جامعة حماة

كلية الزراعة

مقرَّر أساسيات علوم التربة وتصنيفها

لطلاب السنة الثانية

الدكتور عصام شكري الخوري

المحاضرة الحادية عشر

الماء في التربة والثوابت المائية

مقدمة:

يعدّ الماء أهم مقوّمات الحياة على الأرض وأحد أهم عوامل استمرارها على ظاهرها وفي باطنها كما يلعب دورا" متقدّما" في تكوين التربة ويحدّد سوية مختلف أنواع النشاط الكيميائي والحيوي فيها ولأنَّ الأحياء كافة جعلت من الماء وبنسبة تتراوح بين 70-95%وزنا"، فقد اكتسب الماء أهمية عظيمة، جعلت منه أول العوامل المحدّدة للإنتاج الزراعي وأهمها على الإطلاق. وهذه الأهمية ثابتة عبر العصور التي شهدت ولادة العديد من الحضارات وازدهارها قرب مصادر المياه الهامة، واندثار العديد منها بسبب شح هذه المصادر المائية. ولذلك فإنَّ ترشيد استخدام المياه المتوفرة للأغراض الزراعية يعدّ هدفا" رئيسا" تسعى إليه كافة الجهات المتخصّصة في الإنتاج والتخطيط الزراعيين في أي قطر يتميَّز بمحدودية موارده المائية. ووصولا" إلى ذلك الهدف المنشود لابدَّ للمهندس الزراعي من الإلمام ببعض الأسس الهامة، التي تحكم العلاقات القائمة بين عناصر منظومة (التربة - الماء- النبات)، وهذا ما سيكون مضمون هذا الفصل الذي سيتناول دراسة الطور السائل في التربة، وأشكاله وثوابته الوضعية وديناميكية حركته بتماس مع الطورين الصلب والغازي، وطرائق تعيينه في التربة.

2-10 خواص البنية الجزيئية للماء:

إنَّ تكوين جزيء الماء من ارتباط ذرة أكسجين بذرتي هيدروجين يكسبه بنية غير خطية بزاوية تبلغ 105 درجة تقريبا" بين الرابطتين المشتركتين الموجودتين في الجزيء، ويقود ذلك إلى ثنائية قطبية تساوي محصلة هاتين الثنائيتين. وتلعب هذه الثنائية دوراً بالغ الأثر في تحديد خواص الماء كأحد أهم المذيبات المعروفة في الطبيعة.

ويعدّ الأكسجين من العناصر ذات الكهرسلبية المرتفعة، أي أنَّه يجذب الإلكترونات بقوة عندما يكون طرفا" في رابطة مشتركة مع غيره من ذرات العناصر الأخرى. ويترتب على ذلك زيادة كبيرة في تماسك جزيئات الماء أكثر من أي سائل آخر ويعزى هذا التماسك أو الترابط إلى روابط ضعيفة من نوع لندن- فان ديرفالس. وهكذا نجد أن له نقطة غليان مرتفعة تبلغ 100درجة C عند ضغط جوي واحد، وأنه يتميز بحاجته لطاقة عالية من أجل تحطيم الروابط عند هذه النقطة تبلغ 9720 كلوري/ مول، وله توتر سطحي يصل 73 داين/سم عند20 درجة C وثابت عزل كهربائي عالي يبلغ 81 الأمر الذي يجعل الماء أكثر المذيبات فعالية في انحلال المركبات الأيونية، ذلك إنّ قوى التجاذب بين الأيونات تتناسب عكساً مع قيمة ثابت العزل الكهربائي لوسط الانتشار، ولأنَّ انحلال المركبات الأيونية أساساً ليس سوى بعثرة وتشتّت لهذه الأيونات بوساطة جزيئات المذيب نفسه.

يندر وجود جزيء ماء معزول عزلا تاما في درجة الحرارة العادية، دون أي ارتباط بالجزيئات الأخرى المجاورة، وتكون هذه الروابط بين جزيئات الماء من طبيعة كهر بائية، إلاَّ أنَّها أضعف بكثير من

الرابطتين الأيونية أو المشتركة الموجودة بين الذرات، ويكون الترابط الجزيئي بين جزيئات الماء وفق نمطين من الروابط الفيزيائية هما الرابطة الهيدروجينية، وقوى لندن – فان ديرفالس.

أ- الرابطة الهيدروجينية:

لمَّا كان جزيء الماء يتألف من طرف سالب ممثل بذرة الأكسجين، وطرفين يحملان شحنة موجبة هما ذرتا الهيدروجين فمن الطبيعي أن يحصل تجاذب بين الأطراف المتعاكسة الشحنة لجزيئات مختلفة، إذا ما وجدت مجموعة من الجزيئات بجانب بعضها بعضا. وهكذا تؤدّي الكهرسلبية العالية للأوكسجين والبالغة 3.5في سلم بولينغ للكهرسلبية، إلى جذب قوي للالكترونات المشتركة مما يجعل ذرة الهيدروجين أقرب إلى أن تكون بروتونا الأمر الذي يقود إلى ارتباطها بأكسجين جزيء الماء المجاور. ونظراً لامتلاك ذرة الأكسجين لزوجين إضافيين من الالكترونات (عدا الالكترونات المشتركة)، فإنَّه يمكن لكل منهما أن يجذب ذرة هيدروجين تابعة لجزيء ماء آخر، ويؤدّي هذا الترابط إلى وجود أربع ذرات من الهيدروجين حول كل ذرة اكسجين، تكون اثنتان منهما مرتبطتان مع الأكسجين برابطتين هيدروجينيين.

يأخذ ارتباط جزيئات الماء شكلاً رباعي الوجوه تكون فيه ذرة الأكسجين مركز التجمّع، وتحتل ذرات الهيدروجين زواياه الأربع، كما تساوي الزاوية المتشكّلة بين رابطة وأخرى 105درجة.

يتوقّف عدد جزيئات الماء المرتبطة وانتظام بنيتها على عدة عوامل أهمها : درجة الحرارة و نقاوة الماء، وقد وجد أنَّ هذا العدد يزداد عندما يتحوَّل الماء إلى جليد، حيث يكتسب الماء عندها بنية بلورية منتظمة كاملة شبيهة ببنية الكوارتز(SiO_2) ويفسِّر هذا ما يترتب على البنية البلورية للجليد من انخفاض الوزن الحجمي للطور الصلب للماء (الجليد) مقارنة مع طوره السائل، والذي يعود إلى وجود بعض الفراغات بين الجزيئات، ويشير ذلك إلى أنَّ الصيغة H_2O لا تعدو كونها تمثيلا لتركيب الماء، وأنَّ هذه المادة لا توجد بحالة جزيئات معزولة إلاَّ أنَّها في الحالة البخارية (الغازية).

تؤثّر الرابطة الهيدروجينية بوضوح في الخواص الفيزيائية للماء، ويبدو ذلك جلياً من مقارنة درجات غليان المركبات الهيدروجينية المماثلة (مثل HCL, H2S ,HF،... الخ) التي تتناقص درجات غليانها مع انخفاض أوزانها الجزيئية، ويشذّ عن ذلك الماء على الرغم من انخفاض وزنه الجزيئي، ويعزى ذلك إلى وجود الروابط الهيدروجينية العديدة بين جزيئاته، إذ تصل درجة غليانه إلى˚ 100 C عند ضغط جوي واحد . هذا وتبلغ طاقة الرابطة الهيدروجينية ما يقرب من 5كالوري، مقابل 109 كالوري للرابطة المشتركة بين الهيدروجين والأوكسجين في جزيء غرامي واحد من الماء.

ب- <u>قوى لندن-فان دير فالس:</u>

تعدّ قوى لندن-فان دير فالس قوى فيزيائية ضعيفة مقارنةً مع قوة الرابطة الهيدروجينية، حيث توجد بين ذرات وجزيئات المواد المتعادلة كهربائياً كافةً، وهي من رتبة كالوري/مول تقريبا، وتنجم عن تجاذب جميع الجزيئات مع بعضها تجاذباً ضعيفاً نتيجة الفعل المتبادل بين النوى الموجبة والإلكترونات السالبة التي تحوم حولها. ويتوقَّف مقدار هذه القوى على المسافة الفاصلة بين جزيئتين متجاورتين، وتكون محصلتها تجاذباً ضعيفاً عندما تقترب هذه الجزيئات من بعضها البعض، أمَّا إذا تلامست، فيحصل تنافر بينها، بسبب اقتراب الغمامات الإلكترونية للجزيئات من بعضها البعض. ويفسّرها آخرون (لندن) على أنها تجاذب آني للجزيئات ولفترة وجيزة جداً نتيجة وجود كثافة الكترونية أكبر في أحد أطراف الجزيء السالب، والطرف المقابل موجباً. ولما كانت قوى لندن-فان دير فالس من طبيعة كهر بائية، فإنَّها تزداد مع زيادة عدد الإلكترونات الموجودة في جزيئات المادة، أي بازدياد وزنها الجزيئي.

