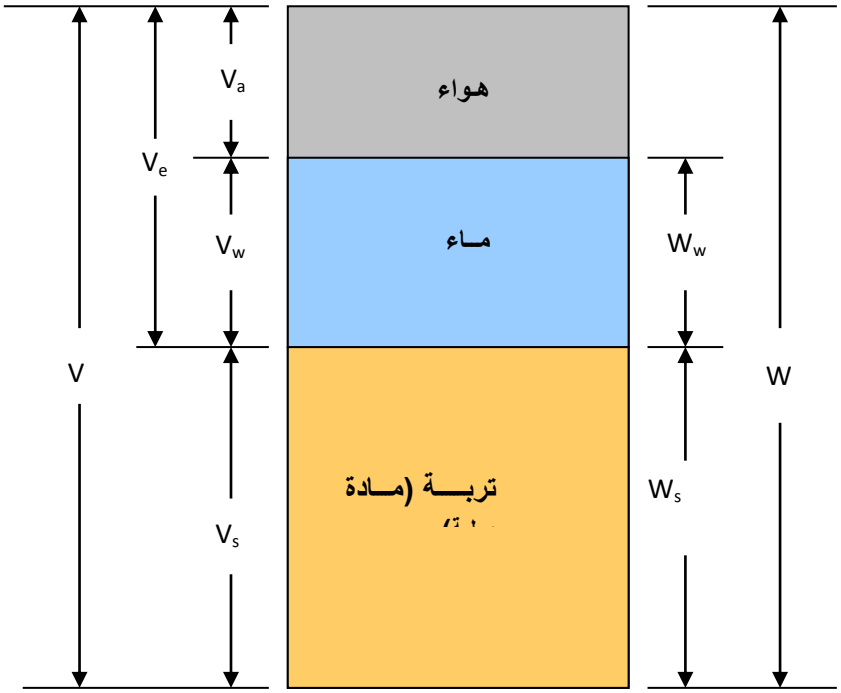
طبيعة الماء في التربة

مكونات التربة

تتكون التربة من جزء صلد مكون من مركبات عضوية وأخرى معدنية ، يتجمع بعضها مع بعض لتترك جزءاً مسامياً مشغولاً بالماء و الهواء (شكل 3.1). تتباين التربة كثيرا في نسب مكوناتها، مما ينعكس على خصائصها الفيزيائية التي تؤثر على حركة الماء فيها ثم تؤثربالتالي بشكل مباشر في تحديد نوع وتصميم شبكات الصرف.



شكل 3.1: مقطع يمثل الأجزاء الرئيسة لمكونات التربة

المكونات الثلاثة ضرورية لنمو النباتات ، ونسبة كل من الهواء والماء عند أي زمن تعتمد على نوع التربة، والمناخ، والأعمال والعوامل الفعالة التي يقوم بها الأنسان عند الزراعة. فجزء من المادة الصلبة الواقع بالقرب من سطح التربة يتكون من مواد عضوية مثل: جذور النباتات والديدان و البكتريا. ونسبة هذه العناصر (المواد العضوية) ومدى فعاليتها ونشاطها يعتمد على نوع التربة، والمحصول أو الغطاء الخضري، وكذلك على الفترة الزمنية من السنة، بالإضافة للعوامل الأخرى. وهذه العناصر، تُهمل عادة عند تحليل

ودراسة حركة الماء داخل التربة. ولكن الفعاليات البيولوجية بشكل عام لها تأثير على حالة حركة الماء في سطح التربة.

تصنف الأجزاء الصلبة من التربة أيضا حسب نسبة الرمل والسلت والطين فيها. والجدول (3.1) يبين بعض التعاريف الأساسية الخاصة بالتربة والماء.

جدول3.1. العلاقات الأساسية الخاصة بالتربة والماء

المتغير	الرمز	العلاقة	
المسامية	p	حجم الفراغات/الحجم الكلي	$\frac{v_e}{v} = \frac{v_a + v_w}{v}$
نسبة الفراغات	e	حجم الفراغات/حجم المادة الصلبة	$\frac{v_e}{v_s} = \frac{v_a + v_w}{v_s}$
الكثافة الظاهرية أو الكثافة الظاهرية الجافة	ρ_d	كتلة التربة الجافة/الحجم الكلي	$\frac{M_s}{v} \left(g/cm^3\right)$
الكثافة النوعية للمادة الصلبة	G_s*	كتلة وحدة الحجم للمادة الصلبة/كتلة وحدة الحجم من الماء أو كتلة المادة الصلبة/كتلة نفس الحجم من الماء	$\frac{M_s/v_s}{\rho_w}$
الرطوبة الحجمية	θ	حجم الماء/الحجم الكلي	$\frac{v_w}{v} = \frac{v_w}{v_w + v_a + v_s}$
الرطوبة الوزنية – جافة	$\overline{m}$	كتلة الماء/كتلة المادة الصلبة	$\frac{M_w}{M_s}$
الرطوبة الوزنية– الرطبة	m	كتلة الماء/الكتلة الكلية	$\frac{M_w}{M_s + M_w}$

