مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية ــ (2010) ــ المجلد (26) ــ العدد 2 ــ الصفحات: 59-76

تقدير المص الرطوبي للتربة
باستخدام طريقة المحاليل الملحيّة وورق الترشيح

عمران محمود الشهابي[1]

الملخص

إن تقدير المص الرطوبي للتربة عند مستويات مختلفة من المحتوى الرطوبي يعدُّ مهماً جداً في تقدير الماء المتاح للنبات ودراسة حركة الماء والعناصر المغذية للنبات، وكذلك الملوثات ضمن مسام التربة في الحالة السائدة وهي الحالة غير المشبعة. إن صعوبة تقدير المص الرطوبي توازي أهمية تقديره، وهناك العديد من الطرائق التي تستخدم في تقدير المص الرطوبي، لكن معظمها يحتاج إلى وقت طويل وجهد كبير. في هذه الورقة ستعرض طريقتان، تعتمد الأولى على تطبيق مص على التربة وتدعى طريقة المحاليل الملحية، وتعتمد الثانية على قياس المص الموجود في التربة وتسمى طريقة ورق الترشيح. طبقت الطريقتان على عدد من الترب من أجل المقارنة، فبعد رسم منحنى المص الرطوبي للترب باستخدام المحاليل الملحية تم معايرة ورق الترشيح باستخدام الطريقة نفسها، ومن ثم استخدم ورق الترشيح من النوع نفسه من أجل قياس المص الرطوبي عند مستويات مختلفة ومعلومة من المحتوى الرطوبي للترب المدروسة، وبعد ذلك قورنت النتائج على منحنى المص الرطوبي المستنتج للترب. كانت النتائج متقاربة باستخدام كلتا الطريقتين مما يشجع على استخدام طريقة ورق الترشيح المعايرة التي تعدُّ من الطرائق السهلة وقليلة الكلفة في تقدير المص الرطوبي للتربة.

الكلمات المفتاحية: المص الرطوبي، منحنى رطوبة التربة، طريقة المحاليل الملحية.

[1] قسم علوم التربة، كلية الزراعة، ص.ب. 30621، جامعة دمشق، سورية.

Estimation of Soil Suction Using Salt Solutions Method and Filter Paper

O. Al-Shihabi[(1)]

ABSTRACT

Determining soil suction at different levels of water content is very important in estimating the available water for plants and studying the movement of water, nutritive elements and pollutants in porous media like soil at its unsaturated state. Different methods have been used for estimating soil suction, but most of them are difficult and time consuming. In this paper tow methods were applied, one based on imposing suction called (Salt solutions method) and the second based on measuring an existing suction called (Filter papers method). Both of them are carried out on different types of soils, after drawing soil water characteristic curve (SWCC) using the first method, the filter papers was calibrated using the same method. After that, this calibrated kind of filter papers was used to estimate the suction of the studied soils at different levels of water content and compared with their SWCC. The obtained results were close enough to encourage the use of filter papers method, which is simple and saves time, in measuring soil suction.

Key words: Soil suction, Soil water characteristic curve SWCC, Salt solutions method, Filter paper method.

[(1)] Soil science department, Faculty of Agriculture, P.O.Box 30621, Damascus University, Syria.

المقدمة

يعدّ المص الرطوبي أحد أهم المعاملات التي تصف الحالة الرطوبية ضمن التربة في الحالة غير المشبعة. إن قياس هذا المص أمر حيوي من أجل دراسة سلوك الرطوبة في التربة غير المشبعة.

هناك العديد من طرائق وتقنيات قياس المص الرطوبي في الحقل وفي المخبر. تعدّ معظم هذه الطرائق محدودة سواء من حيث مجال القياس أو المدة اللازمة لحدوث التوازن أو الكلفة العالية. لذلك هناك حاجة ملحة لإيجاد طرائق بسيطة وغير مكلفة وتغطي مجالاً واسعاً من قيم المص الرطوبي. تعدّ طريقة ورق الترشيح واحدة من هذه الطرائق التي تحقق السهولة والدقة والكلفة المنخفضة في آن واحد فضلاً عن كونها تغطي مجالاً واسعاً من قيم المص الرطوبي، هذا المجال الواسع مطلوب في التطبيقات الهندسية المختلفة.

