الفصل الثالث

الماء والتربة

• المقدمة • خصائص التربة • ماء التربة • حركة الماء في التربة • طرق قياس ماء التربة

(٣-١) المقدمة

تعد التربة مصدر التغذية المعدنية التي تتميز بها النباتات الراقية وهي، أيضاً، المكان المناسب لنمو جذور تلك النباتات حيث تتثبت النباتات. تعتبر التربة أيضاً مرتعاً خصباً لنمو كثير من الكائنات الدقيقة وبعض الكائنات الأكبر حجما مثل دودة الأرض وبعض الحشرات وغيرها حيث تعمل هذه الكائنات على تحسين خواص التربة الطبيعية والكيميائية والعكس قد يصح أحيانا. إن هذا التأثير لتلك الكائنات في التربة له دور مهم في نمو النباتات وترعرعها ومهما يكن فإن أهمية التربة تظهر واضحة في كونها مستودع كبير للماء حيث تذوب فيه العناصر المعدنية مكونة ما يعرف بمحلول التربة الذي تمتص منه جذور النباتات حاجتها من العناصر والماء، إلا أن كمية الماء الموجودة في التربة تتحدد بعدة عوامل من أهمها خصائص ونوع تلك التربة.

obeikandi.com

(٣-٢) خصائص التربة

غالباً ما تقسم أية تربة من حيث التكوين إلى أربعة أجزاء، الجزء الأول هو ما يعرف بالمواد المعدنية أو الحبيبات الصخرية والجزء الثاني عبارة عن المواد العضوية الميتة وهذان الجزءان يكونان المادة الصلبة من التربة، أما الجزء الثالث فهو الماء وما به من مواد ذائبة أو على وجه الدقة ما يعرف بمحلول التربة، والهواء وما به من بخار ماء يكون الجزء الرابع. ويشغل الجزءان الأخيران الفراغات الموجودة في المادة الصلبة حيث تعرف هذه الفراغات باسم الفراغات المسامية للتربة، ويعتمد وجود هذه الفراغات المسامية على أهم خواص المادة الصلبة في كونها حبيبية الشكل، لذا فإن هذه الفراغات تكون متصلة ببعضها البعض بغض النظر عن حجمها الذي يتراوح في العادة ما بين ٣٠- ٦٠٪ من حجم التربة وذلك حسب نوع التربة.

في معظم أنواع الأراضي تعد المواد المعدنية أو الحبيبات الصخرية أكثر أجزاء التربة ثباتا وحجما بينما الأجزاء الثلاثة الأخرى تختلف من تربة لأخرى. إن خصائص أية تربة تعتمد على حجم حبيباتها وتوزيعها وتركيبها الكيميائي والطريقة التي تترتب بها ونوع المعادن الموجودة ومقدار ونوع الأيونات التي يمكن تبادلها وأخيرا كمية المواد العضوية المختلطة بها. ونظرا لأهمية الجزء المعدني من التربة فقد لقي اهتماما كبيرا من علماء التربة وأصبح معروفا أن أصل كل الأراضي ناتج عن عمليات التفتيت المختلفة للصخور بفعل عوامل التعرية مما ينتج عنه تكوين قطع ذات أحجام مختلفة صنفتها الجمعية العالمية لعلم التربة إلى أربع مجاميع حسب الجدول رقم (٣-١).

الجدول رقم (٣–١). مجاميع التربة وصفاتها ونسبها في بعض الأنواع.

الجزء المعدني	القطر (مليمتر)	قطر الفراغات المسامية التقريبي (ميكرومتر)	التربة الرملية (٪)	التربة الطفالية (٪)	التربة الطينية الثقيلة (٪)
الرمل الخشن	٢– ٠,٢	متغير	٦٦,٦	٢٧,١	٠,٩
الرمل الناعم	٠,٠٢-٠,٢	٣٠ أو أكثر	١٧,٨	٣٠,٣	٧,١
الغرين	٠,٠٠٢-٠,٠٢	٠,٢– ٣٠	٥,٦	٢٠,٢	٢١,٤
الطين	أقل من ٠,٠٠٢	أقل من ٠,٢	٨,٦	١٩,٣	٦٥,٨

ويتبين من الجدول نسب مكونات بعض أنواع من التربة إلا أنه تجدر الإشارة إلى أن هناك أمثلة كثيرة جدا من أنواع الأراضي تختلف في نسبة الأجزاء وليسر هناك مجال لذكرها بل يكفي ذكر أن هناك تصنيف عام لها. لا يختلف هذا التصنيف كثيرا في النمط عن التصنيف المتبع في التعرف على الكائنات الحية حيث هناك رتب والأخيرة تضم مجاميع كبيرة تدخل تحت كل مجموعة مجاميع أصغر حيث كل مجموعة تشتمل على فصائل، والفصائل بدورها تضم أنواع الأراضي وعلى سبيل المثال فقد صنفت أنواع الأراضي في الولايات المتحدة الأمريكية فتبين أن هناك ما يقارب تسعة آلاف نوع منها.

وقد تبين من الدراسات الكثيرة أن الجزء الطيني المعدني من التربة (الدقائق) يتميز بتراكيب قرصية الشكل مفلطحة تتراص فوق بعضها البعض حيث تتشكل جزيئات الماء فيما بينها. لذا فإن قلة الماء تؤثر في حجم دقائق الطين ومن هنا كان تأثير

نسبة الجزء الطيني المعدني من أية تربة حيث إنه يحدد خواص التربة كاللدونة والتماسك وكمية الماء وغيرها. على العموم يتكون جزء التربة المعدني كيميائيا من السليكات التي قد تكون من البساطة كأكسيد السليكون (الكوارتز أومن التعقيد كسليكات الألومنيوم المائية كما في الطين الذي له خاصية النظم الغروية. إن درجة اقتران الماء بدقائق الطين المعدنية تعتمد على مقدار الشحنات السطحية على تلك الدقائق والتي (أي الشحنات) تتحدد بعدد المواقع التي يمكن أن يحصل عليها تبادل بين الأيونات أو امتزاز لبعض العناصر. فعلى سبيل المثال تتكون الشحنات السطحية السالبة على الدقائق عند تبادل أيون السليكون رباعي التكافؤ (Si^{+4}) بأيون الألومنيوم ثلاثي التكافؤ (Al^{+3}) أو الألومنيوم بإحدى الأيونين ثنائيي التكافؤ المغنيسيوم (Mg^{+2}) والحديد (Fe^{+2}).

(٣-٣) ماء التربة

تحتفظ التربة بمعظم مائها في الفراغات المسامية على هيئة سائل أو غاز (بخار ماء) والحالة الأخيرة ذات أهمية قليلة بالنسبة للكائنات الحية لذا فماء التربة في الحالة السائلة جدير بالاهتمام. يعرف ماء التربة عادة بأنه كمية الماء التي يمكن فقدها عند تجفيف عينة من التربة عند درجة حرارة ١٠٥° م معبرا عنها سواء بوزن الماء منسوبا إلى وزن العينة أو حجم الماء منسوبا إلى حجم العينة. ومع ذلك فهذا التعبير لمحتوى التربة من الماء غير مجد من الناحية النباتية ومدى الاستفادة منه لأنه وحسب ما ذكر عن خواص التربة نجد عند مقارنة محتوى تربة رملية بمحتوى تربة طينية أن ما يشبع الأولى يعد في رتبة الجفاف بالنسبة للثانية وتفسير ذلك يعود لطريقة احتفاظ التربة بالماء لذا فهناك مصطلحات للدلالة على محتوى التربة المائي- سترد فيما بعد- قد تعطي صورة

obeikandl.com

أفضل بالنسبة لاستفادة النبات من ماء التربة.

وفي الحقيقة لا يوجد الماء نقيا في التربة بل يوجد ما يعرف بمحلول التربة كما ذكر آنفا حيث إن الماء الذي يتخلل التربة بعد المطر أو الري الصناعي يذيب كميات مختلفة من عدة مركبات من دقائق الصخر أو المواد العضوية (السماد) ومن ذلك فإن ماء التربة يقصد به حقيقة محلولها. ومن أشهر الطرق لتفسير كيفية احتفاظ التربة بمائها أنه عند ري التربة فإن الجزء المتبقي من الماء بعد تخلل جزء كبير منه إلى الباطن بفعل الجاذبية يبقى عالقا بالتربة حسب خواصها ومكوناتها فإذا كانت التربة لا تتقلص (أي لا يقل حجمها عند الجفاف) فإن الهواء يدخل إلى مسام التربة وتعمل خاصية التوتر السطحي على الاحتفاظ بأغشية مائية حول الحبيبات، أما إذا كانت التربة تتقلص فالهواء لا يدخل إلى تلك المسام ولكن كلما قربت حبيبات التربة من بعضها البعض فقوى التنافر بين الحبيبات تمنع تقاربها كثيرا (أي لحد التلاصق) وبالتالي يبقى حيز يحتفظ ببعض الماء فيما بين تلك الحبيبات. إن حبيبات التربة ذات طبيعة كهربائية سالبة لذا فهي تتنافر من بعضها البعض. وهناك عوامل أخرى تساعد التربة على الاحتفاظ ببعض الماء ومنها ذوبان المركبات الكيميائية من مكونات التربة وتكوين محاليل ذات أسموزية مختلفة تعمل على التقليل من سرعة فقد التربة للماء كما سيرد لاحقا عند بحث هذا الموضوع.