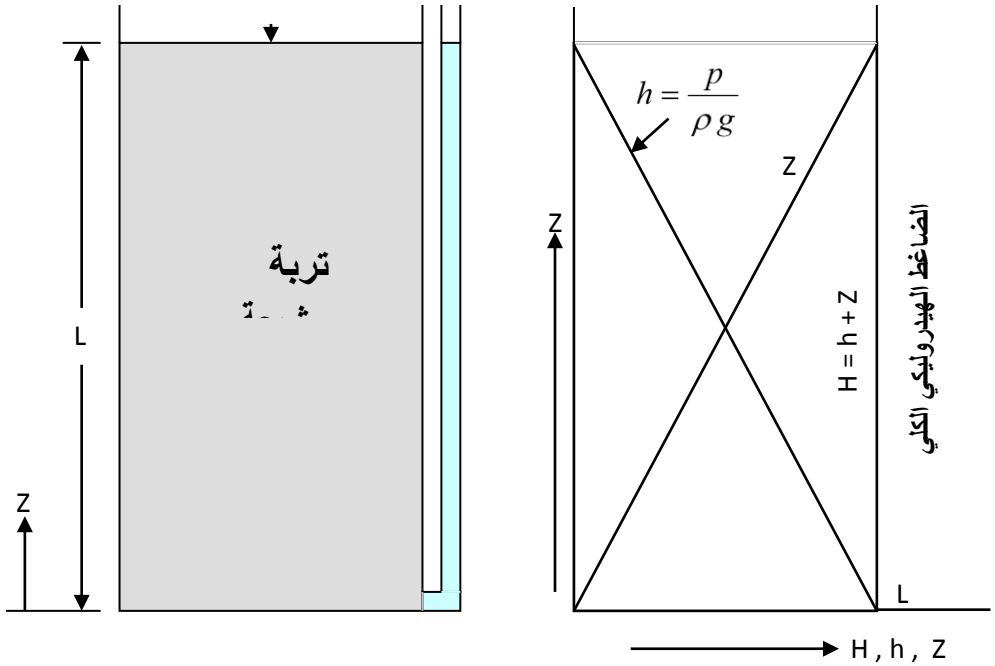
***غالباً ما تكون قيمة G_s للترب الزراعية تتروواح ما بين 2.55 و 2.75 وعادة تفرض قيمتها 2.65**

ماء التربة في حالة السكون

يجب التعرف على علاقة التربة بالماء في حالة السكون كي يمكن معرفة حركة الماء داخل التربة . ولتحقيق ذلك يمكن دراسة الحالات الآتية:

الحالة الأولى

يمثل الشكل (3.2) عمود من تربة مشبعة تماماً بالماء، ومستوى الماء الحر فيه يلامس سطح التربة، فالماء يملأ جميع فراغات التربة، فيكون توزيع الضغط في هذه الحالة وكأنه عمود من الماء بدون تربة وبنفس ارتفاع العمود.



شكل3.2. مقطع لعمود من تربة مشبع بالماء موضح عليه توزيع الضغوط المختلفة

وعليه يمكن وضع العلاقة الآتية التي تبين توزيع ضغط الماء بداخل عمود التربة بالصيغة الآتية:

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g \quad \text{.....[3-1]}$$

أذ أن:

P = الضغط ، ρ = كثافة السائل، g = عجلة الجاذبية الأرضية، z = الإحداثي الرأسي يكون موجباً بالاتجاه الأعلى. وبأخذ التكامل لطرفي المعادلة [3–1] ، نحصل على:

$$\int \frac{dp}{dz} = \int -\rho g \quad \text{.....[3-2]}$$

وبعد إجراء عملية التكامل تصبح المعادلة بالصيغة الآتية:

$$P = -\rho g z + C \quad \text{.....[3-3]}$$

أو يمكن أن تبسط المعادلة بتقسيمها على ρg تصبح بالشكل التالي:

$$\frac{p}{\rho g} + z = C = H \quad \text{.....[3-4]}$$

أذ أن:

$\frac{p}{\rho g}$ = ضاغط الضغط (أو عمود الضغط) ويساوي h ، ووحداته هي وحدات الطول

z = الأرتفاع فوق مستوى المقارنة

C = الضاغط الكلي أو يساوي الضاغط الهيدروليكي الكلي (H)

والضاغط الكلي في حالة كون الماء ساكناً يكون ثابتاً كما هو مبين بالشكل (3.2).

<u>الحالة الثانية</u>:

الشكل(3.3) يبين عمود من التربة كالحالة السابقة في حالة توازن مائي، وسطح الماء الحر فيه عند ارتفاع مقداره l ، أي أن $Z = l$ ، والفراغات البينية للتربة فوق مستوى سطح الماء يوجد فيها هواء وماء ، فلذلك تدعى التربة في هذه الحالة تربة غير مشبعة أو مشبعة جزئيا (unsaturated or partialy saturated) .