طورت هذه الطريقة في أوائل العشرينيات في أوروبا ومن ثم نقلت إلى الولايات المتحدة في الثلاثينيات (Grander, 1937). منذ ذلك الحين والبحوث مستمرة حول هذه الطريقة (McKeen, 1980; Hamblin, 1981; Chandler and Gutierrz, 1986; Houston *et al*., 1994; Swarbrick, 1995)، استخدمت في هذه البحوث أنواع مختلفة من ورق الترشيح ومن التجهيزات المستخدمة للتحقق من دقة هذه الطريقة وفعاليتها، عمل الباحثون أيضاً على استخدام تقنيات قياس مختلفة من أجل معايرة ورق الترشيح وقياس المص الرطوبي في عينات التربة المختلفة المستخدمة في الدراسة.

لوحظ في الدراسات السابقة (من Gardner, 1937 وحتى Swarbrick, 1995) أنه استعمل منحنى معايرة واحد لأوراق الترشيح من أنواع مختلفة في حين قامت Houston *et al*., (1994) بإيجاد منحنيي معايرة واحد للمص الرطوبي الكلي وآخر للمص الشعري.

المص الرطوبي للتربة

تبدي الأوساط المسامية بشكل عام قابلية لجذب الماء والاحتفاظ به ضمن مسامها. هذه الظاهرة تسمى المص الرطوبي (Suction). يقسم هذا المص في الدراسات التطبيقية والنظرية إلى قسمين، يدعى الأول مص الضامَّة (Matric) ويدعى الثاني المص الحلولي (Osmotic)، (Fredlund and Rahardjo, 1993). ويشكلان المص الكلي (Total suction)، العلاقة (1). يأتي مص الضامَّة من الخاصية الشعرية وامتزاز الماء على حبيبات التربة، وينشأ المص الحلولي عن وجود أملاح منحلة في ماء التربة.

$$h_t = h_m + h_\pi \qquad (1)$$

إذ: h_t : المص الكلي (kPa)، h_m : مص الضامَّة (kPa)، h_π : المص الحلولي (kPa)

يمكن حساب المص الرطوبي الكلي من معادلة Kelvin التي تشتق من قانون الغاز

المثالي المعتمد على القوانين الأساسية للترموديناميك:

$$h_t = \frac{RT}{V}\ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \qquad (2)$$

إذ: h_t: المص الكلي R: ثابت الغاز العام T: درجة الحرارة المطلقة V: الحجم الجزيئي للماء
P/P_o: الرطوبة النسبية P: ضغط بخار الماء الموجود في مسام التربة
P_0: ضغط بخار الماء المشبع فوق سطح ماء حر ونقي و درجة حرارة الماء الموجود في مسام التربة نفسها.

في حال أخذت المعادلة (2) في درجة حرارة مرجعية قدرها ($25C^0$)، تصبح العلاقة بين المص الرطوبي الكلي والرطوبة النسبية على الشكل الآتي:

$$h_t = 137182\ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \qquad (3)$$

إن الرطوبة النسبية للهواء فوق سطح ماء حر ونقي في منظومة مغلقة تقترب من رطوبة الإشباع. أما في الحالة العامة للتربة وهي الحالة غير المشبعة فإن الرطوبة النسبية للهواء في مسام التربة ستكون أقل من درجة الإشباع وذلك نتيجة النظام المفتوح لمسام التربة ووجود الأيونات والأملاح المنحلة ضمن ماء التربة Fredlund and Rahardjo (1993). إذا أمكن بطريقة ما قياس الرطوبة النسبية للهواء في مسام التربة فإنه يمكن استنتاج المص الرطوبي لماء التربة من خلال العلاقة بين المص الرطوبي الكلي والرطوبة النسبية.

في التطبيقات الهندسية العملية تستخدم واحدة الـ pF في قياس الجهود الرطوبية (Schofield 1935) إذ:

$$pF = \log_{10}(|suction\ in\ cm\ of\ water|)$$

في الدراسات الحديثة نجد شيوعاً لاستخدام $\log(kPa)$ في قياس المص الرطوبي بدلا من pF (Fredlund and Rahardjo, 1993) إذ:

$$\log(kPa) = \log_{10}(|suction\ in\ kPa|)$$

هناك علاقة تقريبية بين طريقتي التعبير عن قيم المص الرطوبي pF و $\log(kPa)$، هذه العلاقة على الشكل الآتي:

$$\log(kPa) = suction\ in\ pF - 1$$

إن قيم المص الرطوبي حساسة جداً للتغيرات في الرطوبة النسبية عند اقترابها من 100%. هذه الحساسية تأتي من الطبيعة اللوغاريتمية للعلاقة.

