الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

جامعة حماة

كلية الزراعية

مقرر أساسيات علوم التربة وتصنيفها

لطلاب السنة الثانية

الدكتور عصام شكري الخوري

الفصل السادس

طرائق تعيين المحتوى الرطوبي في التربة والجهد المائي
Measurement of soil wetness & Soil moisture potential

يتم تعيين رطوبة التربة لأغراض عديدة، فلا يتم أي قياس فيزيائي، أو هيدروفيزيائي، أو كيميائي، أو ميكانيكي، دون الحاجة إلى تعيين المحتوى المائي للتربة حقلياً أو مخبرياً، و يعبر عن رطوبة التربة بعدة طرائق فهي إما تدخل في عمليات الحساب نفسها، أو تجرى الحسابات المختلفة على أساسها....كأن يعبر عن وزن التربة الجاف تماماً أو الجاف هوائياً أو الرطب...إلخ، وذلك حسب الغرض من القياس و طبيعته و حالة التربة الرطوبية في الحقل أو في المختبر..

انطلاقاً من كون التربة مكونة من ثلاثة أطوار(صلب وسائل وغازي)، فإنه يمكن حساب وتعيين الرطوبة في التربة حسب ما يلي:

٦-١- طرائق التعبير عن المحتوى الرطوبي للتربة :

يمكن التعبير عن المحتوى الرطوبي للتربة بالطرائق التالية:

٦-١-١- المحتوى الرطوبي الحالي (Θa)على أساس الوزن الرطب للتربة (الوزن المبتل)

يعبر عن رطوبة التربة الحالية التي يمكن للتربة أن تحتويها في العينة منسوبة إلى وزن التربة الرطب و يؤخذ على أنه عدد غرامات الماء الموجودة في ١٠٠ غرام تربة رطبة..

$$\underline{\Theta a} = Mw / Mt = Mw / (Mw + Ms)$$

Mt – كتلة التربة الكلية الرطبة.

Mw- كتلة الماء في العينة المدروسة.

Ms – كتلة التربة الجافة تماماً على درجة حرارة ١٠٥ درجة مئوية.

نظراً لعدم ثبات المحتوى الرطوبي (Mw) للتربة فإن حسابه على أساس الوزن الرطب للتربة (Mt- الكتلة الكلية للتربة بما فيها الأطوار الثلاثة)، يعد قياساً غير ثابت هو الآخر و لذلك يندر استخدامه في الدراسات الفيزيائية و الكيميائية و الهيدروفيزيائية.

٦-١-٢- المحتوى الرطوبي الوزني على أساس الوزن الجاف للتربة (Θm) Mass wetness

يعبر عن رطوبة التربة الحالية التي يمكن للتربة أن تحتويها العينة الترابية (التي جففت على درجة حرارة ١٠٥ درجة مئوية حتى ثبات الوزن)، منسوبة إلى وزن التربة الجاف. يتميز هذا المحتوى بالثبات بالنسبة لمجمل الخواص و الثوابت المائية للتربة، كما يعد الأساس في معظم القياسات الفيزيائية و الهيدروفيزيائية للتربة ويحسب حسب العلاقة التالية:

$$\Theta m = Mw / Ms$$

يشيع استخدام المحتوى الرطوبي على أساس الوزن الرطب للتربة (الوزن المبتل $\underline{\Theta a}$) لدى الكيميائيين و الجيوكيميائيين، أما المحتوى الرطوبي الوزني Θm الذي يعكس الظواهر التي ترتبط بوجود الماء في التربة هو الذي يعتمد كقياس، خاصة لدى الفيزيائيين، لذلك يمكن إظهار العلاقة بين كل من $\underline{\Theta a}$ و Θm بتقسيم بسط و مقام الكسر الذي يعطي $\underline{\Theta a}$ على أساس وزن الطور الصلب للتربة Ms فنجد:

$$\Theta a = \frac{Mw/Ms}{Mw/Ms + Ms/Ms} = \frac{\Theta m}{\Theta m + 1}$$

و بالطريقة نفسها نجد أن:

$$\Theta m = \frac{\Theta a}{(1 - \Theta a)}$$

كما نجد انطلاقاً من علاقتي ($\underline{\Theta a}$) و (Θm) ما يلي :

$$Mw = \Theta m \,.\, Ms = \underline{\Theta a}.\,(\,Mw + Ms\,)$$

تتراوح قيمة كل من Θa أو ΘA بين (٠ – ١) و كنسبة مئوية بين (٠ و ١٠٠) في حين يتراوح المحتوى الرطوبي الوزني (على أساس الوزن الجاف) Θm (بين ٠ و أكثر من ١) في ظروف الحقل الطبيعية و يمكن أن يتراوح بين (٠ و ∞) عندما يتعلق الأمر بمعلق ترابي تشكل فيه التربة الطور المبعثر Dispersed phase .

مثال: تم أخذ ١٠٠ غ تربة جافة تماماً (على درجة حرارة ١٠٥ درجة مئوية)، وأضيف لها ٣٠ غ ماء، لأصبح الوزن المبتل للتربة Θa =١٣٠ غ فتكون النسبة المئوية للرطوبة عند ذلك:

أ- على اساس الوزن المبتل= ١٣٠/٣٠ * ١٠٠= ٢٣.٠٨ %

أي أن كل ١٠٠غ تربة رطبة تحوي ٢٣.٠٨ غ ماء إضافة الى ٧٦.٩٢ غ تربة جافة.

ب- أما على أساس الوزن الجاف فهي = ١٠٠/٣٠ * ١٠٠= ٣٠ %

أي أن كل ١٣٠غ تربة رطبة تحوي ٣٠ غ ماء إضافة الى ١٠٠غ تربة جافة.

٦-١-٣- المحتوى الرطوبي الحجمي (Θv) Volume wetness : وهو قياس لحجم الماء الموجود في حجم ظاهري (Vb أو Vt) من التربة و يساوي :

$$\Theta v = \frac{Vw}{Vt} = \frac{Vw}{Vs + Vw + Va} = \frac{Vw}{Vb}$$

و يساوي أيضاً : $\Theta v = Vw /(Vs + Vf)$

يرتبط المحتوى الرطوبي الحجمي بالكثافة الظاهرية ρb و المحتوى الرطوبي الوزني (Θm) و المسامية الكلية (f كجزء من واحد) بالعلاقة التالية:

$$\Theta v = \Theta m.\frac{\rho b}{\rho w} = \Theta m.\rho s.(1 - f)$$

على اعتبار أن قيمة الكثافة الظاهرية يمكن أن تعطى بالعلاقة: $\rho b = \rho s.(1 - f)$

٦-١-٤- ارتفاع عمود الماء أو عمق الماء في المقطع الأرضي (dw):

يمثل ارتفاع الطور السائل إذا استعيض عن Vw بوحدات الطول z حيث كثيراً ما يعبر عن مخزون التربة الرطوبي كإرتفاع طبقة مائية مقدراً بالـ مم (dw) في المقطع الأرضي بالعلاقة التالية:

dw = Θv . z

dw : مخزون التربة المائي و هو يساوي هنا dw وأن- z- عمق التربة يكون مقاساً بالديسميتر .

Θv : المحتوى الرطوبي الحجمي ويحسب من العلاقة التالية: Θv = Vw / Vt ، كما يمكن حساب المحتوى الرطوبي كنسبة حجمية من خلال العلاقة التالية:

$$\Theta v = \Theta m * \rho b$$

كما يمكن التعبير عن مخزون التربة الرطوبي كحجم مقاساً بالمتر المكعب (dw) في المقطع الأرضي بالعلاقة التالية:

$$dw = \Theta v \, . \, z \, . s$$

Z : العمق المعتبر من المقطع الأرضي و يساوي (z) مقدراً بالمتر ، والرمز s- يشير إلى المساحة مقدراً بالمتر المربع، Θv: الرطوبة الحجمية كجزء من واحد.

لذلك يمكن أن نكتب أيضاً:

مثال:

فلو كان المحتوى الرطوبي الحجمي $\Theta v = 30\ \%$ لعمق $z = 80\ cm$ فذلك يعني أن مخزون التربة المائي dw حتى ذلك العمق وفي واحدة المساحة (s = متر مربع واحد) سيكون مساوياً:

$$dw = \Theta v \, . \, z \, . s$$

$$dw = 0.3 * 0.8m * 1m^2 = 0.24\ m^3 = 240L/1m^2$$

وللتحويل من متر مكعب إلى واحدة الحجم (لتر L) نضرب بالعدد 1000

فنجد في دونم واحد (1000 متر مربع) 240 متر مكعب من الماء، و في هكتار واحد 2400 متر مكعب من الماء في طبقة التربة المشار إليها...

لسهولة المقارنة بين المخزون الرطوبي للترب المختلفة أياً كانت المساحة المعنية فقد استخدم تعبير عمق الماء (أو ارتفاع عموده) في العمق المأخوذ للمقارنة من المقطع الأرضي لتلك الترب و يكون ذلك بتقسيم حجم المحتوى المائي في العمق المذكور على السطح أي:

$$L^3 / L^2 = L \quad \text{أو} \quad Cm^3 / cm^2 = cm$$

نجد في المثال السابق أن $L = 0.24$ متر أي 24 سم وهكذا يكافئ طبقة من الماء بارتفاع 24 سم فوق سطح التربة كما يقابل هطولاً مطرياً مقداره 240 مم، و ما المثال السابق إلا لبيان أهمية طريقة التعبير عن المحتوى الرطوبي للتربة و سهولة عقد المقارنة بين الخواص المائية للترب المختلفة....

لذلك من أجل التعبير عن رطوبة التربة كعمق طبقة مائية مقدراً بالـ مم، يمكن تقسيم حجم المياه بالأمتار المكعبة في الهكتار على العدد 10، فينتج لدينا مم عمق الماء/هكتار.