سبق تعريف كمية الماء التي تحويها أية تربة وذكر أن هذا التعريف ذو دلالة غير واضحة بالنسبة لما هو متاح من هذه الكمية للنبات، وقد جرت العادة باستعمال مصطلحات أخرى في محاولة لإبراز أهمية ما تحويه التربة من الماء بالنسبة للنباتات ومن هذه المصطلحات ما يلي:

١- السعة الحقلية Field capacity

تمثل السعة الحقلية (Field capacity) المحتوى المائي للتربة بعد صرف الفائض من

الماء بواسطة الجاذبية الأرضية ويحدث هذا عادة بعد يوم إلى ثلاثة أيام من نزول الأمطار أو الري، وهذا بالطبع ليس تعادلا حقيقيا ولا يدوم فترة طويلة بل هي حالة تكون فيها حركة الماء في التربة بتأثير الجاذبية بطيئة ولا تتغير القراءات المتتالية كثيرا. إن الوصول إلى مثل هذه القراءات يعتمد على عدة عوامل منها نوعية التربة وتجانسها وكذلك بعد مستوى الماء الأرضي عن سطح التربة ولكن السعة الحقلية تدل على أكبر مقدار من الماء يمكن أن تحتفظ به التربة التي تحت الدراسة بقوة الخاصية الشعرية للفراغات المسامية في التربة ضد قوة الجاذبية الأرضية ولذا يطلق عليه أحياناً بالماء الشعري (Capillary water) وهذا الماء من الأهمية بمكان بالنسبة للنبات كما سيرد لاحقا. يمكن الوصول إلى قيم متشابهة إلى حد ما لمقدار السعة الحقلية إذا ما اتبعت طرق معينة واتخذت بعض الاحتياطات كما سيرد عند ذكر طرق قياس ماء التربة ولكن كثرة المتغيرات مثل تغير المحتوى المائي للتربة مع الزمن، وأن الطبقة العليا من التربة تختلف عن الطبقة التي تليها حيث اتجاه سريان الماء من أعلى إلى أسفل بفعل الجاذبية وكذلك الاختلاف في المحتوى المائي الأصلي قبل الري وعدم تجانس التربة وما إلى ذلك يجعل الوصول إلى قيمة ثابتة لكل أنواع الأراضي صعبا إذا ما أريد الاستدلال من هذه الكمية على ما تختزنه التربة من الماء على وجه الدقة، هذا بالإضافة إلى طول الفترة الزمنية اللازمة للوصول إلى السعة الحقلية لأية تربة. كل هذا وغيره جعل العلماء يتبعون طريقة معملية تعطي قيما مقاربة لقيم السعة الحقلية وفي زمن أقل وذلك بأخذ عينة رطبة من التربة ووضعها في جهاز الطرد المركزي وتعريضها لقوة طرد مركزي تبلغ ١٠٠٠ مرة قدر قوة الجاذبية الأرضية ولمدة ٣٥ دقيقة، هذه القوة تستخلص الماء الذي لا يرتبط بدقائق التربة ارتباطاً وثيقاً وفي هذه الحالة يطلق على الماء المستخلص بالمكافئ الرطوبي للتربة. إن هذه الكمية من الماء عبارة عن قيمة متعارف عليها ولكنها في كثير

من أنواع الأراضي تقارب السعة الحقلية ما عدا الأراضي الرملية أو الطينية الثقيلة.

٢- النسبة المئوية للذبول الدائم The permanent wilting percentage

عند امتصاص ماء التربة بواسطة جذور النباتات يزداد الشد على الماء المتبقي في التربة على هيئة أغشية رقيقة تحيط بحبيبات التربة، وهذه الزيادة تستمر حتى تصل إلى نقطة لا يمكن للنبات معها امتصاص كميات كبيرة من الماء نظرا لتعادل القوى- قوة الامتصاص بواسطة الجذور من ناحية وقوى التماسك بين أغشية الماء المغلفة لحبيبات التربة من ناحية أخرى- لذا يبدأ النبات بالذبول أي أن النبات يفقد كميات من الماء عن طريق النتح أكبر مما يمتصه من التربة، وعادة يوصف النبات النامي بأنه في حالة ذبول دائم إذا ظهرت أعراض الذبول وهي تهدل الأوراق والأفرع ولم تستعد هذه الأجزاء من النبات حالتها الامتلائية السابقة حتى بعد وضعها ليلة كاملة في جو مشبع (درجة رطوبته النسبية ١٠٠٪). والنسبة المئوية للذبول الدائم (The permanent wilting percentage) تعرف بعدة أسماء أخرى منها معامل الذبول، ونقطة الذبول، والنسبة المئوية للذبول وهي أيضا تعتبر من القياسات الفسيولوجية بعكس المصطلح السابق وهو السعة الحقلية الذي يعتبر من القياسات الفيزيائية للتربة، ولكن المصطلحين يدلان على كمية الماء الموجودة في التربة، فالسعة الحقلية تدل على أعلى حد لمحتوى التربة المائي الذي تستفيد منه النباتات بينما النسبة المئوية للذبول الدائم تدل على أدنى حد من المحتوى المائي المتاح للنبات. والنسبة المئوية للذبول الدائم يعبر عنها دائما كنسبة مئوية من الوزن الجاف للتربة وقد بين العالمان بريجز و شانتز ١٩١٢م (Briggs and Shantz, 1912) من تجاربهما العديدة بأن عددا كبيرا من النباتات المختلفة تستنفد المحتوى المائي من تربة معينة إلى أن يبلغ نفس القيمة تقريبا (الجدول رقم ٣-٢) قبل أن تصل إلى حالة الذبول الدائم، ولكن القيمة تختلف باختلاف الأراضي.

obeikandi.com

الجدول رقم (٣–٢). النسبة المئوية للذبول الدائم معدله على أساس نسبي لأنواع مختلفة من النباتات (عن بريجز وشانتز ١٩١٢م (Briggs and Shantz, 1912) .

النوع	النسبة المئوية للذبول الدائم*	النوع	النسبة المئوية للذبول الدائم*
الذرة	١,٠٣	البطاطس	١,٠٦
القمح	٠,٩٩٥	كوليوس	٠,٩٩
الشوفان	٠,٩٩٥	البنجر الأحمر	١,٠٦
الطماطم	١,٠٦	الكتان	٠,٩٩
القطن	١,٠٥	النباتات المائية (عدة أنواع)	١,١٠

❖ القيم المدونة في الجدول معدلة على أساس المتوسط النسبي لعدد من التقديرات الخاصة بكل نوع.

إن هذين المصطلحين (السعة الحقلية والنسبة المئوية للذبول الدائم) استعملا كثيرا في الماضي ولا زالا يذكران في كثير من الكتب ولكن في الآونة الأخيرة بدأ العلماء باستعمال مصطلح جهد ماء التربة كما سيرد نظرا لأنه أعم وأدق ومبني على قواعد أساسية مرتبطة بعدة فروع من العلوم.

٣– ماء التربة المتاح Readily available soil water

عند ري أية تربة جافة يمكن تقسيم الماء بها حسب تأثر حركته منها ببعض العوامل الفيزيائية كالتالي:

أ) ماء الجاذبية الأرضية Gravitational water

عندما تمتلئ جميع الفراغات المسامية في التربة بالماء فإن جزءا منه يكون عالقا في

هـذه الفراغـات بقـوى ضـعيفة تتغلـب عليهـا قـوة الجاذبيـة الأرضـية وبـذلك ترشـح إلى أسفل وهذه الكمية من الماء هي ما يعرف بماء الجاذبية الأرضية (Gravitational water)، وقبل رشح ذلك الجزء فالتربة تعرف بالتربة المشبعة، وفي الغالب لا تتعدى هذه القوة ٠,٠٣٣ ميجاباسكال.

ب) الماء الشعري Capillary water

عندما يرشح ماء الجاذبية فالتربة تحوى كمية من الماء عالقة بفعل قوى التوتر السطحي وجزء الماء الذي يمكن إزالته بقوة طرد مركزي تعادل ١٠٠٠ مرة قدر قوة الجاذبية الأرضية لمدة ٣٠ دقيقة كما سبق ذكره يعرف بالماء الشعري (Capillary water) أو السعة الحقلية.