ج-<u>كمون التأين:</u>

تجتذب الأيونات في المحلول جزيئات الماء إليها، فالكايتونات تجذب أقرب الأطراف السلبية لجزيئات الماء ثنائية القطبية، وتجذب الأنيونات الأطراف الموجبة، ويبدو أنَّ عدد جزيئات الماء التي تجتذبها الأيونات في المحلول المائي، يتوقَّف على أبعاد (أحجام) الأيونات نفسه، إذ يزداد عددها كلما كان حجم الأيون المركزي كبيرا، ومع ذلك فإنَّ درجة تميؤ (إماهة) هذه الأيونات تتأثَّر إلى حدٍ بعيد بكثافة شحنات سطوحها.

وهكذا نجد أنّ أيوناً كالليثيوم Li ذي نصف القطر A0.68˚ يكون ذا مقدرة على التميؤ وإحاطة نفسه بعدد أكبر من جزيئات الماء التي يحيط نفسه بها أيون السيزيومCs ذي نصف القطر A1.67، على الرغم من كونهما يتمتعان كلاهما بشحنة سطحية واحدة، ونخلص من ذلك إلى أن تميؤ ايون ما، إنما يتناسب طرداً مع شحنته (z) وعكساً من نصف قطره الأيوني (r). ويعرف العامل z/r بكمون التأين الذي يكتسب أهمية خاصة ليس كدليل على درجة تميؤ الأيون فحسب، بل وكمؤشّر على خواص الأيون وسلوكه بوجود الماء. وكان جولد سميث أول من أشار إلى أهميَّة ذلك كقياس لسلوك الأيونات تجاه جزيئات الماء في محاليها، إذ يعدّ كمون التأيّن قياساً لكهرسلبية الأيون من ناحية ولكثافة شحناته الموجبة في واحدة السطوح من ناحية أخرى.

التصنيف الهيدروفيزيائي للماء في التربة (الثوابت المائية):

يخضع وجود الماء في التربة لقوى التجاذب والترابط القائمة بين جزيئاته نفسها (قوى الجذب بين جزيئات الماء) من جهة، و سطوح الطور الصلب في التربة من جهة أخرى، وتحدّد محصلة هذه القوى طاقة التربة في الاحتفاظ بالماء، كما تحدّد مقدرة هذا الماء على الحركة عبر فراغاتها ضمن حدود الاتزان القائم بين التربة و كل من الظروف الأرضية والجويَّة المحيطة بها، وعندها يتوقف المحتوى الرطوبي للتربة على خواصها الذاتية من فيزيائية و كيميائية وفلزية، ويطلق على حالة الاتزان المائي بالوضع الهيدروستاتيكي (الاستقرار أو الثبات) أما إذا حصل خلل في عملية الاتزان المائي بإضافة الماء أو امتصاصه أو تبخره، فان الماء ينتقل بواحد أو أكثر من الاتجاهات وبشكل أو أكثر من أشكال الماء، ويعبر عن هذه الحالة بالوضع الهيدروديناميكي (الحركة أو الانتقال المائي) الذي يحدث على شكل تدفق مائي بالصورتين السائلة أو الغازية أو بكليهما معا. وإذا استثني الماء البلوري والماء المتحرك في التربة على هيئة غازية، فإنه من الممكن أن يتواجد الماء بعدة صور.

صور الماء الأرضي:

1- **الماء الهيجروسكوبي (ماء الاسترطاب)**
2- **الماء الشعري**
3- **ماء الجاذبية (الماء الحر).**

يعتبر بر يجز وشانتز أول من اقترحا تصنيف الرطوبة الأرضية في الصور الثلاث آنفة الذكر، وقد لاقى هذا التصنيف آنذاك قبولاً واسعاً على الرغم من اعتباطية التقسيم وعدم وجود حدود فاصلة أو مميزة بين الأنواع الثلاثة، نظراً لعدم إظهار منحنى الشد (التوتر) الرطوبي الذي يعطي نسبة المحتوى الرطوبي كتابع لقوى الشد أو التوتر، أي تغيّر مفاجئ فيه، أياً كان نوع التربة المدروس، ومع ذلك فإنَّ هذا التصنيف الكيفي الاصطلاحي يعكس جاهزية الماء في التربة وقابليته للامتصاص من قبل النبات قبل أي شيء أخر.

1- **الماء الهيجروسكوبي : (ماء الاسترطاب أو الامتزاز)** :

يعرف الماء الهيجروسكوبي: بأنه الماء المدمص حول سطوح حبيبات التربة الناعمة على شكل أغشية مائية رقيقة جداً، تنتج عن تكاثف الجزيئات المائية الغازية على هذه السطوح، ويرتبط إليها بقوة كبيرة جداً تصل إلى 10000 ضغط جوي، عند تماس الطبقة الأولى من جزيئات الماء مع سطوح الطور الصلب، وتمنع القوة الناشئة عن الجذب المتبادل للطورين السائل والصلب من تحركه في التربة بصورة سائلة، إلاَّ أنَّه يمكن أن يتحرك في فراغاتها على هيئة غازية (بخار الماء)، ولهذا فإنَّه يمكن أن يكون عديم الفائدة، وغير قابل للامتصاص من قبل الجذور النباتية، لأنَّ قوة شده إلى حبيبات التربة أكبر من قوة امتصاص الجذور النباتية له.

يطلق على ظاهرة امتزاز التربة لبخار ماء الجو المحيط بها، بالخاصة الهيجروسكوبية، كما يطلق على الماء الممتز بهذه الطريقة بالماء الهيجروسكوبي أو الماء الامتزازي.

العوامل المؤثرة في الماء الهيجروسكوبي:

-يزداد محتوى التربة منه بزيادة محتواها من الطين والغرويات المعدنية والعضوية، والتي تؤثّر بدورها على السطح النوعي للتربة.

-كما يزداد محتوى التربة منه وذلك تبعاً لدرجة تشبع الجو المحيط بها ببخار الماء (الرطوبة النسبية).

تتراوح نسبته في الترب الرملية بين (1-2) % وزناً، وقد تصل ما يقرب من (7 %) في الترب الطينية وقد تصل إلى 10% في الترب الطينية الثقيلة الغنية بالمادة العضوية. ولا يمكن التخلّص منه إلاّ بتجفيف التربة في درجة حرارة 105˚-110˚ C ، إلاّ أنَّه سرعان ما يدمص من جديد على السطوح الصلبة إذا ما عرضت التربة للهواء الجوي.

2- <u>الماء الشعري:</u>

يتواجد الماء الشعري في المسام الدقيقة متحركاً تحت تأثير القوى الشعرية المتكونة على سطوح الأطوار الصلبة و السائلة و الغازية، حيث تبدأ القوى الشعرية بالظهور في المسام التي تبلغ أقطارها نحو 10 ميكرون في الترب الخفيفة (الرملية)، و (8.5) ميكرون في الترب الطينية، إلا أنها تصبح شديدة الوضوح في المسام ذات الأقطار (1 – 100) ميكرون، ويكون مرتبطاً بحبيبات التربة بقوة شد تتراوح بين (15-31) ضغط جوي.

يملأ هذا الماء فراغات التربة ومساماتها الدقيقة، عقب هطول مطري أو ري غزيرين وتمام صرف الماء الحر (ماء الجاذبية) منها، ويوجد دائماً بحالة سائلة، مغلفاً الماء الهيجروسكوبي، ومتحركاً في التربة من المواقع الرطبة إلى المواقع الأقل رطوبة بالخاصة الشعرية، أي من المواقع ذات قوى الشدّ المنخفضة إلى المناطق ذات قوى الشدّ العالية، كنتيجة للفروق بين الجهود الرطوبية التي تصادف في التربة. كما تنجم القوى الشعرية عن التوتّر السطحي للماء وعن زاوية تماسه مع سطح الطور الصلب للتربة في نظام التربة غير المشبعة. وقد سميَّ شعرياً لتشابه حركته وصعوده في التربة بحركة وصعود الماء في الأنابيب الشعرية.

<u>أنواع الماء الشعري:</u>

الماء الشعري القابل للإفادة أو المتاح:

يملأ هذا الماء فراغات التربة الشعرية التي تتراوح أقطارها بين (0.2-10) ميكرومتر في الترب الخفيفة، وبين (0.2-8.5) ميكرومتر في الترب الطينية الثقيلة، ويشكّل المصدر الرئيس للتغذية المائية في التربة.