• مص الضامَّة (h_m): يقاس باستخدام جهاز ضغط الهواء ذي الصفيحة السيراميكية أو الغشاء المطاطي، إذ يعبر عنه بالفرق بين ضغط الهواء وضغط الماء بين طرفي الصفيحة أو الغشاء المطاطي:

$$h_m = -(u_a - u_w) \qquad (4)$$

إذ : h_m : مص الضامَّة u_a : ضغط الهواء المطبق
u_w : ضغط الماء عند الطرف الثاني من الصفيحة السيراميكية.

• المص الحلولي (h_π): يُحسب المص الحلولي للمحاليل الملحية، المستخدمة في معايرة ورق الترشيح وحساسات المرطاب (السيكرومتر)، بالاعتماد على العلاقة بين المعاملات الحلولية والمص الحلولي. المعاملات الحلولية لهذه المحاليل متوافرة في الدراسات المرجعية. يعطي الجدول (1) قيما لهذه المعاملات لعدة محاليل ملحية. كما يمكن إيجاد قيم هذه المعاملات من العلاقة الآتية (Lang 1967):

$$\phi = -\frac{\rho_w}{vmw}\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) \qquad (5)$$

إذ: ϕ : المعامل الحلولي v : عدد الأيونات في جزيء الملح
m : التركيز الجزيئي الغرامي w : الكتلة الجزيئية للماء ρ_w : كثافة الماء.

إن الرطوبة النسبية (P/P_o) في المعادلة 5 تعرّف أيضاً بفعالية الماء (a_w) في فيزياء وكيمياء المحاليل الكهرليتية. من المعادلة 2 والمعادلة 5، تستنتج علاقة مفيدة اعتمدت لحساب المص الحلولي للمحاليل الملحية المختلفة:

$$h_\pi = -vRTm\phi \qquad (6)$$

الجدول (1) المعامل الحلولي لعدد من المحاليل الملحية في 25 مْ وتراكيز مختلفة.

Osmotic Coefficients at 25°C

Molality (m)	NaCl[a]	KCl[a]	NH_4Cl[a]	Na_2SO_4[b]	$CaCl_2$[c]	$Na_2S_2O_3$[b]	$MgCl_2$[c]
0.001	0.9880	0.9880	0.9880	0.9608	0.9623	0.9613	0.9627
0.002	0.9840	0.9840	0.9840	0.9466	0.9493	0.9475	0.9501
0.005	0.9760	0.9760	0.9760	0.9212	0.9274	0.9231	0.9292
0.010	0.9680	0.9670	0.9670	0.8965	0.9076	0.8999	0.9106
0.020	0.9590	0.9570	0.9570	0.8672	0.8866	0.8729	0.8916
0.050	0.9440	0.9400	0.9410	0.8229	0.8619	0.8333	0.8708
0.100	0.9330	0.9270	0.9270	0.7869	0.8516	0.8025	0.8648
0.200	0.9240	0.9130	0.9130	0.7494	0.8568	0.7719	0.8760
0.300	0.9210	0.9060	0.9060	0.7262	0.8721	0.7540	0.8963
0.400	0.9200	0.9020	0.9020	0.7088	0.8915	0.7415	0.9206
0.500	0.9210	0.9000	0.9000	0.6945	0.9134	0.7320	0.9475
0.600	0.9230	0.8990	0.8980	0.6824	0.9370	0.7247	0.9765
0.700	0.9260	0.8980	0.8970	0.6720	0.9621	0.7192	1.0073
0.800	0.9290	0.8980	0.8970	0.6629	0.9884	0.7151	1.0398
0.900	0.9320	0.8980	0.8970	0.6550	1.0159	0.7123	1.0738
1.000	0.9360	0.8980	0.8970	0.6481	1.0444	0.7107	1.1092
1.200	0.9440	0.9000	0.8980	…	…	…	…
1.400	0.9530	0.9020	0.9000	…	…	…	…
1.500	…	…	…	0.6273	1.2004	0.7166	1.3047
1.600	0.9620	0.9050	0.9020	…	…	…	…
1.800	0.9730	0.9080	0.9050	…	…	…	…
2.000	0.9840	0.9120	0.9080	0.6257	1.3754	0.7410	1.5250
2.500	1.0130	0.9230	0.9170	0.6401	1.5660	0.7793	1.7629

References:
[a]Hamer and Wu, 1972
[b]Goldberg, 1981
[c]Goldberg and Nuttall, 1978

يعطي الجدول (2) قيم المص الحلولي لعدد من المحاليل الملحية وذلك بالاعتماد على المعامل الحلولي من الجدول (1) وعلى المعادلة 6.