طرائق تعيين المحتوى الرطوبي للتربة :

استخدمت طرائق كثيرة لتعيين المحتوى الرطوبي للتربة فمنها المباشرة و أخرى غير مباشرة و يجرى بعضها مخبرياً و البعض الآخر حقلياً و لكل منها ميزات خاصة بها في ظروف القياس المثالية كما لها عيوب تحول دون استخدامها في الظروف الأخرى غير المناسبة...
ومن تلك الطرائق نذكر :

أولاً- الطرائق المباشرة لقياس المحتوى الرطوبي للتربة :

١- طريقة التجفيف : Thermo – gravimetric method

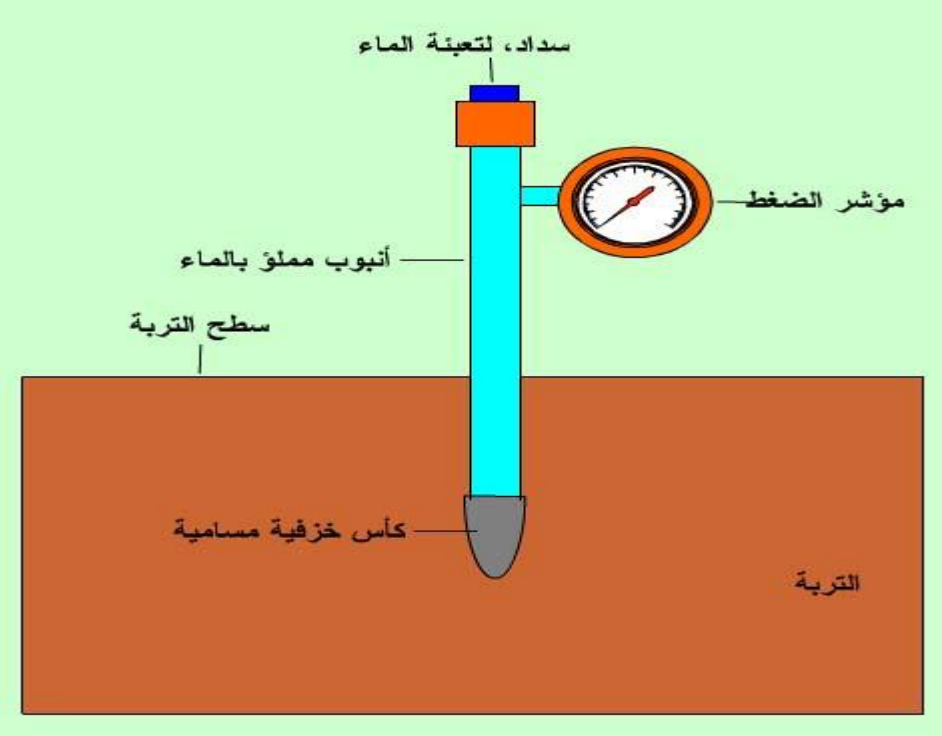
تعد من أفضل الطرائق المباشرة لقياس محتوى التربة الرطوبي و أدقها و يمكن إجراء عملية التجفيف لعينات التربة غير المضطربة بوضعها في الحقل أو لعينات التربة الجافة هوائياً في درجة حرارة ١٠٥ – ١١٠ درجة مئوية و لفترة زمنية تتراوح بين ١٦- ٢٤ ساعة حتى ثبات الوزن... ومن الملاحظ حاجة عينات الترب الطينية الرطبة لفترات تجفيف تزيد عن ذلك قد تصل إلى ٤٨ ساعة كما قد تنخفض في حالة التقدير الروتيني للعينات غير الطينية إلى ٤ – ٦ ساعات حسب وزن العينة و طريقة أخذها وشكل آنية التجفيف، ثم يتم حساب نسبة الرطوبة وزناً أم .

ثانياً- الطرائق الحقلية لقياس رطوبة التربة و التوتر الرطوبي :

تتضمن الطرائق التي تعتمد على قياس التوتر الرطوبي (الشد) باستخدام أجهزة قياس التوتر الرطوبي (التنشيومترات Tensiometers) أو قياس المقاومة الكهربائية (أو التوصيل الكهربائي) أو باستعمال قوالب الجص (أو الجبس)، و طريقة تشتت النترونات Neutron scattering أو طريقة انخماد أشعة غاما – γ ray attenuation أو طريقة طنجرة الضغط و غيرها...

١- طريقة قياس التوتر الرطوبي بواسطة التنشيوميتر : Tensiometric method

يتكون التنشيوميتر من وعاء مسامي porous cup من السيراميك (يسمح بمرور الماء من مسامه الدقيقة حتى فرق ضغط مقداره ٠,٨٥ ضغط جوى أو ٨٥ كيلو باسكال وبعد هذا الشد يصبح منفذا للهواء). يتصل الوعاء المسامي بأنبوبة من البلاستيك الشفاف المقاوم للحرارة وأشعة الشمس يختلف طولها حسب العمق المراد القياس عنده (٣٠، ٦٠،٩٠،١٢٠)سم. يركب في أعلى الأنبوب البلاستيك عدادvacuum gauge لقياس الشد الرطوبى المتولد في الجهاز كما في الشكل (٦-١). والأنواع الحديثة منها تستخدم عدادات الكترونية خاصة electronic transducer يكون أكثر حساسية. بعض أنواع التنشيوميترات القديمة تستخدم مانوميتر زئبقي لقياس الشد mercury manometer كما في الشكل (٦-٢).



الشكل(٦-١): يبين نموذج التنسيومتر ذو مقياس الضغط أو التفريغ (المانوميتر)

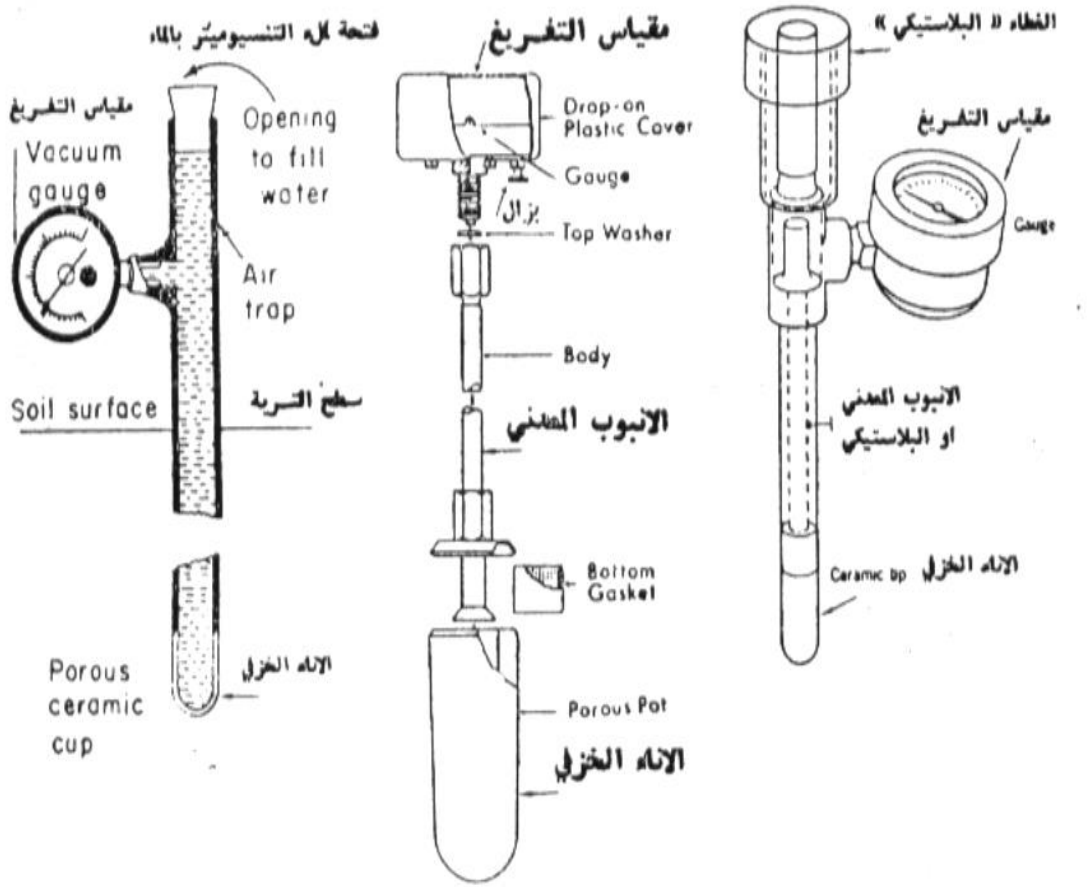
تقيس هذه الطريقة التوتر (الشد) الذي بموجبه يجذب (أو يحتجز) الماء من قبل حبيبات التربة و يكون ذلك باستعمال إناء (كأس) مسامي من الخزف (السيراميك) Porous ceramic cup
حيث يدفن هذا الأخير في التربة إلى العمق المطلوب بعد أن، يكون قد ملء مسبقاً بالماء هو و الأنبوب المرتبط به و الجهاز الحساس الذي يشير إلى الضغط أو قوى الشد حسب نوع التنسيومتر و يخرج الماء من خلال مسامات الكأس المسامي، خارج التنسيومتر نتيجة فرق الجهد بين قوى شد حبيبات التربة والضغط الحاصل داخل الكأس المسامي، حتى يحصل توازن بين الضغطين المذكورين، (ماء الإناء الخزفي المسامي مع الماء الأرضي) الأمر الذي ينشأ عنه توتر أو شد في الإناء الخزفي و ذلك حتى يصبح ماء الإناء نفسه في حالة توازن هيدروليكي مع ماء التربة و عند ذلك فإن أي انخفاض في المحتوى الرطوبي للتربة نتيجة التبخر أو الامتصاص النباتي أو الصرف سيقود إلى تغيرات في قراءة التنسيومتر التي تعكس بدورها تغيرات التوتر الرطوبي في التربة و الجهد الشعري فيها..
و يتراوح مدى التوتر الرطوبي الذي يمكن قياسه بهذه الطريقة بين صفر ضغط جوي عند درجة التشبع الرطوبي و ٠.٩ ضغط جوي (أي ٦٨.٤ سم زئبقي) و يصل أقصى توتر رطوبي يمكن تسجيله عملياً حوالي ٦٠ سم زئبقي و يتوقف ذلك أساساً على طول العمود الذي يعلو الإناء الخزفي للجهاز و هناك نوعان من أجهزة قياس التوتر الرطوبي (التنسيومترات)..

