

4. التحليل الفيزيائي للتربة

تتعدد القياسات الفيزيائية للتربة اعتماداً على الهدف من الدراسة للأغراض الزراعية. تشمل هذه القياسات عموماً، المحتوى المائي للتربة *soil water content*، والرشيح *infiltration*، والناقلية المائية *hydraulic conductivity* والتبخر-النتح *evapotranspiration*، ودرجة الحرارة *temperature*، ودرجة الانعكاس *reflectivity*، والمسامية *porosity*، وحجم الحبيبات *particle size*، والكثافة الظاهرية *bulk density*، وثباتية التحبب *aggregate stability*، والتوزيع الحجمي لمكونات التربة *particle size distribution* (Klute, 1986). على أية حال، لا يجري في العادة سوى عدد محدود من القياسات الفيزيائية في مختبرات تحليل التربة والنبات.

يتم قياس رطوبة التربة بشكل نظامي في العينات الحقلية نظراً لتقدير جميع التحاليل الكيميائية على أساس الوزن الجاف بالفرن. وعلى اعتبار أن قوام التربة *texture* (سواء أكان رملياً أم طينياً) مهم جداً من حيث سلوك العناصر الغذائية، يُجرى غالباً اختبار التوزيع الحجمي لمكونات التربة لاسيما إذا كان المطلوب مزيداً من الدقة وليس الحصول على القيم بالطريقة التقريبية اليدوية "المحسوسة".

إن القياسات الفيزيائية للتربة الشائعة وبشكل خاص في أنواع التربة المروية تتلخص في تحضير عجينه مشبعة وحيث تعطي مستخلصاً تُقاس فيه الأنيونات والكاتيونات الذائبة، كما تعتمد معايير نقص بعض العناصر أو سميتها على تركيزات العناصر في مستخلصات التربة. فعلى سبيل المثال، تعتمد المعايير لتحمل الملوحة، المدرجة في الملحق رقم 14، على مستخلص العجينة المشبعة. وبصورة مشابهة، تعتمد المعايير للبورون فيما يتعلق بنمو النبات، المدرجة في الملحق رقم 15 على هذا المستخلص.

1.4 محتوى التربة من الرطوبة

يعتبر الماء من أكثر العوامل المحدودة في منطقة CWANA، لذلك كان تقدير محتوى التربة من الرطوبة أمر في غاية الأهمية، إذ لا يقتصر تأثير رطوبة التربة على نمو المحصول فحسب بل يتعداه إلى تحولات العناصر الغذائية *nutrient transformation* والسلوك البيولوجي للكائنات الحية *biological behavior*. لذلك في إيكاردا، تقاس رطوبة التربة روتينياً في معظم التجارب الحقلية. وعلى الرغم من إمكانية تقديرها في الحقل بواسطة جهاز مُسبار النيوترونات *neutron probe* إلا أن طريقة التجفيف *gravimetric approach* تعتبر أكثر مرونة لأنه عندئذ يمكن أخذ العينات بسهولة من أي موقع في التربة. وتتعلق جميع التحاليل التي تُجرى في المختبر على أساس الوزن الجاف بالفرن أو الهواء، لذلك يجب دراسة محتوى رطوبة التربة الفعلي (Hesse, 1971).

الأجهزة

فرن كهربائي ذو منظم ذاتي لدرجة الحرارة *thermostat*.
مجفف.

طريقة العمل

1. زن 10 غرام تربة جافة هوائياً (أقل من 2 مم) في علبة معدنية مجففة ذات غطاء (عند درجة حرارة 105°م) وموزونة سابقاً (وزن التربة مع العلبة قبل التجفيف).
2. جفف العينات بالفرن على درجة حرارة 105°م، والعلبة المعدنية مفتوحة طوال الليل.
3. في اليوم التالي، أخرج العينات من الفرن، أغلق العلبة مباشرة، ثم برد العينات بالمجفف لمدة 30 دقيقة على الأقل، ومن ثم زن العينات مرة ثانية (وزن التربة مع العلبة بعد التجفيف).