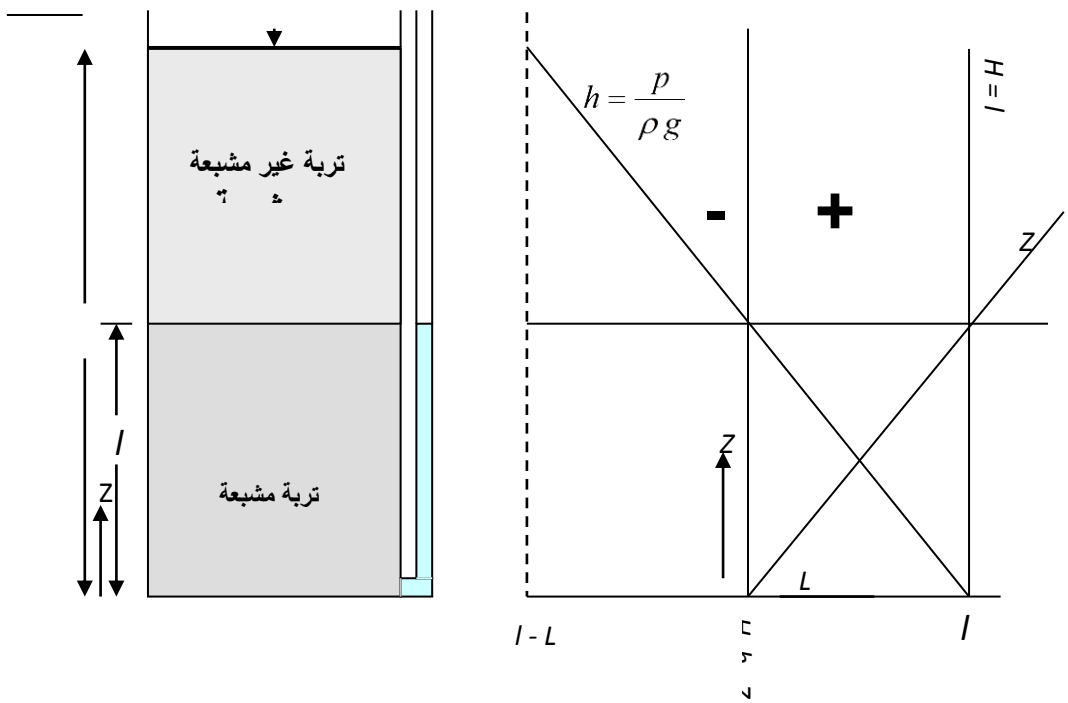
ففي مثل هذه الحالة يكون الضاغط الهيدروليكي الكلي H ثابتاً ويساوي l ، ويعبر عنه بالصيغة الآتية:

$$H = \frac{p}{\rho g} + z = l \quad \text{.....[3-5]}$$

وعندما يكون $z > l$ يصبح ضغط الماء سالباً كما هو مبين في الشكل (3.3):

القوى الفعالة في التربة غير المشبعة تكون بسبب قوى التلاصق وقوى التماسك. وعندما يكون ضغط ماء التربة أقل من الضغط الجوي يدعى في مثل هذه الحالة "ضاغط الشد tension head أو suction head".

وفي مثل هذه الحالة يعبر عنه بقيمة موجبة، ومثال على ذلك إذا كان ضاغط الضغط $h = P/\rho g$ = -25 cm، فمعنى ذلك بأن ضاغط الشد يساوي 25 سنتمتراً. أو أحياناً يدعى الضاغط الشعري capillary head، وهوناتج عن القوى الشعرية المؤثرة في منظومة التربة والماء، غير أن المصطلح الشائع أو المفضل عندما يكون الضغط سالباً هو جهد الشد matric potential . وعليه يمكن أن تعبر h عن ضغط الشد matric headتحت ظروف التربة غير المشبعة .



شكل3.3. مقطع لعمود من تربة مشبعة جزئياً

الخاصية الشعرية

لتوضيح العلاقة بين ضغط ماء التربة وتوزيعه ضمن مقطع التربة يمكن الإستعانة بتحليل الأنابيب الشعرية الشكل (3.4)، ويمثل هذا الشكل إنبوب شعري نصف قطره، وضع في إناء مملوء بالماء ومكشوف من الأعلى. فيلاحظ بأن الماء يرتفع في الأنبوب لمسافة مقدارها (hc). فالقوى المؤثرة للأعلى تكون نتيجة للشد السطحي على جدران الأنبوب، والذي يساوي:

$T = 2\pi r\sigma$ .....[3-6]

