فتح وغلق الثغور ولعل أهم هذه العوامل هى الضوء والماء والحرارة.

ويؤدى حمض الأبسيسك إلى غلق الثغور أذلك فيؤثر الإجهاد الرطوبى على غلق الثغور من خلال تأثيره على مستوى حمض الأبسيسك بالأوراق أو من خلال تأثيره على التوازن الهرمونى بين حمض الأبسيسك والسيئوكينين حيث يؤدى الإجهاد الرطوبى إلى رفع مستوى حمض الأبسيسك بالأوراق. ويعمل الكينيتين على تشجيع فتح الثغور عند إضافته للنباتات إلا أن التأثير يكون ضئيلاً بالمعاملة لمدة قصيرة.

مقدار الماء المفقود:

يستخدم قدر قليل للغاية من الماء الممتص بينما يفقد جزء كبير في عملية النتح ويختلف معدل النتح باختلاف النبات والظروف البيئية. ويبلغ معدل النتح للنباتات ذات الأوراق العريضة بالمناطق المعتدلة نحو ٥ جرامات لكل ديسيمتر مربع من سطح الأوراق في الساعة، بينما يتراوح مقدارها في النتح الثغرى من ٠,٥ - ٢,٥ جم لكل ديسيمتر مربع في الساعة. وينخفض معدل النتح الثغرى في الظروف غير الملائمة له لنحو ٠,١ جم لكل ديسيمتر مربع في الساعة ويزيد مقدار حجم ما يفقده النبات العشبي في الظروف الملائمة للنتح من ماء في اليوم الواحد عددا من مرات حجم النبات. ويبلغ مقدار ما يفقده نبات الذرة الواحد أثناء فصل النمو نحو ٥٤ جالونا من الماء أو في عبارة أخرى يفقد نبات الذرة بالفدان ما يعادل ١٥ بوصة أثناء فصل النمو ويفقد كل من نبات القمح والبطاطس ٢٥ جالونا من الماء أثناء النمو.

كفاءة الثغور في انتشار بخار الماء:

ينتشر بخار الماء خلال فتحات الثغور إذ أن فتحة الثغر والعوامل الفيزيائية المؤثرة على انتشار بخار الماء خلال هذه الفتحات ذات أهمية بالغة في دراسة النتح، ورغما عن أن مساحة الثغور تمثل نحو ١-٢% من المساحة الكلية للورقة إلا أنه يزيد انتشار بخار الماء خلال الفتحات عن ٥٠ من التبخير من سطح الماء الحر.

العوامل المؤثرة على سرعة النتح:

مما لا شك فيه أن أى عامل من العوامل المؤثرة على انحدار تدرج ضغط البخار بين الجو الداخلى والجو الخارجى للورقة يؤثر بدوره على سرعة النتح. ويمكن تقسيم العوامل المؤثرة على سرعة النتح إلى ما يلى:

-عوامل خاصة بالنبات:

يختلف معدل النتح اختلافا كبيرا بين الأنواع النباتية إذ يبلغ معدل النتح فى بعض الأنواع نحو خمسة أمثاله فى البعض الآخر. ويرجع الاختلاف بين الأنواع إلى الاختلاف فى العمليات الداخلية وصفاتها مثل سلوك الثغور، وقدرة البروتوبلازم والجدر الخلوية على التشرب، والضغط الأسموزى لخلايا الورقة، وقد يكون الفقد

فى أعضاء التكاثر كبيراً فتنتج رؤوس دوار الشمس بمعدل أسرع من الأوراق (Prokofev and kats, 1962).

ولعل من أهم صفات النبات المؤثرة على مقدار النتج هى نسبة الجذور إلى المجموع الهوائى، و سطح الورقة وتركيب الورقة.

أ- نسبة المجموع الجذرى إلى المجموع الهوائى:

تنظم كفاءة سطح الامتصاص (سطح الجذر) و سطح التبخير (سطح الأوراق) سرعة النتج. وينقص الماء بالنبات إذا زاد معدل النتج عن معدل الامتصاص وهذا بدوره يؤدى إلى نقص معدل النتج. ويزداد معدل النتج بازدياد معدل سطح الامتصاص و سطح الجذر. ويزداد معدل النتج بأوراق الذرة الرفيعة عن الذرة الشامية لما يتميز به نبات الذرة الرفيعة من نمو جذور ثانوية أكثر مما فى الذرة الشامية. ويلاحظ أن نباتات الذرة الرفيعة محتفظة بمعدلات مرتفعة من الامتصاص والنتج فى الأراضى الجافة نسبياً عن الذرة الشامية.

ب- سطح أوراق النبات:

يزداد مقدار الماء المفقود فى عملية النتج بازدياد مقدار سطح أوراق النبات إلا أنه يلاحظ نقص معدل النتج فى وحدة المساحة فى الأوراق الكبيرة عن الأوراق الصغيرة. وتؤدى إزالة بعض أوراق النبات إلى ارتفاع معدل النتج بوحدة المساحة فى الأوراق الباقية إلا أن الكمية المفقودة من الماء تقل بإزالة أوراق النبات.