تتميز الترب السلتية ومتوسطة القوام عموماً بحركة الماء الشعري فيها بفعالية أكبر مما تبديه الترب الرملية أو الطينية على حد سواء. إذ تكون حركته سريعة نسبياً في الترب الرملية ولكن لارتفاعات أو لمسافات قصيرة، قد تصل إلى بضع دسميترات، في حين تمتد في الترب الطينية لمسافات أكبر بكثير من سواها وقد تصل إلى (3-4) م، إلا أن معدل هذه الحركة يتضاءل كثيراً ما لم تكن التربة الطينية حسنة البناء جيدة التجمع الحبيبي.

الماء الشعري الغير قابل للإفادة أو غير قابل للامتصاص من قبل النبات:

يملأ هذا الماء الفراغات الشعرية الدقيقة التي لا يتجاوز أقطارها 0.2 ميكرومتر، ويكون مرتبطاً بسطوح حبيبات التربة بقوة شد أكبر من 31 ضغط جوي، والتي تزيد عن الطاقة التي تستطيع الجذور النباتية بذلها لامتصاصه، ويصادف هذا الماء كثيراً في الترب الطينية سيئة البناء أو قليلة التجمع الحبيبي.

<u>العوامل المؤثرة في الماء الشعري وفعالية حركته في التربة غير المشبعة:</u>

1- السطح النوعي للتربة: والذي يتأثر بقوام التربة مما يفسر سبب ارتفاع قدرة الترب الطينية على مسك الماء وتوصيله لمسافات أكبر مقارنة مع الترب الرملية.
2- أقطار المسام الشعرية: والتي تتأثر ببناء التربة.
3- المادة العضوية: حيث أنَّه كلما زاد محتوى التربة من المادة العضوية زادت قدرة التربة على رفع السعة الشعرية لها مما يساعد في رفع قدرة التربة على سعة التربة من الماء الشعري.

4-تركيز الأملاح في الماء الأرضي ودرجة حرارته.
5- كما تتعلَّق إلى حد بعيد بعمق مستوى الماء الأرضي الحر، واتصال الماء الشعري به أو وجوده معلقاً دون اتصال.
6- تلعب ظروف الاتزان القائم بين التربة والأحوال الجوية المحيطة، وبخاصة درجة الحرارة السائدة، دوراً هاماً في استمرارية حركة الماء الشعري ودفعها قدماً باتجاه المواقع ذات المحتويات الرطوبية الأدنى.

ج- ماء الجاذبية الأرضية:

يطلق على هذا الجزء من الماء اسم "ماء الصرف الطبيعي" أو "الماء الحر" وهو الذي يزيد عن الماء الشعري، و الذي يملأ الفراغات الواسعة في التربة التي تزيد أبعادها عن 8.5 ميكرومتر في الترب الطينية الثقيلة أو10 ميكرومتر في الترب الرملية الخفيفة، بحيث لا يمكن للتربة الاحتفاظ به، فيتحرك تحت تأثير الجاذبية إلى عمق معين داخل المقطع الأرضي، ويستمر في حركته إلى أن يصل إلى مستوى الماء الأرضي (البساط المائي الدائم أو المياه الجوفية)، أو يتراكم فوق الطبقات غير النفوذة، وهو يتحرك للأسفل و إلى الجوانب، تبعاً لميول الطبقات الصماء في عمق التربة، ويكون غير متاحاً للنباتات، إلا أنَّ حركته السريعة وسرعة صرفه من التربة تجعل فرص الاستفادة منه ضئيلة جداً، ولذلك يطلق عليه الماء الحر، أو ماء الصرف الباطني.

تستطيع النباتات الاستفادة من ماء الجاذبية الأرضي، إذا كانت المسافة بين مرآته والحدود السفلى لمنطقة انتشار الجذور لا تزيد على (0.5 – 1) م في الترب الرملية و(1 – 1.5) م في الترب شبه الطينية الخفيفة و(3 – 5) م في الترب شبه الطينية الثقيلة.

العوامل التي تؤثر في الماء الحر:

يتأثر الماء الحر المتصل بمستوى الماء الأرضي (أو البساط المائي) بعدد من العوامل أهمها:
1- وجود الطبقات غير النفوذة (الصماء) أو ضعيفة النفاذية وعمقها وميلها.
2- قوام التربة.
3- وجود المصارف في التربة وعمقها.
4- طريقة الري المتبعة وكمية الهطول المطري السنوية وتوزعها على مدار العام.
5- كما يتأثر بارتفاع الأرض عن سطح البحر.

ينجم عن تراكم الماء الحر ورفع منسوب الماء الأرضي، العديد من الآثار الضارة التي تنعكس سلباً على تهوية التربة، وتغذية النبات وفيزيولوجيته، والنشاط الحيوي الهوائي، كما تستنزف العناصر الغذائية، وتنقل الأملاح من الأفاق السطحية للتربة، في زمن رشحه وتسربه، إلى الأفاق التحت سطحية، مما يجعله المؤثر الرئيس في تكوين الأفاق المميزة للقطاع الأرضي، ويرفع من ملوحة الآفاق السطحية عند تبخره في فصل الجفاف وبخاصةً في المناخات الجافة ونصف الجافة كالمناخ المتوسطي بشكل عام.

رطوبة التربة: Soil Moisture

تعريف رطوبة التربة: تعرَّف على أنَّها كميَّة الرطوبة الحالية إمَّا على أساس الوزن الجاف، أو على أساس الحجم، التي تحتفظ بها عينة التربة المدروسة والمأخوذة من مكان وعمق محدَّدين وفي زمن معين. فهي تتأثر بالتغيرات اليومية والفصلية وبقوام التربة وماءها الأرضي. كما أنَّها قيمة أنية تتغيَّر مع مرور الزمن بعد الري أو الهطول المطري، ولها تعابير مختلفة مثل: (رطوبة التربة الحالية بعد الري أو قبل الري أو رطوبة التربة الحالية بعد الحصاد أو قبل الحصاد أو أثناء موسم النمو.....الخ).

يتم التعبير عن محتوى التربة من الرطوبة، إمَّا على أساس المحتوى الوزني Gravimetric Water Content، أو على أساس المحتوى الحجمي Volumetric Water Content.

المحتوى الرطوبي الوزني Gravimetric Water Content: هو وزن الماء الموجود في التربة بالجرامات لكل جرام من التربة، بعد تجفيفها تماماً، (في فرن، عند درجة حرارة 105 درجات مئوية، إلى

حد التوازن). أمَّا التربة المجفَّفة في الهواء العادي، فهي تحتوي، عادةً، على بعض الماء، نتيجة لظاهرة الادمصاص على أسطح المعادن؛ وهو ما يسمى بالماء الهيجروسكوبي. ويمكن أن يتراوح المحتوى الرطوبي الوزني للتربة، في حالة التشبع، بين 25 و60% حسب المسامية؛ ويكون ذلك أعلى في التربة الطينية، منه في التربة الرملية. أما الترب العضوية Peat، فإنَّ محتواها الرطوبي الوزني، عند التشبع، فقد يزيد على 100%.

المحتوى الرطوبي الحجمي Volumetric Water Content**:**

هو نسبة حجم الماء، المحتوى في مسام التربة، إلى الحجم الكلي للتربة؛ وتتراوح نسبته في الترب الرملية المشبعة، بين 40 -50%؛ ويمكن أن يصل في الترب الطينية الثقيلة إلى 60%.

يفضَّل استخدام المحتوى الرطوبي الحجمي، على المحتوى الرطوبي الوزني للتربة؛ لأنَّه يوافق الوحدات المستخدمة في حساب عمق الماء المضاف للتربة، والوحدات المستخدمة في حساب الرشح، والتبخر، والنتح ...الخ.

طاقة مسك الماء في التربة:

يمكن التعبير عن طاقة مسك الماء في التربة: بأنَّها عبارة عن قدرة التربة على مسك الماء، والذي يعبّر عن الضغط اللازم تطبيقه على عينة تربة معينة، وذلك بهدف استخلاص كمية محددة من الماء منها.

يعبّر عادةً عن هذا الضغط بطول عمود من الماء مقدراً بالسنتميتر وله مقطع معين، ويعادل وزنه القوة اللازمة لاستخلاص الماء من التربة، وعندما يكون محتوى التربة من الماء منخفضاً جداً فإننا نحتاج إلى تطبيق ضغط يعادل ارتفاع عمود من الماء مقداره /10000000/سم، ولذلك من أجل عملية الاختصار وتجنباً لاستخدام أرقام فيها أعداد كثيرة، فقد تم أخذ مقاييس لوغاريتمية عشرية، لقيمة الضغط المطبقة والذي يدعى بالـ pF، حسب العلاقة التالية: $pF= \log_{10} H$

حيث أنَّ: H- يعبر عن طول عمود الماء مقدراً بالسنتميتر وقطره (1) سم.