أذ أن: σ= معامل الشد السطحي ، r= نصف قطر الأنبوب الشعري

قوة الشد السطحي للأعلى في الإنابيب غير النقية تساوي ما يأتي:

$$T = 2\pi r\sigma\cos\theta \quad \text{.....[3-7]}$$

إذ أن θ تعبر عن زاوية الألتصاق بين السائل والأنبوب. أما القوى المؤثرة للأسفل فهي وزن السائل W، والذي يساوي:

$$w = \pi r^2 h_c \rho g \quad \text{.....[3-8]}$$

ومن المعادلتين [3-7] و[3-8] يمكن إيجاد إرتفاع السائل في الإنابيب الشعرية كما يأتي:

$$h_c = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g r} \quad \text{.....[3-9]}$$

في حالة الأنبوب الزجاجي النظيف تكون الزاوية θ = 0

وكذلك يمكن إيجاد مقدار الضغط في الأنبوب الشعري بالطريقة الآتية:

لو أخذت نقطة O مباشرة أسفل سطح الماء في الأنبوب الشعري، فيكون الضغط عند هذه النقطة يساوي:

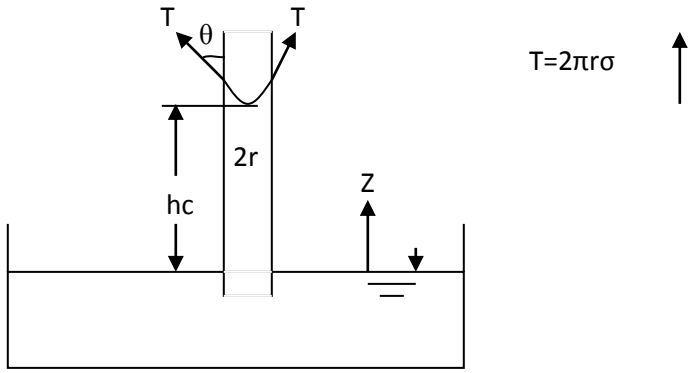
$$\frac{p}{\rho g} + z = \text{Constant} = H \quad \text{.....[3-10]}$$

فعندما تكون z = 0 وكذلك P = 0 ، تصبح المعادلة [3-10] كما يأتي:

$$\frac{p}{\rho g} + z = 0 \quad \text{.....[3-11]}$$

أو تأخذ الشكل التالي:

$$\therefore \frac{p}{\rho g} = -z \quad \text{.....[3-12]}$$



$W=\pi r^2 hc.\rho g$ ↓

شكل3.4. نظام الأنابيب الشعرية

وعندما تكون $z = h_c$ ، عوض عن Z بالمقدار h_c تصبح المعادلة [3-10] كما يأتي:

$$\therefore \frac{p}{\rho g} = -hc = \frac{2\sigma.\cos\theta}{\rho g r} \quad \text{.....[3-13]}$$

إذاً تصبح المعادلة بالصورة الآتية:

$$p = -\frac{2\sigma}{r}\cos\theta \quad \text{.....[3-14]}$$

أو يمكن إيجاد مقدار الضغط في الأنبوب الشعري بالطرقة الآتية:

الضغط تحت سطح الماء مباشرةً في الأنبوب الشعري يكون سالباً ، والضغط فوق الطبقة المائية هو ضغط جوي = صفر

$$\therefore\ H = h + z \quad \text{.....[3-15]}$$

إذاً تصبح المعادلة كما يأتي:

$$0 = h + hc \quad \text{.....[3-16]}$$

ولكن h تساوي:

$$h = \frac{p}{\rho g} = -hc \quad \text{.....[3-17]}$$

وكذلك hc تساوي:

$$hc = -\frac{2\sigma.\cos\theta}{\rho g r} \quad \text{.....[3-18]}$$

وبالتعويض نحصل على ما يأتي:

$$\frac{p}{\rho g} = -\frac{2\sigma.\cos\theta}{\rho g r} \quad \text{.....[3-19]}$$

وبعد التبسيط تصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$p = -\frac{2\sigma.\cos\theta}{r} \quad \text{.....[3-20]}$$

<u>ملاحظات :</u>

1- تعتبر كل من (σ) و (ρ) صفة من صفات السائل

2- يعتبر r صفة من صفات الوسط الناقل (الأنبوب)

3- مقدار الزاوية θ يعتمد على صفات التربة والماء

4- يعتمد ضغط ماء التربة على صفات التربة و الماء

وفي حالة أن الضغط لا يساوي ضغط جوي تصبح المعادلة [3-20] كما يأتي:

$$p - p_a = \frac{2\sigma.\cos\theta}{r} \quad \text{.....[3-21]}$$

أذ أن P_a = الضغط فوق طبقة الماء تقاس بواسطة مقياس (gauge) ، وبشكل عام يمكن أن تكون المعادلة لمعظم الأشكال المنحنية على الشكل التالي:

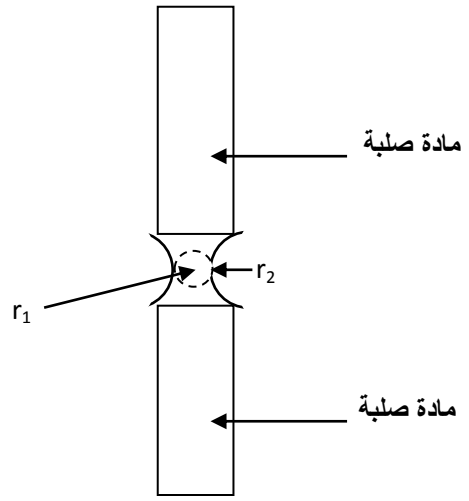
$$P - Pa = \sigma \times Total\ Curvature \quad \text{.....[3-22]}$$