ج- تركيب الورقة:

تحدث عدة تغيرات بأوراق النباتات الجفافيه للمحافظة على الماء وأهم هذه التغيرات هى زيادة سمك طبقة الكيوتيكل وزيادة سمك الجدر الخلوية، ونمو الخلايا العمادية نمواً جيداً وتعمق الثغور وتغطية الأوراق بشعر ميت. وتجف الأوراق المنفصلة من النباتات وسطية الجفاف بسرعة عن الأوراق المنفصلة من النباتات الجفافيه تحت الظروف الواحدة. وتزيد سرعة النتج الثغرى فى النباتات الجفافيه عن الوسطية الجفاف فى ظروف تفتح الثغور لزيادة عدد الثغور فى وحدة المساحة وزيادة انتشار التعريق بأوراق النباتات الجفافيه عن الوسطية الجفاف وزيادة سطح جدر الخلايا للجو الداخلى للأوراق الوسطية الجفاف.

- العوامل البيئية:

تتعدد الظروف البيئية التي تتحكم في معدل النتج ولعل من أهمها ما يلي:-

أ- الضوء:

يؤثر الضوء على سرعة النتج عن طريق التأثير على فتح الثغور ودرجة حرارة الورقة. لما كانت الثغور تفتح في الضوء وتغلق في الظلام لهذا يؤدي الضوء إلى زيادة معدل النتج. وتنتج أوراق النباتات في الأيام المشمسة بمعدل أعلى على الجانب المشمس من النبات عن الأوراق على الجانب المظلل وتنتج أوراق النباتات على الجوانب المختلفة منها بمعدل واحد في الأيام الملبدة بالغيوم.

ب- الرطوبة الجوية:

يتوقف انتشار بخار الماء من الورقة إلى الجو على الفرق بين ضغط البخار في المسافات البينية وضغط البخار في الهواء الجوي الخارجي. فيزداد معدل انتشار بخار الماء إلى الجو إذا زاد مقدار الفرق، ولهذا فالعوامل التي تؤدي إلى زيادة ضغط البخار في المسافات البينية للورقة وكذلك العوامل التي تؤدي إلى نقص البخار المحيط بالورقة تؤدي إلى زيادة معدل النتج خلال الثغور المفتوحة. وعادة يكون الجو في المسافات البينية لخلايا الورقة مشبعاً ببخار الماء بينما يكون الهواء الجوي غير مشبع لهذا يوجد ميل في ضغط البخار بين خارج الورقة وداخلها لصالح الجو الخارجي مما يؤدي إلى انتشار بخار الماء خارج الورقة حيث يكون ضغط البخار أقل. ويظل الجو الداخلي في المسافات البينية في الورقة مشبعاً أو قريباً من التشبع في ظروف الحرارة المرتفعة أو المنخفضة ولهذا تؤدي زيادة درجة الحرارة في الظروف التي يظل فيها محتوى الماء أو ضغط البخار بالجو خارج الورقة دون تغيير إلى زيادة ميل ضغط البخار وبالتالي زيادة معدل النتج.

ج- درجة الحرارة:

تزيد درجة حرارة الأوراق المعرضة للشمس بنحو ٢ إلى ١٠م° عن درجة حرارة الهواء الجوي. وتفقد الأوراق جزءاً من الطاقة الإشعاعية الممتصة عن طريق النتج والانبعاث الحراري. وفي الأيام الملبدة بالغيوم وأثناء الليل لا تختلف درجة حرارة الورقة عن درجة حرارة الجو عادة ويتم تبادل الحرارة في مثل هذه

الظروف بين وسط الورقة وخارجها بعملية الحمل. وأحيانا تنخفض درجة حرارة الورقة عن درجة حرارة الهواء الجوى كما فى حالة الأوراق المظللة أو الأوراق المعرضة للإضاءة منخفضة مع قيامها بالنتج بمعدل سريع نسبيا. وتتأرجح درجة حرارة الورقة أثناء النهار.

ويؤدى ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معدل النتج لزيادة انفتاح الثغور. ويزداد انفتاح الثغر بارتفاع درجة الحرارة من صابر إلى ٣٠ م°، كما يؤدى ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة انحدار ميل ضغط البخار بين الجو الداخلى للورقة والجو المحيط بها. يحتاج الماء السائل ليفقد فى صورة بخار إلى ٥٤٠ كالورى لكل ١ سم^٣ ولهذا يقف النتج فى حالة عدم توافر الحرارة اللازمة، وباستخدام الطاقة الحرارية المتوافرة فى تبخير الماء من سطح الأرض قد لا تصبح الطاقة الحرارية ميسرة لتبخير ماء الأوراق من فجوات الأوراق. ولهذا ففى ظروف الرخات الخفيفة يتبخر من على سطح الأوراق والأرض مستخدما القدر الأكبر من الطاقة الميسرة وبذلك يقل النتج من النبات.