ب) الماء المقيد Hygroscopic water

بعد إزالة الماء الشعري من التربة تبقى كمية من الماء في التربة موزعة على أسطح حبيبات التربة ذات الشحنات الكهربائية سابقة الذكر وكمية الماء هذه مرتبطة بهذه الأسطح عن طريق قوى التميؤ وهذا ما يعرف بالماء المقيد (Hygroscopic water) والذي يمكن إزالته من التربة بتعريضها لدرجة حرارة ١٠٦° م.

د) ماء التبلور Crystalline water

بعد التخلص من الماء المقيد في التربة يبقى جزء قليل من الماء في الشبكة البلورية لمعادن التربة وهو ماء التبلور (Crystalline water) والذي يمكن التخلص منه بتعريض التربة لدرجات حرارة عالية قد تصل إلى ٦٠٠° م وبذا تخلو التربة من الماء.

من هذه الأجزاء لماء التربة يتاح للنباتات الماء الشعري وحسب المصطلحات السابقة هو كمية الماء التي تحويها التربة ما بين السعة الحقلية والنسبة المئوية للذبول

الدائم، وبالطبع تختلف كمية هذا الماء ومداه حسب نوع التربة التي ينمو عليها النبات، ففي التربة الرملية يضيق هذا المدى ويبلغ أقصى اتساعه في الأراضي الطينية شريطة أن يكون تركيز الذائبات قليلا إلى حد ما (في حدود بضعة ضغوط جوية) أما إذا كان تركيز الذائبات كبيرا (قد يصل في بعض الأراضي القلوية والملحية إلى ١٠٠ من الضغوط الجوية) فهذا يقلل من الماء المتاح للنبات ومن هنا كان التعبيران (السعة الحقلية والنسبة المئوية للذبول الدائم) غير كافيين ويشوبهما بعض النقص لذا وفي محاولة لتفادي ذلك ظهرت بعض المصطلحات الأخرى مثل نقص الضغط الانتشاري لمحلول التربة والجهد الكيميائي لمحلول التربة. وسيجري الحديث عن الأخير لتفادي الالتباس لدى القارئ ولأن لجنة الجمعية العالمية لعلوم التربة قد أقرته عام ١٩٦٣م نظرا لما له من مميزات كتوحيد للمصطلحات بين فروع العلم ووضعها على أساس متين ومناسب للاستعمالات الحقلية والوصول إلى تفاهم تام ومعرفة عامة مبنية على قوانين الديناميكا الحرارية، إلا أن المصطلح القديم سيذكر في التعاريف للمقارنة.

٤- الجهد الكيميائي لماء التربة The chemical potential of soil water

دأب علماء فيزياء التربة في مطلع القرن العشرين الميلادي على استعمال قوانين الديناميكا الحرارية والمصطلحات المستخدمة فيها وفي الكيمياء الفيزيائية في دراساتهم الأساسية لماء التربة. ومن ثم بدأ الاتجاه باستعمالها مع مرور الزمن بواسطة الكثيرين [لمزيد من المعلومات عن الناحية التاريخية لتطور هذا الاستخدام انظر المراجع في كتابي سلاتير ١٩٦٧م (Slatyer, 1976) و كريمر ١٩٦٩م (Kramer, 1969)]. ويعد استخدام هذه المصطلحات بالنسبة لعلماء فسيولوجيا النبات ذا أهمية كبيرة نظرا لأنها توحد المفهوم بين فروع العلوم وبالتالي تؤدي إلى مفهوم أفضل بالنسبة لحركة موارد النباتات المائية وتيسرها لكي يؤدي النبات وظيفته، وبذا يكون هناك تطبيق مشترك في المجالين الإحيائي والفيزيائي.

إن مـصطلح جهـد المـاء ذو مفهـوم قياسـي بالنـسبة لفـروع العلـوم ويطبـق هـذا المـصطلح علـى المـاء الموجـود في التربـة وكـذلك الموجـود في النبـات بحيـث يـضم جميـع المكونات والعوامل التي تـؤثر في حركـة المـاء. ويرجـع اسـتخدام هـذا المـصطلح لأول مـرة بالنـسبة لمـاء التربـة إلى العـالم بكنجهـام ١٩٠٧م (Buckingham, 1907) عنـدما اسـتعمل مصطلح الجهد الشعري (Capillary Potential) وتلاه العـالم ادلفـسن ١٩١٤م (Edlefsen, 1914) واقـترح اسـتخدام الطاقـة الحـرة الكامنـة (Specific free energy) للدلالـة علـى مـا يعرف الآن بجهد ماء التربة. إن الطاقة الحرة أو ما يعرف بطاقة جبز الحـرة لأي نظـام، مـا هي إلا تعبير عن مقدرة هذا النظام أو أحد مكوناتـه لأداء شـغل، حيـث إن الطاقـة الحـرة لأية مادة تعتمد على متوسط الطاقة الحرة لجزيئات ذلك النظام أي الكسر الجزيئي للمادة. فبالنسبة للماء في أية نظام، طاقته الحرة يعبر عنها بجهـد المـاء الكيميـائي الـذي يعـادل في الوقت نفسه طاقة جبز الحرة الجزئية لمجموع جزيئات المـاء في ذلـك النظـام، وكلمـة الجهـد مبنية في الأساس على الطاقة لكل جزيء في الديناميكا الحرارية واستعمالها في هذا المجـال تُبقى على مفهوم الطاقة ولكن جهد الماء قد يكون له أبعاد الضغط.

يعادل الجهد الكلي للماء في أية نظام الجهد الكيميائي للمـاء النقـي معـدلا لتلـك القوى التي تغير من جهد الماء في ذلك النظام. والقـوى المؤثرة في جهـد المـاء هـي وجـود الذائبات أو وجود مواد يمتز عليها الماء أو يرتبط بها أو وجـود قـوة شـد (ضـغط سـالب) أو انخفاض في درجة الحرارة حيث يقـل جهـد المـاء بأحـدها أوبهـا جميعـا، بينمـا يـزداد جهــد المــاء بزيــادة درجــة الحــرارة أو وجــود الــضغط الموجــب ســواء الجــوي أو الهيدروستاتيكي (كما في خلايا النبات والضغط الجداري بها).

إن قياس الجهد المطلق غير ممكـن ولكـن كمـا في حالـة الطاقـة الحـرة يمكـن قيـاس فرق الجهد لنظام معين عندما يتغير (أي فرق الجهد بين وضعين) والوحدات المستخدمة

هي وحدات طاقة (أرج/ جزئي) مع أنه قد جرت العادة بالنسبة للخلايا أن تستعمل وحدات الضغط ومن السهل تحويل وحدات الطاقة إلى وحدات ضغط (الداين/ سم ^{٢}) ويمكن التعبير عن الوحدة الأخيرة بالوحدات الدولية الميجاباسكال أو الوحدات الأكثر شيوعا وهي البار أو الضغوط الجوية (٠,١ ميجاباسكال =١ بار =٠,٩٨٧ ضغط جوي= ١٠ $^{-٦}$ داين/ سم ^{٢}) (انظر الجدول رقم ١ من الملحق رقم ٤).

إن الجهد الكلي لمحلول التربة والذي يرمز له بالرمز (Ψ) هو جهد الماء النقي معدلا بحيث يحتسب تأثير العوامل الأخرى وهي الجهد الأسموزي (Ψ_s) نتيجة لوجود الذائبات وجهد الجاذبية (Ψ_z) والجهد الشعري أو الجهد الذي تسببه قوى التجاذب بين جزيئات الماء والمواد الصلبة في التربة (الدقائق) (Ψ_m) وجهد الضغط (Ψ_p) الناتج عن ضغط الغازات الخارجية. والمعادلة المعبرة عن ذلك هي المجموع الجبري لكل هذه العوامل.

$$\Psi = \Psi_s + \Psi_z + \Psi_m + \Psi_p$$

وقد اعتاد بعض الباحثين على إطلاق مصطلح الإجهاد الكلي لماء التربة (Total soil-moisture stress) وهذا المصطلح صنو لمصطلح آخر عند آخرين وهو قوة المص الكلية للتربة (Total suction) ولكن هذان المصطلحان يمثلان فقط الجهد الأسموزي والجهد الشعري لماء التربة.

في الفقرات السابقة ذكر العديد من المصطلحات الجديدة المتعلقة بالجهد الكيميائي لماء التربة ولعله من المفيد إيراد ما تعنيه تلك المصطلحات حسب تعريف لجنة علوم التربة الدولية (أسلينج ١٩٦٣ م ؛ Asling, 1963) كما يلي :

١) المحتوى المائي Water content

هذا المصطلح يستعمل للتعبير عن كتلة (أو حجم) الماء في وحدة الكتلة (أو

الحجم) للتربة الجافة. ويعنى بالتربة الجافة عادة أن التربة قد جففت في فرن عند فى رجة حرارة ١٠٥°م حتى وصلت إلى وزن ثابت. ويعبر عن المحتوى المائي (Water content) عادة كنسبة مئوية. يعبر عن محتوى التربة المائي الحجمي بالسم^{3} من الماء لكل سم^{3} من التربة. ورمز المحتوى المائي (θ).