الحسابات

$$(2) \quad 100 \times \frac{\text{التربة الرطبة (غ)} - \text{التربة الجافة (غ)}}{\text{التربة الجافة (غ)}} = \text{الترية في التربة } (\theta)$$

$$(3) \quad \text{التربة الجافة (غ)} = \frac{1}{\frac{\theta}{100} + 1} \times \text{التربة الرطبة (غ)}$$

$$(4) \quad \frac{100 + \% \theta}{100} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{التربة الرطبة}}{\text{التربة الجافة}} = \text{عامل الرطوبة}$$

2.4 التوزيع الحجمي لمكونات التربة (التحليل الميكانيكي)

تتباين حجوم حبيبات التربة الفردية في أي نوع من أنواع الترب تبايناً واسعاً. كما تتنوع أشكال التجمعات وحجوم الترب عند تجمع هذه الحبيبات معاً بوجود مواد لاصقة. وبالنسبة لتحديد حجوم الحبيبات الأولية تحلل حبيبات التربة التي يمكن أن تخزل بمنخل 2مم. وتحدد طرائق تحليل التربة بشكل عام النسبة المئوية لجزيئات الرمل (0.05-2.0 مم) السلت (0.002-0.05)، والطين (أصغر من 0.002) في التربة. التوزيع الحجمي لمكونات التربة عامل مهم في تصنيف التربة ومعرفة ما تتضمنه التربة من الماء ونسبة التشبع بالهواء والعناصر الغذائية المتاحة للنبات.

ولأن هذه الحبيبات الأولية عادة تتلاصق معاً بوجود مادة عضوية كان لابد من إزالة هذه المادة بمعاملة تلك الحبيبات بمحلول فوق أكسيد الهيدروجين (الماء الأوكسجيني H_2O_2) ومن ناحية ثانية، إذا وجدت كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ، عندها لا يمكن تحديد النسب المئوية الفعلية للرمل، والسلت، والطين إلا بعد إزالة $CaCO_3$ من التربة. إن الطريقتين الشائعتين لتحليل التوزيع الحجمي لمكونات التربة particle size analysis أو التحليل الميكانيكي mechanical analysis هما طريقة الهيدرومتر hydrometer method (Bouyoucos, 1962; Day, 1965; FAO, 1974) أو طريقة الماصة pipette-gravimetric method.

تعتمد طريقة الهيدرومتر في قياس السلت والطين على تأثير حجم الحبيبة على سرعات سقوط الحبيبات المختلفة ضمن عمود الماء. نظرياً، يفترض أن تكون الحبيبات كروية الشكل وذات كثافة نوعية تقدر بـ 2.65 غرام/سم³ فإذا كانت جميع العوامل الأخرى ثابتة، عندها تتناسب سرعة ترسب حبيبات التربة الفردية طردياً مع مربع أنصاف أقطارها حسب قانون ستوكس (Stoke's Law). وأيضاً تعتبر سرعة سقوط حبيبات التربة الفردية مؤشراً على درجة حرارة السائل واللزوجة والكثافة النوعية للحبيبات المترسبة. أما من الناحية العملية، فيجب أن نعرف درجة حرارة السائل ومن ثم نخزل التصحيحات المناسبة. إذ تؤدي درجات الحرارة الأكثر ارتفاعاً إلى تخفيض اللزوجة نتيجة لتمدد السائل وترسب أسرع للحبيبات المتساقطة.

الأجهزة

خلاط لتفكيك التربة: خلاط كهربائي عالي السرعة مع كأس الخلاط.
هيدرومتر ذو مقياس بيوكس Bouyoucos غرام/ليتر (ASTM 152H).

المحاليل

أ. المحلول المفرق

أذب 40 غ من صوديوم هيكسا ميتافوسفات $[(NaPO_3)_6]$ ، و 10 غ من كربونات الصوديوم

(Na₂CO₃) في الماء المقطر، أكمل الحجم إلى لتر بإضافة الماء المقطر. إن هذا المحلول يفسد مع مرور الوقت، لذا يجب أن لا يُحفظ لأكثر من أسبوع أو أسبوعين.