ويكون مجموع القطر الكلي عندما يكون هناك أكثر من قطر كما يأتي:

$$\text{Total Curvature} = p - p_a \quad \text{.....[3-23]}$$

ملاحظة : يكون نصف قطر المنحني r موجباً إذا كان باتجاه داخل سطح الماء وسالبا اذا كان بالاتجاه الخارجي (شكل 3.5)، ويكون الضغط سالبا عندما يكون $r_1 \rangle r_2$ ، وعليه تكون المعادلة في هذا المثال كما يأتي :

$$p - p_a = \sigma\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \text{.....[3-24]}$$



شكل3.5. مقطع يوضح التلاصق بين الماء والأجزاء الصلبة (التربة).

خواص ماء التربة Soil-water characteristic

يمثل الشكل (3.6) عينة ترابية، فيها ماء وهواء، موضوعة على منضدة الشد، تكون العلاقة فيها بين جميع العناصرعادة معقدة، فالتربة موضوعة فوق قرص مسامي يعمل على وصل الماء الموجود في التربة مع الماء الموجود في أسفل العينة، فالمسامات يجب أن تكون صغيرة بأذ تقلل من خروج ماء التربة عند خفض الأنبوب للأسفل.

فإذا أُفتُرِض بأن حالة التوازن تحدث عندما يُخفض الأنبوب المغذي إلى الأسفل بأذ تصبح $z = -a$ ، فبذلك يمكن أن تكون العلاقة الآتية تمثل الضاغط الهيدروليكي الكلي كما يأتي:

$$\frac{p}{\rho g} + z = H = \text{Constant} \quad \text{.....[3-25]}$$

$$P = 0 \quad \text{at} \quad z = -a \quad \therefore \; H = -a \quad \text{.....[3-26]}$$

<u>ملاحظة:</u>

at z = 0

تصبح $\frac{p}{\rho g} + 0 = H$

إذن $h = \frac{p}{\rho g} = H = -a$

إذن $h = -a$

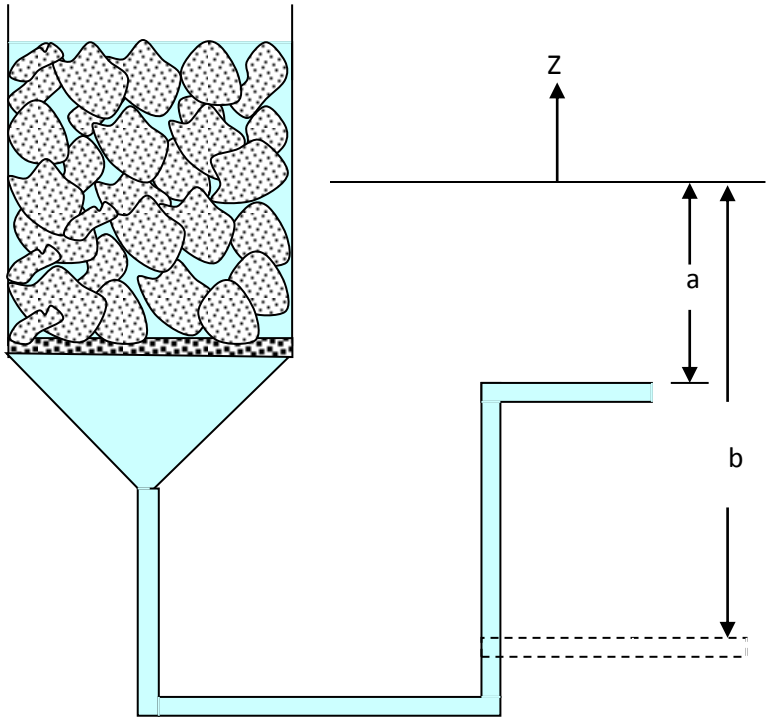
وإذا استمر في تخفيض الأنبوب إلى الأسفل بأذ تصبح z = - b ، فالماء سيستمر بالخروج من الأنبوب إلى أن يصل إلى حالة التوازن، وبالتالي يصبح ضاغط الضغط مساوياً إلى ما يأتي:

$$h = \frac{p}{\rho g} = -b \quad \text{.....[3-27]}$$

منحنى الشد الرطوبي

تستخدم هذه العلاقة لتقدير أمور عديدة خاصة ما يأتي:

1. توزيع فراغات التربة pore size distribution
2. كمية المياه المحتفظ بها من قبل أي تربة عند جهد معين.
3. كمية المياه التي يمكن أن تخرج من التربة (تنصرف) عند تعريضها لجهدين مختلفين