د- الرياح:

يزداد تركيز بخار الماء فى المناطق حول الأوراق التى تقوم بعملية النتج الأمر الذى يؤدى إلى نقص ميل ضغط البخار فتقل سرعة النتج وتؤدى الرياح إلى إبعاد البخار عن سطح الورقة فيزداد النتج وتؤدى الرياح إلى تمايل الأغصان والتواء الأوراق ويساهم ذلك فى زيادة معدل النتج. ويلاحظ أن النسيم العليل يؤدى إلى زيادة معدل النتج وعلى العكس من هذا تؤدى الرياح السريعة إلى نقص معدل النتج لانغلاق الثغور، ولهذا يعتبر تأثير الرياح على معدل النتج محصلة للتأثيرات المؤدية إلى زيادة النتج والتأثيرات المؤدية إلى نقصه.

هـ- صلاحية ماء الأرض للإمتصاص:

تؤثر صلاحية ماء الأرض بالجذور وكفاءة الامتصاص على معدل النتج، فيقل معدل النتج بنقص مقدار الماء بالأرض.

أهمية النتج:

يؤثر النتج تأثيراً هاماً على بعض صفات النبات وأهمها التأثير على تبريد الأوراق، التأثير على النمو والتكوين، التأثير على امتصاص العناصر.

قائمة المراجع

- عبد الجواد ع. أ، نورالدين نعمت ع.، فايد ط. ب. (٢٠٠٧). علم المحاصيل -القواعد والأسس-، الطبعة الأولى، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر. ٤٦٦ ص.
- مرسى م. ع، نورالدين نعمت ع. (١٩٧٧). رى محاصيل الحقل. مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، مصر. ٣٣٢ ص.
- Abd El- Hady ,M.A., El Habbal M.S Nouredin Nemat A. and Hamed M. F. 2006. Annals Agric. Sci., Ain Shams Univ., Cairo, 51 (1), p:103-111.
- Brady, N. and Weil R. 2002. The Nature and Properties of Soil. 13th Edition. Prentice Hall Upper Saddle River , New Jersey. 960 p.
- Kozlowski, T.T. 1964. Water Metabolism in Plants , Harper and Row, Newyork.
- Nichols, K.A., S.F., Wright, Liebig, M.A. and Pikul, J.L. jr. 2004. Functional Significance of Glomalin to Soil Fertility. Preseedings from the Great Plains Soil Fertility Conference Proceedings. Denver , Co, March 2-4 , 2004.
- Nouredin Nemat A., El-hayatemy, Y.Y., Hamed M.F. and Ibrahim A.M 2000 (a). 8th Conf. Agric. ,Ain Shams Univ., Cairo, Nov. 20-22. Annals Agric., Sci., Sp. Issue 3, 997-1008.
- Nouredin Nemat A., El-hayatemy, Y.Y., Hamed M.F. and Ibrahim A.M. 2000 (b). 8th Conf. Agric. ,Ain Shams Univ., Cairo, Nov. 20-22. Annals Agric., Sci., Sp. Issue 3, 1009-1027.
- Nouredin Nemat A., El-gawad M.A., Hamed M.F. Nassar Abla H, and khalil, Soha R. 2002. J. Environ. Sci. Institute Environ Studies and Res ñ Ain Shams Univ.
- Nouredin Nemat A., Abd El-haleam A., Selim Sh.M. and El-Fateh Hayam S.A. 2003. J. Environ. Sci., 6 (2) p:485-506. Institute Environ. Studies and Res., Ain Sham Univ.
- Nouredin Nemat A., El Habbal M.S. Hamed M. F. and Abd El- hady, M.A. 2006. 10th Conf. Agric. Dev. Res. Fac. Agric., Ain Shams Univ., Cairo Annals Agric. Sci., Sp. Issue, 1, 53-63.
- Nouredin. Nemat A., El Habbal M.S, Hamada M.A., Hamed M. F. 1993., 38 (2), 511-519.
- Nouredin Nemat A., El Habbal M.S. Osama A.O, and Badran Madiha M. 1994. Annals Agric. Sci., Ain Shams Univ., Cairo, 39 (1) : 177 ñ 189.
- Prokofev A.A. and Kats, K.M. 1962. Doklady Akad. Nauk. SSSR (Bot. Sci. Sec. Transel.) 139 (1/6) ,141.
- Richards L.A. and Richards S.T 1957. USDA.

- Slatyer, R.O. 1967. Plant Water Relationships. Academic Press, London and Newyork
- Slatyer , R.O. 1957. J. Biol. Sci., 320.
- Sivadjian, J. 1960. Bull. Soc. Bot. Fr. 99, 138.
- Tomas, M., Ranson, S.L. and Richardson, J.A.1973 Plant Physiology 5th edition. Longman Group Limited London.