منحنيات الوصف الرطوبي للتربة

٨ – المنحنيات المميزة لرطوبة التربة :

في التربة المشبعة عند التعادل مع الماء الحر وعند نفس المستوى ، فالضغط الحقيقي يكون جويا ، وعليه فضغط الماء الساكن والسحب (الشد) يكون صفراً . وعندما يكون الشد خفيفا ، اي ان ضغط الماء يكون شبه جوي يطبق على التربة المشبعة ولايحدث تدفقاً خارجياً مالم يكن هناك زيادة في السحب ، فالقيمة الحرجة تكون بزيادة والتي عندها المسام الكبيرة تبدأ بالاخلاء او بالافراغ من الماء . وهذا السحب الحرج يطلق عليه air entry suction وبصورة عامة ، فالقيمة تكون صغيرة في الترب ذات النسجة الخشنة تكون المسام فيها متماثلة تقريبا في حجمها وهذه الترب تسلك سلوكا حرجا بظاهرة air entry وبصورة حادة عن الترب ذات النسجة الناعمة .

عند زيادة قوة السحب يزداد معها الماء المسحوب الى خارج التربة اكثر من المسامات الكبيرة نسبيا والذي لايستطيع الاحتفاظ ضد السحب المطبق وهذا تفرغ هذه المسام . وباستدعاء معادلة الخاصية الشعرية $\left(-P=\left(\frac{2\gamma}{r}\right)\right.$ يمكننا التنبوء بأن الزيادة التدريجية في قوة السحب سوف تؤدي الى تفريغ حتى المسام الصغيرة ، وعند زيادة قيمة السحب تبقى المسام الصغيرة جدا محتفظة بالماء . وبصورة مشابه ، اية زيادة في قوة الشد لماء التربة يكون مرتبطاً بنقصان الاغشية المتميعة التي تغلف سطوح دقائق التربة ، وزيادة قوة السحب مرتبط بنقصان رطوبة التربة . كمية الماء المتبقية في التربة عند التعادل تكون كدالة لحجم وكبر المسام المملوءة بالماء وعليه تكون كدالة لجهد او قوة الشد . وهذه الدالة تكون عادة مقاسة بالتجربة او تجريبيا وتكون ممثلة على هيئة منحني يعرف بالمنحني المميز لرطوبة التربة او منحني الاحتفاظ برطوبة التربة(Childs ، ١٩٤٠) ، ولحد الان لاتوجد نظرية مقنعة خاصة في التنبوء بعلاقة جهد الشد مع رطوبة التربة من خلال الاساسيات المتعلقة بخصائص التربة . تاثير الادمصاص (قوة المسك) والشكل الهندسي للمسام غالبا ماتكون معقدة جدا لوصف الموديلات البسيطة ، عدة معادلات تخمينية عرضت والتي تصف جزءاً من الخصائص المتعلقة برطوبة التربة ليعض الترب ضمن مديات محددة لقوة الشد ، واحد هذه المعادلات التي وجدها (Visser ، ١٩٦٦) هي :

$$\psi = a\,(1 - \theta^{b})/\theta$$

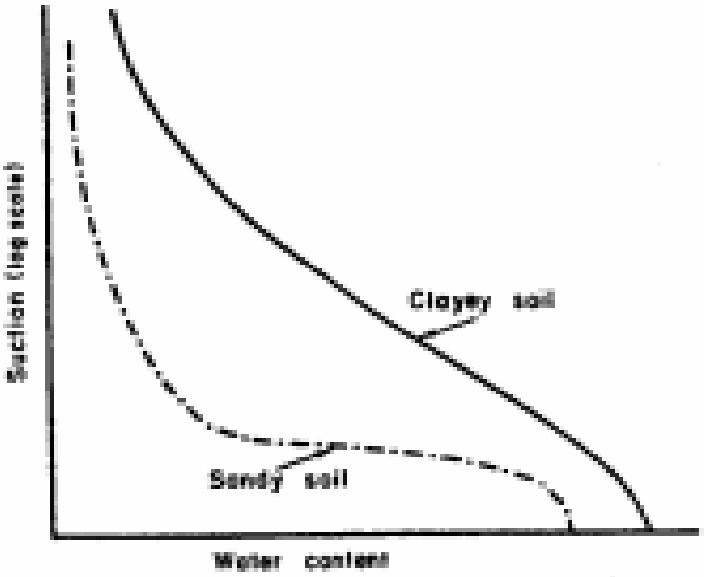
حيث ان ψ تمثل جهد الشد ، f هي المسامية ، ورطوبة التربة θ ، وثوابت المعادلة تتمثل بـ a ، b و c . ان الاستعمال الحقيقي لهذه المعادلة هي صعوبة تقييمها وكذلك

تقييم الثوابت ، حيث وجد Visser بان قيم الثابت a تتراوح بين (صفر– ٣٠) ، b بين (صفر– ١٠) وقيمة f بين (٠,٤ – ٠,٦). في حين وجد Gardner وآخرون (١٩٧٠) العلاقة الآتية :

حيث ان a هي ثابت في المعادلة $\psi = a\,\theta^{-b}$

وقيمة الثابت b في هذه الحالة ٤,٣ للترب الرملية المزيجية ، وهذه العلاقة تلائم فقط مديات محددة من المنحنيات المميزة لكنها تكون مفيدة في عمليات التحليل ويكون مدى الاحتفاظ برطوبتها ضيقا (اعادة توزيع الرطوبة ، البزل الداخلي).

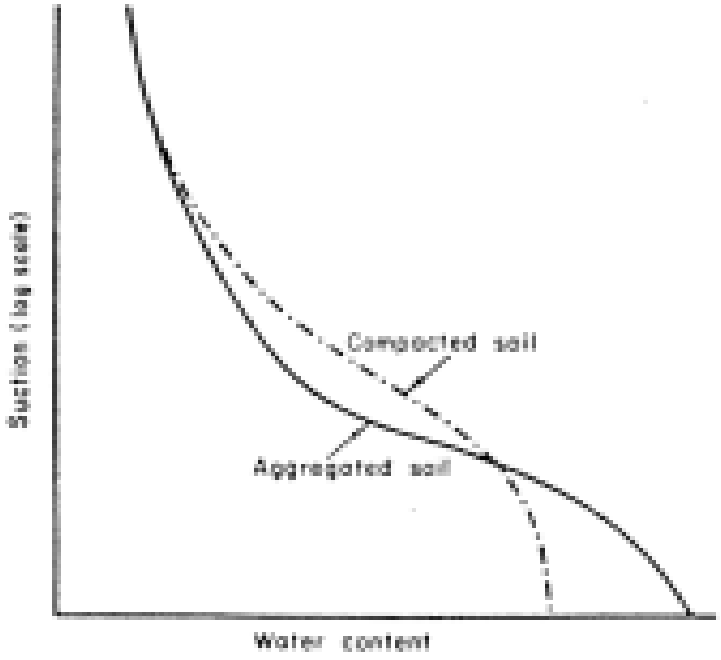
كمية الماء الممسوكة عند القيمة الواطئة نسبيا من جهد الشد (بين صفر–١ بار)تعتمد اساسا على تاثير الخاصية الشعرية وتوزيع احجام المسام وتكون متاثرة بدرجة كبيرة ببناء التربة . من جهة ثانية ، الماء الممسوك تحت شد كبير يكون طبقا لزيادة قوة الادمصاص (المسك) ولهذا يكون تاثرها بواسطة البناء اقل وبدرجة اكبر بواسطة النسجة والسطح النوعي للتربة . وطبقا لما جاء بهGardner (١٩٦٨) فالمحتوى الرطوبي عند شد ١٥ بار (غالبا مايؤخذ على اساس اوطا او اقل مدى من رطوبة التربة المتيسرة للنبات) لها ارتباط وثيق مع السطح النوعي للتربة والذي يمثل تقريبا ١٠ جزيئات على هيئة طبقات من الماء عند توزيعها بصورة متماثلة فوق سطح الدقائق . من هذا يتضح بان المنحنيات المميزة لرطوبة التربة تتاثر بدرجة كبيرة بنسجة التربة ، وجود كميات عالية من الطين يؤدي ذلك الى احتوائها على محتوى رطوبي عالي عند اي شد رطوبي ويكون انحدار المنحني تدريجي . في الترب الرملية ، معظم المسام تكون كبيرة نسبيا وحال تفريغ هذه المسام عند اي شد ، كميات قليلة من الماء تبقى في التربة ، وفي الترب الطينية ، توزيع احجام المسام يكون اكثر تماثلا ، وتكون كمية الماء الممسوكة اكثر ونتيجة لذلك ، زيادة قوة الشد تسبب نقصان او قلة تدريجية في المحتوى المائي كما موضحة في الشكل (٥–٥).