ب) الجهد الكلي لماء التربة Total potential of soil water

ماء التربة عرضة لعديد من حقول القوى وهذه القوى ناشئة عن وجود المواد الصلبة والمواد الذائبة وضغط الغازات وحقل الجاذبية الأرضية كما سبق ذكره ويمكن التعبير عن هذه التأثيرات كميا طبقا لقوانين ومصطلحات الديناميكا الحرارية ويتم ذلك بتعيين جهود لكل مؤثر ومجموعها الجبري يعتبر الجهد الكلي لماء التربة، ويمكن التعرف على مثل هذه الجهود عن طريق طاقة جبز الحرة لجزيئات الماء في كل جهد منسوبا إلى الماء النقي الحر عند درجة الحرارة نفسها، وعندئذ فهذا يمثل مقدرة ماء التربة لأداء شغل منسوبا لمقدرة الماء النقي عند درجة الحرارة نفسها لأداء الشغل، أي هي مقدار الشغل اللازم بذله لكل وحدة كمية من الماء لنقل كمية من الماء متناهية الصغر من مستودع ماء نقي عند ارتفاع معين إلى ماء التربة عند نقطة أخرى وبكون النقل عكسيا وعند درجة حرارة ثابتة. في العادة، يعبر عن ذلك بوحدات الطاقة لكل وحدة كتلة أو وحدة حجم أو جزيء، والرمز المقترح للجهد الكلي لماء التربة هو (Φ).

جـــ) جهد الماء Water potential

إن هذا المصطلح هو المصطلح السابق نفسه ولكن عند ارتفاع ثابت أي أنه لا يشتمل على مصطلح جهد الجاذبية، لذا فإن تعريف جهد الماء بالمقارنة مع تعريف الجهد الكلي لماء التربة يمثل مقدار الشغل اللازم لنقل كمية الوحدة من الماء من مستودع

الماء النقي الحر إلى نقطة في نظام ماء التربة عند الارتفاع نفسه. وفي العادة يرمز لجهد الماء بالرمز (Ψ).

د) الجهد الأسموزي (الذائبات) Osmotic (solute) potential

يعرف الجهد الأسموزي [Osmotic (solute)potential] بمقدار الشغل اللازم بذله لكل وحدة من الماء النقي وذلك لنقل كمية من الماء متناهية الصغر من مستودع الماء النقي عند ارتفاع وضغط جوي معينين إلى مستودع به محلول مماثل لمحلول ماء التربة عند نقطة أخرى ولكن هذه النقطة مشابهة تماما لمستوح الماء النقي، والنقل عكسي وعند درجة حرارة ثابتة. والجهد الأسموزي يساوي ما يعرف بالضغط الأسموزي للمحاليل مع اختلاف الإشارة (أي سالب القيمة) حيث لكل منهما الوحدات نفسها ويرمز للجهد الأسموزي بالرمز (Ψ_s).

هـ) جهد الجاذبية Gravitational potential

وجهد الجاذبية (Gravitational potential) هو مقدار الشغل اللازم بذله لكل وحدة من الماء النقي وذلك لنقل كمية من الماء متناهية الصغر من مستودع به محلول مشابه في التركيب لمحلول التربة عند ارتفاع معين وضغط جوي ثابت لتلك النقطة إلى نقطة مشابهة عند الضغط نفسه ولكن الارتفاع مختلف، والنقل هذا عكسي وعند درجة حرارة ثابتة. والرمز المقترح هو (Ψ_z).

و) جهد المادة (الشعري) Matric (capillary) potential

وهو مقدار الشغل اللازم بذله لكل وحدة من الماء النقي وذلك لنقل كمية من الماء متناهية الصغر من مستودع به محلول مشابه في التركيب لمحلول التربة عند ارتفاع وضغط غازي خارجي إلى ماء التربة الذي يقع عند ارتفاع وضغط غازي خارجي

obeikandl.com

والنقل عكسي وعند درجة حرارة ثابتة. إن هذا الجهد يعادل مصطلح ضغط المادة مع اختلاف الإشارة حيث لكل منهما الوحدات نفسها، والرمز المقترح (Ψ_m).

ز) جهد الضغط Pressure potential

ويقصد به الجهد الناجم عن تغيرات الضغط الخارجي ورمزه (Ψ_p)، ويعرف بمقدار الشغل اللازم بذله لكل وحدة من الماء النقي وذلك لنقل كمية من الماء متناهية الصغر من مستودع ماء نقي على ارتفاع معين وعند الضغط الجوي إلى مستودع ماء مشابه تماما لماء التربة ما عدا أنه تحت الضغط الجوي الخارجي، والنقل هنا عكسي وعند درجة حرارة ثابتة. إن جهد الضغط هذا يعادل مصطلح الضغط الكلى حيث الوحدات متشابهة.

ح) قوة الامتصاص أو المص الكلي Total suction

وبقصد بها الضغط السالب منسوبا لضغط الغاز الخارجي على ماء التربة الذي يتعرض له مستودع ماء نقي لكي يحدث تعادل ما بين الاثنين حيث هما مفصولان بغشاء شبه منفذ. وبذا فإن المص الكلي يعادل قوة الشد الناتجة عن وجود دقائق التربة وقوة الشد الناتجة عن وجود الذائبات. وبالإمكان اشتقاق قوة الامتصاص الكلي عن طريق قياس الضغط الجزئي لبخار ماء التربة الذي في حالة تعادل مع ماء التربة. على أن هناك طريقة لتعريف هذا المصطلح عن طريق جهد الماء السالب المعرف سابقا عند إهمال جهد الضغط لضآلة اختلاف الضغط الجوي، على أن وحدات قوة الامتصاص أو المص الكلي هي وحدات الضغط مثل داين/ سم^2 أو البار أو الضغوط الجوية والأفضل بالوحدات الدولية الميجاباسكال وهذا المصطلح مشابه تماما لمصطلح الإجهاد الكلي لماء التربة السابق ذكره.

obeikandl.com

(٣-٤)حركة الماء في التربة

يعد معدل نفاذ الماء داخل التربة من الأهمية بمكان عند نزول الأمطار أو الري، ومع اختلاف الأراضي وعدم تجانسها فإنه عند ري تربة متجانسة فالماء ينتقل من أعلى إلى أسفل ويمكن تمييز خمس مناطق متتالية من أعلى إلى أسفل كالتالي:

١- منطقة التشبع والتي تمثل نحو ١,٥ سم من التربة.

٢- منطقة انتقالية وتمثل نحو ٤,٥ سم من التربة.

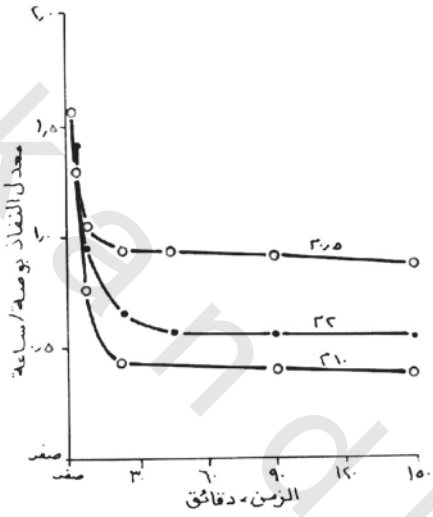
٣- منطقة نفاذ الماء الرئيسية حيث تغير المحتوى المائي بها قليل وانتقال الماء ناتج عن تأثير الجاذبية.

٤- منطقة الابتلال حيث تغير المحتوى المائي بها سريع.

٥- منطقة مقدمة الماء حيث ممال المحتوى المائي بها كبير ويمثل الحدود المرئية لنفاذ الماء في تلك التربة واعتمادا على كمية الماء يتحدد عمق منطقة نفاذ الماء الرئيسية حيث تمثل هذه المنطقة جزء التربة غير المشبع والذي به المحتوى المائي وجهد ماء التربة متجانس أما جهد المادة (الشعري) فيكون عاليا وأكبر من-٠,٠٠٢٥ ميجاباسكال ودرجة تشبع الفراغات المسامية قد تصل إلى ٨٠٪. إن معدل نفاذ الماء لهذه المناطق يعتمد على كمية الماء ويقل مع الزمن ولذا يمكن الوصول إلى قيمة ذات حد أدنى في مثل هذه التجارب وللأغراض التجريبية فمعدل النفاذ يقاس بوحدات (سم/ الساعة) مع أنها حقيقة تمثل كمية الماء الكلية النافذة لتلك التربة في زمن معين.