الجدول (2) المص الحلولي لعدد من المحاليل الملحية عند 25 مْ وذلك عند تراكيز مختلفة (Rifat Bulut *et al.* 2001).

Osmotic Suctions in kPa at 25°C

Molality (m)	NaCl	KCl	NH_4Cl	Na_2SO_4	$CaCl_2$	$Na_2S_2O_3$	$MgCl_2$
0.001	5	5	5	7	7	7	7
0.002	10	10	10	14	14	14	14
0.005	24	24	24	34	34	34	35
0.010	48	48	48	67	67	67	68
0.020	95	95	95	129	132	130	133
0.050	234	233	233	306	320	310	324
0.100	463	460	460	585	633	597	643
0.200	916	905	905	1115	1274	1148	1303
0.300	1370	1348	1348	1620	1946	1682	2000
0.400	1824	1789	1789	2108	2652	2206	2739
0.500	2283	2231	2231	2582	3396	2722	3523
0.600	2746	2674	2671	3045	4181	3234	4357
0.700	3214	3116	3113	3498	5008	3744	5244
0.800	3685	3562	3558	3944	5880	4254	6186
0.900	4159	4007	4002	4384	6799	4767	7187
1.000	4641	4452	4447	4820	7767	5285	8249
1.200	5616	5354	5343	...	...	...	...
1.400	6615	6261	6247	...	...	...	...
1.500	...	...	...	6998	13391	7994	14554
1.600	7631	7179	7155	...	...	...	...
1.800	8683	8104	8076	...	...	...	...
2.000	9757	9043	9003	9306	20457	11021	22682
2.500	12556	11440	11366	11901	29115	14489	32776

طريقة ورق الترشيح:

استخدمت طريقة ورق الترشيح منذ عقود طويلة، إلا أنه اعتُمدتْ حديثا كطريقة من طرائق قياس المص الرطوبي وذلك لميزاتها المتعددة مقارنة بالطرائق الأخرى.

تصل ورقة الترشيح إلى حالة توازن مع التربة بواسطة بخار الماء (عندئذ يقاس المص الكلي) أو عن طريق ماء التربة (عندئذ يقاس مص الضامَّة)، (Rifat and Wray 2005). عند الوصول إلى التوازن يكون المص الرطوبي للتربة مساويا المص الرطوبي لورقة الترشيح، فبمعرفة المحتوى الرطوبي لورقة الترشيح يمكن استنتاج المص الرطوبي المقابل المأخوذ من منحنى المعايرة.

هذه الطريقة اعتمدها النظام الأمريكي القياسي لطرائق الاختبار ASTM تحت رقم (ASTM D 5298)، حيث اعتمد منحنى معايرة واحد للمص الكلي ومص الضامَّة، هذا المنحنى ذو فرعين الأول للترطيب والثاني للتجفيف.

مواد البحث وطرائقه

مواد البحث

استخدم في هذه الدراسة ورق ترشيح من نوع (ALBET DP 411 110)، أما الترب المدروسة فبلغ عددها خمس ترب مأخوذة من مناطق مختلفة من سورية تتباين في نسيجها بين الرملية اللومية إلى اللومية الطينية:

- تربة (1) لومية سلتية مأخوذة من شمال شرق سورية من مزرعة غرناطة (35.4% رملاً، 55.9% سلتاً و8.7% طيناً) كما تحوي هذه التربة 56.8% جبساً و13% كربونات كالسيوم.
- تربة (2) لومية طينية مأخوذة من شمال شرق سورية من مزرعة تشرين (31.7% رملاً، 37.8% سلتاً و30.5 طيناً) كما تحوي هذه التربة 16.77% جبساً و21.05% كربونات الكالسيوم.
- تربة (3) رمل لومي (78.2% رملاً، 18.4 سلتاً و3.4% طيناً).
- تربة (4) لوم رملي (61.2% رملاً، 20.8% سلتاً و18% طيناً).
- تربة (5) لوم رملي (53.3% رملاً، 44.5% سلتاً و2.2% طيناً).