شكل (٥-٥) تأثير نسجة التربة على حفظ رطوبة التربة.

بناء التربة يؤثر ايضا على شكل المنحنيات المميزة لرطوبة التربة ، خصوصا في مديات السحب الواطئة ، حيث ان رص التربة يؤدي الى تقليل مسامية التربة الكلية خاصة تقليل حجم المسام الكبيرة. هذا يعني ان درجة تشبيع التربة بالماء وقلة الماء بدءا بتطبيق قوة السحب الواطئ من جهة ، وحجم المسام المتوسطة تكون نوعا ما كبيرة في الترب المرصوصة (كما يحدث عند ضغط المسام الكبيرة الى احجام متوسطة عند رصها) ، في حين تجد المسام الصغيرة تبقى بدون تاثير ، وعليه فالمنحني للترب المرصوصة وغير المرصوصة ربما تكون متناظرة تقريبا عند مديات الشدود العالية كما في الشكل (٥-٦).

عند مديات الشدود العالية جدا ، الماء يحمل اساسا بواسطة قوة الادمصاص (المسك) ويعود الاحتفاظ الى نسجة التربة وليس بناءها. عندما تكون هناك تربتين مختلفتين في نسجتها او بنائها وتكون متعادلة عند تلامسها مع بعضها البعض ، سوف تكونان بعد زمن معين محتفظين بجهد متساو وبعدم تساوي سلوكها في استمرارية المحتوي المائي وذلك لاختلاف المنحنيات المميزة لرطوبتها اما في الترب غير المتكتلة ، ومنحنيات الرطوبة المميزة عند حساب تاثير توزيع احجام المسام (احجام المسام للترب المختلفة الأصناف) وعند زيادة قوة السحب من ψ_1 الى ψ_2 ينتج عنها تحرر حجم معين من الماء وبعد ذلك سوف يكون الحجم مساويا الى حجم المسام وتقترب من مديات نصف القطر المؤثر الواقع بين r_1, r_2 ، حيث ان $\psi_2 \cdot r_1 \cdot \psi_1$ r_2 تكون مرتبطة بواسطة المعادلة الخاصة



شكل (٣-٦) تأثير بناء التربة على حفظ رطوبة التربة.

بالخاصية الشعرية $\left(\psi=\frac{2\gamma}{2}\right)$. الحقيقة المهمة في الترب غير المشبعة ، تعرضها لضغط شبه جوي لاتميل للاقتراب من الجو.

وبصورة مشابه بزل الترب الناعمة النسجة وجعلها جافة ، اما الطبقات ذات النسجة الخشنة يجب ان يكون ضغط التربة قريب من الضغط الجوي.

انحدار المنحنيات المميزة لرطوبة التربة والتي تكون متغيرة في محتواها الرطوبي لكل وحدة متغيرة من جهد الشد يطلق عليها بالسعة النوعية للماء والمتمثلة في المعادلة :

$$C_\theta = \frac{d\theta}{d\psi_m} \text{ or } C_s = \frac{d\theta}{d\psi}$$

وهذه الصفة تعد مهمة في علاقة خزن المحتوى الرطوبي والماء المتيسر للنبات ، وان القيمة الحقيقية C_θ تعتمد على مديات درجة الترطيب ، النسجة وكذلك تاثير ظاهرة التخلف في المحتوى الرطوبي.

٩- ظاهرة التخلف في المحتوي الرطوبي :

العلاقة بين جهد الشد ورطوبة التربة لاتكون مثالية ولها قيمة مفردة ويمكن الحصول على هذه العلاقة بطريقتين :

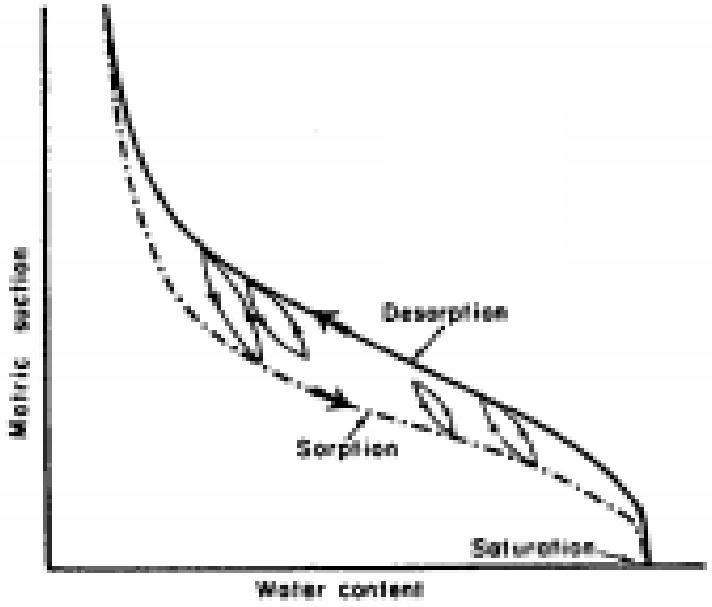
١ - التجفيف desorption

وذلك باخذ نموذج تربة مشبع وتسليط شد او قوة سحب عليه بصورة تدريجية والوصول به الى حالة الجفاف وباخذ عدة قياسات لرطوبة التربة مع قوة السحب (الشد).

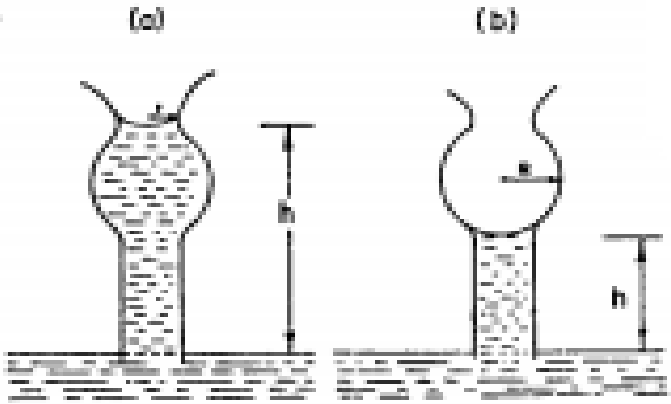
٢ - الترطيب : Sorption

وذلك بواسطة الترطيب التدريجي لنموذج التربة المجفف وذلك بتقليل قوة السحب ، وكل طريقة من هذه الطرق تعطي منحني مستمراً ، لكن المنحنين لايكونان متناظرين ، فتعادل رطوبة التربة عند قوة السحب المعينة يكون كبيرا في حالة التجفيف (سحب الماء) عند مقارنته مع حالة الترطيب (اعطاء الماء) وهذه تعتمد على التعادل وحالة محتوى الماء في التربة وعلى اتجاه العمليات المؤدية الى حدوث ظاهرة التخلف. فالدراسات الاساسية لظاهرة التخلف في رطوبة التربة قد قدمت من قبل (Haines ، ١٩٣٠) وكذلك (Miller and Miller ١٩٥٥أ، ١٩٥٦ و poulavassilis ١٩٦٢ و philip ١٩٦٤ و Topp and Miller ١٩٦٦ و Bomha ١٩٦٨ و Topp ١٩٦٩). ان الشكل المثالي لمنحني الخصائص المميزة وظاهرة التخلف موضحة في الشكل (٥-٧) والمؤثرة على علاقة تعادل رطوبة التربة ، وربما يكون التاثير الحاصل على ظاهرة التخلف نتيجة للعوامل الآتية :

١ - الشكل الهندسي غير المتماثل للمسام المفردة (والتي تكون ذا اشكال غير منتظمة متصلة داخليا بواسطة الممرات الصغيرة) والتي تسبب «وعاء الحيرة» والموضحة في الشكل (٥-٨).