- تنسيومتر ذو مقياس التفريغ Tensiometer with vacuum gauge

- تنسيومتر ذو مقياس الضغط الزئبقي Tensiometer with mercury manometer

A-_جهاز قياس التوتر الرطوبي ذو مقياس التفريغ_ Vacuum gauge tensiometer

يرتبط الإناء الخزفي في هذا النوع بمقياس تفريغ (مقياس لقوة الشد أو التوتر) بوساطة أنبوب معدني (أو من البلاستيك المتين) ذي فراغ طولي و بقطر صغير جداً من أجل رفع حساسية الجهاز و يرتبط الأنبوب المعدني من ناحية الوعاء الخزفي بوصلة مطاطية مرنة، كما يتصل من جهة مقياس التفريغ بوصلة مزودة بحلقة مطاطية رقيقة لإحكام الاتصال و يغلف مقياس التفريغ بغطاء بلاستيكي متحرك كما في الشكلين (٦-١) و (٦-٢)...



الشكل (٦-٢): يبين نماذج مختلف من التنسيومترات ذات مقياس الضغط أو التفريغ(المانوميتر)

يمكن حساب التوتر الرطوبي على النحو التالي :

يقيس جهاز التنسيومتر ذو مقياس التفريغ الضغط السالب داخل الأنبوب، الناجم عن تسرب الماء من الإناء الخزفي وانتقاله عبره إلى التربة، الأمر الذي يؤدي إلى حصول تفريغ يقاس بعدد سنتمترات الزئبق التي يشير إليها المقياس و عند بلوغ التوازن في الضغط بين التربة و التنسيومتر يمكن أن نكتب ما يلي :

$$S.M.T = (L - L0).(\frac{\rho m - \rho w}{\rho w})$$

S.M.T : توتر التربة الرطوبي الذي يعبر عنه بارتفاع عمود من الماء (سم ماء)

L0 : قراءة التنسيومتر (سم زئبق) إذا لم يضبط على الصفر منذ البداية و يمكن اعتبارها صفراً إذا عوير (ضبط) التنسيومتر بوساطة البزال (اللولب) الموجود أسفل مقياس الجهاز.

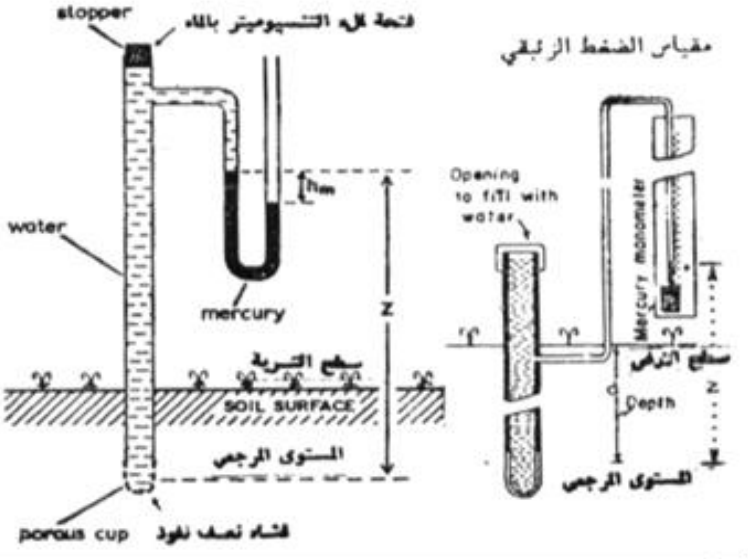
L : قراءة مقياس التنسيومتر (سم زئبق) و هي مساوية لتوتر ماء التربة.

ρm و ρw : على الترتيب كثافة الزئبق و كثافة الماء عند درجة حرارة القياس و يمكن اعتبارهما ١٣.٦ و ١ غ/سم٣ على التوالي (أي أن ١ سم زئبق يعادل ارتفاع عمود ماء قدره ١٣.٦ سم)..

هذا و يمكن التعبير عن التوتر الرطوبي بوحدات أخرى مثل البار أو أجزائه (ميلي بار) أو الـ pF الذي يساوي اللوغريتم العشري لارتفاع عمود الماء مقاساً بالسم...

B- جهاز قياس التوتر الرطوبي ذو مقياس الضغط الزئبقي_ Mercury manometer

يقيس هذا التنسيومتر التوتر المائي في التربة مباشرة عن طريق الاتصال المباشر بين الماء في أنبوب الجهاز و المستودع الزئبقي الذي يعمل كمانومتر ذي مقياس مدرج بدلاً من مقياس التفريغ في التنسيومتر السابق فعندما يتحرك الماء من الإناء الخزفي للجهاز باتجاه التربة لا يلبث أن يرتفع الزئبق في الأنبوب المتصل بالجهاز الذي يقابله مقياس مدرج يشير إلى مقدار ارتفاع الزئبق بالسم..(الشكل، ٦-٣).



الشكل (٦-٣) : يبين نماذج مختلف من التنسيومترات ذات مقياس الضغط الزئبقي

و يتميز هذا التنسيومتر بأنه أرخص ثمناً و أبسط استعمالاً من سابقه و أسهل صيانة و أيسر في إصلاح أعطاله الحقلية بإضافة الماء إليه و التخلص من فقاعات الهواء التي قد تتخلل بعض أجزائه و ذلك باستخدام حقنة خاصة لهذا الغرض كما يكون الإناء الخزفي لهذا التنسيومتر أصغر حجماً من إناء التنسيومتر ذي مقياس التفريغ مما يسهل دفنه و تثبيته في التربة و بخاصة الترب المحجرة أو الترب الحصوية...

و يعطى التوتر الرطوبي بالعلاقة التالية:

$$S.M.T = (\frac{\rho m - \rho w}{\rho w}.M) - (\rho m.R) - H$$

S.M.T : التوتر الرطوبي للتربة (سم ماء)

M : مستوى (ارتفاع) الزئبق في المانومتر (مقياس الضغط) سم زئبق

R : مستوى (ارتفاع) الزئبق في المستودع الزئبقي بالسم

H : العمق أو الارتفاع الذي يقع بين صفر تدريج المقياس الزئبقي وأعلى نقطة من الإناء الخزفي المدفون بالتربة بالسم

ρm و ρw : كثافة الزئبق و الماء على الترتيب في درجة حرارة القياس.

مزايا التنسيومترات

- تتميز التنسيومترات بإعطائها قراءات عديدة للموقع الواحد من المقطع الأرضي و بربط رطوبة التربة المقاسة بقيم توتر رطوبي تشير إلى مستوى الماء المتاح (الميسر Available) للنباتات .
- و تستخدم التنسيومترات بنجاح عند قوى التوتر المنخفضة (أقل من ١ جو) أي في حدود السعة الحقلية.
- كما توجد بأطوال متفاوتة تناسب أعماق انتشار جذور المحاصيل و الزراعات المختلفة.
- تقدير احتياجات الري عندما يحافظ على رطوبة التربة في مستوى السعة الحقلية حيث يكون التعبير عن المحتوى المائي للتربة بالجهد الهيدروليكي فيها (جهد المادة تحديداً) و اللذين يقاسان بالتوتر الرطوبي الذي يكافئهما.
- –يكون أكثر ملائمة لتحديد موعد الري في الحقل أو في الزراعات المحمية و تكون أفضل طريقة لتحقيق ذلك بوضع مجموعة من التنسيومترات عند أعماق مختلفة تمثل مناطق الانتشار الجذري ثم الري عندما تشير التنسيومترات إلى قيم توتر معينة.
- كما يمكن وضع هذه الأجهزة لحساب الممال الهيدروليكي Hydraulic gradient في مقطع التربة...
- أخيراً تعرض النتائج بشكل تربط فيه قيم التوتر الرطوبي Moisture tension بمحتوى التربة المائي عند كل قياس.

-

مساوئ التنسيومترات: يؤخذ على هذه الأجهزة:

- عدم التمكن من استعمالها في أيام الصقيع.
- صعوبة تثبيتها في الترب المحجرة و الحصوية.
- تعرضها للتسرب في بعض أجزائها مما يتطلب إعادة ملئها بالماء و التخلص من الفقاعات الهوائية و بخاصة في حالة التنسيومتر ذي مقياس التفريغ الذي يجب نزعه من الحقل و نقله للمختبر لإصلاحه.
- يضاف لذلك محدودية قراءاته بـ ٦٥ سم زئبق أي بحدود pF = ٢.٩٤ فقط.