طرائق الدراسة

معايرة ورق الترشيح نوع (ALBET DP 411 110) (منحنى الترطيب):

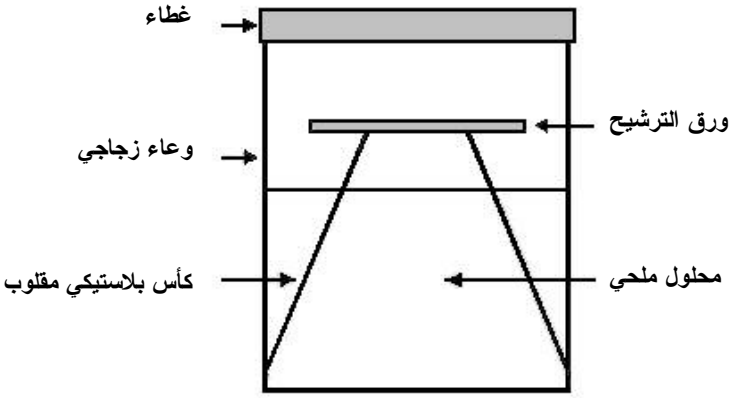
تعتمد معايرة منحنى الترطيب لورقة الترشيح على المعادلة 2 التي تربط بين المص الكلي (أو المص الحلولي) وبين الرطوبة النسبية التي تنتج في محيط مغلق حول محلول ملحي بتركيز معين.

1- حُضرت محاليل من NaCl بتراكيز مختلفة (0، 0.002، 0.01، 0.05، 0.2، 0.4، 0.6، 0.8، 1، 1.4، 2 مول/ل).

2- عُبئَ 150 مل من كل تركيز من المحلول في وعاء سعته 250 مل، بعد ذلك وضعت فيَ كل وعاء كأس بلاستيكية مقلوبة لتعمل كحامل لورقة الترشيح دون أن تلامس المحلول الموجود في الوعاء، كما هو موضح في الشكل (1). ثم وضعت ورقتا ترشيح دائريتان قطر كل واحدة 3 سم على الكأس البلاستيكية، وذلك بعد وزن كل ورقة على حدة باستخدام ميزان حساس بدقة 0.0001 غ، وأغلقت الأوعية بإحكام ووضعت في مكان حرارته 25 مْ.

3- تركت الأوعية مدة أسبوعين، الزمن اللازم لحدوث التوازن بين رطوبة ورقتي الترشيح والرطوبة النسبية في كل وعاء والتي تتغير قيمتها تبعا لتركيز المحلول الموجود في الوعاء، (Rifat Bulut *et al*. 2001).

4- حسبت رطوبة كل ورقة بتجفيفها في حرارة 105 ْم في الفرن حتى ثبات الوزن.



الشكل (1) الأجزاء المكونة للقياس.

منحنى التجفيف:

تكرر الخطوات السابقة انطلاقاً من إشباع أوراق الترشيح ببخار الماء باستخدام حمام مائي، وذلك قبل وضعها في الأوعية مع المحاليل ذات التراكيز المختلفة (الخطوة 2).

منحنى المص الرطوبي للتربة (تجفيف):

1- تطحن عينات التربة وتنخل على المنخل 2 مم.

2- ترطب بالماء حتى تصل إلى رطوبة وزنيه قريبة من السعة الحقلية (w=30% للتربتين 1و2 و15% لباقي الترب)، من ثم توضع في أكياس بلاستيكية محكمة الإغلاق مدة ثلاثة أيام حتى حدوث تجانس في الرطوبة لكامل العينة.

3- في اسطوانة قطرها 3 سم وارتفاعها 2 سم معروفة الوزن يوضع 11غ من التربة وتضغط يدوياً. ثمّ توزن الاسطوانة والتربة بدقة. إن ارتفاع عينة التربة ضمن الحلقة محدود بـ1سم، أما وزن التربة فقد اختير ليتناسب مع الكثافة الظاهرية للتربة في الحقل.

4- تحضر محاليل من NaCl بتراكيز من الصفر حتى 2.7 مول/ل.

5- يوضع 150 مل من كل محلول في الأوعية ذات السعه 250 مل بعد ذلك توضع في كل وعاء كأس بلاستيكية مقلوبة لتعمل كحامل للعينات دون أن تلامس المحلول في الوعاء، (الشكل 1).

6- توضع ثلاث عينات من التربة في كل وعاء ويحكم إغلاقه ويحفظ مدة أسبوعين بعيداً عن التقلبات الحرارية.

7- تحدد رطوبة العينات بتجفيفها في حرارة 105مْ.

8- منحنى المص الرطوبي لحالة التجفيف يمثل العلاقة بين المص الرطوبي والمحتويات الرطوبية المختلفة.