شكل (٥-٧) علاقة جهد الشد والمحتوى الرطوبي خلال عملية الترطيب والتجفيف.



شكل (٥-٨) تقدير ارتفاع التعادل للماء في المسام الشعرية في قطرها [(البزل الشعري ، التجفيف) و ب (ارتفاع الشعري ، الترطيب) تأثير قنية الحبر.

٢- تأثير زاوية التلامس وتكون فيها زاوية التلامس كبيرة وعليه ، فان نصف قطر التقعر يكون كبيرا في دفع التقدم لسطح التقعر. ان المحتوى المائي في سلوكه يؤدي بدرجة كبيرة لقوة السحب في عملية التجفيف عن عملية الترطيب. يبرز تأثير زاوية التلامس في ظاهرة التخلف في المحتوى الرطوبي نتيجة لخشونة السطح ، وجود وتوزيع بعض المواد على سطح الدقائق الصلبة وكذلك الميكانيكية التي بواسطتها جزيئة السائل تدفق على حواف سطوح التلامس مع دقائق التربة.

٣- اعاقة الهواء والتي تؤدي الى قلة المحتوى المائي للترب المشبعة حديثا وكذلك فشل التعادل الحقيقي وامكانية ابراز ظاهرة التخلف في المحتوى الرطوبي وتاثيرها المتخلف.

٤- التمدد والانكماش والتي تنتج من تغيرات بناء التربة اعتمادا على تاريخ الترطيب والتجفيف لنموذج التربة ، انطلاق الهواء الذائب من ماء التربة يمكنها ايضا ان تؤثر جزئيا على علاقة السحب والترطيب والتجفيف.

يمكن ملاحظة تاثير قنينة المحبرة عند الاخذ بنظر الاعتبار الفرضية الموجودة في الشكل (٥-٨) والموضحة للمسام المتكون من فراغات واسعة نسبيا وذات القطر R محاطة بقناة ضيقة ذات قطر r . عند ابتداء ترطيبها ، فهذه المسام سوف تزل في اللحظة التي يكون فيها السحب اكبر من ان يفرغ المسام ذو القطر r (حيث ان $\psi_r = \frac{2\gamma}{r}$) ولاعادة ترطيب هذه المسام ، السحب يجب ان يقل الى مادون ψ_R (حيث ان $\left(\psi_R = \frac{2\gamma}{R} \right)$ وهذه المسام سوف تملأ حالا. وبسبب ان $R > r$ فان ذلك يتبع $\psi_r > \psi_R$ وذلك لان التجفيف يعتمد على نصف القطر للقناة الضيقة التي تربط القناة مع بعضها.

ان التدفق غير المستمر للماء يطلق عليه Haines jump ويمكن ملاحظته في الرمل الخشن ، حيث ان ظاهرة التخلف يمكن ملاحظتها بصورة واضحة في مثل هذه الترب ضمن مديات قوة السحب الواطئة وذلك لان المسام تفرغ عند السحب العالي عن تلك التي يعاد فيها الاملاء.

من الممكن وجود طبقتين متناظرتين في النسجة والبناء ومختلفة في الترطيب عند تعادلها مع بعضها البعض او عند حالة تماثل (تناظر) الطاقة عندما يكون تاريخ ترطيبها مختلفاً. ان ظاهرة التخلف يمكن ان تؤثر على صفات التربة ديناميكيا فضلاً عن الصفات الساكنة static . ان الاساس في ظاهرة التخلف يتمثل عند اتمام هذه الظاهرة لتعاقب عمليات الترطيب الى التشبع وبالعكس. فعند بدء التربة الرطبة بعملية البزل ، او عند اعادة ترطيب التربة الجافة جزئياً ، فعلاقة السحب بالمحتوى الرطوبي يتبع منحنيات متوسطة كما هي الحال في حالة الحركة من احد الفروع الرئيسية الى الاخر، ومثل هذه الحالات الوسطية يطلق عليها بـ scanning Curve . التغيرات الغالبة الحدوث والممثلة

للترطيب والتجفيف تكون على هيئة زكزاك loop بين الافرع الرئيسة كما موضحة في الشكل (٥ – ٧).

١٠ – قياس طاقة رطوبة التربة

ان قياسات المحتوى المائي للتربة او رطوبتها ، رغم ضرورتها في المجالات المتعددة في فيزياء التربة ، فلايوجد وصف كافي لحالات ماء التربة . فمن الضروري الحصول على وصف وتقييم حالات الطاقة لماء التربة (جهد ماء التربة وقوة السحب) وبصورة عامة هاتين الصفتين للرطوبة (والترطيب) والجهد يجب قياسها مباشرة عند التعبير عن اي صفة بدلالة الاخرى على اساس منحنيات المعايرة لنموذج التربة . وعليه ، فالجهد الكلي غالباً مايكون مساوياً الى حاصل جمع جهد الشد والجهد الازموزي ويعد هذا الدليل مهماً ومفيداً لخصائص حالات الطاقة لماء التربة نسبة الى امتصاص الماء واستهلاكه من قبل النبات . ان حاصل جمع ضاغط الشد وضاغط الجاذبية والتي يطلق عليها بالضاغط المائي hydraulic head او بالشحنة المائية ، والذي يعد مهماً ومفيداً في تقييم اتجاه وشدة قوة حركة الماء في مقد التربة .

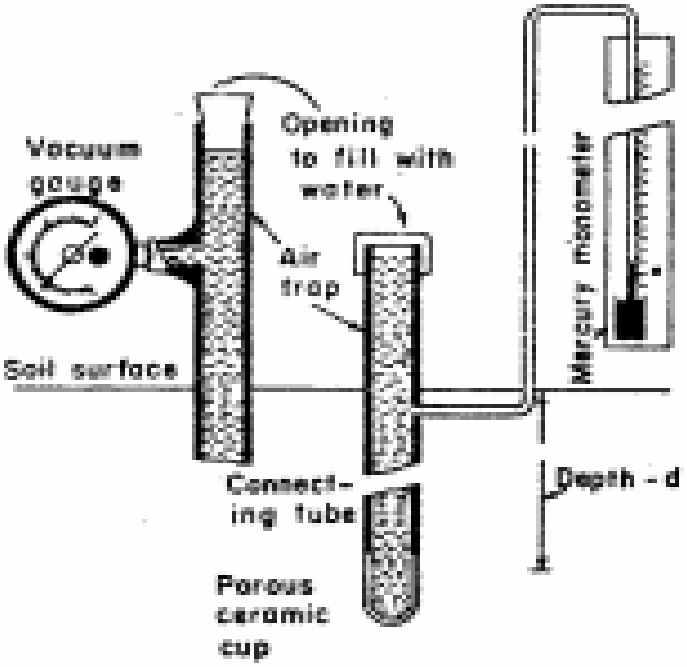
ان قياس جهد الشد والجهد الكلي لماء التربة يمكن الحصول عليها بطرق سهلة ، فلقياس جهد الشد في الحقل يمكن استخدام مقياس الشد (التنشومتر) ، اما لقياس جهد ماء التربة (رطوبة التربة) ، الانخفاض في نقطة الانجماد وضغط بخار الماء للتربة يتم بواسطة Thermocouple Psychrometer عند التعادل ، جهد ماء التربة يكون مساوياً لجهد بخار الماء في الجو المحيط . اما عند التعادل الحراري وباهمال تأثير الجاذبية ، جهد البخار يكون مساوياً الى حاصل جمع جهد الشد والجهد الازموزي . عند درجة حرارة الغرفة ، الرطوبة النسبية للهواء تكون مرتبطة بالجهد كما موضحة في معادلة Bolt and Frissel (١٩٦٠) .

$$PF = 6.5 + \log (2 - \log R.H)$$

حيث يمثل PF لوغاريتم حاصل جمع كل من جهد الشد والجهد الازموزي ،ويكون التعبير عن هذه الجهود بوحدة السنتمتر عمود الماء و RH تمثل الرطوبة النسبية . ان مقياس الشد يعد استخدامه واسعاً ومقبولاً في التطبيقات العملية والقياسات الحقلية لجهد الشد وكذلك الضاغط المائي والانحدار الهيدروليكي .