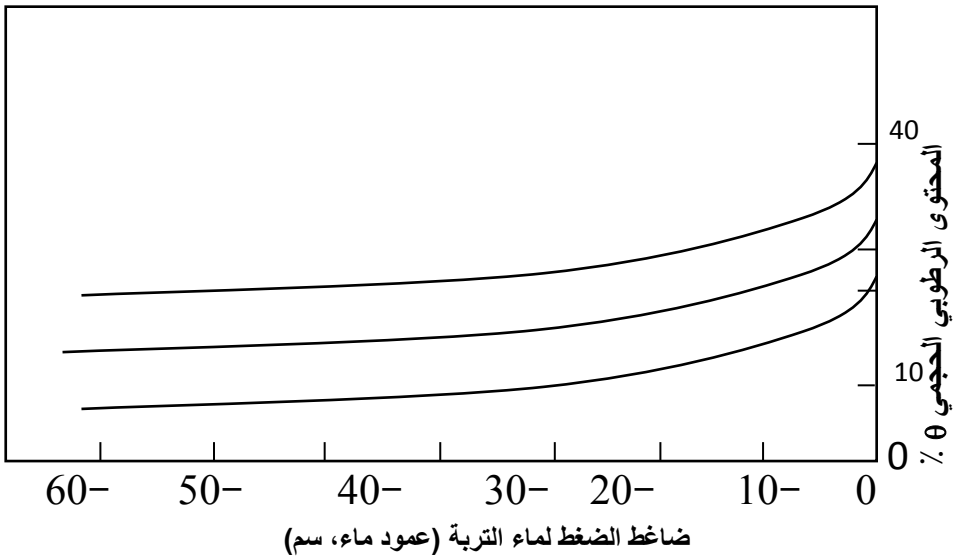


شكل3.6. منضدة الشد الرطوبي فوقها عينة من تربة مشبعة بالماء

يختلف الشد الرطوبي حسب نوع التربة، فلكل نوع من التربة له منحني مميز خاص به (شكل 3.7)، ويمثل الشكل (3.8) منحنى الشد الرطوبي لتربة مزيجية مع بيان كيفية استخدامه في تحديد احتياجات الري، فمثلاً اذا كان المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة بعد الري يساوي θ_1 وجهد الضغط يساوي h_1 ، فإن هذا الجهد سوف يقل كلما استنفذ الماء من التربة بواسطة النبات . فلو اعتبر بأن الضغط h_2 يمثل مستوى جهد الضغط الحرج الذي عنده لا يسمح باستنفاذ الماء من التربة (أي أنه لا بد من إضافة الماء للحقل عند هذا الجهد). لذا يكون مقدار الماء الممسوك في التربة بين الضغط h_1 و h_2 هو الفرق بين المحتوى الرطوبي الأولي θ_1 والنهائي θ_2 .

طرق قياس الشد الرطوبي

يقاس الشد الرطوبي عادة في المعمل باستخدام منضدة الشد أو بواسطة طبق الضغط، وتدعى أحيانًا قدر الضغط (شكل3.9)، كما يقاس الشد الرطوبي للتربة في الحقل بواسطة التنشيوميترات (شكل3.10)، ولكي يتم رسم منحني الشد الرطوبي للتربة يجب قياس المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة بنفس الوقت الذي يقاس فيه الشد الرطوبي.



شكل3.7. منحنى الشد الرطوبي لثلاثة أنواع مختلفة من الترب

شكل3.8. منحنى الشد الرطوبي لتربة مزيجية موضح عليه كيفية استخدامه في تحديد إحتياجات الري.

شكل 3.9. منضدة الشد الرطوبي لقياس الشد الرطوبي

شكل3.10. جهاز التنشيوميتر لقياس الشد الرطوبي للتربة في الحقل

تقيس التنشيومترات بشكل عام الجهد لغاية ضغط يساي 0.8 بار، وتكون قياسات الحقل عادة دقيقة وصعبة من أذ التكرار والصيانة.

لتوضيح عملية اختلاف منحني الشد الرطوبي للترب المختلفة يمكن افتراض بأن مادة مسامية مكونة من ثلاث حزم من الأنابيب الشعرية كما هو مبين في الشكل (3.11)، مساميتها الكلية 0.45 وفيها ما يأتي:

<u>الحالة الأولى:</u> الحزمة الأولى نصف قطر الأنبوب الشعري الواحد فيها r_1=

الحزمة الثانية " " " " " " r_2 =

الحزمة الثالثة " " " " " " r_3 =

المسامية الكلية = $p = \frac{v_e}{v} = 0.45$ و $\frac{v_1}{v} = \frac{v_2}{v} = \frac{v_3}{v} = 0.15$

$$n = \frac{v_1}{v} + \frac{v_2}{v} + \frac{v_3}{v} = 0.45$$

أذ أن كل من V_1 ، V_2 ، V_3 تمثل حجم الفراغات لكل من الأنابيب r_1 ، r_2 ، r_3 وضعت هذه المادة المسامية فوق طبق الشد وتم تشبيعها في البداية، ثم خفضت فتحة الأنبوب عدة مرات متتالية بالطريقة الآتية:

تم تخفيض الأنبوب إلى مستوى $Z = -h_3$ ، وهذا يساوي مقدار ارتفاع الماء في الأنبوب الشعري ذو قطر r_3، وفي هذه الأنابيب سيبدأ الماء بالخروج منها وتفرغ تماماً عندما يخفض منسوب الأنبوب إلى مسافة h_3 +1cm من قمة العينة، أي أن $Z=-h_3-1cm$ ، وهكذا بالنسبة للأقطار r_1 و r_2 ستبدأ المياه بالخروج منها عندما يخفض منسوب الأنبوب إلى $Z = -h_2$ و $Z = -h_1$ على التوالي (شكل 3.11).

يمكن من هذه النتائج رسم علاقة بين ضاغط الضغط والمحتوى الرطوبي لهذه الحالة كما هو مبين في الشكل (3.12).

شكل3.11. نموذج مسامي مكون من ثلاث حزم من الأنابيب الشعرية

شكل3.12: العلاقة بين المحتوى الرطوبي الحجمي وضاغط الضغط للحالة المبينة في الشكل السابق

ملاحظات:

1. اذا اجريت عملية اعادة الماء إلى التربة من خلال الأنبوب بواسطة رفع الفتحة إلى الأعلى ستمتلئ الأنابيب الشعرية بنفس النمط الذي اتبعته عند التفريغ، أي أن الرسم سيمثل حالة الصرف و حالة الري أيضا.
2. تكون هناك علاقة واحدة بين $\theta(h)$ لهذه المادة، أي أنه لكل θ يوجد مقدار واحد من h والعكس صحيح.

الحالة الثانية :

مادة مسامية مكونة من عدة حزم من الأنابيب الشعرية ذات أشكال ثلاثة مختلفة كما هو موضح بالشكل (3.13) ، وفيها ما يأتي:

1. يمثل كل شكل من الأنابيب الشعرية ثلث حجم الفراغات الكلي للمادة
2. الأجزاء الكبيرة من الأنابيب غير منتظمة الشكل تكون أقطارها مساوية إلى ضعف قطر الأنابيب المكونة للجزء الصغير) إذن $r_1 = 2r_2$).
3. الضغوط h_1 ، h_2 ، h_3 تساوي مقدار ارتفاع الماء الشعري في الأنابيب ذات أقطار r_1 ، r_2 ، r_3 على التوالي.

فإذا خفضت فتحة الأنبوب إلى $Z = -h_1$ ، فإن الأنابيب الشعرية العلوية ذات الأقطار r_1 سوف يفرغ منها الماء باتجاه الأنابيب السفلية الدقيقة. وإذا استمرت عملية تخفيض فتحة الأنبوب إلى $Z = -h_2$ فإن الأنابيب غير المنتظمة ستفرغ تماما عندما يصل $Z = -h_2 - 1cm$ ، وهكذا يفرغ الأنبوب الشعري ذو قطر r3 عندما يخفض منسوب الأنبوب إلى $Z = -h3 - 1$

وبعد ذلك يمكن رسم العلاقة بين محتوى الماء الرطوبي الحجمي وضاغط الضغط كما هو مبين في الشكل (3.14).

وإذا تم توصيل مصدر مائي إلى الأنبوب وتم رفع فتحته إلى الأعلى ، بعكس العملية السابقة (عملية الصرف) ، فيلاحظ بأن الفراغات ستمتلئ بالماء وتكون العلاقة $\theta(h)$ مختلفة عن العلاقة $\theta(h)$ في حالة الصرف كما هو مبين بالشكل(3.14).

وعندما ترفع فتحة الأنبوب إلى $Z = -h2$ ، فسيمتلئ الجزء الدقيق من الأنبوب الشعري الأوسط r2 بالماء ، بينما في حالة الصرف عند تخفيض الأنبوب إلى $Z = -h2$ سيتم تفريغ كل الأنبوب الأيسر بالإضافة إلى الجزء الرفيع من الأنبوب الأوسط .ففي هذه الحالة لا تكون العلاقة $\theta(h)$ واحدة، أي انه عند مقدار معين من h ليس من الضروري بأن تكون هناك قيمة واحدة من θ.

شكل3.13. مادة مسامية مكونة من عدة حزم من الأنابيب الشعرية

شكل3.14.العلاقة بين المحتور الرطوبي الحجمي وضاغط الضغط للحالة أعلاه

ظاهرة التخلف Hysteresis

تعتمد قيمة θ على حالة اضافة الماء wetting وحالة الصرف للمادة. فبعد إعادة إضافة الماء إلى التربة بعد الأنتهاء من عملية الصرف فنلاحظ بأن منحنيات خصائص التربة لحالتي الصرف والري لن يتطابقا، وهذه الحالة تدعى ظاهرة التخلف hysteresis ، وهذه الظاهرة تظهر عادة في معظم الترب الطبيعية .