تعريف الـ pF: هو عبارة عن اللوغاريتم العشري لطول عمود من الماء (مقدراً بالسنتميترات وقطره 1 سم) اللازم تطبيقه على عينة تربة بهدف استخلاص كمية محددة من الماء الممسوك حول حبيبات التربة بقوة شد محددة.

يمكن التعبير عن بعض الثوابت المائية والقوة الممسوكة بها أغلفة الماء حول حبيبات التربة إمَّا بالبار الذي يساوي (1023 سنتميتراً من الماء) وهو وحدة مترية تكاد تساوي في قيمتها واحد ضغط جوي ويؤدّي هذا التشابه، إلى استخدامهما واحداً بدلاً من الآخر، حسب الجدول (1).

الجدول رقم (1): يبين العلاقة بين الثوابت المائية مقدراً بالـ pF والضغط الجوي وبالسنتميتر

ارتفاع عمود الماء (سم)	pF	الضغط الجوي ض ج	الثوابت المائية	قوام التربة
صفر	صفر	صفر	سعة التشبع الرطوبي	
100	2	0.1	السعة الحقلية	تربة متوسطة الى رملية
346	2.54	0.33	السعة الحقلية	تربة طينية
5010	3.7	5	المكافيءالرطوبي	
15849	4.20	15	نقطة الذبول الدائم	
31623	4.5	31	المعامل الهيجروسكوبي الأعظمي	

الثوابت المائية الهامة:

تتأثَّر الخواص المائية والهيدروفيزيائية للترب بعدد كبير من العوامل، يتعلق بعضها بظروف تكوينها ((البيدولوجية)) وما يترتب عن ذلك من خواص فيزيائية و كيميائية مميزة، ويتعلَّق البعض الآخر بالظروف المناخية والبيئية السائدة المحيطة بها، وهكذا نجد أنَّ تعيين رطوبة التربة لا يكفي من أجل الوقوف على حالة نظام التربة المائي والعلاقات المتبادلة المتوقعة في نظام ((تربة- ماء- نبات))، فتبعاً لنوع التربة رملية كانت أم طينية، بودزل أو فيرتيسول ، يمكن أن تبدي هذه الترب عند محتوى رطوبي واحد، سلوكاً مختلفاً مميزاً لكل منها. ونجد في المحصلة أنَّ رطوبة التربة وجاهزيتها تتوقف على مجمل هذه العوامل، على الرغم من أنَّ بعضها قد يشكّل العامل المحدّد لطبيعة التوازن القائم بين كل من عناصر النظام ((تربة- ماء- نبات)). ومن أجل ذلك فقد تمَّ تمييز عدد من الثوابت المائية للترب التي تفيد في وصف جاهزية (تيسُّر) الماء الأرضي للامتصاص من قبل النبات، وقد اعتمد وضع هذه الثوابت على قدرة أشكال الماء وحالاته على الحركة في التربة، والطاقة التي تبذل لاستخلاص كل منها من التربة، معبراً عن ذلك بطرق شتى.

أهم الثوابت المائية :

آ ـ السعة المائية العظمى: Θmax

يطلق عليها أيضا رطوبة التشبع أو سعة حجز الماء، وهي أقصى كمية من الماء يمكن أن تحتفظ بها التربة بعد تمام طرد الهواء من فراغاتها، وحلول الماء محله، وتكون قيمة pF عند هذه الدرجة من الرطوبة مساوية إلى الصفر، لأنَّ الضغط المسلّط على العينة يساوي الصفر. ويمكن أن تصل رطوبة التربة إلى درجة الشبع اثناء الري بالرش لعدة ساعات، أو أثناء الهطل المطري الغزير الذي يزيد عن معدل نفاذية التربة، كما تصل التربة إلى الرطوبة العظمى في حالة ارتفاع مستوى الماء الأرضي لقرب سطح التربة بحيث تتشبع جميع المسامات في كامل القطاع الأرضي، فتحصل الغداقة الكاملة، وانعدام التهوية، مما تنشأ عنه ظروف بيئية أرضية غير صالحة للزراعة ولا حتى لنمو النباتات.

يمكن حساب درجة التشبع الرطوبي Sللتربة من تقسيم حجم الماء في التربة Vw إلى حجم الفراغات الكلية فيها V_f أي:

$$S=\frac{Vw}{Vf}=\frac{Vw}{Va+Vw}=\frac{Vw}{Vt-Vs}$$

وكلما اقتربت النسبة السابقة من الرقم واحد كانت التربة مشبعة بالماء، وانعدم الطور الغازي، حيث تكون المسامات الكلية مشغولة بالماء.

وقد يعبّر عن درجة التشبع الرطوبي S على أساس الوزن الجاف للتربةΘmax:

$$\Theta max=\frac{mw}{ms}=\frac{Vw.\rho w}{Vs.\rho s}$$

تتأثر سعة التشبع الرطوبي بكافة العوامل المحددة للمسامية الكلية للتربة Vf، ونجد تبعاً لذلك، عدداً من العلاقات التي تربط بين المحتوى الرطوبي الحجمي Θv وسعة التشبع S والمسامية الكلية Vf:

$$\frac{\Theta v}{Vf}=\frac{\Theta v}{1-(\rho b/\rho s)}$$

حيث Θv= المحتوى الرطوبي كنسبة حجمية المحسوبة من العلاقة التالية:

$$\Theta v=Vw/Vt$$

كما نجد العلاقة التي تربط بين محتوى التربة الرطوبي الحجمي Θrv وحجم الفراغات المشغولة بالهواء Fa ودرجة التشبع الرطوبي S التالية:

$$Fa=vf-\Theta rv=vf(1-S)$$

حيث أنَّ: Θrv = المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية كنسبة حجمية.

وتبعاً لذلك تكون سعة التشبع الرطوبي للترب الخشنة القوام أخفض بكثير من درجة تشبّع الترب الناعمة القوام كالطينية أو الطينية الطميية، ويعود ذلك إلى ضآلة قيمة المسامية الكلية vf للترب الرملية مقارنة مع الترب الطينية. أمَّا بالنسبة للترب العضوية والخثية (التوربية) فإنَّه يمكن لسعة التشبع الرطوبي أن تزيد عن الواحد (>100%) وقد تصل إلى (200 %) على أساس الوزن الجاف.

تكتسب سعة التشبع الرطوبي أهمية عملية خاصة، نظراً لارتباطها بالثوابت المائية الأخرى، فقد وجد عملياً أنَّ المحتوى المائي لتربة ما، عند درجة التشبع الرطوبي يعادل تقريباً، ضعف محتوى التربة نفسها عند السعة الحقلية، وأربعة أمثال محتواها المائي عند نقطة الذبول الدائم، وإذا ما صح ذلك، فإنه من الممكن أن نتوقع تركيزاً من الأملاح أو الذائبات في التربة يساوي على الترتيب، الضعف عند السعة الحقلية، وأربعة أضعاف عند نقطة الذبول الدائم، عما هو عليه عند سعة التشبع الرطوبي، (لعجينة التربة المشبعة) للتربة نفسها، هذا إذا اعتبر الماء كعامل تمديد أو تخفيف لتركيز تلك الذائبات في التربة.

يعتمد تعيين سعة التشبع الرطوبي للتربة، على تحضير عجينة التربة المشبعة بالماء، ثمّ حساب المحتوى الرطوبي لهذه العجينة على أساس الوزن أو الحجم الجافين للتربة.

ب – السعة الحقلية (Θr)

تعرف السعة الحقلية بأنَّها النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي الوزني Θrp أو الحجمي Θrv التي تحتفظ بها التربة بعد صرف (رشح) الماء الزائد بفعل الجاذبية الأرضية، وتباطؤ معدَّل الرشح إلى حدّ كبير، وذلك بعد مضي (24 إلى 72) ساعة على عملية الري أو هطول مطري غزير، ويمكن بلوغها في الأراضي متوسطة القوام جيدة الصرف خلال 48 ساعة في المتوسط.