١ – مقياس الشد (التنشومتر)

الاجزاء الضرورية لمقياس الشد موضحة في الشكل (٥ – ٩) ، الذي يتكون من الرأس المسامي المصنوع من مادة السيراميك والتي تسمح لجزيئات الماء بالنفوذ من خلالها ومرتبطة خلال انبوب والذي بدوره يرتبط في مقياس الضغط (العداد) ومملأ الانبوب في الماء قبل وضعه في التربة .



شكل (٥– ٩) الاجزاء الرئيسة لمقياس الشد (من Richards ، ١٩٦٥).

عند وضع الرأس المسامي (الفخاري) في التربة لمعرفة قوة الشد ، فالماء داخل الانبوب يحصل له تلامس هيدروليكي ويؤدي الى التعادل مع ماء التربة خلال المسام في الجدار السيراميكي . بصورة عامة ، الماء الموجود في مقياس الشد يكون تحت الضغط الجوي عند بداية وضعه في التربة ، وماء التربة يكون تحت ضغط شبه جوي ، وعند تطبيق قوة السحب فستؤدي الى سحب كمية معينة من الماء من داخل مقياس الشد الى التربة ، وهذا الضغط يكون مؤشراً من قبل العداد . عند ترك مقياس الشد لفترة طويلة في التربة يؤدي الى حدوث تغيرات في جهد الشد لماء التربة ، فعند حصول استنزاف لرطوبة التربة بواسطة البزل او استعمال الماء من قبل النبات او يعاد الى التربة عن طريقة الامطار او الري

فان ذلك يؤثر في عداد مقياس الشد . ان الحساسية الهيدروليكية للرأس الفخاري والتربة المحيطة (التطاق الملامس) بين الرأس الفخاري والتربة ربما تؤدي الى تغييرات في قيمة السحب من قبل التربة ، وهذا الوقت الفاصل يمكن ان يقلل باستعمال null-type device او باستعمال محولة ذات انبوب صلب وهذا لايحدث جريان للماء عند معايرة مقياس الشد لتغيرات جهد الشد للتربة . وبسبب ان جدار الرأس المسامي لمقياس الشد يكون نفاذاً لكل من الماء والمذاب ، فالماء داخل مقياس الشد يفترض ان يكون ذا تركيز متشابه لمكونات المذاب مع ماء التربة (مالم يتم وجود ملح حساس ومساعد) .

قياس الشد بواسطة مقياس الشد يكون بصورة عامة محدداً لقيم جهد الشد والتي تقل عن واحد جو ، وهذه تكون طبقاً الى الحقيقة الخاصة بالجهاز المفرغ او مقياس العداد ، تفريغ جزيئي نسبة الى ضغط الجو الخارجي فضلاً عن خفض عمود الماء في النظام المايكروسكوبي لوقوف الشد الزائد عن واحد جو. وبصورة عامة فان الرأس المسامي يصنع من مواد مسامية نفاذة في معظم الاحيان ، ممكن ان تسبب قوة السحب العالية ، دخول الهواء الى الرأس المسامي والتي سوف تعادل الضغط الداخلي مع الضغط الجوي تحت هذه الظروف فقوة السحب للتربة ، ربما تستقر في الزيادة حتى عند فشل مقياس الشد . وفي التطبيقات العملية ، الحدود المفيدة لمعظم مقاييس الشد تكون بحدود (٠,٨ بار) كحد اعلى لقوة السحب . لقياس قوة شد عالية ، باستعمال الازموميتر Osmometer والذي له غشاء شبه نفاذ على جدرانه والذي عُرّف (١٩٦٩) من قبل كل من Peck and Rabbidge لكن التطبيق العملي لهذه الاجهزة لاتزال في مرحلة التجربة . مديات حدود قوة السحب القاسة بواسطة مقياس الشد لم تكن ذا خطورة كما ظهرت لاول وهلة ، وعليه ، فان مدى السحب المحصورة بين صفر– ٠,٨ بار بصورة عامة ، يمكن ان تأخذ مديات رطوبة اكبر من ذلك في الحقل ، ولقد اظهر كل من Richard and Marsh (١٩٦١) في معظم الترب الزراعية بان مديات مقياس الشد المحسوبة اكثر من ٥٠٪ (وفي الترب ذات النسجة الخشنة ٧٥٪ او اكثر) من كميات الماء المأخوذة من قبل النبات ولذلك فعند ادارة التربة (خاصة لعملية الري) فيكون هدف الحفاظ على ظروف سحب واطئة هي المرغوبة لنمو النبات ولهذا فمقياس الشد يكون بصورة قطعية اكثر تطبيقاً . رغم كل هذه الظواهر والتطبيقات ، فان مقياس الشد يكون الة تطبيقية سهلة الاستعمال وسهلة الادامة من قبل العاملين الماهرين وممكن ان تعطي معلومات منطقية في الحقل

لحالات رطوبة مقدات التربة وتغيراتها مع الزمن. لقد وجدت فائدة مقياس الشد في تحديد مواعيد وجدولة عمليات الري في الحقل ، ويمكن وضعه عند عمق واحد او اكثر من عمق لمثل النطاق الجذري واجراء الري عند توضيح مقياس الشد لقوة سحب معينة ، فاستعمال الانواع المختلفة من مقاييس الشد عند اعماق مختلفة يمكن ان توضح او تعطي مؤشراً على كمية الماء التي نحتاجها في عملية الري ويمكننا ايضاً حساب الانحدار المائي hydraulic gradient لمقد التربة . فعندما تكون $\psi_n \ldots \psi_3, \psi_2, \psi_1$ هي قيم جهد الشد بوحدة السنتمر لعمود الماء (مللبار) عند العمق $d_n \ldots d_3, d_2, d_1$ مقاسة تحت سطح التربة ، فان معدل الانحدار المائي (i) بين العمق d_n ، d_{n+1} يكون

$$i = [(\psi_{n+1}) - d_{n+1}) - (\psi_{n+d_n}) / (d_{n+1} - d_n)$$

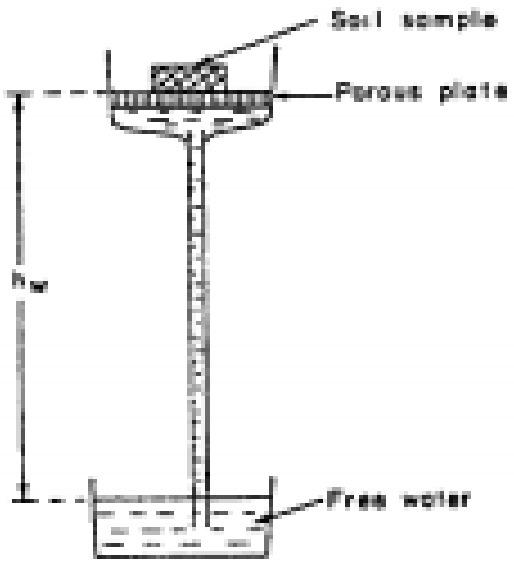
قياس الانحدار المائي يكون مهماً خصوصاً للنطاق تحت منطقة نمو الشعيرات الجذرية حيث ان اتجاه وقيم حركة الماء لايمكن حسابها بطرق اخرى. من ناحية اخرى يمكن قياس جهد الشد بواسطة عمود الماء (او عمود الماء مع الزئبق). حيث يتولد الضغط السالب عند تعادل ضغط الماء في المقياس من التعادل مع التربة المجاورة عند جريان الماء في العمود عبر الغشاء المسامي . يكون ارتفاع الماء في العمود دليلاً لجهد الشد ، وجهد الشد للماء في الغشاء المسامي يكون مساوياً الى وزن السائل لكل وحدة مساحة من المقطع العرضي للعمود كما في المعادلة

$$\psi_m = \frac{mg}{A} = V \rho_w \frac{g}{A} = \frac{h A \rho_w g}{A} = h \rho_w g$$