٢- تعيين رطوبة التربة بطريقة تشتت النترونات : Neutron scattering

يطلق أيضاً على هذه الطريقة إبطاء النترونات السريعة Fast neutrons وذلك بتحويلها إلى نترونات بطيئة Slow neutrons (أو حرارية Thermal neutrons) و تسمى هذه العملية Neutron thermalization وقد استخدمت من أجل تعيين رطوبة التربة لأول مرة في عام ١٩٥٠ و يقوم مبدأ هذه الطريقة على ما يلي:

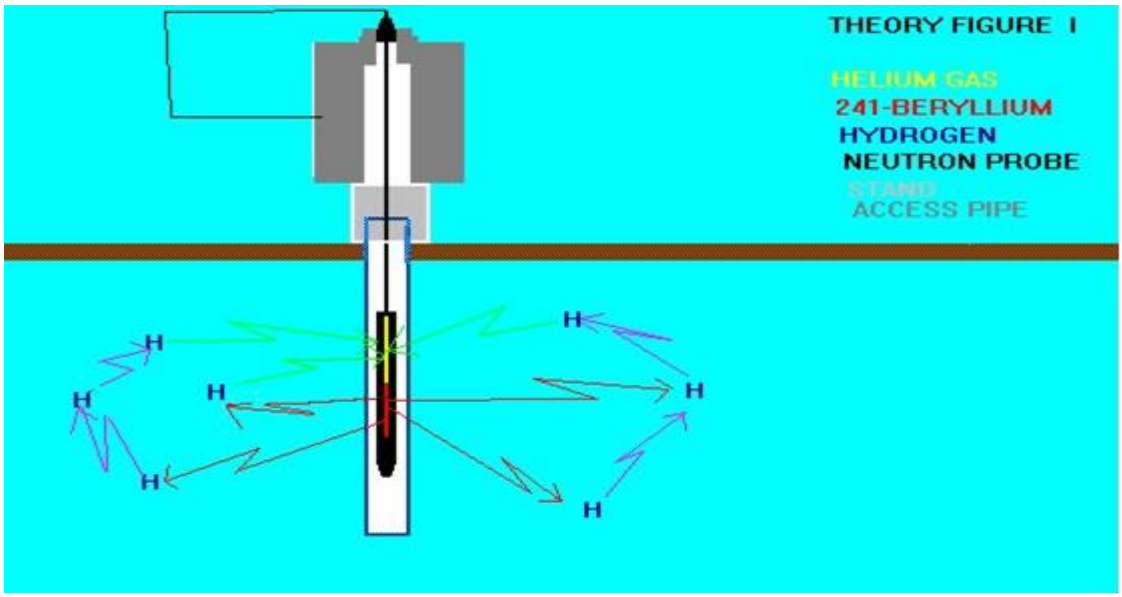
A- مبدأ الطريقة : تتميز نوى الهيدروجين (البروتونات) بخاصية بعثرة أو تشتت Scattering النترونات و إبطائها و قد وجد أن معدل بعثرة النترونات في الترب الرطبة يكون تابعاً لمحتوى التربة المائي الذي يعد المصدر الأساس للبروتونات فيها..

و يعتمد في الحصول على مصدر للنترونات السريعة على مبدأ خلط عنصر مشع يطلق جسيمات (دقائق) ألفا Alpha particles (وهي نوى ذرات الهيليوم He) كالراديوم $^{226}_{88}Ra$ أو الأميرسيوم $^{241}_{95}Am$ أو البلوتونيوم $^{239}_{94}Pu$ مع عنصر البيريليوم $^{9}_{4}Be$ إلا أن أكثر العناصر المشعة استخداماً في الحصول على النترونات السريعة هو الأميرسيوم (ذو نصف عمر محدد هو t ½ = ٤٧٠ سنة) و الراديوم (t ½ = ١٦٢٠ سنة)

و يتم ذلك على النحو التالي :

$$^{9}_{4}Be+^{4}_{2}He\rightarrow^{12}_{6}C+^{1}_{0}n+y$$

يستخدم لهذا الغرض حوالي ٢-٥ ميلي كوري mGi من الراديوم المخلوط جيداً مع البيريليوم و المضغوطين على شكل أقراص صغيرة و هذا ما يكفي لإصدار حوالي ١٦٠٠٠ نترون في الثانية لكل ١ ميلي كوري mGi من الراديوم المستخدم و تتراوح طاقة النترونات السريعة المنبعثة من ١ – ١٥ (MeV) و بمعدل طاقي يتراوح بين ٢ و ٤ (MeV) و بمعدل سرعة ١٦٠٠ كم/ثا و لذلك تدعى النترونات السريعة Fast neutrons .. كما في الشكل (٦-٤).



شكل رقم (٦-٤): يوضح وضع الجهاز في التربة عند القياس

والجدير بالذكر أن كلاً من الراديوم و الإميرسيوم المستخدمين يصدران أيضاً أشعة ألفا γ بطاقة تساوي MeV 0.187 و (٠.٠٢٧ – ٠.٠٦) MeV على الترتيب إلا أنه نظراً لطول زمن نصف العمر (t 1/2) لكل من هذين العنصرين المشعين فإن معدل تغير تفككهما (تدفقهما) n الإشعاعي يكون ضئيلاً جداً مقارنة مع عمر استخدام جهاز قياس الرطوبة النتروني.....

وإذا ما أرسلت النترونات السريعة في التربة فإنها تصطدم بذرات العناصر المختلفة التي تتكون منها التربة نفسها، و نتيجة للتصادم المتكرر للنترونات السريعة فإنها تغير من اتجاهها في كل مرة و تتبعثر Scattered و تفقد تبعاً لذلك جزءاً من طاقتها الحركية Kinetic energy إثر كل اصطدام يتم..ويترافق ذلك بتناقص تدريجي في سرعتها وذلك إلى الحد الذي تغدو عنده طاقتها حوالي MeV 0.03 و سرعتها ٢.٧ كم/ثا و يطلق على مثل هذه النترونات اسم النترونات البطيئة Slow neutrons أو الحرارية و يطلق على العملية التي تقود إلى مثل ذلك عملية تشتت النترونات Neutron scattering أو Neutron thermalization و تتفاوت ذرات العناصر الموجودة في التربة إلى حد كبير في مقدرتها على بعثرة النترونات السريعة و إبطائها إلا أن معدل انخفاض طاقة النترونات نتيجة التصادم يكون أعظمياً عندما تكون كتلة الذرة التي تصطدم بها النترونات أقرب ما يمكن من كتلتها وهذا يعني أن أكثر الذرات مصادفة في التربة و أكثر اقتراباً في كتلتها من كتلة النترونات هي ذرات الهيدروجين (البروتون) التي تكون جزيء الماء و تكون بذلك الذرات أكثر عناصر التربة فعالية في إبطاء وبعثرة النترونات...

وهكذا نجد مثلاً أن عدد مرات التصادم اللازمة من أجل انخفاض طاقة ابتدائية لنترون سريع مساوية ٢ MeV إلى طاقة النترون الحراري أو البطيء (التي تساوي ٠.٠٣ MeV) مع كل من ذرات الهيدروجين و

الكربون و الأكسيجين هي على الترتيب مساوية ١٨ و ١١٤ و ١٥٠ تصادم...أخيراً إن عدد النترونات البطيئة سيتناسب مع تركيز ذرات الهيدروجين في التربة و بالتالي فهو سيتناسب مع حجم الماء الموجود فيها و هذا ما يقيسه جهاز قياس الرطوبة النتروني Neutron moisture meter و هكذا نجد :

$$Nw = m \cdot \Theta v + b$$

و أيضاً $Nw/Ns = y \cdot \Theta v$

Nw : معدل العد للنترونات البطيئة في التربة الرطبة..

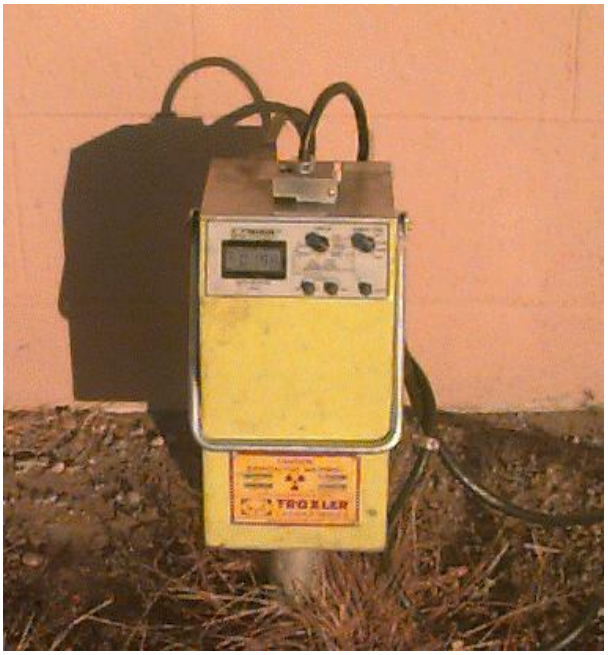
Ns : معدل العد للنترونات البطيئة في الماء أو أي مادة قياسية أخرى كصفيحة معدنية رقيقة من الألمنيوم أو الفضة...

Θv : المحتوى الرطوبي الحجمي و يساوي $\Theta v = Vw / Vt$

M و b : على الترتيب ميل (Slope) و قاطع (Intercept) المنحنى الرابط بين Nw و Θv

B- جهاز قياس الرطوبة النتروني : يسمى أيضاً المسبار النتروني Neutron probe كما في الشكل (٤) ويتألف من جزأين رئيسيين الأول المسبار Probe (P) و يتكون من مصدر إرسال النترونات السريعة (S) Source of fast neutrons و مكشاف (مستقبل) للنترونات البطيئة (D) Detector of slow neutrons يحتوي على غاز فلور البورون BF3 و يدلى المسبار في أنبوب معدني T من الألمنيوم يسمح بالنفاذ شبه التام للتدفق النتروني و يثبت الأنبوب في التربة بشكل عمودي عند العمق المطلوب في حفرة تتسع له و يكون الأنبوب مغلقاً من أسفل منعاً لتسرب الماء إلى داخله...