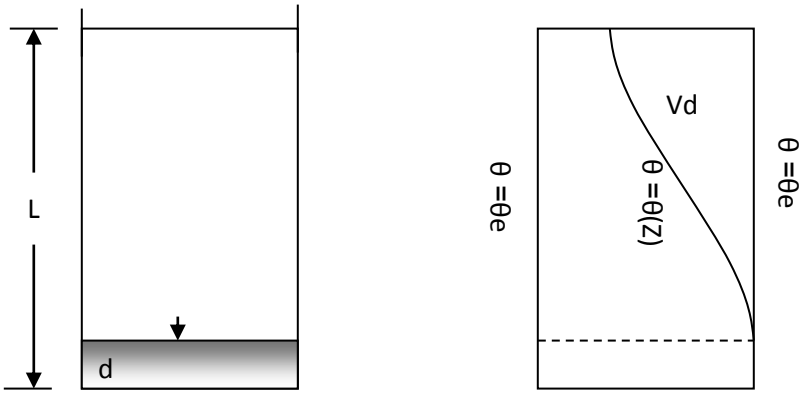
يمثل الشكل (3.15) منحنى الشد الرطوبي النمطي typical لتربة طبيعية. فالخط المنقط A BCيمثل العلاقة θ(h) في حالة الصرف الذي تم الحصول عليه بعد تشبيع التربة بطريقة بطيئة لطرد الهواء المحصور. وهذه العلاقة تقاس غالباً في المعمل. أما الخط C D E فيمثل العلاقة العكسية عند البلل أو عند اضافة الماء، وتدعى هذه العلاقة بالأمتصاص أو التشرب *imbibition relationship* أو تدعى بمنحنى اعادة التشبع *resaturation curve* . أما المحتوى الرطوبي θ عند النقطة E في حالة h = 0 يكون أقل من θ عند التشبع نتيجة للهواء المحبوس داخل التربة. وبشكل عام ، عندما تكون التربة في الحقل مشبعة، فلا بد وأن يكون فيها هواء محصور، وهذا مرده إلى أن عملية ارتفاع الماء الأرضي نتيجة المطر أو الري تكون سريعة .

والخط E F G C يمثل المنحني الرئيس لمنحني الشد الرطوبي للتربة تحت الظروف الحقلية . ولكن إذا تم أثناء عملية الصرف إضافة الماء للتربة، فإن المنحنيات في مثل هذه الحالة ستغير مسارها وتتصل بالمنحنيات الخاصة بالصرف بواسطة الخط GHD

شكل3.15. منحنى الشد الرطوبي النمطي لتربة طبيعية

<u>توزيع ماء التربة داخل المقطع بعد الصرف</u>:

يمكن ايجاد طبيعة توزيع الماء داخل مقطع تربة تم صرف الماء منه لغاية الاتزان باستخدام المنحنى θ (z) الذي يمثل تغير المحتوى الرطوبي مع العمق كما هو موضح في الشكل (3.16). ويبين هذا الشكل كيفية استخدام العلاقةلايجاد حجم الماء الخارج أو معرفة كمية الماء المتبقي في مقطع التربة. فمثلاً عندما يخفض منسوب الماء بعدة مراحل، ويقدر المحتوى الرطوبي الحجمي عند كل مرحلة ترسم العلاقة بين θ (h) أو θ (z) ، فيكون المحتوى الرطوبي أسفل سطح الماء الأرضي θ_e مشبع ظاهريا (أي أنها تساوي المسامية $\theta_e = P$)، هذا في حالة كون عمود التربة تم تشبيعه ببطئ لفترة طويلة. بشكل عام تكون θ_e أقل من P بسبب أحتباس الهواء داخل التربة .



شكل3.16. تقدير حجم الماء المنصرف من مقطع التربة باستخدام العلاقة $q = q(z)$

اذاً يمكن تقدير كمية مياه الصرف الكلية الناتجة عن تخفيض منسوب الماء من المستوى الأول (Z=L) إلى المستوى النهائي (Z=d) من خلال قياس المساحة المحصورة بين الخط $\theta = \theta_e$ والخط $\theta = \theta(Z)$. وفي حالة وجود طبقتين من التربة فوق بعضهما البعض ومواصفاتهما مختلفة كما هو مبين بالشكل (3.16)، تكون عملية الرسم والتقدير لحجم الماء المنصرف كالتالي:

تكون العلاقة $\theta = \theta(Z)$ غير متصلة عند نقاط التقاء الطبقتين ببعضهما. وفي مثل هذه الحالة يكون منحني توزيع الرطوبة لكل طبقة متأثراً بمواصفات كل طبقة. إذن يمكن الاستفادة من حالة التشبع الظاهري θ_e لكل طبقة لتقدير حجم الماء الخارج من التربة.

شكل3.17 تقدير حجم الماء المنصرف من تربة ذو طبقتين مختلفتي الخواص