حيث ان حدود هذه المعادلة معرفة سابقاً

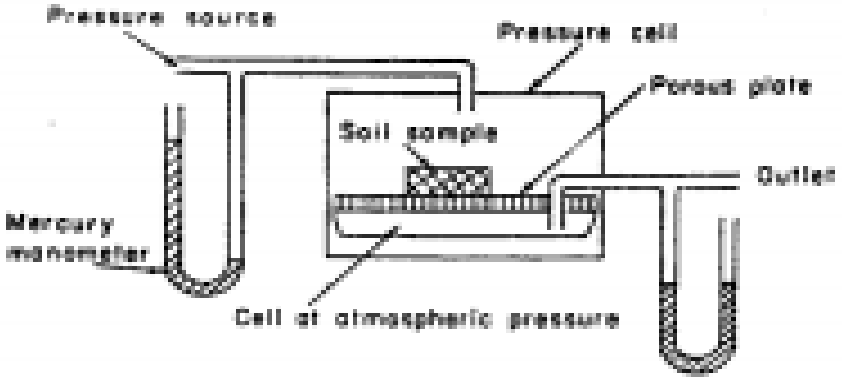
٢ – قياس المنحنيات المميزة لرطوبة التربة

ظاهرة العلاقة بين رطوبة التربة وجهد الشد غالباً ماتكون مقدرة بواسطة قدر الشد التجميعي (الشكل ٥ – ١٠). وفي مديات الشد الواطئ (اقل من ١ بار)



شكل (٥– ١٠) الصفيحة المسامية لقياس جهد الشد عند تعادل تموذج التربة مع قيمة جهد الشد عند المديات (صفر– ١ بار ≅ ١٠٣٣ سم ماء).

يكون بواسطة قدر الضغط او غشاء الضغط الشكل (٥ – ١١) في مديات السحب العالية. هذه الاجهزة تسمح لقيم السحب بالاستعمال في التطبيقات الناجحة واعادة القياس لتعادل رطوبة التربة عند السحب. اعلى قيم سحب يمكن الحصول عليها بواسطة القدر المسامي يكون محدداً بمقدار واحد بار عند كون هواء التربة محتفظاً بضغط جوي واختلاف الضغط حول الوعاء يكون مسيطراً عليه اما بواسطة المفرغة او بتعليق عمود الماء. قيم جهد الشد تكون اكبر من واحد بار (مثلاً ٢٠ بار او اكثر) يمكن الحصول عليها بزيادة ضغط الهواء. وهذه تحتاج الى وضع الصحن المسامي التجميعي داخل قدر الضغط، كما يلاحظ ذلك في الشكل (٥– ١١).



شكل (٥– ١١) الصفيحة المسامية لقياس جهد الشد تحت المديات العالية والخاصة لتحديد المنحنيات المميزة لرطوبة التربة.

حدود جهد الشد التي يحصل عليها في هذه الاجهزة يكون تقديرها بواسطة تصميم القدر واختلاف ضغط الهواء العالي وتشبيع الصحن المسامي وذلك لعدم سماحة لتكوين فقاعات هوائية خلال مساماته. وبصورة عامة ، الصحن المسامي لايمكن تحمل ضغط اكبر من (٢٠ بار) ، لكن غشاء السليلوز-اسيتين يمكن ان يستعمل مع الضغط الزائد عن (١٠٠ بار). خفض رطوبة التربة تحت مديات الشد الواطئة (صفر- ١ بار) يكون متأثراً بدرجة كبيرة بواسطة بناء التربة ، وتوزيع احجام المسام. عليه ، فالقياس المأخوذ من عينة او نموذج مبعثر لا يمكن توقعه لمثل ظروف الحقل. استعمال النماذج غير المبعثرة يكون اكثر تفضيلاً. من جهة ثانية خفض رطوبة التربة في مديات الشد العالية يكون طبقاً لقوة الادمصاص (المسك) وهذا تكون مرتبطة بالسطح النوعي لمواد التربة بدلاً من ارتباطها ببناء التربة.

كما ذكر في احد الابواب ، أن المنحنيات المميزة لرطوبة التربة قد يكون تخلفياً ، منحنى الادمصاص (الامساك) يكون مقاساً بواسطة الانخفاض التدريجي للمحتوى المائي لنموذج التربة المشبع. فالمنحنى الناتج ، غالباً مايطلق عليه منحنى اطلاق رطوبة التربة ، ويكون مطبقاً للعمليات المتضمنة لكل من البزل ، التبخر، واستخلاص رطوبة التربة من قبل النبات. من جهة ثانية ، منحنى الترطيب تكون الحاجة عند عمليات نفوذ الماء او خلال عمليات الترطيب المدروسة. التحويرات في الاجهزة تحتاج لقياسات الترطيب وعلاقتها مع قوة السحب خلال عملية الترطيب.

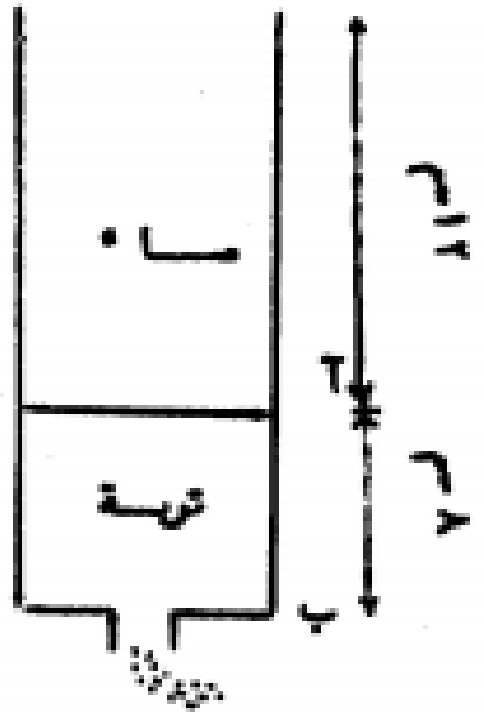
مثال (١)

لديك عمود تربة ارتفاعه ٨ سم وارتفاع الماء فوق سطح التربة ١٢ سم عند بدء فترة القياس كان الزمن مساوياً الى الصفر، في خلال ٣٠ دقيقة انخفض مستوى الماء من ١٢ سم الى ٧ سم ، اذا علمت بان نصف قطر العمود ٤ سم وبافتراض ان النقطة أ تقع على سطح عمود التربة وان النقطة ب تقع في اسفل عمود التربة احسب

أ- الشحنة المائية عند النقطة أ عندما يكون الزمن = صفراً.
ب- الانحدار في الشحنة المائية عندما يكون الزمن = صفراً.
جـ- الانحدار في الشحنة المائية عندما يكون الزمن = ٣٠ دقيقة.

د- حجم الماء المتجمع خلال فترة ٣٠ دقيقة.
هـ- معدل سرعة دارسي.

بافتراض ان المستوى القياسي هو اسفل العمود كما في الشكل الآتي :
الشحنة المائية (أ) = ٨ سم + ١٢ سم = ٢٠ سم
الشحنة المائية (ب) = صفر + صفر = صفر



(شكل (٥ - ١٢)

$$\text{الانحدار في الشحنة المائية} = \frac{\text{التغير في الشحنة المائية}}{\text{المسافة}}$$

$$= \frac{\text{٢٠ سم - صفر}}{\text{٨ سم}} = ٢,٥$$

طالما انخفض سطح الماء من ١٢ سم الى ٧ سم يصبح الارتفاع ٧ سم لذلك فان
الشحنة المائية (أ) = ٨ سم + ٧ سم = ١٥ سم
الشحنة المائية (ب) = صفر + صفر + صفر

$$\text{الانحدار في الشحنة المائية} = \frac{\text{١٥ سم} - \text{صفر}}{\text{٨ سم}} = ١,٨٨$$