أما الجزء الثاني فهو عبارة عن جهاز تسجيل أو عداد Scaler (C) يسمح بتسجيل معدل العد لتدفق النترونات البطيئة المتشتتة من قبل التربة و يغذى عادة ببطارية أعد شحنها مسبقاً.....



شكل(٦-٥): يوضح صور المجس وجهاز تقدير رطوبة التربة بطريقة تشتت النيترونات

C- آلية القياس : تثبت أنابيب الألمنيوم في الحقل عند الأعماق المطلوبة التي يمكن أن تتراوح بين ٥٠ سم و ١٥٠ سم و تسد فوهتا الأنبوب من أعلى و أسفل لمنع تسرب الماء إليه وللإبقاء عليه جافاً من الداخل و يجرى التأكد من شحن البطاريات من المؤشر الخاص بذلك في الجهاز نفسه ثم يدلى المسبار النتروني داخل أنبوب الألمنيوم إلى العمق المراد قياس رطوبة التربة عنده (الشكل ٦٠-٥) ويشغل جهاز العد و عندها يرتبط عدد النترونات البطيئة إثر تصادمها المتكرر و ارتدادها بشكل عشوائي بعلاقة خطية تقريبية مع المحتوى الرطوبي الأرضي حيث تستقبل النترونات البطيئة المرتدة من قبل المكشاف Detector الذي يكون مليئاً بغاز فلور الكربون BF3 و عند اصطدام النترونات البطيئة المرتدة بذرات البورون ${}^{10}_{5}B$ فإنه يتم امتصاصها من قبل هذه الأخيرة و تنطلق نتيجة ذلك جسيمات (دقائق) أو أشعة ألفا Particles ά على النحو التالي:

$$ {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}a $$

أو يمكن أن يكون الهيليوم (He) بدلا من أشعة ألفا (ά)...

وتتولد عن انطلاق جسيمات ألفا ومضات (نبضات كهربائية) ينقلها سلك (كابل) ناقل إلى جهاز التسجيل الذي يقوم بإحصاء الومضات الكهربائية خلال زمن القياس...

D- معايرة الجهاز و المنحنى البياني : يتطلب القياس بموجب هذه الطريقة معايرة Calibration الجهاز عند كثافة حجمية (ظاهرية) ثابتة للتربة و محتويات رطوبية مختلفة وما يقابل كل منها من معدلات العد Count rates وهذا ما يمكن الوصول إليه بواسطة منحنى بياني للمعايرة Calibeation curve يربط بين النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي الحجمي (Θv %) في التربة وبين معدلات العد للجهاز النتروني و نتمكن بذلك من معرفة المحتوى الرطوبي عند أي عمق من التربة بدلالة معدل العد عند ذلك العمق ....

ويراعى عمل منحنى بياني خاص بكل نوع من الترب ولمرة واحدة ذلك أن تشتت النترونات السريعة و إبطائها لا يعزى لمحتوى التربة المائي فحسب بل و تسهم في ذلك التشتت ذرات الهيدروجين الداخلة في تركيب المادة العضوية و فلزات الطين إضافة إلى تداخل بعض العناصر الموجودة في التربة عند تجاوزها تراكيز معينة فالمعروف أن وجود البورون B بتركيز يتجاوز ١٠ جزء بالمليون (p.p.m) و الكلور بتركيز ١٠٠٠ (p.p.m) يمكن أن يؤثر في دقة وصلاحية منحنى المعايرة المعد مسبقاً...

ولإعداد هذا المنحنى البياني يدلى المسبار النتروني في أنبوب الألمنيوم إلى العمق الأول المراد قياس رطوبته و يسجل العد عنده ثم ينزل بعد ذلك إلى عمق آخر و يسجل العد أيضاً و هكذا حتى نصل إلى نهاية العمق

المراد قياس رطوبته في القطاع الأرضي و يراعى الحصول على أكبر عدد ممكن من نقاط القياس و بشكل لا تقل فيه عن خمسة قياسات ثم يحسب معدل العد النسبي (K) لكل عمق على النحو التالي :

K = عد الجهاز عند عمق معين / العد القياسي للجهاز (في الماء مثلاً)

تؤخذ بعد ذلك عينة ترابية عند كل من أعماق القياس المنفذة و يعين المحتوى الرطوبي الحجمي Θv بالتجفيف كما تعين الكثافة الحجمية للتربة (Qb) عند كل من الأعماق السابقة ثم يوقع المنحنى البياني الذي يربط بين معدل العد النسبي K أو (Nw) للأعماق المختلفة و المحتوى المائي الحجمي للتربة (Θv %) أما من أجل حساب المحتوى المائي الوزني (Θm) :

$$\Theta m\% = \frac{\Theta v.\rho w}{\rho b}.100$$

كما يمكن تعيين قيمة التوتر (الشد) الرطوبي عند عمق القياس ذي المحتوى المائي الوزني Θm من المنحنى البياني المعد مسبقاً و الذي يربط بين (Θm) وقيم الـ pF للتربة نفسها:

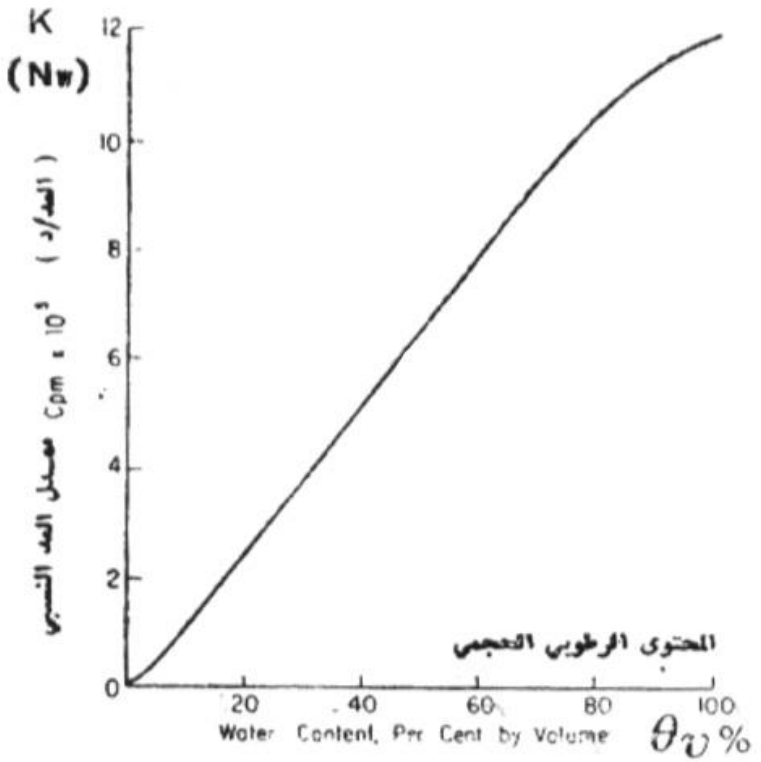
$$\Theta m = f(pF)$$

E- ميزات هذه الطريقة و محاذيرها : من ميزات هذه الطريقة مايلي:

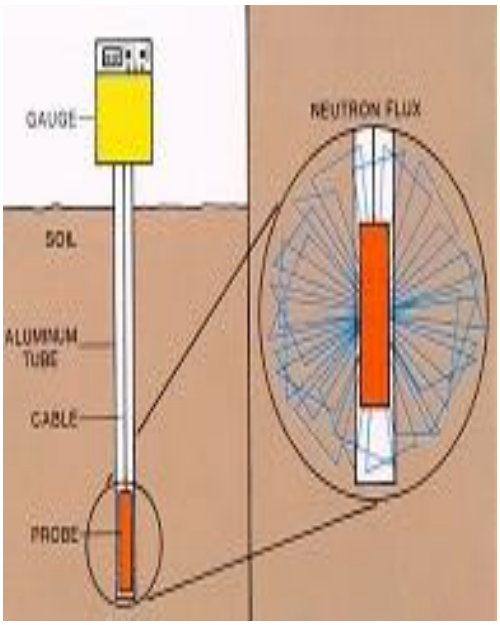
١. سرعة القياس وضآلة المجهود المبذول مقارنة مع طريقة التجفيف.
٢. إمكانية تكرار قياس رطوبة التربة في الموقع و العمق نفسهما وبشكل دوري.
٣. تعيين ما يعرف بالمقطع المائي للتربة Soil hydraulic profile عن طريق قياس رطوبة التربة عند أعماق مختلفة من المقطع الأرضي.
٤. لا تحدث أي تغيير في بناء التربة كما لا تتأثر قراءات الجهاز كثيراً بنسبة الأملاح فيها.
٥. لا تتأثر الطريقة عملياً بالضغط الجوي و درجة الحرارة ..

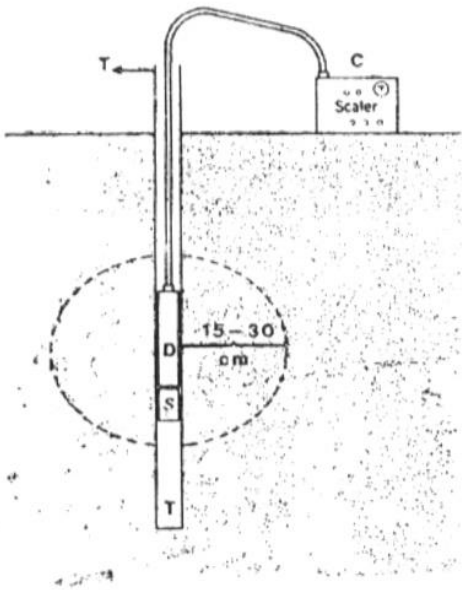
أما من محاذير هذه الطريقة :

١. التكلفة الأولية المرتفعة للجهاز .
٢. صعوبة قياس رطوبة التربة السطحية و بخاصة العشرين سنتمتر الأولى.
٦. خطورة التعرض للإشعاع (أشعة γ) و النترونات السريعة على الرغم من تزويد الأجهزة الحديثة بوسائل حماية كافية كالدروع الواقية التي تصفح مصدر النترونات السريعة (المصدر المشع نفسه) بالرصاص و بعض المواد الهيدروكربونية كالبارافين و البولي إيتيلين لمنع تسرب النترونات السريعة و حماية القائم بالقياس من أشعة γ المرافقة .
٧.