ب. الكحول الأميلي

طريقة العمل

1. زن 40 غ تربة جافة هوائياً (2 مم) في كأس بيكر سعة 600 مل.
2. أضف 60 مل من المحلول المفروق.
3. غط الكأس بزجاجة ساعة watch-glass، واتركه طوال الليل.
4. انقل محتويات الكأس كلياً إلى كأس خلاط التربة، واملأ حوالي ثلاثة أرباعه بالماء.
5. حرك المعلق بسرعة عالية باستخدام الخلاط الكهربائي ولمدة 3 دقائق. أو رج المعلق طوال الليل في حال عدم وجود خلاط كهربائي.
6. اغسل بلطف محرك الخلاط إلى الكأس، واتركه لمدة دقيقة.
7. أنقل المعلق كلياً إلى اسطوانة هيدروميترية hydrometer jar سعة لتر، وأكمل إلى الحجم المطلوب بإضافة الماء.

أ. تقدير الشاهد

- خفف 60 مل من المحلول المفروق إلى لتر في اسطوانة هيدروميترية بإضافة الماء.
- امزج المعلق جيداً، ضع مقياس الهيدروميتر، وخذ القراءة، R_b .
- يجب أخذ قراءة الشاهد عند التغيرات في درجة الحرارة لأكثر من درجتين مؤويتين ابتداءً من 20°م.

ب. تقدير السلت والطين

- أمزج المعلق في اسطوانة الهيدروميتر بعناية، مستخدماً محرك خاص، اسحب المحرك، واغمس مباشرة مقياس الهيدروميتر.
- أزل أية رغوة، عند الضرورة، بإضافة نقطة من الكحول الأميلي، وخذ قراءة الهيدروميتر بعد 40 ثانية وذلك بعد سحب المحرك. ستعطي هذه القراءة، R_{sc} .

الحسابات

النسبة المئوية للسلت والطين:

$$(5) \quad \frac{100}{\text{التربة الجافة بالفرن (غ)}} \times (R_b - R_{sc}) = (W/W) \text{ [الطين + السلت] \%}$$

ج. تقدير الطين

- أمزج المعلق في اسطوانة الهيدرومتر بالمحرك، اسحب المحرك، وبعباية كبيرة دع المعلق يهدأ.
- بعد 4 ساعات، ضع مقياس الهيدرومتر، ثم خذ قراءة الهيدرومتر، R_c .

النسبة المئوية للطين:

$$(6) \quad \% \text{ الطين } (W/W) = \frac{100}{\text{التربة الجافة بالفرن (غ)}} \times (R_b - R_c)$$

النسبة المئوية للسلت:

$$(7) \quad \% \text{ السلت } (W/W) = \% \text{ الطين } + \text{ السلت } (W/W) - \% \text{ الطين } (W/W)$$

د. تقدير الرمل

- بعد أخذ القراءات المطلوبة للطين والسلت، اسكب المعلق عبر منخل 50 ميكرومليتر (μm)
- اغسل المنخل حتى يصبح الماء المار عبره نظيفاً.
- انقل الرمل بالكامل من المنخل إلى 50 مل كأس بيكر معروف الوزن.
- اترك الرمل يترسب في كأس البيكر، ثم اسكب الماء الزائد.
- جفف كأس البيكر مع الرمل طوال الليل عند درجة حرارة 105 °م.
- برد الكأس في المجفف، ومن ثم أعد وزنه مع الرمل.