منحنى الترطيب:

تكرر الخطوات السابقة في منحنى التجفيف بشكل كامل مع فارق وحيد هو الرطوبة الابتدائية لعينات التربة.

1- تحضر العينات وذلك بتكرار الخطوات 1،2،3 من دراسة منحنى التجفيف.

2- توضع العينات في مجفف مع كمية كافية من محلول NaCl بتركيز 2 مول/ل مدة أسبوعين، وذلك للحصول على عينات محتواها الرطوبي موافق للمص 9757 kPa (الجدول2)، هذا المص هو المص الأعظمي الذي حصلنا عليه عند دراسة منحنى التجفيف.

3- تكرر الخطوات من 4 حتى 8 من أجل الحصول على عدة نقاط من منحنى الترطيب.

4- منحنى المص الرطوبي لحالة الترطيب يمثل العلاقة بين المص الرطوبي والمحتويات الرطوبية المحسوبة عند التراكيز المختلفة لملح NaCl.

قياس المص الرطوبي لعينات التربة باستخدام ورق الترشيح:

بعد معايرة ورقة الترشيح ودراسة منحنى المص الرطوبي للتربة المدروسة، يمكن استخدام ورقة الترشيح لتحديد المص الرطوبي لعينات من التربة المدروسة عند قيم مختلفة للرطوبة، والتحقق من دقة الطريقة انطلاقاً من معرفة مسبقة بمنحنى المص الرطوبي للتربة موضوع الدراسة.

1- تحضر العينات بالطريقة نفسها في منحنى التجفيف (الخطوات 1،2،3).

2- توضع العينات في مجفف مع كمية كافية من محلول NaCl بتركيز 2 مول/ل.

3- تؤخذ ست عينات من المجفف يومياً وذلك مدة أسبوعين، تستخدم هذه العينات لقياس المص الرطوبي باستخدام ورق الترشيح.

4- تقص أوراق الترشيح بقطر يساوي قطر العينات، توضع ثلاث أوراق ترشيح بين كل عينتين بشكل يكون هناك تماس جيد بين الأوراق وعينات التربة، يوضع شريط لاصق حول منطقة الاتصال بين العينتين وذلك لجعل التبادل في الرطوبة بين العينتين يتم عبر أوراق الترشيح حصراً.

5- توضع العينتان ضمن وعاء صغير (قطر 5 سم وارتفاع 7سم)، وتوضع ورقة ترشيح فوق العينتين دون أن تلامسهما، باستخدام الاسطوانة البلاستكية كفاصل، وذلك لمنع التبادل المباشر للرطوبة بين التربة وورقة الترشيح.

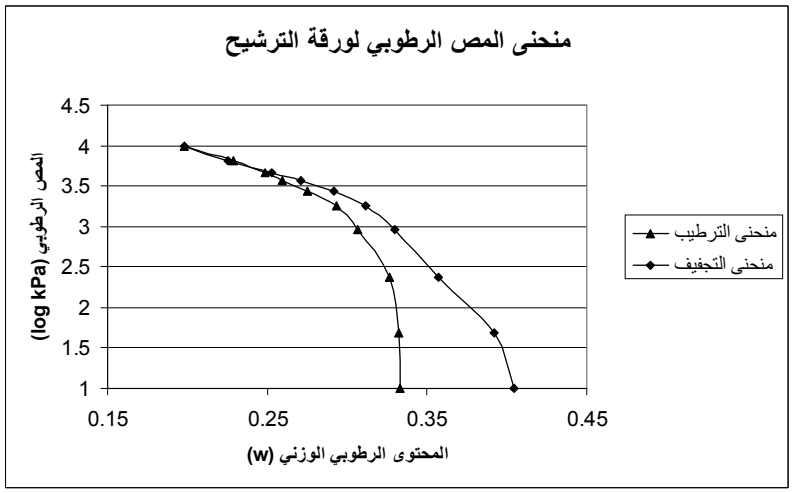
6- يغلق الوعاء بإحكام ويحفظ بعيداً عن التقلبات الحرارية مدة أسبوع لحدوث التوازن الرطوبي بين التربة وورق الترشيح (Rifat Bulut *et al.*, 2001).

7- بعد أسبوع يقاس المحتوى الرطوبي بالتجفيف لكل من ورقة الترشيح الموضوعة فوق الاسطوانة، ورقة الترشيح الوسطى من بين الثلاث ورقات وعينتي التربة.