الشكل (٦-٦): يبين منحنى بياني يربط العلاقة بين المحتوى الرطوبي الحجمي و معدل العد النسبي (Nw)K ٧Θ %.





الشكل (٦-٧): يوضح رسم تخطيطي للمسبار النتروني وأجزائه الرئيسة Neutron probe

٣- تعيين رطوبة التربة بطريقة انخماد أشعة غاما : **Gamma ray attenuation**

إن مبدأ قياس رطوبة التربة بهذه الطريقة هو نفسه الذي يعتمد عليه قياس كثافة التربة الحجمية (Qb) الذي ورد آنفاً مع فارق الإبقاء هنا على كثافة التربة الحجمية ثابتة و بذلك تكون نفاذية أو انتقال Transmission أو تشتت (بعثرة) Scattering أشعة γ تابعين لمحتوى التربة الرطوبي.

فعندما توضع التربة بكثافة حجمية ثابتة بين مصدر للإشعاع و المكشاف Detector فأن شدة الأشعة الصادرة عنها ستتغير فقط مع تغيرات محتوى التربة الرطوبي و يتبع ذلك للعلاقة الأساسية التالية :

$$Nw / Nd = \exp(-\Theta m \cdot \mu w \cdot x)$$

حيث أن :

Nw / Nd : نسبة تدفق الأشعة الصادرة (المنتقلة) عبر التربة الرطبة (Nw) إلى تلك الصادرة عبر التربة الجافة (Nd).

μw معامل الامتصاص الكتلوي للماء Mass absorpation coefficient أو ما يعرف بمعامل الانخماد الكتلوي Mass attenuation coefficient سم٢ / غ .

X : سماكة عمود التربة المحصور بين مصدر الإشعاع و المكشاف بالسم .

Θm : وزن الماء في وحدة الحجم الظاهري من التربة غ / سم٣ .

و عليه فإن محتوى التربة الرطوبي (غ / سم٣) :

$$\Theta m = \frac{\ln(\frac{Nw}{Nd})}{-\mu w.x} = \frac{\log(\frac{Nw}{Nd})}{-0.4343\mu w.x}$$

وفي هذه المعادلة :

Ln (Nw/Nd) : اللوغاريتم الطبيعي لنسبة العد في التربة الرطبة Wet soil إلى العد في التربة الجافة Dry soil ...

و تفترض العلاقة السابقة أن انخماد الأشعة (أو امتصاصها) العائد لهواء العينة الترابية أو عمود التربة في الحقل يكون مهملاً نظراً لكثافة الهواء المنخفضة جداً و كذلك الأمر بالنسبة للانخماد الخاص بالجدران الرقيقة التي تفصل التربة عن كل من مصدر الإشعاع و جهاز القياس (المكشاف)...

و تتعلق العلاقة السابقة بنفاذية (انتقال) حزمة الإشعاعات الأولية الصادرة عن مصدر الإشعاع فقط في الوقت الذي تستبعد فيه كل الإشعاعات الثانوية الناجمة عن التفاعل بين الإشعاعات الأولية و مكونات التربة و يكون ذلك عن طريق جهاز فصل (تمييز) Discriminator خاص أو جهاز تحليل مستوى (ذروة) الومضات الكهربائية Pulse height analyzer الذي يرتبط بجهاز العد Scaler .

و تسمح هذه الطريقة بإجراء القياس على التربة في المختبر إذ يكفي أن تعرض التربة لحزمة من أشعة γ عبر ثقب صغير في التصفيح (الدرع) الرصاصي لمصدر الإشعاع و بهذا الشكل تكون التربة محصورة بين مصدر الإشعاع و المكشاف المصفح هو الآخر من الجهة الخارجية و بشكل يسمح معه بمرور حزمة ضيقة من أشعة γ التي تنفذ عبر عمود التربة حيث يتوقف عنده انخماد (أو امتصاص) الأشعة على الكتلة الكلية للتربة الواقعة بين المصدر الإشعاعي و المكشاف..

ميزات هذه الطريقة :

١. إمكانية إجراء القياسات حقلياً و مخبرياً..
٢. السماح بقياس رطوبة السنتمترات الأولى من سطح التربة (حتى عمق ١ سم)..
٣. إمكانية تعيين المقطع الرطوبي بدقة أكبر عند أعماق متدرجة لا تتجاوز ٢ سم في حين لا يقل هذا المدى في طريقة المسبار النتروني عن ١٦ سم مما يؤدي إلى مزيد من التداخل بين الآفاق غير المتجانسة رطوبياً..

و يؤخذ على هذه الطريقة جملة أمور أهمها :

١. لا يعزى امتصاص أو انخماد أشعة غاما إلى اصطدامها بذرات الهيدروجين فحسب بل إنها تفقد جزءاً من طاقتها عند كل مرة تصطدم فيها بمادة أخرى و لهذا فإن هذه الطريقة تناسب بخاصة قياس تغيرات محتوى التربة الرطوبي أكثر من القياس نفسه...
٢. ضرورة عمل منحنى معايرة لكل نوع من الترب..
٣. صعوبة جعل الأنبوبين المعدنيين لكل من مصدر الإشعاع و المكشاف في وضع عمودي و متواز تماماً في الحقل....
٤. خطورة تعرض القائم بالقياس للإشعاعات مثل طريقة القياس بالمسبار النتروني..

٤- طريقة المقاومة الكهربائية: **Electrical resistance method** أو قالب الجبس

A- مبدأ الطريقة : عندما يمر تيار كهربائي من الكترود (مسرى) إلى آخر عبر مادة مسامية كقالب جص (جبس) مثلاً فإن مقاومة توصيل التيار عبر هذه المادة ستتناسب عكساً مع محتواها المائي أي أن :

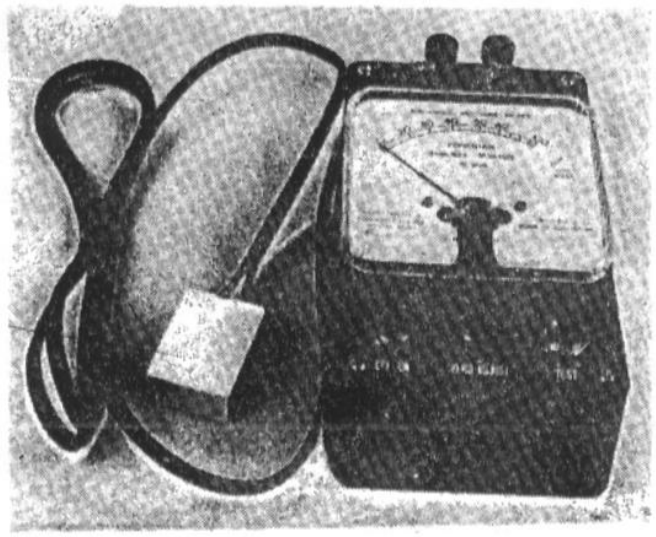
$$R\omega \frac{\mathbf{I}}{Ww}$$

R : المقاومة الكهربائية بالأوم Ohm و تساوي $R = \frac{I}{C}$

حيث أن C هي الناقلية الكهربائية (التوصيل) بالمو mho و I شدة التيار بالأمبير..

Ww : المحتوى المائي في الجسم المسامي الفاصل بين مسريي الكهرباء..

وهكذا فكلما انخفض محتوى قالب الجص من الماء زادت مقاومته لمرور التيار الكهربائي و قل توصيله الكهربائي فإذا وضع مسريان (الكترودان) عزلا عن بعضهما مسافة ٠.٢ سم ضمن قالب من الجص ثم دفن في التربة و ترك حتى بلوغه حالة الإتزان بين توتر (شد) الماء في التربة و القالب معاً بطريقة الإناء الخزفي للتنسيومتر المذكورة آنفاً فإنه يمكن قياس المقاومة الكهربائية بين الكترودين...



الشكل رقم (٦-٨): أنواع من أجهزة قياس الرطوبة باستخدام قالب الجبس من نموذج Bouyoucos المزود بمقياس الرطوبة

الشكل (٦-٩): يوضح أنواع من أجهزة قياس الرطوبة باستخدام قالب الجبس من نموذج Bouyoucos المزود بمقياس الرطوبة

يمكن معايرة القالب بوزنه و هو جاف ثم وزنه في درجات مختلفة من الرطوبة و من ثم رسم العلاقة البيانية التي تربط بين المحتويات الرطوبية المختلفة و قراءات المقاومة للجهاز.

كما يمكن إجراء معايرة قراءات المقاومة الكهربائية مقابل تعيين رطوبة التربة الوزنية (بالتجفيف) المقابلة لتلك القراءات و كان أول من استخدم هذه الطريقة بويوكس Bouyoucos الذي تعرف القوالب المستخدمة باسمه...

يستخدم حالياً بالإضافة لقوالب الجبس Resistance gypsum blocks قوالب من الجبس المشبع بالنايلون بغية إطالة فترة استخدام الجهاز و خفض معدل ذوبان الجبس نفسه كما تستخدم الألياف الزجاجية Fiberglass في قوالب أخرى بدلاً من النايلون و يتصل الالكترودان بسلك توصيل معدني يصل القالب بجهاز المقاومة الكهربائية الذي يعمل على بطارية (في الحقل) و يعطي مقياس المقاومة كلاً من المقاومة بالأوم Ohm و النسبة المئوية للرطوبة الوزنية في آن واحد...