$$\text{معدل الانحدار في الشحنة المائية} = \frac{١,٨٨ + ٢,٥}{٢} = ٢,١٩$$

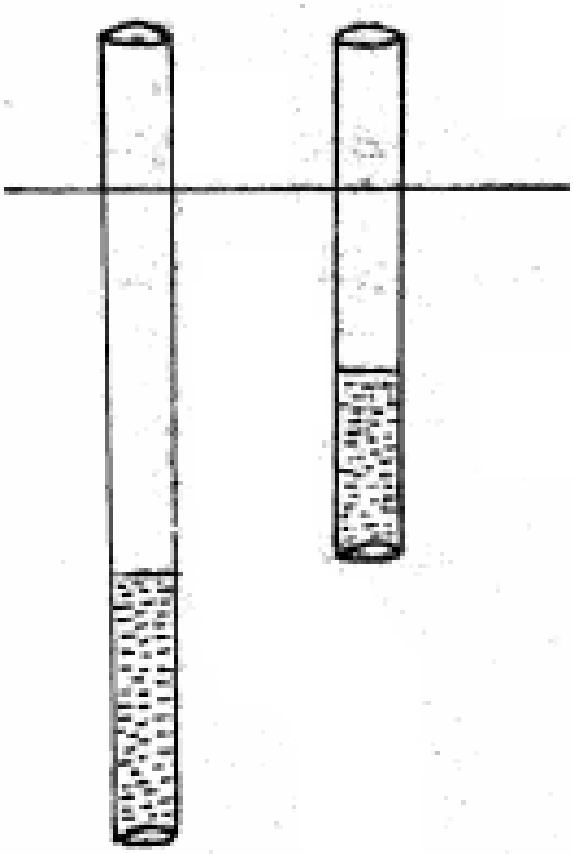
حجم الماء المتجمع خلال ٣٠ دقيقة = المساحة × كمية الماء
= (٤)^{٢} × ٣,١٤ × ٥ = ٢٥١,٢ سم^{٣}

معدل سرعة دارسي = الايصالية المائية × معدل الانحدار في الشحنة المائية
= ٠,٠٨ سم / دقيقة × ٢,١٩
= ٠,١٨ سم / دقيقة

مثال (٢)

مضغاطين اطوالها ٩٠ ، ١٣٥ سم ، ارتفاع الماء فيها ٢٥ ، ١٠ سم على التوالي وارتفاع كلا المضغاطين كان ٢٠ سم فوق سطح التربة . اذا علمت بان الايصالية المائية للتربة ١,٢ سم / ساعة ، افترض بان المستوى القياسي عند سطح التربة ولايوجد جريان جانبي وكذلك افترض ان النقطة أ ، ب واقعة في اسفل كل من الضغاط الاول والثاني على التوالي . اكمل الجدول الآتي بعد الاستعانة بالشكل المجاور

	النقطة أ	النقطة ب
شحنة الضغط	١٠٠ سم	٢٥ سم
شحنة الجذب	— ٩٠ سم	— ١٣٥ سم
الشحنة المائية	— ٨٠ سم	— ١١٠ سم



شكل (٥ – ١٣)

الانحدار في الشحنة المائية بين النقطتين

$$= \frac{-٨٠ \text{ سم} - (-١١٠ \text{ سم})}{٤٥ \text{ سم}}$$

$$= \frac{٣٠ \text{ سم}}{٤٥ \text{ سم}}$$

$$= ٠,٦٧$$

مثال (٣)

يحدث الجريان المشبع من النقطة أ الى النقطة ب والتي تكون شبيه بالمنحدر وتبعد ٥٠ سم عن بعضها البعض كما في الشكل ويحدث الجريان في اتجاه واحد ومع اتجاه الاسهم وموازية للمنحدر ومنتهية بطبقة عديمة النفاذية . علماً بان هذا الشكل مشبع الى السطح تقريباً . اوجد

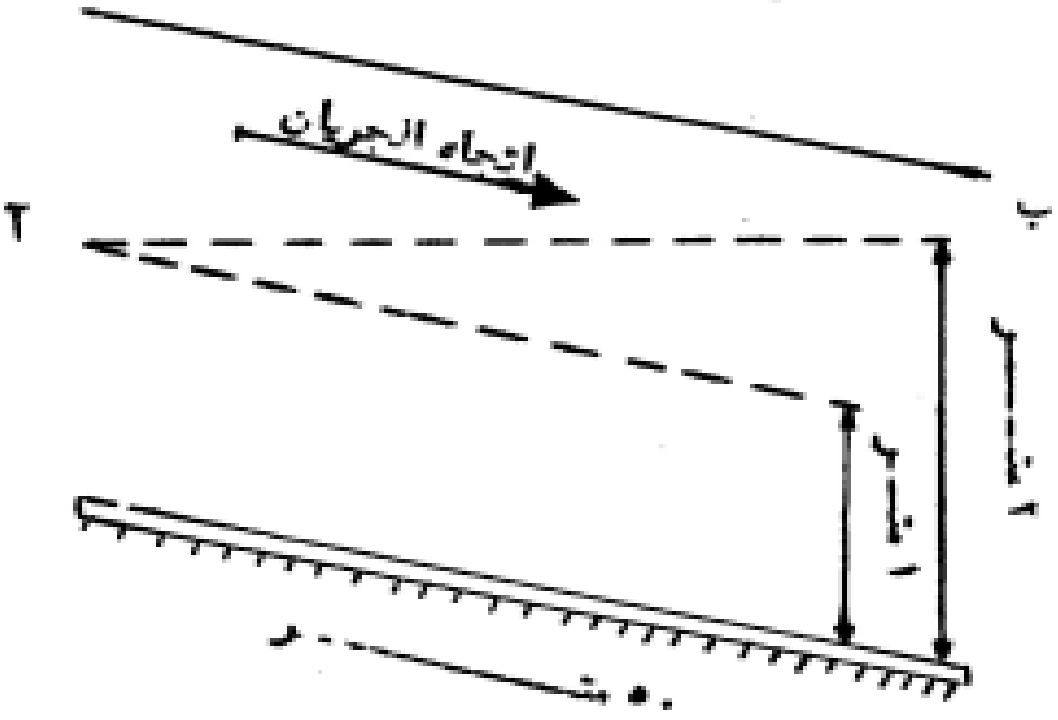
١ – شحنة الجاذبية عند النقطة أ، ب.

٢ – اذا علمت بان شحنة الضغط عند النقطة أ هي ٥٠ سم وانحدار الشحنة المائية ٠,٠٠٥ فما هو الضغط عند ب.

٣ – اذا كانت الايصالية المائية هي ٠,٥ سم / ساعة فما هي سرعة دارسي.

شحنة الجاذبية عند أ = – ١ م = – ١٠٠ سم

شحنة الجاذبية عند ب = ٢ م = – ٢٠٠ سم



شكل (٥ – ١٤)

جهد الشحنة المائية عند أ = شحنة الجاذبية + شحنة الضغط

= – ١٠٠ سم + ٥٠ سم

= – ٥٠ سم

جهد الشحنة المائية عند ب = شحنة الجاذبية + شحنة الضغط

= – ٢٠٠ سم + س

$$\text{انحدار الشحنة المائية بين أ، ب} = \frac{\text{الشحنة المائية عند أ – الشحنة المائية عند ب}}{\text{المسافة}}$$