8- تقارن قيم المص الرطوبي والمحتوى الرطوبي في الخطوة السابقة بالقيم على منحنيات المص الرطوبي للترب المدروسة، وذلك من أجل مناقشة فعالية طريقة ورق الترشيح ودقتها في قياس المص الرطوبي للتربة.

النتائج والمناقشة

يلاحظ بالنسبة إلى ورقة الترشيح أن المنحنيين (الترطيب والتجفيف) غير منطبقين وذلك بسبب ظاهرة التخلُّفيَّة (Hysterisis). إن المحتوى الرطوبي الوزني لورقة الترشيح يقع بين 0.45 و0.198 لمنحنى الترطيب وبين 0.333 و0.198 لمنحنى التجفيف وذلك من أجل تغيرات في المص الرطوبي (log kPa) بين 0 و4، (الشكل 2).



الشكل (2) منحني الترطيب والتجفيف لورق الترشيح وذلك باستخدام طريقة المحاليل الملحية.

من الواضح أن التغيرات في الرطوبة تكون صغيرة جداً، وذلك عند قيم مص رطوبية منخفضة (من 0 حتى 1.5) ومن ثمّ فإنّ استخدام ورق الترشيح من أجل قياس المص الرطوبي للتربة يعدُّ غير دقيق في التربة الرطبة جداً. وتعدُّ الطريقة دقيقة جداً في التربة الرطبة قليلاً إلى جافة (مص رطوبي أكبر من 1.5).

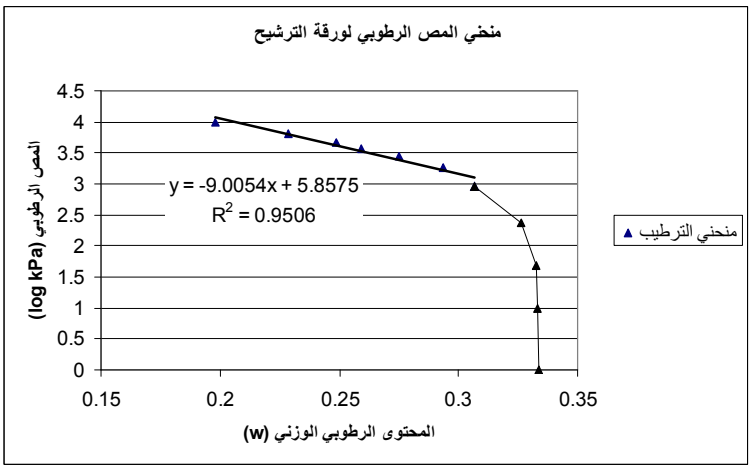
في الحالات العملية عادة ما يقاس المص الرطوبي للتربة في حالتها الطبيعية في الحقل إذ تحتوي على نسبة ما من الرطوبة، أما ورقة الترشيح فتكون في الحالة الجافة، ومن ثمَّ فإنّ منحنى الترطيب لورقة الترشيح يأخذ أهمية أكثر من منحنى التجفيف.

يلاحظ على منحنى الترطيب أنه يمكن تمثيل الجزء الأول منه بمعادلة خطية من الشكل:

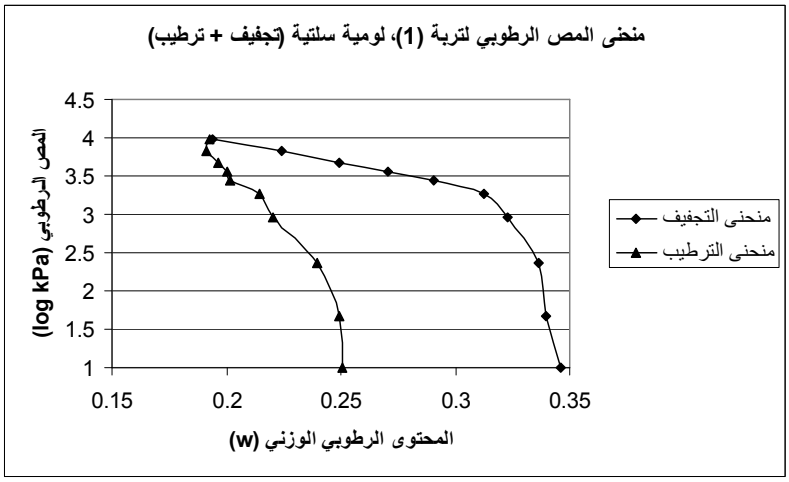
$$\log(h) = -9.0054 \times w + 5.8575$$ وبمعامل تشتت معياري $R^2 = 0.9506$

أما الجزء الثاني من المنحنى فتعدُّ حساسيته قليلة للتغيرات في المحتوى الرطوبي.