عند السعة الحقلية تكون فراغات التربة الواسعة (الأكبر من 8.5 ميكروميتر) قد تمَّ صرف مائها وامتلأت بالهواء من جديد، بينما تبقى فراغات التربة ومساماتها الشعرية مملوءة بالماء. ونظراً لتباطؤ رشح ماء التربة بوضعها الطبيعي في الحقل، إلى حدّ يمكن القول معه أنَّ جفاف التربة الرطبة يعدّ ظاهرة لا يمكن أن تحدّ زمنياً، فإنَّ درجة السعة الحقلية كثابت هيدروفيزيائي تبقى قيمة نظرية صعبة البلوغ.

يبدو أنَّ الانتقال من مرحلة الصرف السريع إلى مرحلة الصرف البطيء لا يتميَّز بفترة زمنية فحسب، بل وبمحتوى رطوبي محدد أيضاً. ولقد أظهرت دراسات (Richard *et, al.*, 1956) ، أنَّه يمكن التعبير عن المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة Θv إثر عملية ري غزير بالعلاقة التقريبية:

$$\Theta v = aLt^{b} \quad \textbf{(I)}$$

حيث L: العمق المعتبر من المقطع الأرضي، t الزمن، و a b ثابتتان.

وبأخذ لوغاريتم العلاقة **(I)** آنفة الذكر نجد:

$$\text{Log } \Theta v = \log a - b \log t \qquad \text{(II)}$$

وبتوقيع Θv كتابع للزمن t نحصل على مستقيم، وتكونa مساوية:

Θv/L عند t=1 أما b فتساوي ميل المستقيم الناتج.

وبتفاضل العلاقة (I) بالنسبة للزمن t نحصل على معدل حركة الماء في الجزء (العمق) المعتبر من المقطع الأرضي:

$$\frac{d\Theta v}{dt} = _ a\, b t^{-b-1} \quad \text{(III)}$$

تتراوح النسبة المئوية للمحتوى المائي للتربة عند السعة الحقلية بين 4% للترب الرملية جيدة الصرف على أساس الوزن الجاف و40% للترب الطينية الثقيلة ويمكن أن تصل 100 % أو أكثر بالنسبة للترب العضوية. هذا وقد ربط العديد من الباحثين محتوى التربة الرطوبي عند السعة الحقلية بقوامها وبعض الخواص الهيدروفيزيائية الأخرى، منها ما أورده جرا 1971 في علاقته التي تربط بين السعة الحقلية والكثافة الظاهرية للتربة الجافة ρb والنسبة المئوية لكل من مجموعتي الطين والسلت بالعلاقة التالية:

$$\Theta_{v(f.c.)} = (0.59C + 0.16S + 5.47)\ \rho_b$$

حيث أنَّ: $\Theta_{v(f.c.)}$: السعة الحقلية معبراً عنها كمحتوى رطوبي حجمي %
C: % الطين (أقطارها< 2 ميكرومتر)
S: % السلت (2-20 ميكرومتر)
ρ_b : الكثافة الظاهرية الجافة غ/سم^3

العوامل المؤثرة في السعة الحقلية:

- قوام التربة (جدول، 2) ونوع فلز الطين السائد، ومحتواها من المادة العضوية، والمسامية، وبناء التربة، وعمق الري أو الابتلال، ووجود الطبقة الكتيمة أو الصماء غير النفوذة، والتبخر والنتح، ويلاحظ في حالة الترب ضعيفة النفاذية أو ذات المحتوى الطيني المرتفع استحالة الحصول على قيمة حقيقية للسعة الحقلية بموجب التعريف المعطى لها. ذلك أنَّ سرعة حركة الماء للأسفل ستكون بطيئة منذ بدايتها ولأنَّ هذه الحركة البطيئة يمكن أن تستمر لبضعة أيَّام بمعدَّل الرشح الابتدائي نفسه.

أهمية السعة الحقلية:

- نظرا لاستخدامها في تعيين الحد الأقصى لكمية المياه الواجب إضافتها للتربة في الرية الواحدة من أجل محصول أو زراعة معينة وبشكل تبتل معه منطقة الانتشار الجذري لذلك المحصول حيث أن ما يزيد عن مستوى السعة الحقلية لا يمكن للتربة الاحتفاظ به، فهو يرشح لأسفل وينصرف من التربة بفعل الجاذبية بعيداً عن متناول الجذور، وتنغسل معه العناصر الغذائية الذائبة فيه.

الجدول رقم (2): النسبة المئوية لرطوبة التربة عند نقطة الذبول الدائم والسعة الحقلية والماء المتاح (أو الماء الميسر) لترب مختلفة القوام

قوام التربة	نقطة الذبول الدائم %	السعة الحقلية %	الماء الميسر %
الرملية	2.3	8.5	6.2
الطميية . الرملية	4.5	14.7	10.2
الطميية	6.8	18.1	11.3
الطميية السلتية	7.9	19.8	11.9
الطميية الطينية	10.2	21.5	11.3
الطينية	14.7	22.6	7.9

طرائق تعيين السعة الحقلية

يجري تعيين السعة الحقلية في الحقل، كما يمكن إجراؤها في المختبر باستخدام جهاز الضغط ذي الغشاء بتطبيق ضغط موجب قدره 1/3 بار (346سم ماء تقريبا) أو باستخدام طاولة التوتر المائي بتطبيق ضغط سالب (تفريغ) بالمقدار السابق نفسه. وقد وجد تجريبياً أن القوة التي يحتجز بها ماء السعة الحقلية تتراوح بين 0.1 ضغط جوي أو اقل للترب الرملية والعضوية ، و0.33 ضغط جوي للترب الطينية، أي ما يعادل (100-346 سم عمود ماء التي تعادل 0.1-0.33 بار) أوpF=2 إلى F=2.50 التي تعادل 0.33 بار، إلا انه يفضل دائما من أجل حساب الاحتياجات المائية للمحاصيل والزراعات المختلفة، إجراء تعيين السعة الحقلية في الحقل وعلى مساحة لا تقل عن 2*2م وبترطيب التربة إلى عمق لا يقل عن 75 سم كجبهة ترطيب، كمجال للانتشار الجذري، و يبدو أن ترطيب التربة بالغمر يقود لنتائج أعلى قيمة من الترطيب بسرعات أدنى من معدل الرشح (التسرب).

ج- المكافىءالرطوبى :Θc

يعتبر كل من (بريجز وماكلين) أول من اقترحا استخدام هذا الثابت التجريبي، الذي يساوي في قيمته المحتوى المائي (معبّراً عنه كنسبة مئوية على أساس الوزن الجاف) الذي تحتفظ به التربة المشبعة بعد

تعرضها لقوة نابذة (طاردة مركزية) تكافىء 1000 مرة قوة الجاذبية الأرضية ولمدة 30 دقيقة، وتعادل هذه القوة (5 بار تقريباً).

تعمل قوة الطرد المركزي على استخلاص الماء من العينة الترابية المشبعة نابذة إياه إلى الحد الذي تتزن عنده مع الممال (المنحدر) الرطوبي للتربة، والذي يطلق عليه أيضاً منحدر الجهد الشعري، فمن أجل نقطة ما في كتلة التربة وعند مسافة r من محور جهاز الطرد المركزي، نجد:

$$\frac{d\varphi}{dr} = rw^2$$

حيث أن: φ - دالة الجهد

w: السرعة الزاوية

و بالتكامل من أجل قيمتين r_2،r_1 نجد:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{w2}{2}(r_1^2 - r_2^2)$$

ومن أجل اختبار صحة هذه العلاقة، فإنَّه لا مناص من تعيين المحتوى الرطوبي للتربة عند كل من φ_1 وφ_2، ومقارنتهما بالقيم التجريبية المساوية للمكافئ الرطوبي، باستخدام جهاز الطرد المركزي عند r_1 وr_2 . ومعلوم أنَّ لكتلة التربة المشبعة المعرضة لقوة نابذة ما، تأثيراً على قيمة المحتوى الرطوبي عند ثابت المكافىء الرطوبي، فكلما صغرت كتلة التربة المشبعة، ارتفعت نسبة المحتوى الرطوبي التي تحتفظ بها التربة المعرضة لتلك القوة الطاردة المركزية، كما يُلاحظ أنَّ هذه النسبة تزداد بشكل تدريجي في كتلة ترابية بدءاً من الأجزاء الداخلية نحو السطح الخارجي وتكون أعلى نسبة في طبقة ترابية قليلة السماكة من أخرى أكبر في سماكتها، عند مسافة r_1 من محور جهاز الطرد المركزي. ولقد وجد من الناحية العملية أنَّ المكافىءالرطوبي المقيَّس يعادل تقريباً المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية بالنسبة للترب الطينية ومتوسطة القوام، ويكون أدنى من ذلك بالنسبة للترب الرملية والخشنة عموماً.