$$\frac{-٥٠ \text{ سم} - (-٢٠٠ \text{ سم} + \text{س})}{٥٠ \text{ سم}} = ٠,٠٠٥$$

٠,٢٥٠ سم = – ٥٠ سم – س

س = ٥٠,٢٥ سم

الشحنة المائية عند ب= − ٢٠٠ سم + س

٥٠,٢٥ سم= − ٢٠٠ سم + س

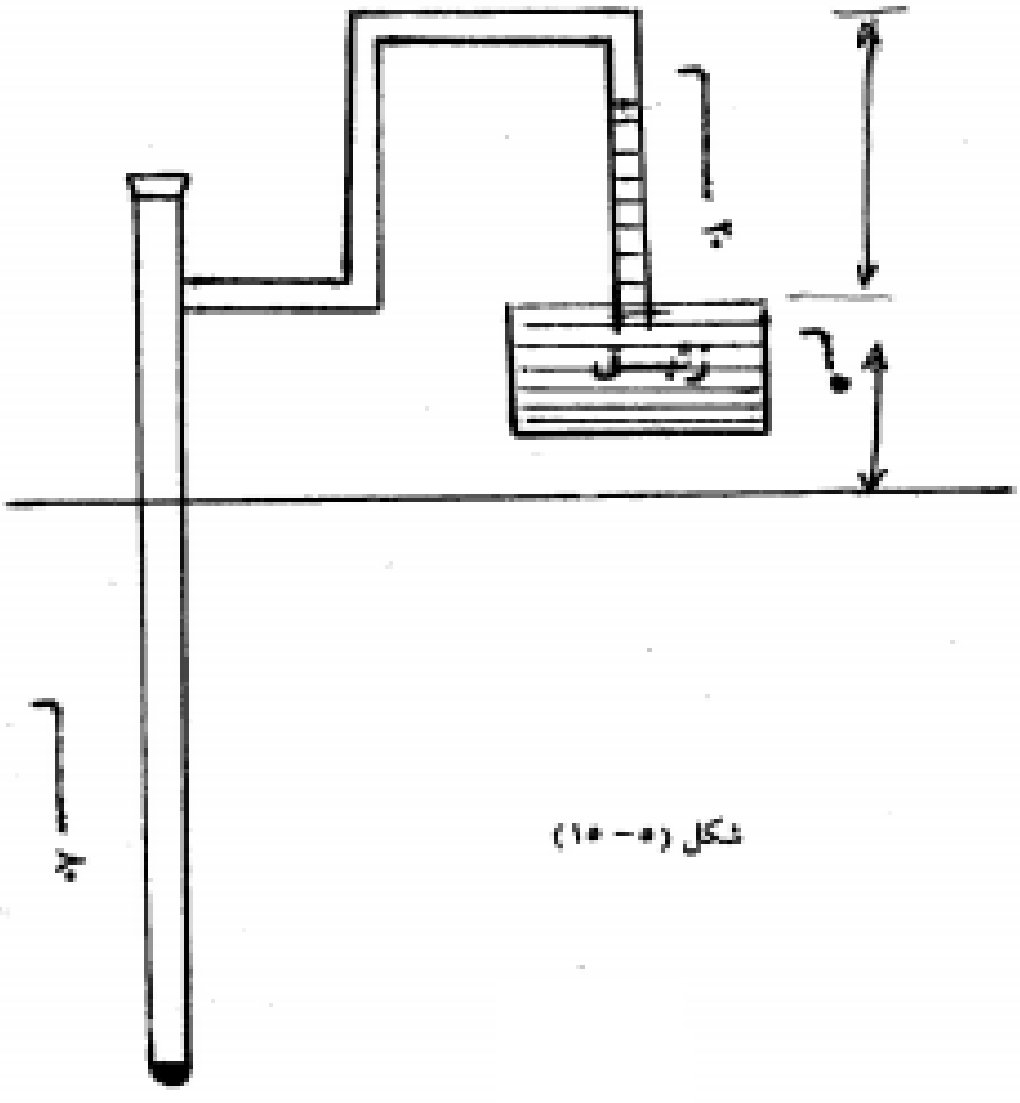
س= +٢٥٠,٢٥ سم

سرعة دارسي= الايصالية المائية × انحدار الشحنة المائية

٠,٥ سم / ساعة × ٠,٠٠٥= ٠,٠٠٢٥ سم / ساعة.

مثال (٤)

إذا كان لديك تنشومتر زئبقي مائي كما في الشكل علماً بان كثافة الزئبق هي ١٣,٦ غم / سم^3. اوجد جهد الشد في الرأس المسامي



شكل (٥ − ١٠)

جهد الشد = ضغط الماء – ضغط الرئبق

= (١٠٥ سم) (٩٨١ سم / ثا^{٢}) (١ غم / سم^{٣})

– (٢٠ سم) (٩٨١ سم / ثا^{٢}) (١٣,٦ غم / سم^{٣})

= ١٠٣٠٠٥ – ٢٦٦٨٣٢

$$= \frac{-١٦٣٨٢٧}{٩٨١} = -١٦٧ \text{ سم}.$$

مثال (٥)

اذا كان ارتفاع قرص التفريغ في التنشومتر يبعد ٥ سم عن سطح التربة وان الرأس الفخاري يبعد ٧٥ سم عن سطح التربة. اذا علمت بان قراءة القرص هي ٣٠ سنتبار، بافتراض المستوى القياسي عند سطح التربة. اوجد

١ – جهد الشد عند الرأس الفخاري.

٢ – ماهو مقدار الشحنة المائية عند الرأس الفخاري.

يلاحظ بان قراءة مقياس الجهاز= ٣٠ سنتبار= ٣٠× ١٠ = – ٣٠٠ سم

وعند افتراض ان سطح التربة هو المستوى القياسي

جهد الشد عند الرأس الفخاري= – ٣٠٠ سم + (٥ سم + ٧٥ سم)

= – ٢٢٠ سم

اما الشحنة المائية= جهد الجاذبية + جهد الشد

= – ٧٥ سم – ٣٠٠ سم = – ٣٧٥ سم

مثال (٦)

اذا كان المستوى القياسي يبعد ٣٠ سم عن النقطة أ و ١٠ سم عن النقطة ب الواقعة تحت المستوي القياس. اوجد الفرق في جهد الشد بين النقطة أ، ب.

جهد الجاذبية عند أ= ٣٠ سم

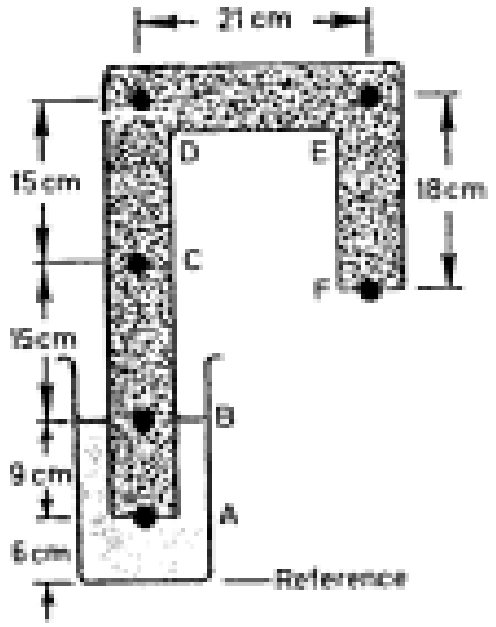
جهد الجاذبية عند ب= – ١٠ سم

الفرق في جهد الجاذبية= جهد الجاذبية أ – جهد الجاذبية
عند ب

= ٣٠ سم – (– ١٠ سم) = ٤٠ سم

مثال (٧)

عمود تربة متجانس على شكل حرف U غمرت احدى نهايتيه في وعاء محاوي على الماء كما في الشكل الآتي. مستوى الماء في الوعاء ثابت ومنع التبخر من سطح الوعاء لحد وصول عمود التربة لحد التعادل ولايحدث الجريان في العمود. اوجد الجهد الكلي وجهد الضغط والجاذبية وجهد الشد لجميع النقاط الموضحة في الشكل



شكل (٥ – ١٦)

يلاحظ بان القوة المسببة لجريان الماء هي
الانحدار في الجهد الكلي ، وعند التعادل لايحدث الجريان وهذا يعني بان الانحدار في الجهد يكون مساوياً الى الصفر (بمعنى اخر ان الانحدار في الجهد يكون متساوياً في جميع النقاط خلال العمود طالما ان النقطة ب واقعة عند سطح الماء الحر، وعليه فان جهد الضغط وجهد الشد يساوي الصفر)

جهد الضغط ب = جهد الشد ب ، وطالما ان جهد الجاذبية هو المسافة العمودية بين المستوى القياسي والنقطة المختارة .

جهد الجاذبية ب = ٦ سم + ٩ سم = ١٥ سم

الجهد الكلي = جهد الضغط + جهد الشد + جهد الجاذبية

الجهد الكلي = صفر + صفر + ١٥ سم = ١٥ سم

وطالما ان الجهد الكلي متساوي لكل النقاط خلال العمود

الجهد الكلي ب = الجهد الكلي أ = الجهد الكلي جـ = الجهد الكلي د = الجهد الكلي هـ = الجهد الكلي و = ١٥ سم .