B- قراءة الجهاز وتفسير النتائج : تتعلق قراءة المقاومة بمحتوى التربة الرطوبي إلا أن هذه القراءة تتأثر بكل من درجة الحرارة و الناقلية الكهربائية الناجمة عن وجود الأملاح الذائبة أو الأيونات في الماء الموجود بين الكترودي القالب...

ولهذا فمن الصعب تفسير نتائج القياسات دون أن تؤخذ هذه النقاط بعين الاعتبار فمحتوى القالب الرطوبي سيكون و الحالة هذه تابعاً لممال الجهد الأسموزي Osmotic potential gradient في التربة المحيطة بالقالب و ذلك الموجود بين القالب و التربة مباشرة و هكذا فإن قياس رطوبة التربة بهذه الطريقة يتضمن عاملاً جديداً هو تأثير الجهد الأسموزي الناجم عن وجود الأملاح الذائبة في التربة و الذي كان مهملاً في طرق القياس السابقة..

وقد وجد تجريبياً أن الناقلية الكهربائية ترتبط بتركيز الأملاح في المحلول الأرضي بالعلاقة التجريبية التالية :

$$m \cdot e / L = K \cdot (EC)$$

حيث أن :

m . e / L : ميلي مكافئ / ليتر من محلول التربة....

EC : الناقلية الكهربائية لمحلول التربة بالميلي مو / سم (m.mho/cm) ...

K : ثابت تتراوح قيمته بين ٨ و ٢٠ و يؤخذ على أنه يساوي K = 12.5 في المتوسط....

مزايا ومساوئ هذه الطريقة:

- توثر درجة الحرارة في نتيجة القياس لأن ارتفاعها يؤدي لزيادة حركة الأيونات في محلول القالب مما يجعل قراءات المقاومة تختلف باختلاف لزوجة الماء التي تكون منخفضة عند درجات الحرارة المرتفعة مما يؤدي إلى نتائج مرتفعة في محتوى التربة الرطوبي و لذا فمن الضروري إجراء تصحيح قراءات الجهاز عند درجة حرارة 20 مئوية...
- يتراوح مدى حساسية القياس لقالب بويوكس الجبسي عند قوى التوتر الرطوبي الواقعة بين ٠.٣ و ١٥ ضغط جوي في حين يتراوح هذا المدى بالنسبة للتنسيومترات بين ٠.٠٠١ و ٠.٩ ضغط جوي كما تبدأ قراءة المقاومة انطلاقاً من ٥٠٠ أوم التي تعادل ٢٥ سم زئبق (أي تزيد قليلاً عن مستوى رطوبة السعة الحقلية) و حتى ٥٠٠٠ أوم التي تقابل نصف تدريج المقياس .

- يفضل إجراء معايرة قوالب بويوكس الجبسية مقابل قوى توتر رطوبية مختلفة للربط بين قراءات المحتوى الرطوبي أو المقاومة الكهربائية التي يشير إليها المقياس و درجة التوتر الرطوبي الحقيقية في التربة...

- نظراً لصناعة القوالب من الجص فإن المحلول المحصور بين الكترودي القالب يكون مساوياً في تركيزه لمحلول مشبع من كبريتات الكالسيوم المائية و هذا ما يعمل كمحلول منظم Buffer يكبح التأثير الناجم عن التغيرات الطفيفة التي قد تعتري تركيز المحلول الأرضي نتيجة عمليات التسميد أو وجود مستوى منخفض من الأملاح...

-

- تزداد عملية تآكل قوالب الجص نتيجة الإذابة المستمرة لمادة القالب نفسه مما يجعل العلاقة بين المقاومة الكهربائية و التوتر الرطوبي في التربة تختلف ليس فقط من قالب لآخر بل و بالنسبة لقالب بعينه مع مرور زمن استخدامه حيث تزداد مسامية القالب و تتسع أبعاد فراغاته..

-

- ينصح بعدم استخدام هذه الطريقة في الترب ذات المحتوى المرتفع من فلزات الطين القابلة للانتفاخ (مجموعة السميكتيت) لأن مثل تلك الفلزات يؤدي إلى تشقق التربة عند انكماشها مما يقلل من

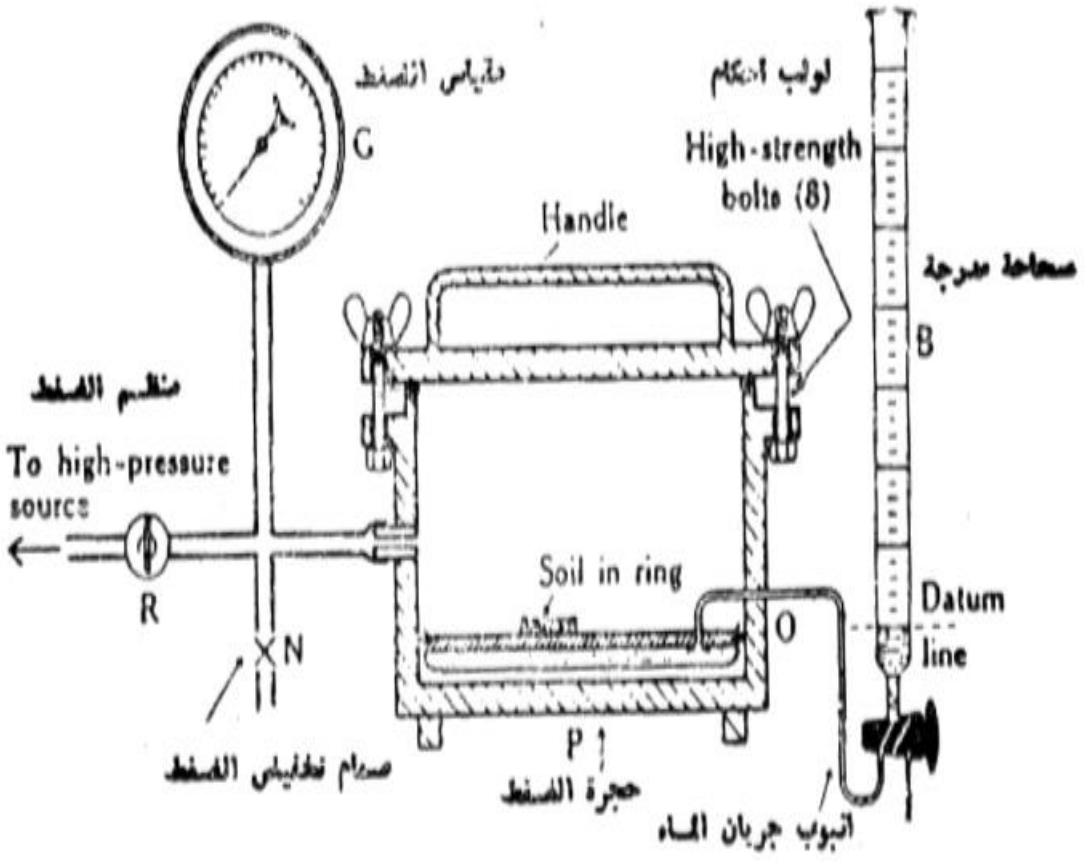
التماس المباشر بين القالب و التربة و يفضي إلى قراءات خاطئة عند المستويات الرطوبية المنخفضة....

-

٥- غشاء الضغط وطاولة التوتر **: Pressure membrane and table tension**

تستخدم في هذه الطريقة ضغوط موجبة تتراوح بين صفر و ٢٠ بار (الشكل، ٦-١٠) و قد تصل في بعض التجهيزات الثقيلة إلى ١٠٠ بار و لهذا فإنه يمكن قياس طاقة ارتباط الماء بالتربة في حدود كبيرة جداً تصل إلى مستوى معامل الذبول الدائم (عند١٥ بار)..

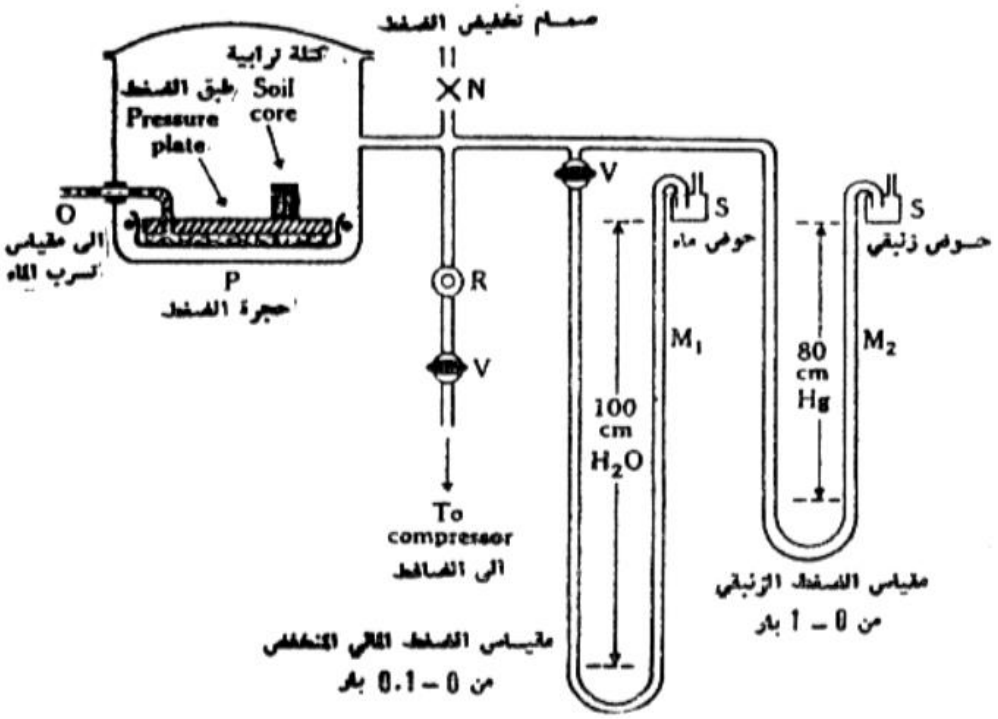
وهكذا توضع التربة فوق صفيحة الضغط Pressure plate النفوذة للماء ضمن حجرة مغلقة و تعرض للضغط المطلوب ثم توزن لمعرفة محتواها الرطوبي عند نقطة التوازن مع الضغط المطبق عليها..... و يتألف الجهاز من حجرة الضغط المعدنية التي تغلق بإحكام و يمكنها تحمل الضغوط العالية و صفيحة نفوذة مصنوعة من الخزف (السيراميك) و النيوبرين Neoprene التي توضع عليها العينات الترابية المراد تعيين رطوبتها و التي يمكن أن تكون كتلة ترابية بوضعها الطبيعي في الحقل أو مضطربة توضع في أسطوانة معدنية مفتوحة من طرفيها.....