هناك عدة عوامل تؤثر في معدل نفاذ الماء في التربة ومنها محتوى التربة المائي الابتدائي (أي قبل نزول المطر أو الري) ونفاذية سطح التربة وخواص التربة الداخلية (كحجم المسافات المسامية) ودرجة تمدد التربة ومقدار المواد العضوية وتعاقب الري أو المطر وأخيرا درجة حرارة التربة. إن دراسة هذه العوامل كل على حده مهم من الناحية

التطبيقية في مجال الزراعة وإدارة المراعي والمحافظة على التربة من التأثير المدمر للجريان السطحي، وكمثال لتأثير العوامل يتضح من الشكل التالي (الشكل رقم ٣-١) تأثير المواد العضوية في التربة ونشاط الجذور لنبات منعزل على معدل نفاذ الماء في التربة. لذا نجد أنه تستخدم بعض بقايا النباتات بإضافتها للتربة لتحسين نفاذية التربة السطحية.



الشكل رقم (٣–١). معدل نفاذية الماء لتربة طينية على أبعاد متباينة من شجرة سلم معزولة حيث تـأثير وجود الجذور ظاهر في سرعة معدل النفاذية بالقرب من تلك الشجرة.

المصدر: (Slatyer, 1962).

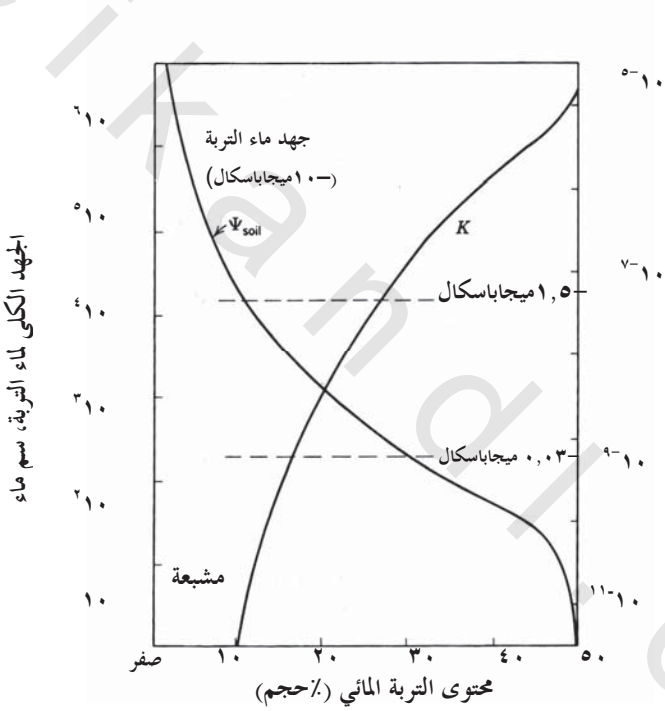
أما حركة الماء داخل التربة فلا تتحكم فقط في معدل نفاذ الماء بل وفي مقدار الماء المتاح لجذور النباتات، وبالصيغة التقليدية يتدفق ماء التربة السائل في الفراغات المسامية تحت تأثير الجاذبية أو عبر الأغشية المحيطة بدقائق التربة تحت تأثير قوي التوتر السطحي ولكن الماء ينتقل كبخار ماء في الفراغات المسامية تحت تأثير فروق الجهد، وبذا ففي

جميع الحالات فالماء ينتقل في التربة عبر ممالات جهد الماء ولو أن هذه الممالات في الجهد ناتجة عن مكونات مختلفة للجهد الكلي لماء التربة، من الناحية النظرية يستخدم قانون دارسي (Darcy`s law) لوصف حركة الماء السائل في التربة والذي ينص على أن كمية الماء المارة عبر مقطع من التربة يمثل الوحدة يتناسب عكسياً مع الفرق في الجهد الكلي لماء التربة. ورياضياً:

$$V = -K \frac{\Delta \Phi}{\Delta Z}$$

حيث (V) تمثل سرعة التدفق بالسنتيمتر/ الثانية و(ΔZ) هي سمك القطاع (عمق التربة) و(Φ) هي الجهد الكلي لماء التربة و (K) التوصيلية الهيدروليكية (توصيلية السائل المتحرك) (Hydraulic conductivity) ويعبر عنها بالسنتيمتر/ الثانية. وتختلف قيم هذا المعامل كثيرا حيث تتراوح بين أقل من ٠,٠٠٢٥ سم/ الساعة في التربة ذات النفاذية البطيئة إلى أكثر من ٢٥ سم/ الساعة في التربة ذات النفاذية السريعة وذلك بسبب اختلاف الجهود المكونة للجهد الكلي لماء التربة. وهذا المعامل مؤشر جيد لمقدرة التربة على الاحتفاظ بماء يكفي لنمو النباتات إذا لم يكن هناك مركبات ذائبة بشكل غير عادي، فالتربة ذات التوصيلية الأكبر من ٢٥ سم/ الساعة لا تستطيع الاحتفاظ بماء يكفي لنمو المحاصيل عليها. والعلاقة بين هذا المعامل والجهد الكلي لماء التربة ومحتوى التربة المائي مبينة في الشكل رقم (٣-٢) كمثال لتغير قيم التوصيلية الهيدروليكية مع الجهد الكلي لماء التربة حيث تتناقص التوصيلية مع تناقص الجهد ولذا فحركة الماء في الأراضي الجافة تتوقف تقريبا عندما يكون الجهد في حدود-١,٥ ميجاباسكال حيث تبدأ عملية انتقال الماء على هيئة بخار. والمجال لا يتسع لشرح جميع العوامل المؤثرة في حركة الماء في التربة ولكن من المهم ذكره أنه عند وجود فروق في درجة الحرارة بين سطح التربة والمناطق العميقة منها والتي بها ماء فإن كمية من الماء تنتقل من أسفل

التربة إلى السطح أو العكس حسب الفروق في درجة الحرارة المرتبطة بالفصول السنوية، والانتقال هنا غالبا يكون على هيئة بخار ماء سواء أكانت التربة جافة أو أن بها مناطق صغيرة تحوي كمية بسيطة من الماء السائل حيث في الحالة الأخيرة يتكاثف بخار الماء على أحد الأسطح ويتبخر من السطح الآخر لتلك القطرة. ويحدد منسوب الماء الأرضي حركة الماء إلى أعلى في التربة فإن كان على عمق متر تقريبا فإن حركة الماء من ذلك المنسوب إلى أعلى تكفي لزراعة محصول عليه.



الشكل رقم (٣-٢). تناقص قيم التوصيلية الهيدروليكية (K) وجهد ماء التربة (ϕ) مع تناقص محتوى التربة(نسبة مئوية لحجم التربة) لتربة بولو الغريانية الخفيفة.

المصدر: (Philip, 1957).

obeikandl.com

(٣–٥) طرق قياس ماء التربة

في حجم هذا الكتاب لا يمكن بأية حال من الأحوال تغطية كل الطرق المتبعة لقياس ماء التربة ولكن يمكن إعطاء مقدمة لأشهر الطرق مع التركيز على القواعد الأساسية لبعض الطرق ومجال استعمالاتها وبعض مساوئها دون إعطاء شرح مفصل كامل والقارئ يمكن أن يستنير بالعديد من المراجع في بعض الكتب المتخصصة في طرق قياس ماء التربة مثل تيلور وآخرون ١٩٦١م (Taylor *et. al*., 1961) والمراجع المذكورة في ذلك الكتاب و كريمر ١٩٦٩م (Kramer, 1969) وغيرهم.

١– قياس محتوى التربة المائي

لا شك أن طريقة تعيين محتوى التربة المائي مباشرة لعينات من التربة هي الطريقة الأكثر شيوعا إلا أن المحتوى المائي للتربة متغير في الأراضي، لعدم تجانسها ويفضل كثير من العلماء وخاصة العاملون في الحقل طرق قياس غير مباشرة تسمح لهم بتكرار القياسات دون تغيير لتركيب التربة الأصلي وذلك نظرا للجهد الكبير المطلوب لجمع عينات كثيرة أو أن تكون التربة صخرية أو غير ذلك. ويعتمد اختيار الطريقة على الهدف أو الغاية من تلك التجارب على أية حال فإن من أهم الطرق ما يلي:

١) طريقة الوزن (أو الحجم)

تتطلب هذه الطريقة جمع عدة عينات في أوعية خاصة ذات حجم معلوم أوفي أنابيب العينات ومن ثم إزالة الماء من تلك العينات عن طريق تجفيفها في الفرن عند درجة حرارة ١٠٥°م حتى تصل العينة إلى وزن ثابت تقريبا. إلا أن هذه الطريقة تتطلب وقتا طويلا، لذا فهناك عدة وسائل للإقلال من الفترة الزمنية كإضافة الكحول الميثيلي إلى العينة ومن ثم قياس التغير في الكثافة النوعية للكحول بواسطة مقياس الماء

(Hydrometer) وهناك طريقة أخرى وهي إضافة كربيد الكالسيوم الذي يتفاعل مع ماء التربة مكونا غاز الاستيلين ومن ثم حساب محتوى التربة عن طريقة نقص وزن العينة مضافا لها وزن كربيد الكالسيوم. وعلى أية حال حتى الآن لم تكن إحدى هذه الطرق شائعة على المستوى العلمي المطلوب مثل التجفيف في الأفران ويعبر عن محتوى التربة المائي كوزن للماء بالجرام/ جرام من التربة المجففة أو كوزن للماء بالجرام/ سم^{3} من التربة المجففة. ومثل هذا التعبير ليست له دلالة فسيولوجية بالنسبة للنبات إلا إذا قرنت النتيجة بجهد ماء التربة أو السعة الحقلية والنسبة المئوية للذبول الدائم كما سبق ذكره.