د- **معامل الذبول الدائم :**Θf

يُعتبر كل من بريجز وشانتز (1912) أول من أدخلا مفهوم نقطة الذبول الدائم Permanent Wilting Point (PWP) وذلك للتعبير عن الحدّ الحرج لرطوبة التربة، الذي تبدي عنده أعراض الذبول الدائم، أمَّا معامل الذبول الدائم الذي يُقصد به النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي عند نقطة الذبول الدائم، التي لا تعود عندها النباتات المزروعة قادرة على استعادة نشاطها ونموها (باستعادة ضغط الامتلاء الطبيعي) أثر وضعها في جو مشبع ببخار الماء، دون أيَّة إضافة ماء للتربة. وفي هذه المرحلة من انخفاض المحتوى الرطوبي في التربة يكون عجز النبات عن امتصاص الماء منها تامَّاً ودائماً، حيث تكون قوة جذب (شدّ) حبيبات التربة للماء أكبر من قوة استخلاص الشعيرات الجذرية وجذبها له.

انطلاقاً ممَّا تقدَّم، فإنَّ معامل الذبول الدائم، يعدّ من الثوابت المائية الهامة لأنَّه يمثّل احتياطي الماء الغير متاح للنبات والذي يعتمد على قيمته في حساب احتياطي الماء المتاح (القابل للاستفادة) والاحتياجات المائية للمزروعات كافة.

العوامل المؤثّرة في قيمة معامل الذبول الدائم:

قوام التربة ومحتواها من المادة العضوية والظروف المناخية السائدة التي تؤثّر على معدّل التبخّر والنتح، من السطوح النباتية والأرضية، كما يلعب النبات ودرجة احتماله للجفاف والعجز الرطوبي دوراً لا يمكن تجاهله، على الرغم من اعتباره من قبل البعض (بريجز) تابعاً وحيداً لنوع التربة وخواصها، ومستقلاً عن النوع أو الجنس النباتي النامي في التربة. إلا أنَّ بعض البيولوجيين يولون نوع النبات أهميَّة خاصَّة فقد أظهر هؤلاء قدرة بعض الأنواع النباتية كالفصَّة وفول الصويا والذرة الصفراء، على استخدام احتياطي التربة المائي، إلى ما دون المحتوى الرطوبي المساوي لمعامل الذبول الدائم المقيَّس عند توتر رطوبي قدره 15 ضغط جوي (pF=4.2). وهناك أيضاً العديد من نباتات المناطق الجافة وشديدة الجفاف التي يمكنها الاستفادة من رطوبة التربة الأدنى من قيمة معامل الذبول الدائم للنباتات المزروعة أو الطبيعية

الأخرى، حتى بوجود التربة نفسها في الحالتين. وسيكون لهذه الاعتبارات شأن عظيم في أبحاث العلاقات المائية المتبادلة بين عناصر منظومة " التربة - الماء - النبات " وتطبيقاتها في المستقبل القريب سواءً على صعيد التربة وتحسين طاقة إمدادها الرطوبي، أو النبات باستخدام تقنيات الأقلمة والتحسين الوراثي بنقل العوامل الوراثية المسؤولة عن تحمّل الجفاف ومقاومة الإجهادات البيئية المختلفة، ومهما يكن من أمر فإنَّ تعلّق معامل الذبول الدائم بنوع التربة وطبيعتها أكثر من نوع النبات و طبيعته، يبقى صحيحاً على الأقل بالنسبة للنباتات المزروعة في الظروف المناخية غير الحديَّة.

يُطلق على الفرق بين قيمتي المحتوى الرطوبي عند كل من السعة الحقلية ومعامل الذبول الدائم، بالماء المتاح أو الماء القابل للإفادة كما يُطلق عليه تسميات عديدة أخرى كسعة الاحتفاظ بالماء، أو الاحتياطي الرطوبي المنتج ....الخ، إلاّ أنَّ جاهزية هذا الماء وصلاحيته للامتصاص من قبل النباتات، تقلّ إلى حدّ كبير عند ارتفاع نسبة الأملاح الذائبة في التربة، مما يؤدّي إلى رفع قيمة الضغط الأسموزي (الحلولي) للمحلول الأرضي، ويرفع بالتالي من قيمة معامل الذبول الدائم من جهة، ويخفّض المحتوى الرطوبي القابل للإفادة من جهة أخرى. وعند ذلك تبدي النباتات عجزاً واضحاً في امتصاص الماء، وتظهر عليها دلائل الذبول الدائم، في الوقت الذي تشير فيه قياسات المحتوى الرطوبي للتربة بالطرق الوزنية المباشرة إلى وجود محتوى رطوبي كافي يفوق معامل الذبول الدائم.

<u>طرائق تحديد معامل الذبول الدائم أو نقطة الذبول الدائم:</u>

يتم تحديد نقطة الذبول الدائم بطريقتين:

<u>1- الطريقة البيولوجية</u>: تعتمد على زراعة نبات ما (يؤخذ في العادة أحد نباتي البندورة أو عباد الشمس، أو الشعير أو أي محصول يراد حساب مقننه المائي) في مجموعة من الأصص، وتُترك التربة بعد تغطيتها منعاً للتبخّر، لتجف حتى ظهور دلائل الذبول الدائم للنبات النامي، وعدم تمكّنها من استعادة نضارتها وضغط امتلائها إذا ما وضعت في جو مشبع ببخار الماء، ثمَّ يجرى تعيّين المحتوى الرطوبي للتربة قرب جذور النبات المزروع.

<u>2- طريقة جهاز الضغط ذي الغشاء</u>: يتم وضع عينات التربة في جهاز الضغط ذي الغشاء، وتطبيق ضغط قدره 15 ضغط جوي (15.2 بار = 4.2 pF) ثمَّ يعيَّن المحتوى الرطوبي بعد ذلك، ويُحسب معامل الذبول الدائم على أساس الوزن الجاف.

<u>3- الطريقة الحسابية</u>: يمكن حساب معامل الذبول الدائم بعد حساب النسبة المئوية للماء الهيجروسكوبي كما يلي:

نقطة الذبول الدائم (% وزنية) = الرطوبة الهيجروسكوبية (% وزنية) * 1.5

<u>4- استخدم بعض أنواع الطين كالهيكتوريت لامتصاص ماء عينة التربة بغية تجفيفها حتى الوصول بها إلى نقطة الذبول.</u>

تجدر الإشارة في هذا المجال إلى ما يسمى **"بالذبول المؤقت "** الذي كثيراً ما يصادف في ساعات الظهيرة من الأيام الحارة، حيث يفوق معدَّل التبخّر والنتح معدّل امتصاص الجذور للماء، فتظهر علامات الذبول على أوراق النباتات، على الرغم من احتواء التربة على نسبة عالية من الرطوبة، وهذا ليس إلا عجزاً مؤقتاً في الامتصاص المائي، إذ سرعان ما يسترد النبات نضارته عند انخفاض درجة الحرارة أو بعد المغيب.

وهناك تعبير نقطة الذبول الأولية التي تشير إلى محتوى التربة الرطوبي إذا ما تم الذبول الدائم للورقتين السفليتين للنباتات التي عوملت بالطريقة الآنفة الذكر نفسها، مع استعادة باقي الأوراق العليا لنشاطها، ويُطلق على الفرق بين قيمة هذا الثابت الابتدائي المؤقت وبين معامل الذبول الدائم بمدى أو مجال الذبول.

<u>هـ- المعامل الهيجروسكوبي الأعظمي (معامل الاسترطاب):</u>

هو عبارة عن المحتوى الرطوبي على أساس الوزن الجاف الذي تحتفظ به التربة، إذا ما تُركت لتجف هوائياً، وتبلغ مرحلة الاتزان في محيط مشبع ببخار الماء (ذي رطوبة نسبية $Hr\ \% = 100p/p_0$)

وعندها يقال إنَّ التربة قد وصلت إلى الرطوبة الهيجروسكوبية العظمى وعند هذا المعامل يبلغ التوتر الرطوبي للتربة ما يقارب من 31 ضغط جوي (pF=4.5). ويتأثَّر المعامل الهيجروسكوبي بقوام التربة والظروف البيئية المحيطة، فكلما ارتفع محتوى التربة من الطين والمادة العضوية، ازداد سطحها النوعي وارتفعت قيمة معامله الهيجروسكوبي، كما يؤثّر في قيمته، كل من نوع فلزات الطين والكايتونات المتبادلة التي تتفاوت كثيراً في درجة تميؤها. أمَّا الظروف المحيطة فتؤثّر في هيجروسكوبية التربة تبعاً لرطوبة الهواء النسبية ودرجة حرارة الجو المحيطة بالتربة، فهي ترتفع مع ارتفاع الأولى وانخفاض الثانية.