جهد الجاذبية أ = ٦ سم

جهد الجاذبية جـ = ٣٠ سم

جهد الجاذبية د = ٤٥ سم

جهد الجاذبية هـ = ٤٥ سم

جهد الجاذبية و = ٢٧ سم

جهد الضغط لجميع النقاط فوق مستوى الماء تساوي صفر، وعليه

جهد الضغط ب = جهد الضغط د = جهد الضغط هـ = جهد الضغط و = صفر

وبعد معرفة الجهد الكلي وجهد الضغط والجاذبية يمكن ايجاد جهد الشد لجميع النقاط

جهد الشد = الجهد الكلي – جهد الضغط – جهد الجاذبية

جهد الشد ب = ١٥ سم – صفر – ١٥ سم = صفر

جهد الشد جـ = ١٥ سم – صفر – ٣٠ = – ١٥ سم

جهد الشد د = ١٥ سم – صفر – ٤٥ = – ٣٠ سم

جهد الشد هـ = ١٥ سم – صفر – ٤٥ = – ٣٠ سم

جهد الشد و = ١٥ سم – صفر – ٢٧ = – ١٢ سم

بما ان النقطة أ واقعة تحت مستوى الماء الحر في الوعاء

جهد الشد أ = صفر

جهد الضغط أ = الجهد الكلي – جهد الجاذبية – جهد الشد

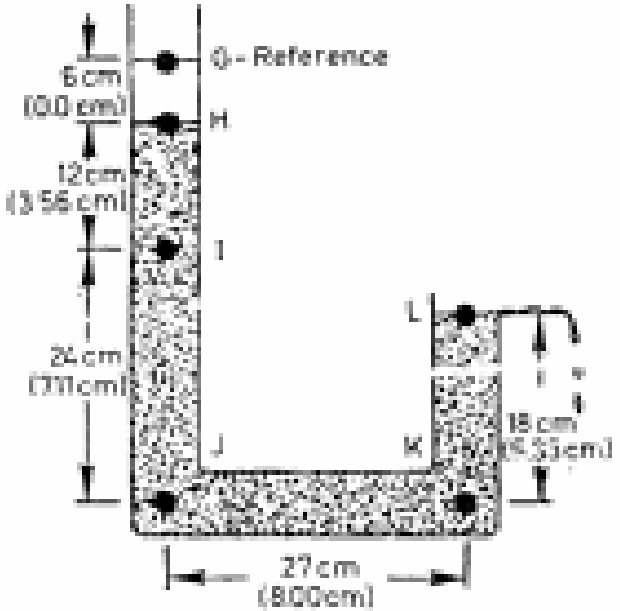
= ١٥ سم – ٦ سم – صفر = ٩ سم

القيم الخاصة بالجهد الكلي وجهد الضغط والجاذبية والشد موضحة في الجدول الآتي :

نوع الجهد	أ	ب	جـ	د	هـ	و
الجهد الكلي	١٥	١٥	١٥	١٥	١٥	١٥
جهد الضغط	٩	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
جهد الجاذبية	٦	١٥	٣٠	٤٥	٤٥	٢٧
جهد الشد	صفر	صفر	— ١٥	— ٣٠	— ٣٠	— ١٢

مثال (٨)

تربة متجانسة وضعت في عمود بشكل الحرف لا مستوى الماء يبقى ثابتاً عند النقطة أ. ويصل الى الحالة المستقرة عند بدء نزول الماء من النقطة وكما موضح بالشكل الآتي :
اوجد الجهد الكلي وجهد الضغط والشد والجاذبية لجميع النقاط الواقعة على طول العمود في الشكل الآتي :



شكل (٥ – ١٧)

طالما حصل جريان للماء ، فهناك اختلاف في الجهد الكلي بين نهايتي العمود ، وبسبب ان العمود متماثل في قطره وكذلك التربة المتماثلة في محتواها الرطوبي ، يلاحظ أن الفقد في الجهد الكلي يكون متساوياً لجميع النقاط لمحاول ايجاد الجهد الكلي عند بداية ونهاية العمود يلاحظ من العمود أن النقطة ب تكون بحدود ٦ سم تحت المستوى القياسي

جهد الجاذبية ب = − ٦ سم

جهد الضغط ب = ٦ سم

الجهد الكلي ب = جهد الجاذبية ب + جهد الضغط ب + جهد الشد ب

= − ٦ سم + ٦ سم + صفر = صفر

اما عند النقطة و، فان الماء يتدفق من خلالها لذلك فان

جهد الشد و = جهد الضغط و = صفر

جهد الجاذبية و = − ٢٤ سم وعليه فان

الجهد الكلي و = جهد الجاذبية و + جهد الضغط و + جهد الشد و

= − ٢٤ سم + صفر + صفر = − ٢٤ سم

لذلك فان الفرق بين الجهد الكلي من النقطة أ الى النقطة و = − ٢٤ سم − صفر

= − ٢٤ سم

طول عمود التربة = ١٢ سم + ٢٤ سم + ٢٧ سم + ١٨ سم = ٨١ سم

$$\text{الانحدار في الجهد} = \frac{\text{التغير في الجهد}}{\text{التغير في الطول}} = \frac{-٢٤ \text{ سم}}{٨١ \text{ سم}} = -٠,٣٠$$

لذلك فان الفرق في الجهد بين نقطتين = الانحدار في الجهد × المسافة بين النقطتين

ب جـ = − ٠,٣٠ × ١٢ سم = − ٣,٦ سم

جـ د = − ٠,٣٠ × ٢٤ سم = − ٧,٢ سم

د هـ = − ٠,٣٠ × ٢٧ سم = − ٨,١ سم

هـ و = − ٠,٣٠ × ١٨ سم = ٥,٤ سم

يمكننا الان حساب الجهد الكلي لكل نقطة

الجهد الكلي ب =صفر

الجهد الكلي جـ =الجهد عند ب + التغير بين ب جـ

= صفر + (−٣,٦ سم) =−٣,٦ سم

الجهد الكلي د =الجهد عند ب + التغير في الجهد بين ب جـ + التغير في الجهد بين جـ د

= صفر + (−٣,٦ سم) + (+٧,٢ سم) = −١٠,٨ سم

الجهد الكلي هـ =صفر + (− ٣,٦ سم) + (−٧,٢ سم) + (−٨,١ سم)

=− ١٨,٩سم

الجهد الكلي و = صفر + (٣,٦٠ سم) + (٧,٢٠ سم) + (−٨,١ سم) + (٥,٤ سم)

= −٢٤,٣ سم.

اما جهد الجاذبية ب = −٦ سم

جهد الجاذبية جـ = −١٨ سم

جهد الجاذبية د=− ٤٢ سم

جهد الجاذبية هـ= − ٤٢ سم

جهد الجاذبية و=− ٤٢ سم

بما ان جميع النقاط تحت سطح الماء

جهد الشد ب = جـ = د= هـ = و= صفر

اما جهد الضغط فيمكن حسابه كما يأتي :

جهد الضغط = الجهد الكلي− جهد الجاذبية− جهد الشد

جهد الضغط ب= صفر− (− ٦ سم)− صفر= ٦ سم

جـ= صفر− (− ١٨ سم)− صفر= ١٨ سم

د= صفر− (− ٤٢ سم)− صفر= ٤٢ سم

هـ= صفر− (− ٤٢ سم)− صفر= ٤٢

و= صفر− (− ٢٤ سم)− صفر= ٢٤ سم

مثال (٩)

اذيب مول واحد من محلول ملحي في ١٠٠٠ سم^{٣} من الماء عند درجة حرارة ٢٠ مْ ، ٠,١ المحلول الملحي تاين وعند ذلك كل جزء من هذا الملح نتج عنه ٣ ايونات . اوجد الجهد الازموزي

$$\text{٠,١ مول ملح متاين} \times \frac{\text{٣ مول ايون}}{\text{مول ملح متاين}} = \text{٠,٣ مول ايون}$$

١ مول ملح − ٠,١ مول ملح متاين = ٠,٩ مول ملح غير متاين

٠,٣ مول + ٠,٩ مول = ١,٢ مول

$$= \frac{\text{١,٢}}{\text{١٠٠٠ سم}^{٣}} \times \frac{\text{٨٢ بار سم}^{٣}}{\text{مول} \times \text{درجة مطلقة}} \times \text{٢٧٣ درجة مطلقة} = \text{٢٨,٨ بار}$$