النسبة المئوية للرمل:

$$(8) \quad \% \text{ رمل } (W/W) = \frac{100}{\text{التربة الجافة بالفرن (غ)}} \times \text{وزن الرمل}$$

حيث أن: وزن الرمل يحسب كالتالي:

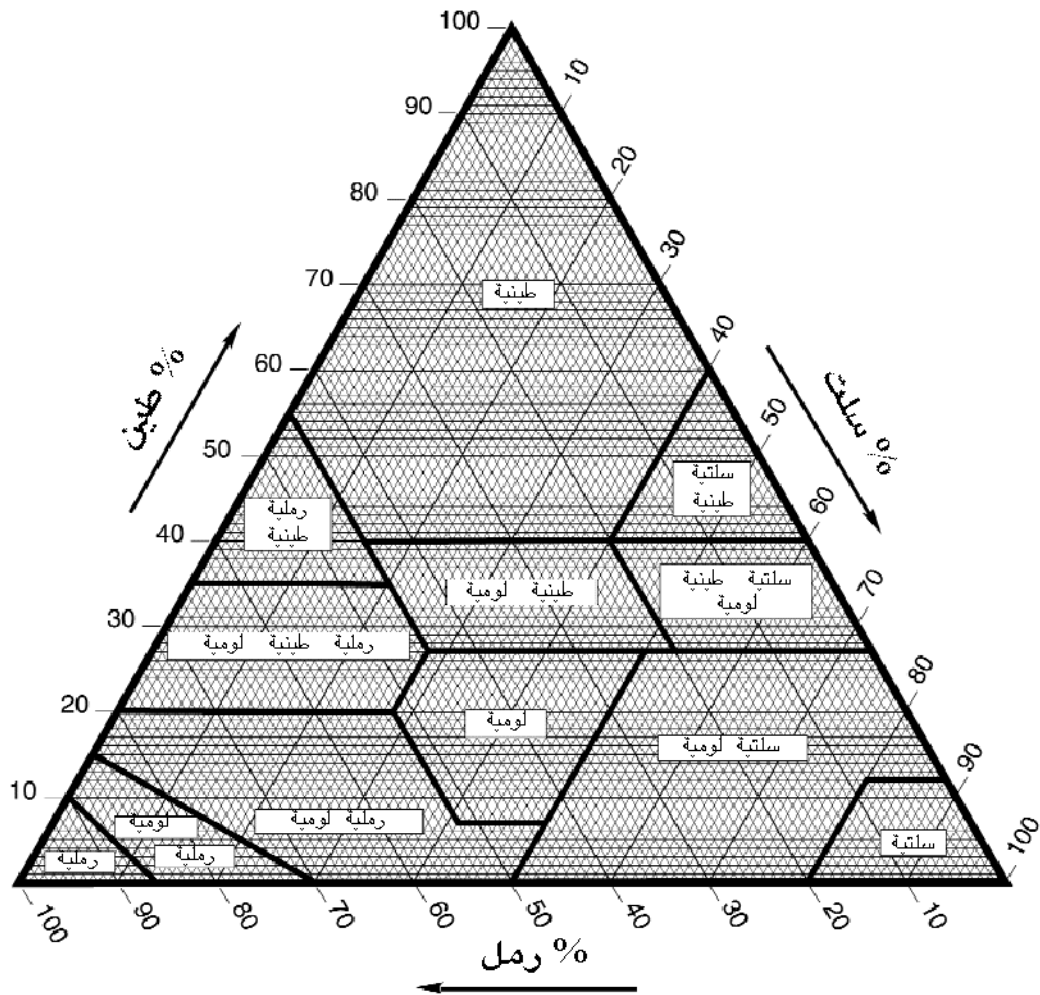
$$(9) \quad \text{وزن الرمل (غ)} = [\text{رمل} + \text{كأس بيكر (غ)}] - [\text{كأس بيكر (غ)}]$$