يجري تعيين المعامل الهيجروسكوبي بعد ترك التربة الجافة هوائياً في جو مغلق ومشبع بالرطوبة وذي درجة حرارة ثابتة لمدة 48 ساعة على الأقل، ثمَّ تجفيفها في درجة حرارة $105^{\circ}C$ وحساب المحتوى المائي على أساس الوزن الجاف بعد ثبات الوزن.

و – الماء القابل للإفادة (الماء المتاح):

يُقصد بالماء القابل للإفادة ذلك الجزء من ماء التربة الذي يكون صالحاً للامتصاص والنمو النباتيين، ويؤخذ على أنَّه الماء الذي تحتجزه التربة فيما بين السعة الحقلية التي يمكن اعتبارها قرينة حقلية للحد الأعظمي لقابلية ماء التربة للإفادة وبين نقطة الذبول الدائمة التي تعد الحد الأدنى لجاهزية ذلك الماء. ويمثل الفرق بين الحدين الأعظمي والأصغرين، مدى ذا أهمية كبيرة في دلالته على صلاحية التربة للزراعات المختلفة في الظروف المناخية المتباينة وعلى طاقتها في الاحتفاظ بالماء وإمداد النباتات به.

يقسم الماء القابل للإفادة حسب قابليته بالنسبة للنباتات الى نوعين من الماء:

1- **الماء سهل الاستفادة** الذي يشكّل 75% أو 3/2 من الماء الكلي القابل للإفادة (الماء المتاح)، وهو يساوي الفرق بين السعة الحقلية والنقطة الحرجة أو المكافئ الرطوبي التي تكون قوة شده مقابل pF=3.7.

2- **الماء صعب الاستفادة**، وهو يساوي الفرق بين النقطة الحرجة ونقطة الذبول الدائم، أي بين pF=3.7 وبين pF=4.25.

يمكن إيجاز القوى التي يرتبط بموجبها ماء التربة عند الثوابت المائية المختلفة معبّراً عنها كقوى توتر رطوبي بالضغوط الجوية (أو البار) وبارتفاع عمود الماء بالسنتيمترات، مقابل المحتويات الرطوبية المكافئة (الجدول،3):

العوامل التي تؤثر في الماء القابل للإفادة (الماء المتاح أو الميسر)

1. القوام
2. تركيز الاملاح
3. المادة العضوية
4. بناء التربة
5. عمق التربة وتتابع طبقاتها

القوام

1. توجد علاقة طردية بين درجة نعومة التربة وكمية الماء التي تحتفظ بها التربة وهذه العلاقة ليست مستمرة تماماً بالنسبة للماء المتاح.
2. كلما زادت نسبة الحبيبات الدقيقة زادت كمية الماء المتاح الى حد معين، يبدأ بعده الماء المتاح في التناقص بزيادة الحبيبات الدقيقة (الجدول، 2 والشكل 2).
3. الأراضي الرملية تحوي كميات قليلة من الماء المتاح، بينما الأراضي الطينية تحوي كميات قليلة من الماء المتاح وكميات كبيرة من الماء الغير المتاح (الشكل، 2).

تأثير الاملاح وتأثير المادة العضوية

☐تؤثّر الأملاح على نسبة الرطوبة التي يحدث عندها الذبول المستديم فكلما زادت الأملاح تزداد نسبة الرطوبة التي يحدث عندها الذبول المستديم.

☐تؤثّر الماد العضوية على كمية الماء المتاح من خلال.

1. قدرتها العالية على الاحتفاظ بالماء (تأثيره كبير في الاراضي الرملية)
2. قدرتها على تجميع الحبيبات وتحسين بناء التربة وبالتالي زيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء (البناء مهم في معظم الاراضي)

بناء التربة:

يكون تأثير البناء على كمية الماء المتاح من خلال تأثيره على المسامية حيث ان:

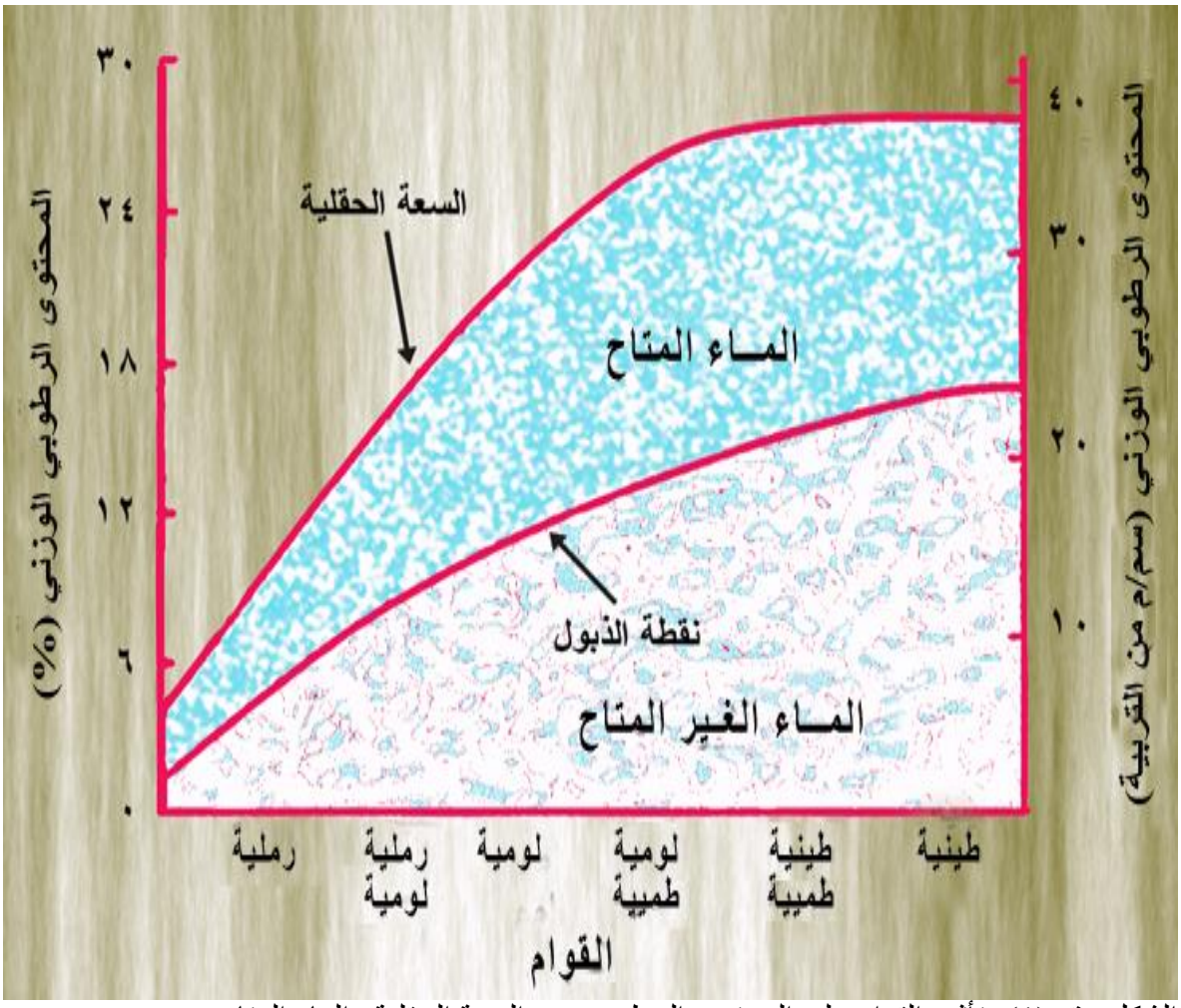
البناء الجيد يؤدي الى مسامية عالية ثمَّ قدرة عالية على الاحتفاظ بالماء وبالتالي زيادة كمية الماء المتاح