ب) الطرق غير المباشرة لقياس محتوى التربة المائي

وفي هذه الطرق يجب أن يكون هناك منحنى قياسي للرجوع إليه بعد القياسومن أشهر هذه الطرق:

١- طريقة تشتيت النيوترونات

وتعتمد هذه الطريقة على خاصية ذرات الهيدروجين في إبطاء وتشتيت النيوترونات السريعة ولذا فقياس مقدار النيوترونات المبطئة بالقرب من نقطة انطلاقها يدل على كمية ذرات الهيدروجين في تلك النقطة وحيث إن أكبر مصدر في التربة لذرات الهيدروجين هو الماء، لذا فإن هذه الطريقة تقدر كمية الماء الموجودة في تلك التربة. وفي الأراضي التي تكثر فيها جذور وبقايا النباتات فإن الهيدروجين الداخل في تركيب تلك المواد العضوية قد يؤثر في التقدير ولكنه من الضآلة بمكان بحيث يمكن إهماله نظرا لما لهذه الطريقة من محاسن مقارنة بالطرق الأخرى ككبر حجم العينة الممسوحة بهذه الطريقة (دائرة قطرها نحو ٢٠ سم) على أن هذه الطريقة لها بعض المساوئ كعدم المقدرة على تقدير ماء التربة الذي بالطبقة العلوية (أي لا بد وأن يكون

المسح على عمق ٢٠ سم من سطح التربة تقريبا) إلا باتخاذ احتياطات خاصة مما يزيد نسبة الخطأ ومن ناحية أخرى هناك بعض العناصر مثل الكلورين والحديد والبورون تتداخل في التأثير مع الهيدروجين في إبطاء النيوترونات المعجلة.

٢- طريقة امتصاص أشعة جاما

تتغير كمية الأشعة المارة بعينة من التربة مع تغير المحتوى المائي لتلك العينة إذا كانت هذه العينة من النوع الذي لا يتقلص أو يتمدد بدرجة ملحوظة وتعتبر هذه الطريقة مناسبة لقياس محتوى التربة المائي المار في عمود من عينة التربة ولا يمكن الاعتماد عليها إلا إذا كانت كثافة التربة لا تتغير كثيرا مع تغير المحتوى المائي.

٣- طريقة السعة الكهربائية

تستغل هذه الطريقة إحدى خواص الماء وهي ثابت العزل الكهربائي العالي حيث هو أكبر من ذلك للتربة الجافة ولذا فأي تغير في محتوى التربة المائي ينعكس على سعتها الكهربائية وفي الأساس تستغل هذه الطريقة في تقدير كمية الماء في الحبوب والدقيق والأطعمة المجففة وكثير من المنتجات الصناعية وقد حاول علماء التربة في تطبيقها لتقدير كمية الماء في التربة حيث إنها من الناحية النظرية ذات مجال واسع ولكن حتى الآن لم ينتشر استعمالها عمليا نظرا لكثرة الأخطاء الممكنة وخاصة تأثير ملامسة الإلكترود للتربة وعدم الحصول على قيم يعتد بها نظرا لصعوبة الحصول على قراءات ثابتة.

٤- طريقة التوصيلية الحرارية

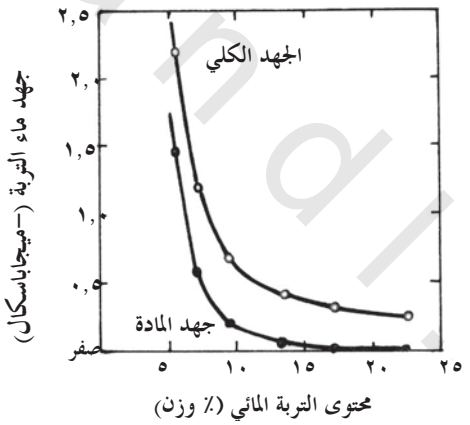
من الحقائق الشائعة إن توصيل التربة الحراري يقل مع قلة محتواها المائي لذا فقد أمكن تصميم مصدر حرارة يغمر في التربة ومن ثم يسخن بالتيار الكهربائي بعده يقاس

معدل تبدد الحرارة من ذلك المصدر حيث يختلف ذلك باختلاف المحتوى المائي وهذه الطريقة لا تتأثر بتركيز الأملاح في التربة وأحسن ما تفيد هذه الطريقة في التربة الرطبة وكذلك التربة الرملية التي لا تتقلص مع الجفاف.

مما تقدم يتضح أن كل طريقة لها ظروف أنسب من غيرها أحيانا لذا فاختيار الطريقة تحدده ظروف التجربة العامة.

٢- قياس جهد ماء التربة

من الممكن تقدير جهد ماء التربة من الطرق السابقة وهي طرق قياس المحتوى المائي للتربة وذلك عند وجود رسم للعلاقة بين الاثنين أو بين المحتوى المائي للتربة وجهد المادة كما في الشكل رقم (٣- ٣).



الشكل رقم (٣-٣). العلاقة بين جهد الماء الكلي وجهد المادة لتربة تتكون من خليط من الرمل والطفل والمواد العضوية (Peat)، والمادة العضوية تؤثر بالطبع على مكون الجهد الكلي وهو الجهد الأسموزي.

المصدر: (Newman, 1966).

معظم الطرق المستخدمة لقياس جهد ماء التربة تتناسب في الحقيقة مع الاختبارات المعملية أوفي البيوت الزجاجية ولكن هناك طريقة نشرها العالم ريتشاردز ١٩٦٥م ب (Richrds, 1965b) من الممكن أن تؤدي إلى طريقة حقلية لقياس جهد ماء التربة. وتتلخص هذه الطريقة في استعمال سطحين مساميين متشابهين ومسخنين لدرجة حرارة معينة إلا أن أحدهما به ماء فحرارة كل من الاثنين سترتفع إلى حد معين ولكن ستكون درجة حرارة السطح الجاف أعلى أما السطح الرطب فستثبت درجة حرارته حتى يتبخر كل الماء الذي به ثم ترتفع إلى درجة الحرارة التي تبدو على السطح الجاف، وبرسم فروق درجة الحرارة مع الزمن نحصل على منحنى ذي ارتفاع معين، وباستعمال درجة رطوبة معينة وجهد مائها معروف يمكن الحصول على سلسلة من المنحنيات يمكن تقدير جهد ماء التربة المجهول بجعل ماء التربة يتزن مع السطح المسامي الرطب وقراءة الجهد من هذه المنحنيات. ومع أن هذه الطريقة لم تختبر بدقة ومن جميع الجوانب إلا أنها تبدو ملائمة واحتمالات نجاحها كبيرة.

أضف إلى ذلك أن الطريقة المعملية (كما سيرد) قد استغلت لقياسات جهد الماء في الحقل بتعديل في تصميم السيكروميتر لتلافي تأثير درجة الحرارة (Brown and Van Haveren, 1972).

أما في المعمل فتستعمل عدة طرق لقياس جهد ماء التربة ومنها:

أ) طريقة الاتزان البخاري Vapor equilibration

من أولى المحاولات لقياس جهد ماء التربة ما قام به العالم شل ١٩١٦م (Shull, 1916) عندما استعمل بذور نبات (*Xanthium pennsylvanicum*) بعد أن قدر كمية الماء التي تمتصها هذه البذور من محاليل مختلفة الضغط الأسموزي وذلك لتقدير القوة التي تمسك بالماء في التربة وذلك بوضع البذور في عدة عينات ذات محتوى مائي مختلف،

وبعد ذلك قام بعض العلماء الأوروبيون بقياس جهد ماء التربة بواسطة شرائط ورقية مشبعة بمحاليل مختلفة التركيز ومن ثم وزن الشرائط بعد تعريضها للتربة والتي لا يتغير وزنها تعد ممثلة لجهد ماء التربة ، وهذه الطريقة يمكن استعمالها في الحقل ولكن التغيرات في درجة الحرارة تجعل نتائجها تقديرية فقط. على أية حال فقياس جهد الماء في معظم المختبرات مبني على قياس الضغط البخاري النسبي أو الانخفاض في درجة حرارة التجمد كما في الطريقتين التاليتين.