ملاحظات

1. إذا أمكن، وضع كل أسطوانات الهيدرومتر في حمام مائي بدرجة حرارة ثابتة (20°م)، عندها ليس من الضروري تصحيح درجة الحرارة.
2. من أجل تصحيح درجة الحرارة، استخدم القيمة 0,4 لكل درجة حرارة مختلفة عن 20°م، أضف أو اطرح هذا العامل إذا كانت درجة الحرارة أعلى أو أدنى من 20°م على التوالي.
3. يجب أن يُعبر عن جميع نتائج التحليل الميكانيكي على أساس تربة جافة بالفرن (24 ساعة على درجة حرارة 105°م).
4. في الطريقة المذكورة أعلاه، لا يمكن إزالة الكربونات والمادة العضوية من التربة.
5. لا يمكن تطبيق طريقة الهيدرومتر، الموصوفة في هذا القسم، على التربة التي تحتوي على جبس حر (التربة الجبسية). أما بالنسبة للتربة الجبسية انظر (Hesse 1971).
6. يجب أن يكون مجموع السلت والطين بالإضافة إلى الرمل يساوي 100%، وأن أي انحراف عن 100 يُعدّ مؤشراً على عدم الدقة.

تحديد قوام التربة

بعد قياس ومعرفة نسب الرمل، والسلت، والطين، يتم تحديد قوام التربة بناءً على مثلث القوام USDA textural triangle (الشكل رقم 4). ومن خلال مثلث القوام، يمكن معرفة أنواع التربة، المتنوعة بناءً على النسب الموجودة من الحبيبات الترابية.



الشكل رقم 4. مثلث قوام التربة USDA

3.4 العجينة المشبعة

يعد استخدام مستخلص من عجينة مشبعة على قدر كبير من الفائدة لوصف الترب المالحة لأنه يكشف عن الأملاح التي تؤثر في نمو النبات. كما يمكن الحصول بهذه الطريقة على الكاتيونات والأنيونات الذائبة وتقدير قياسات مهمة أخرى كنسبة الصوديوم المدمص (SAR) والتي تتنبأ بدورها بالنسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP). وقد وضعت معايير لمقاومة سمية البورون لأصناف نباتات متنوعة طورت لمثل هذه المستخلصات (Richards, 1954).

لذلك، يستخدم وبشكل روتيني مستخلص العجينة المشبعة حيث تكون الملوحة موضع اهتمام. وعلى كل حال، نادراً ما يستخدم ذلك المستخلص في المناطق الجافة، والتي تشكل القسم الرئيسي من منطقة CWANA. ومع ذلك يتزايد استخدامه في تحليل التربة مع الاهتمام بالري التكميلي في المناطق الجافة تقليدياً.

إن الكاتيونات التي تحلل في مستخلص العجينة المشبعة هي: Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , و Na^{+} . أما الأنيونات فهي: SO_4^{--} , CO_3^{--} , HCO_3^{-} ، و Cl^{-} . غالباً ما يقاس البورون في المستخلصات المشبعة عند توقع السمية.

الأجهزة

جفنتان من البورسلين.
المُبَسِّط (سباتولا) spatula أو ملاعق لمزج التربة mixing spoons.
جهاز التفريغ vacuum filtration system.

طريقة العمل

1. زن 200-300 غ تربة جافة هوائياً (أقل من 2 مم) في جفنة من البورسلين.
2. أضف ببطء الماء المقطر، وأمزج بالمُبَسِّط (spatula) حتى يبدأ سطح العجينة باللمعان، وتصبح قابلة للسيلان قليلاً إذا مال الوعاء المحتوي عليها، كما يجب أن يمرر المُبَسِّط بالعجينة دون أن يتلوث، والا يتجمع على سطح العجينة أي ماء حر.
3. اترك العجينة المحضرة لمدة ساعة، ثم أعد فحص معايير التشبع السابقة وذلك بإضافة مزيد من الماء أو التربة، حسب الحاجة.
4. اترك العجينة لمدة 6-16 ساعة، ومن ثم رشح بوساطة جهاز التفريغ مستخدماً قمع بوخنر buchner funnel مركب على دورق ذي فتحة جانبية بعد وضع ورقة ترشيح Whatman No. 42.
5. اجمع الراشح في قارورة صغيرة واحفظها من أجل القياسات اللاحقة، وإذا كان الراشح عكراً، أعد الترشيح.