تأثير البناء على معامل الذبول < من تأثيره على السعة الحقلية

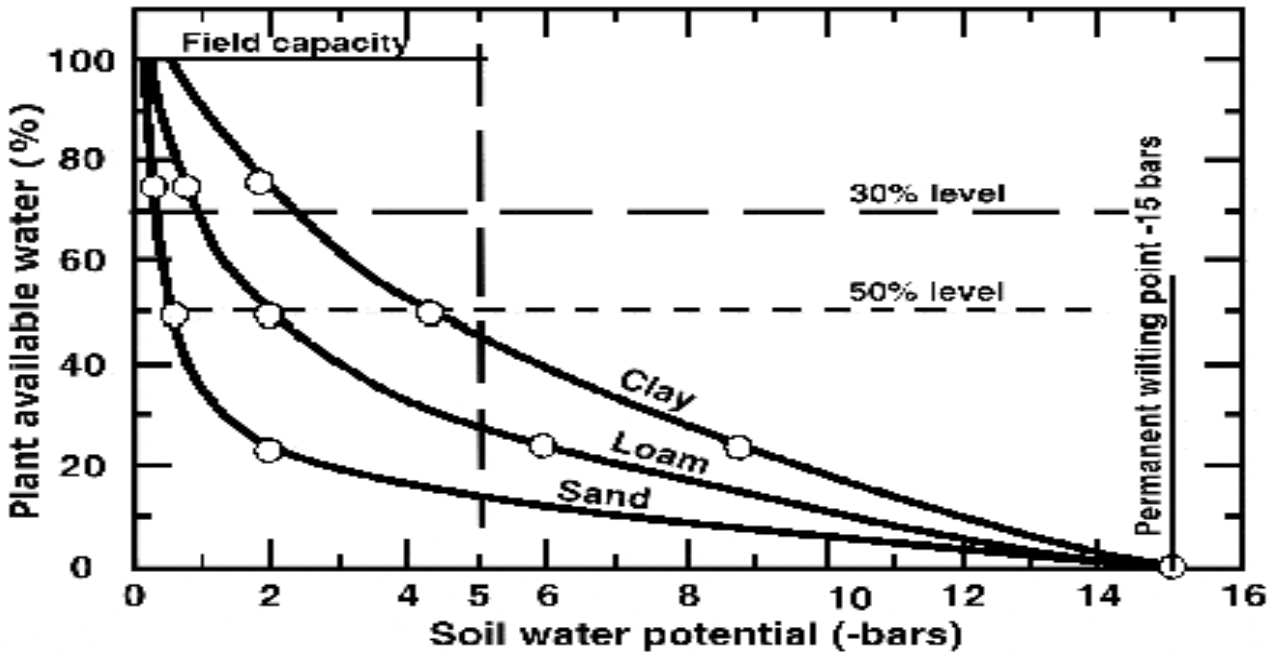
عمق التربة وطبيعة طبقاتها

- تعطي الأراضي العميقة حجماً أكبر لانتشار الجذور وبالتالي كمية كبيرة من الماء المتاح.
- تروى الاراضي الضحلة على فترات متقاربة لقلة تعمق الانتشار الجذري فيها.
- طبيعة طبقات التربة – تؤثر على الكمية الكلية للماء المتاح من خلال تأثيرها على العمق الذي يصل اليه الماء وكذلك انتشار جذور النباتات.
- لا تستطيع معظم النباتات امتصاص كل الماء المتاح، إذ إن بعضها، وخاصة خلال المراحل الأولى من نموها، لا يمكنها الاستفادة منه كله، لذلك فإنَّ الماء المتاح، يُقسم إلى:

1. ماء سهل الاستفادة Readily Available؛ وهو الجزء الخاص من الماء الشعري، المحتفظ به في مسام التربة، بقوة شد، قريبة من قوة الشد، بين السعة الحقلية (1/3 ض. ج) والنقطة الحرجة أو الماء المكافيء (5 ض.ج).
2. ماء غير متاح أو صعب الاستفادة Decreasing Available Water؛ وهو الجزء من الماء الشعري، الممسوك بقوة شد، قريبة من قوة الشد، عند نقطة الذبول الدائم (15 ض. ج).



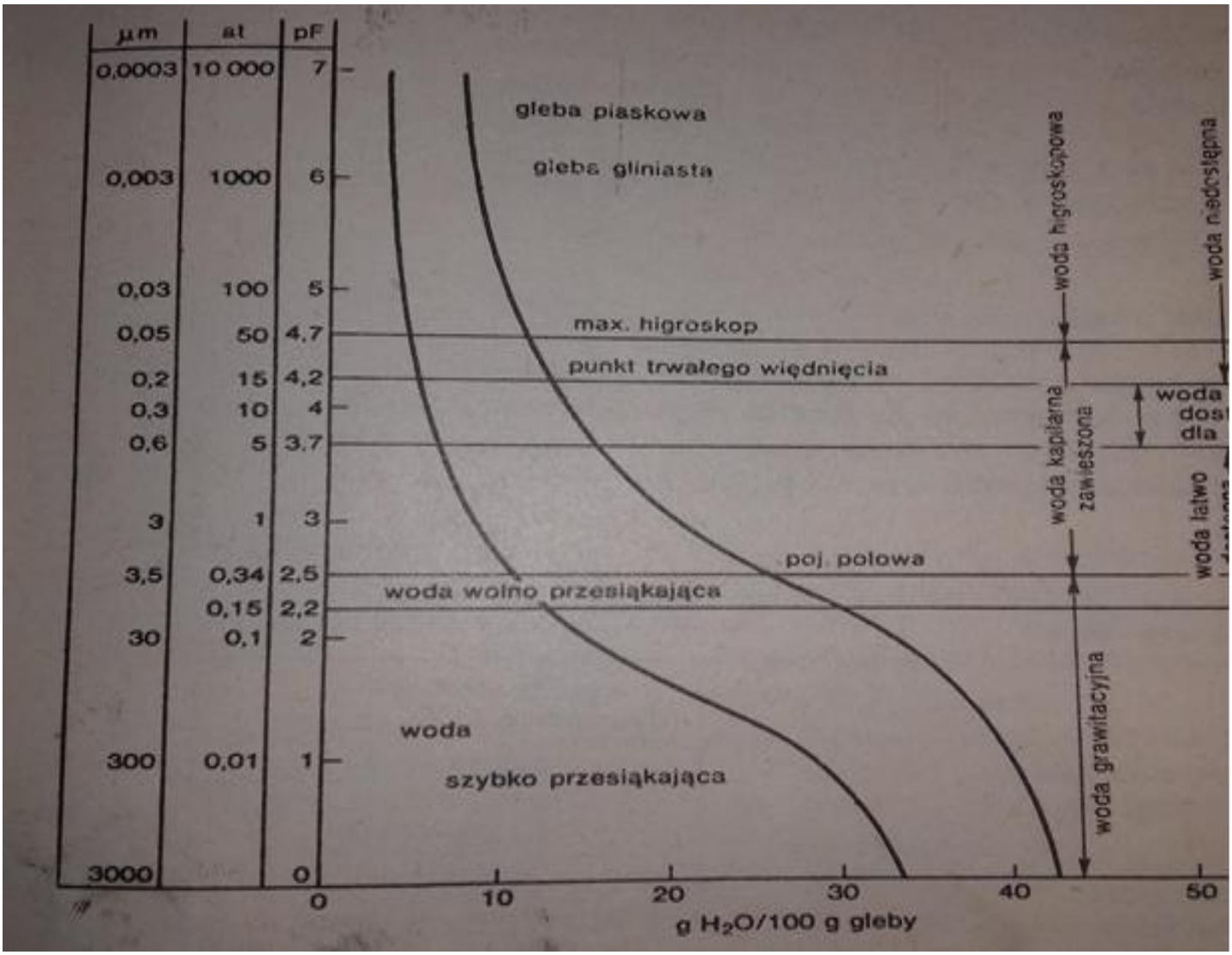
الشكل رقم (1): تأثير القوام على المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية والماء المتاح....



الشكل رقم (2): النسبة المئوية لرطوبة التربة عند السعة الحقلية، ونقطة الذبول الدائم، والماء المتاح لترب مختلفة القوام.

الجدول رقم (3): مخطط تقريبي لتصنيف ماء التربة، والتوترات الرطوبية المكافئة، والمحتويات الرطوبية المقابلة لكل منها، لتربة جيدة التحبب، ومتوسطة القوام مأخوذة من طبقة الحراثة السطحية (Foth 1985).

تصنيف ماء التربة		وحدات قياس التوتر الرطوبي		نسبة التشبع بالماء
		Atmospheres Of bars	Centimeters Of water	
-	oven dry	10.000	10.000.000	$F_{w\%}$ 0
ماء غير قابل للإفادة	الماء الهيجروسكوبي الأعظمي	(ض – ج) أو بار	سم ماء pF =7	15
		31bars	31.623	
	الماء الشعري		pF = 4.5	25
		15 bars	15.849	
الماء القابل للإفادة (المتاح)	نقطة الذبول		pF = 4.2	
	الماء الشعري			
	الماء القابل للإفادة(المتاح)			**50**
	السعة الحقلية	1/3 bars	346 pF = 2.5	
	ماء الجاذبية (مياه الصرف)			100
	درجة التشبع	0 bars	0 pF=0	



نهاية محاضرة الماء في التربة والثوابت المائية..... د. عصام شكري الخوري