ب) الطريقة السيكروميترية Psychrometric method

من أنجح الطرق لقياس جهد ماء التربة هذه الطريقة والتي تعتمد على قياس ضغط البخار النسبي بواسطة سيكروميتر ذي مزدوج حراري (مصرد أو مرطاب). وهذه الطريقة في القياس تعتمد على العلاقة بين جهد الماء الكيميائي والنقص في الضغط البخاري حسب المعادلة التالية :

$$\Psi_w = - \frac{RT \ln e/e^\circ}{V_w}$$

حيث (Ψ_w) جهد الماء الكيميائي

(R) ثابت الغازات

(T) درجة الحرارة المطلقة

(e/e°) ضغط البخار النسبي

(V) حجم الماء الجزئي.

وهناك نوعان من السيكروميترات المستعملة بكثرة في قياس جهد ماء التربة وكذلك جهد ماء النسيج ، وقياس ضغط البخار النسبي الذي يكون في حالة اتزان مع

العينة المراد قياس جهد الماء بها بحيث توضع تلك العينة في وعاء صغير موضوع في حمام مائي للمحافظة على درجة حرارته لكي يكون التغير في درجة الحرارة في حدود ٠,٠٠١°م. والنوع الأول يستغل ظاهرة بلتيه (Peltier effect) لتكثيف الماء على المزدوج الحراري فعندما تغلق الدائرة الكهربائية يبدأ الماء المكثف في التبخر مسببا برودة لوصلة المزدوج الحراري، والتيار يقاس بواسطة جلفانوميتر. أما النوع الثاني فتوضع قطرة الماء على وصلة المزدوج الحراري ويقاس التيار عندما يكون هناك تبخر ثابت منها، وفي كلا النوعين لابد من الرجوع إلى منحنى قياسي مرسوم به نتائج قراءات لمحاليل معروف ضغطها البخاري.

وقد تطورت هذه الطريقة في القياس بتطور هذه الأجهزة بحيث أمكن تطبيق طريقة السيكروميترات في كثير من القياسات المهمة كجهد ماء التربة وجهد الماء في النبات كما سيرد وقد اُستخدِم سيكروميتر المزدوج الحراري وبتصميم خاص لتلافي تأثير درجة الحرارة على القياس (Hsieh, *et. al.*,.1972) لقياس مجال جهد ماء التربة الكلي (بالنسبة للعمق) في موضع صحراوي ذي تربة رملية طفالية متجانسة والجدول رقم (٣-٣) يبين نتيجة ما توصلوا إليه.

جـ) الطريقة الكريوسكوبية (طريقة الاستصراد) Cryscopic method

تعتمد الطريقة الكريوسكوبية (Cryscopic method) على العلاقة بين الجهد الكيميائي لماء التربة وانخفاض درجة التجمد لمحلول ماء التربة ولكن هذه الطريقة عرضة للأخطاء نظرا لقلة الماء في بعض عينات التربة بحيث من الصعوبة تركيز كمية كافية من الماء لبداية تكوين البلورات ونوعية قوى الامتزاز لحبيبات التربة، لذا وكما سيلحق تستعمل هذه الطريقة للعينات النباتية.

obeikandi.com

الجدول رقم (٣-٣). ممال جهد الماء مع التغير في عمق التربة (Hsieh, *et. al.*,.1972).

عمق التربة (سم)	ممال جهد الماء ميجاباسكال/سم	عمق التربة (سم)	ممال جهد الماء ميجاباسكال/سم
٧,٥	لا يمكن قياسه لجفافه	١٥٢,٥	٠,٠٠٣
١٥,٠	لا يمكن قياسه لجفافه	٢٢٩,٥	٠,٠٠٠٥
٣٠,٥	٠,١٥	٣٠٥,٠	٠,٠٠٠
٦١,٠	٠,٠٢١	٣٨١,٠	٠,٠٠٠٢
٩١,٥	٠,٠٠٨٨	٤٤٠,٠	٠,٠٠٠١-

٣- قياس جهد المادة (الشعري)

كثير من الطرق المتبعة لقياس المحتوى المائي للتربة تصلح لقياس جهد المادة في الحقل سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، ومن أشهر الطرق:

أ) طريقة قوالب المقاومة الكهربائية

في هذه الطريقة تستعمل إلكترودات متصلة بقنطرة المقاومة والإلكترودات توضع في قوالب من الجبس المطعم بمواد راتنجية لإطالة مدة استعمالها والتخفيف من عملية التفتيت لهذه المادة وخاصة في التربة الرطبة جدا. حيث تترك القوالب تتعادل مع ماء التربة ومن ثم تقاس المقاومة بين الإلكترودين، ولكن هذه الطريقة فعالة في مدى جهد المادة من- ٠,٠٥ إلى- ١,٥ ميجاباسكال وقد استعملت مواد أخرى لتغليف الإلكترودات مثل النيلون والألياف الزجاجية لكن مثل هذه المواد تتأثر بالأملاح والأسمدة حيث القراءات غير منتظمة في وجود مثل هذه المواد.

obeikandl.com

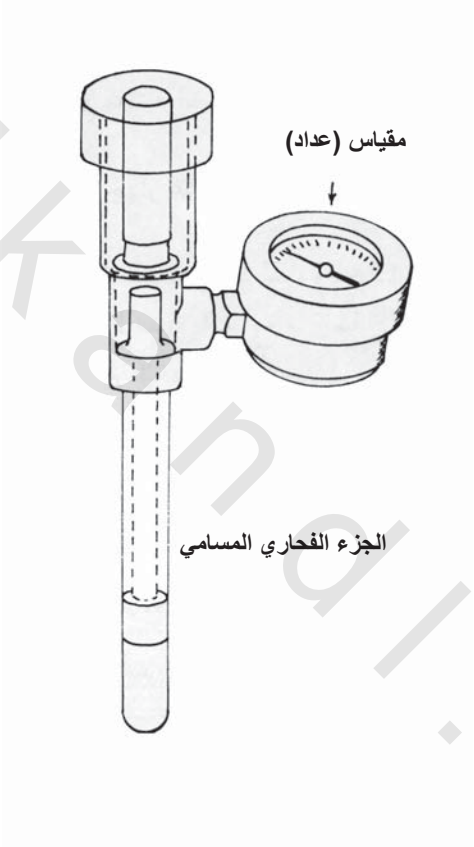
في بعض الأحيان تعاير قوالب المقاومة بجهاز غشاء الضغط وقياس المقاومة تحت ضغوط مختلفة حيث عندها يمكن قراءة جهد المادة مباشرة من المؤشر ولكن أحيانا تعاير بمحتوى التربة المائي حيث تؤخذ عينات من التربة بالقرب من القوالب وتقدر قيم محتواها المائي بالطريقة الوزنية.

ب) طريقة مقياس التوتر السطحي Tensiometer

يمكن قياس جهد المادة (الشعري) مباشرة في هذه الطريقة فقط ويمكن بهذا النوع من الأجهزة المبسطة تقدير محتوى التربة المائي في الأراضي قليلة الملوحة فقط، أما في الأراضي التي تحوي كمية من الأملاح أو كمية من المواد العضوية (سماد) فإن القياس بهذه الطريقة ليس كاف لتقدير محتوى التربة المائي نظرا لأن وجود هذه المواد (الأملاح أو السماد) كاف لإعطاء قياسات للجهد الأسموزي تقلل من قيمة التقدير (انظر الشكل رقم (٣-٣) للعلاقة بين المحتوى المائي وجهد ماء التربة). والشكل رقم (٣-٤) عبارة عن رسم تخطيطي لأحد الأنواع التجارية.

ويتألف الجهاز في شكله العام في الغالب من جزء فخاري على هيئة فنجان مسامي حيث يملأ بالماء ويغرز في التربة بواسطة أنبوبة متصلة به من جهة ومن جهة أخرى متصلة بمانوميتر أو عداد ذي مؤشر لقياس شدة التفريغ عند انتقال الماء من الفخار إلى التربة، وإذا ثبتت قراءة المؤشر فهي تدل على حالة الاتزان في حركة الماء من الفنجان الفخاري إلى التربة وبالتالي الجهد، وهذا الجهاز ذو فعالية كبيرة في تعيين جهد المادة للتربة الرطبة ولكن عندما تقل قيمة هذا الجهد عن- ٠,٠٨ ميجاباسكال فإن الهواء قد يدخل إلى الفنجان الفخاري ويصبح عديم الفائدة، ومع أن فائدة هذا الجهاز عظيمة في تقدير ماء التربة وخاصة أنه حساس في المدى الذي تستفيد منه النباتات إلا أن الجهود العالية ذات أهمية أكبر في الزراعة

والدراسات البيئية. وبالإضافة إلى هذه النقيصة في هذا الجهاز هناك أشياء ثانوية قد تؤثر في قراءات الجهاز ولمزيد من المعلومات لهذا الموضوع راجع ما كتبه العالم ريتشاردز ١٩٤٩م (Richrds, 1949).