4.4 رطوبة السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائمة

المبدأ

بعد اتزان التربة بالماء عند مستويات مختلفة من الشد يقاس المحتوى الرطوبي. وتعتمد قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء على عدة عوامل، منها القوام أو توزيع حجم الحبيبات، ومحتوى المادة العضوية (حسب طبيعة غروياتها المحبة للماء)، وحسب طبيعة الغرويات المعدنية، وبناء التربة أو ترتيب الحبيبات.

أ. المجال المنخفض: عند رطوبة 0-100 kPa (0-1 بار) ضغط

الأجهزة

- جهاز الاستخلاص ضغط واحد بار one-bar pressure plate extractor.
- أطباق سيراميك بضغط واحد بار one-bar ceramic plates.
- حلقات مطاطية، (قطر 5 سم، ارتفاع 1 سم).
- مضخة هواء مع المشعّب، والمنظم، والمقياس.
- ميزان balance.
- فرن تجفيف drying oven.
- أطباق الألمنيوم أو علب لحفظ الرطوبة - التربة.
- مجفف.

طريقة العمل

1. اغمر أطباق السيراميك في الماء لمدة 24 ساعة حتى درجة التشبع.
2. ضع الأطباق على طاولة العمل.
3. ضع بطاقات مرقمة على الحلقات المطاطية المرتبة في الأطباق (كل طبق يتسع حتى 12 عينة).
4. ضع تربة جافة هوائياً 2 مم في الحلقة مستخدماً المبسط (حوالي 20 غ من العينة). ولتفادي عزل حجم الحبيبات، ضع عينة التربة بأكملها في الحلقة.
5. مهد سطح العينة في الحلقة. ولكن بدون كبس العينة.
6. إملى الطبق بالماء حتى ترطب العينة من الأسفل، ثم أضف الماء بين الحلقات حتى يفيض الماء (تقريباً بعمق 3 مم) على الطبق.

7. غطي الطبق بورق مقوى أو كيس بلاستيك.
8. اترك العينات طوال الليل.
9. صباح اليوم التالي، انزع الماء الزائد من الطبق بإبرة حقن، أو ماصة ذات استخدام لمرة واحدة، أو بالسيفون.
10. ضع الدعامات المثلية في أسفل جهاز الاستخلاص.
11. ضع الطبق مع العينات في أسفل جهاز الاستخلاص، ثم الوسط فالأعلى (ضع القطع البلاستيكية بين الأطباق كدعامات).
12. صل أنابيب التصريف.
13. أغلق جهاز الاستخلاص بعد التأكد من وضع الحلقة "O" في مكانها وثبت كل البراغي بإحكام وانتظام. ثم طبق الضغط المناسب ضمن المجال 0-100 KPa (0-1 بار).
14. ضع كأس بيكر تحت أنبوب التصريف لجمع الماء المتدفق من أنابيب التصريف.
15. حافظ على الضغط المطلوب حتى لا تتوقف قطرات الماء من التحرر من الطبق (عادة 18-20 ساعة ولكن لبعض أنواع من التربة 48 ساعة أو أكثر).
16. حرر الضغط من جهاز الاستخلاص (افصل أنابيب التصريف قبل عودة الماء إلى الجهاز)
17. أفتح جهاز الاستخلاص.
18. دون أي تأخير، أنقل عينات التربة الرطبة مع الحلقات بوساطة مبسط عريض إلى علب الوزن (ليس من الضروري النقل الكمي لعينة التربة الكلية).
19. زن بسرعة العينات الرطبة (الدقة حتى 0.01 غرام)، ثم ضعها بالفرن من أجل التجفيف عند درجة حرارة 105°م لمدة 24 ساعة.
20. ضع العينات في المجفف، برد، ثم زن العينات المجففة.

الحساب

$$(10) \quad \% \text{ الرطوبة } (\theta) = \frac{\text{التربة الرطبة (غ)} - \text{التربة الجافة (غ)}}{\text{التربة الجافة (غ)}} \times 100$$

ب. المجال العالي: عند رطوبة 100-1500 kPa (0-15 بار) ضغط

الأجهزة

- 1. جهاز الاستخلاص ذو ضغط 15 بار fifteen-bar ceramic plate extractor.
- 2. أطباق سيراميك 15 بار fifteen-bar ceramic plates.
- 3. حلقات مطاطية.
- 4. ميزان.
- 5. فرن تجفيف.
- 6. أطباق وزن.
- 7. سحاحة burette.
- 8. مجفف.