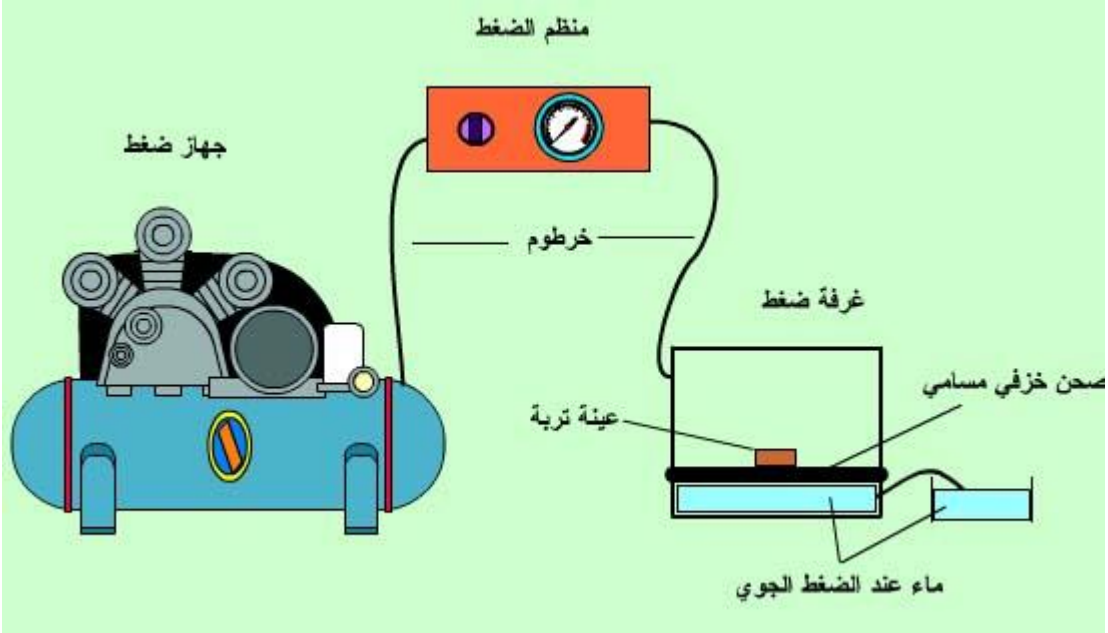
الشكل (٦-١٠): يبين طنجرة الضغط ذات الصفيحة للضغوط العالية (من ٠-١٥ بار وأكثر)

يمكن التحكم بواسطة هذا الجهاز (الشكل، ٦– ١٠) بمقدار الضغط المطبق على العينات الترابية و هكذا فمن أجل الضغوط المنخفضة يمكن تعريض عينات التربة الموضوعة على الصفيحة النفوذة إما لضغط يتراوح بين (0 و 0.1) بار (M1) أي ما يعادل ارتفاع عمود من الماء قدره 100 سم أو لضغط يتراوح بين 0 و أكثر من 1بار بقليل (M2) أي ما يعادل 80 سم زئبق أو 1088 سم ماء...

تكون التربة الموضوعة على الصفيحة النفوذة معرضة لضغط يعادل ارتفاع عمود الماء في M1 أو ارتفاع عمود الزئبق في M2... و بذلك يمثل محتوى التربة الرطوبي عند التوازن مع هذه الضغوط الماء المكافئ لهذه المستويات من الضغوط أو التوترات.



الشكل (٦-١١): يبين طنجرة الضغط ذات الصفيحة للضغوط المنخفضة (بين ٠-٠.١ بار ومن ٠-١ بار)



الشكل رقم (٦-١٢): يبين جهاز طبق الضغط لقياس الجهد الماتري للتربة، في المعمل، إلى قيم، تصل إلى 15- بار

مكونات طبق الضغط:

- **Air Compressor** جهاز لضغط الهواء، إلى **15** بارًا

– **Manifold**.مفتاح منظم للتحكم في مقدار الضغط

– **Pressure Cell**غرفة الضغط مكونة من :

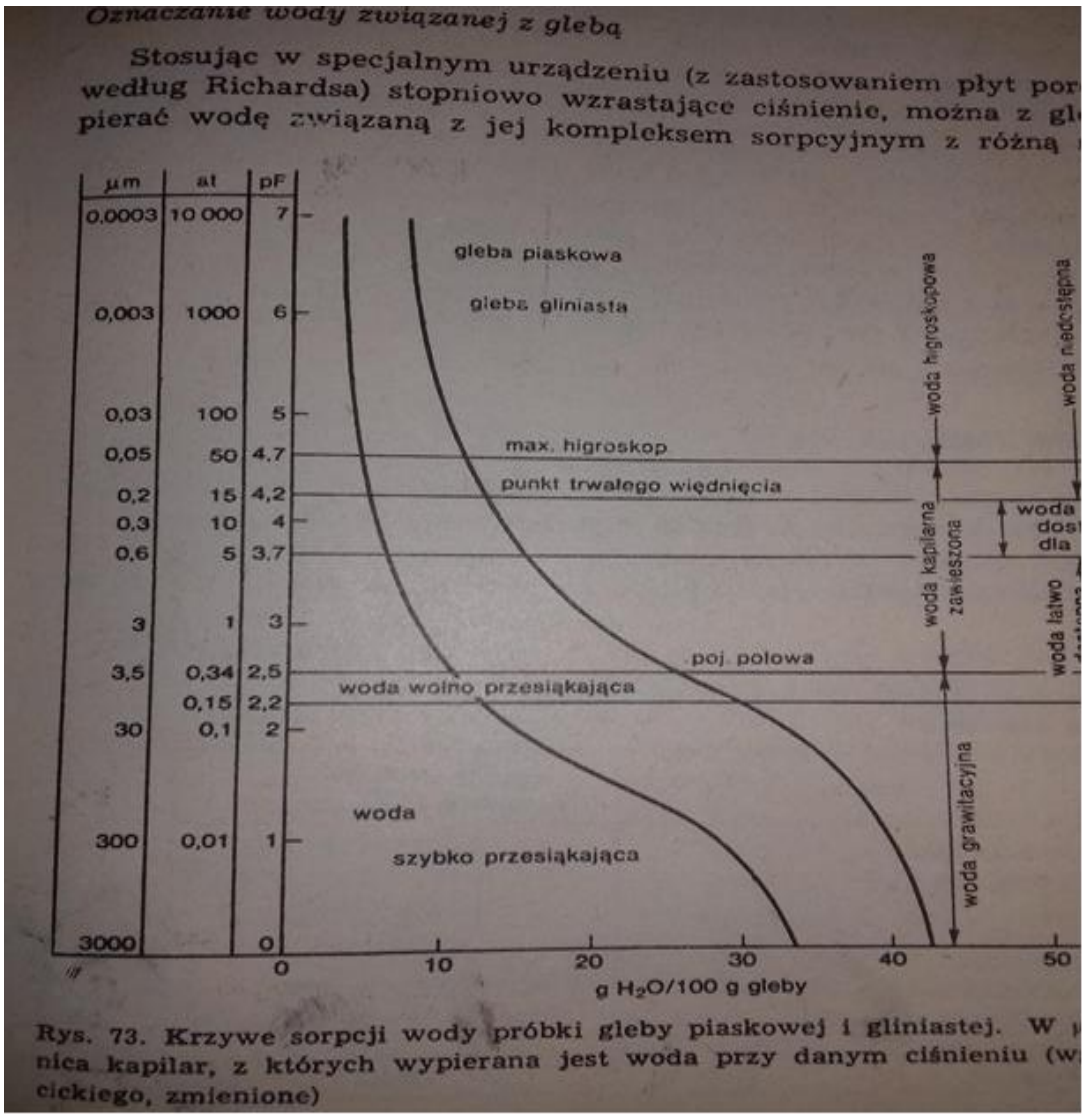
* خلية ضغط

*غرفة تتحمل الضغط إلى أكثر من 15 باراً.

*طبق أو صحن ضغط خزفي مسامي توضع فوقه عينات التربة الرطبة.

* انبوب شعري يصل بين طبق الضغط داخل حجرة الضغط والوسط الخارجي إلى حوض لتجميع الماء المستخلص من عينة التربة.

شكل(٦-١٣): جهاز القرص المسامي لتقدير منحنى الشد الرطوبي



الشكل رقم (٦-١٤): يوضح منحني خصائص الرطوبة المميز