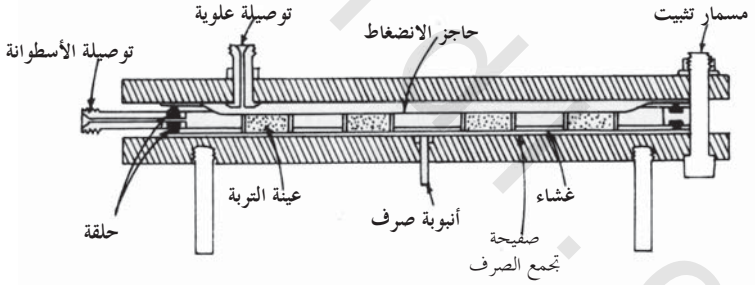
الشكل رقم (٣–٤). رسم تخطيطي لمقياس التوتر السطحي من الأنواع التجارية والمكـــون مـــن جـــزء بلاستيكي موصل به الجزء الفخاري المسامي ومقياس يسجل القراءات، والغطاء في قمته يقفل الفتحة التي يملا عن طريقها الجهاز بالماء.

المصدر: (Kramer, 1969).

obeikandl.com

جـــ)الطريقة المعملية (جهاز غشاء الضغط)

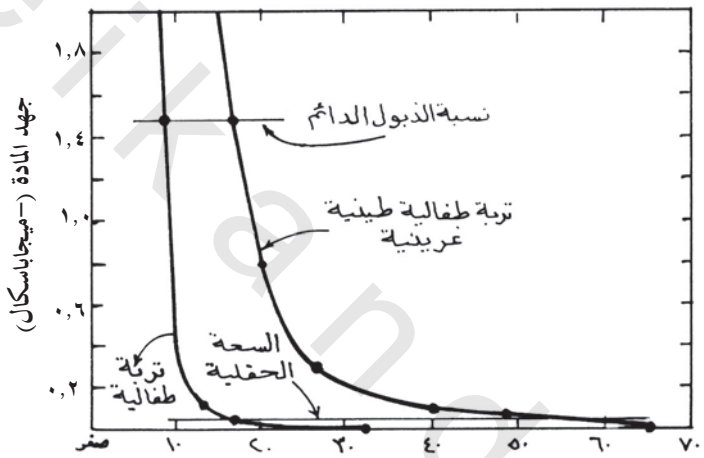
ويتكون هذا الجهاز من غشاء منفذ للماء والمحاليل يوضع في وعاء يحوي عينة التربة ثم تعرض العينة لضغط سواء بالتفريغ من أسفل أو بالهواء المضغوط من أعلى وبذا فماء التربة ينساب عبر الغشاء حتى يحدث التعادل (عند توقف الماء عن الانسياب) وذلك بين جهد المادة والضغط المحدث على عينة التربة. عندها تؤخذ عينة التربة ويحسب محتواها المائي بطريقة الوزن والتجفيف ويبين الشكل رقم (٣-٥) رسماً تخطيطياً لقطاع في هذا الجهاز لتوضيح مكوناته. وقد جرى استخدام أغشية سليلوزية مدعمة بصفائح حديدية لتحمل الضغوط العالية ولكن في الآونة الأخيرة تستخدم صفائح فخارية تتحمل ضغوط قد تصل إلى ١,٥ ميجاباسكال. ويلاحظ كما في الشكل أنه يمكن قياس جهد المادة لأكثر من عينة لصغر العينات حيث تستعمل صفائح ضغط ذات قطر يقارب ٥ سم وسمك ١,٥ سم. إن معاملة التربة بأية طريقة كالنخل قد تسبب بعض الأخطاء.



الشكل رقم (٣–٥). رسم لمقطع في جهاز غشاء الضغط لقياس محتوى التربة المائي حيث توضع عينات التربة في أسطوانات معدنية صغيرة (بقطر يقارب ٥سم وسمك ١,٢سم) ومن ثم توضع الأسطوانات على الغـــشاء حيث الهواء المضغوط يوصل عبر توصيلة الأسطوانة. أما التوصيلة العلوية فيدخل منها هواء يقع تحت ضغط أعلى قليلاً من ذلك الواصل عبر توصيلة الأسطوانة مما يجعل حـــاجز الانـــضغاط يضغط على عينات التربة باتجاه الغشاء مسبباً انسياب الماء من عينة التربة. ويلاحظ أنـــه أحيانـــا تستعمل صفيحة فخارية مسامية بدلا من الغشاء.

المصدر: (Kramer, 1969).

وكما تقدم فإن كثيراً من طرق قياس المحتوى المائي للتربة تصلح لقياس جهد المادة في الحقل نظرا للعلاقة بينهما، إلا أنه قد سبقت الإشارة في موضوع ماء التربة (٣-٣) إلى الماء المتاح للنبات وأنه يقرر عادة بكمية الماء بين السعة الحقلية والنسبة المئوية للذبول الدائم ونظرا لأن هذه القياسات تختلف باختلاف التربة لذا فالشكل رقم (٣-٦) يوضح العلاقة بينهما وجهد المادة لنوعين من التربة مقرونة بالمحتوى المائي.



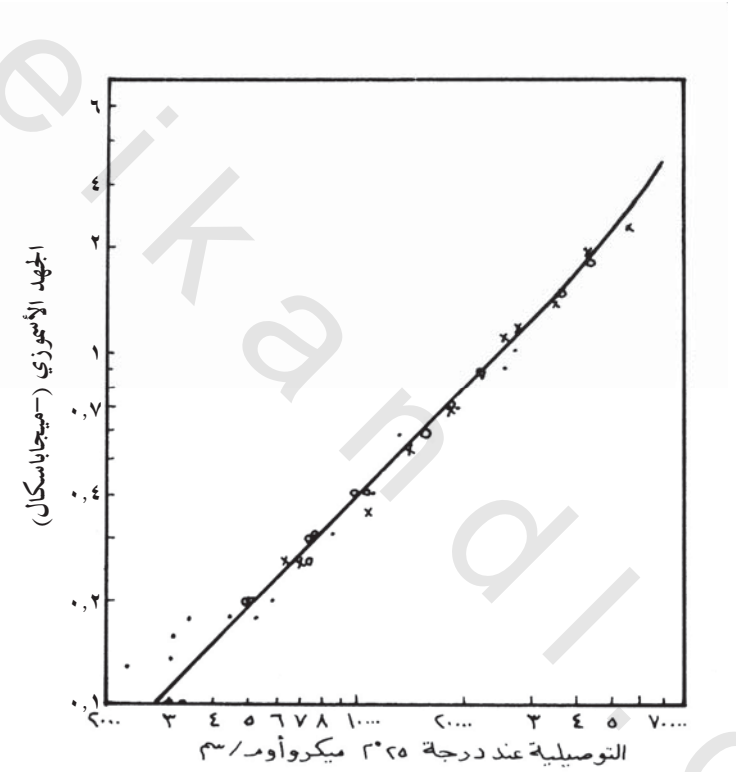
الشكل رقم (٣-٦). العلاقة بين جهد المادة والمحتوى المائي لنوعين من أنواع التربة، ومن الرسم تتبين نسبة الذبول الدائم والسعة الحقلية.

المصدر (Kramer, 1969)، **بناء على بيانات آخرين.**

٤- قياس الجهد الأسموزي لمحلول التربة

من الواضح أن هذه الطريقة تتضمن قياس الجهد الأسموزي لمحلول التربة بعد استخلاصه من العينة، والاستخلاص يتم عادة بإضافة كمية من الماء ثم ترشيح الماء

وما به من محاليل ذائبة ومن ثم تقدير الجهد الأسموزي بإحدى الطرق المذكورة سابقاً وهي الطريقة الكريوسكوبية أو الطريقة السيكروميترية. في العادة، يجري قياس التوصيلية الكهربية لمحلول التربة حيث هناك علاقة بينهما وبين الجهد الأسموزي كما في الشكل رقم (٣-٧) لتفادي الزيادة أو النقص في التقدير.



الشكل رقم (٣–٧). العلاقة بين الجهد الأسموزي لمحلول التربة والتوصيلية الكهربائية، وتشمل على قراءات من مستخلص التربة ومن محاليل تغذية.

المصدر: [عن رسم (Kramer, 1969) بناء على بيانات ريتشارد ١٩٥٤م].

obeikandl.com

وبالطبع تعدل القيم الناتجة (وهي قراءات الجهد الأسموزي لمحلول التربة) إلى القيم الأصلية كما في محلول التربة قبل إضافة الماء بطريقة التناسب. إن هذه الطريقة تعطي قيما تقريبية نظرا لأن درجة التفكك والمعاملات الأسموزية لكثير من الأملاح الموجودة في التربة تختلف باختلاف تركيزها وتركيز الأملاح الأخرى في المحلول وكذلك تختلف باختلاف درجة الحرارة.

في العرض المبسط السابق لطرق قياس ماء التربة يلاحظ أنه لم يكن المقصود هو إجراء مسح شامل بحيث تغطى جميع الطرق ولكن المقصود هو إعطاء فكرة مبسطة عن أكثر الطرق شيوعاً في هذا الفرع كما ذكر في البداية وبالطبع ليست على أية حال أدقها.

obeikandl.com