طريقة العمل

1. استخدم أطباق السيراميك 15 بار واتبع الخطوات من 1-12 كما في الطريقة السابقة، مطبقاً الضغط المناسب من 100 - 1500 kPa (1-15 بار).
2. ضع كأس بيكر تحت أنبوب التصريف لجمع الماء المتدفق من أنابيب التصريف.
3. أترك العينات طوال الليل.
4. صل أنابيب التصريف إلى سحاحة مملوءة جزئياً بماء الصنبور.
5. أترك العينات في جهاز الاستخلاص حتى يتوقف التصريف من جميع العينات في الطبق، حتى تصل التربة إلى التوازن (24-48 من أجل معظم الترب؛ إلا أن أنواع بعض الترب ذات القوام الناعم أو العضوي تحتاج إلى مدة تصل إلى 120 ساعة). وإذا لم يحدث أي تغير في قراءة الماصة فإن ذلك يشير إلى أن التصريف قد توقف في كل العينات والوصول إلى التوازن قد حصل.
6. افصل أنابيب التصريف لمنع عودة الماء إلى الجهاز.
7. حرر الضغط من الجهاز.
8. أتبع الخطوات من 17-20 كما في الطريقة السابقة.

الحساب

$$(11) \quad \% \text{ الرطوبة } (\theta) = \frac{\text{التربة الرطبة (غ)} - \text{التربة الجافة (غ)}}{\text{التربة الجافة (غ)}} \times 100$$

ملاحظات

1. إذا استمر خروج فقاعات الهواء من أنابيب الأطباق لعدة ساعات بعد تطبيق الضغط، فمن المحتمل أن تلفاً قد أصاب الأطباق، يجب استبدالها.
2. يجب أن لا يتذبذب الضغط أثناء العمل. ويجب مراقبته كل 2-3 ساعة (تعديله عند الضرورة). إذا كان سبب التذبذب ضمن مجال تحمل المنظم، فلا حاجة للتعديل.
3. لا تنزع غطاء جهاز الاستخلاص والضغط في داخله.
4. يجب أن يكون ارتفاع العينة في الحلقة أقل ما يمكن للتقليل من الزمن المطلوب للوصول لحالة التوازن، الذي يتناسب طردياً مع ارتفاع العينة في الحلقة.
5. **الماء القابل للإفادة (AW) available water** أو **السعة التقريبية للماء القابل للإفادة (AWC) available water capacity**. سعة الماء القابل للإفادة هي كمية الماء المحجوزة في مخزون التربة والذي يمكن امتصاصه بواسطة النباتات. ويقدر بالفرق في المحتوى الرطوبي للتربة بين السعة الحقلية (FC) field capacity و نقطة الذبول الدائمة (PWP) permanent wilting point.

الحساب

$$\% \text{ سعة الماء القابل للإفادة} = \% \text{ السعة الحقلية} - \% \text{ نقطة الذبول الدائمة} \quad (12)$$

6. **السعة الحقلية التقريبية (FC) field capacity**. السعة الحقلية تقدر عموماً بقياس الرطوبة المحجوزة عندما تكون قيمة الضغط كما يلي:

الترب ذات القوام الخشن	10 kPa	(1/10 بار)
الترب ذات القوام المتوسط	33 kPa	(1/3 بار)
الترب ذات القوام الناعم	50 kPa	(1/2 بار)
7. **نقطة الذبول الدائمة التقريبية (PWC) permanent wilting point**. نقطة الذبول الدائمة تقدر عموماً بقياس النسبة المئوية kPa 1500 (15 بار). وهي متنوعة طبقاً لأنواع النبات وفترة نموه، المجال بين 10-25 بار للنباتات ذات الرطوبة المعتدلة.