يستخدم منحنى الترطيب لورقة الترشيح في قياس المص الرطوبي للتربة المدروسة عند محتويات رطوبية مختلفة.



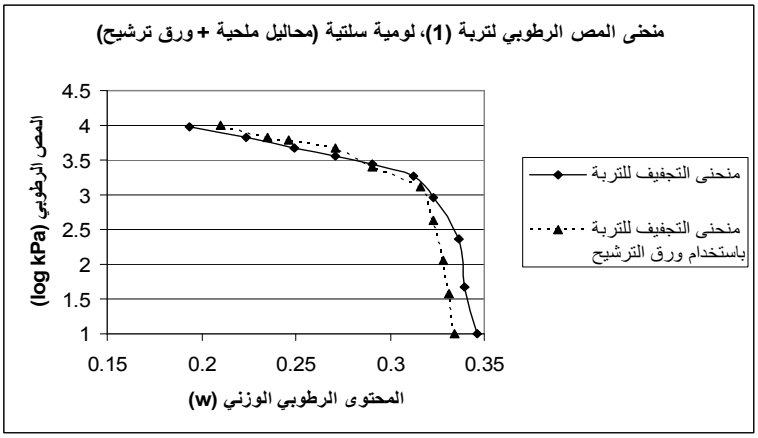
الشكل (3) معادلة الخط المقارب الذي يمر بالجزء الأول من منحنى الترطيب لورق الترشيح و الحساس للتغيرات الرطوبية.



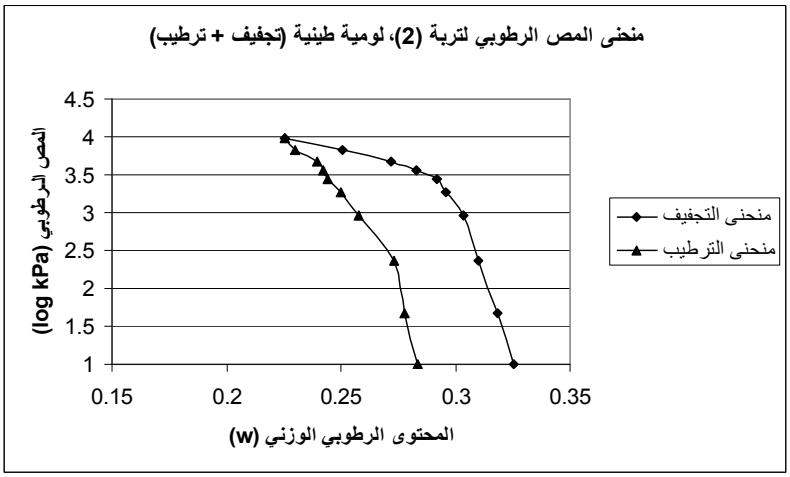
الشكل (4) منحنى المص الرطوبي لتربة (1) لومية سلتية، (تجفيف + ترطيب)

أمّا بالنسبة إلى منحنى المص الرطوبي للترب المدروسة فقد أظهرت النتائج أن مجال تغير المحتوى الرطوبي الوزني في حال تجفيف التربة عند تغير قيم المص الرطوبي

يختلف حسب نسيج التربة، فالترب 3،4 يكون مجال تغير المحتوى الرطوبي بين 0.1 و0.14 من أجل تغير في المص الرطوبي من 1 إلى 4 كما هو موضح في الشكلين (8، 10). تزداد قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء مع ازدياد نسبة السلت أو الطين فمجال التغير في المحتوى الرطوبي يصبح من 0.1 إلى 0.19 للتربة (5) ذات النسيج اللوم الرملي (الشكل 12)، ويزداد المجال ليصبح من 0.19 إلى 0.34 للتربتين ذوات النسيج اللومي السلتي واللومي الطيني (تربة 1، 2) من أجل مجال التغير نفسه في المص الرطوبي (الشكل 4، 6)، أما في حال الترطيب فإن مجال التغيرات في المحتويات الرطوبية الوزنية يقل لجميع الترب المدروسة عنه في حالة التجفيف، وهذا يعود إلى ظاهرة التخلُفيَّة التي تلاحظ بشكل واضح بين منحنيي الترطيب والتجفيف، إذ إنّ قيم المحتوى الرطوبي عند قيمة المص الرطوبي نفسها غير متساوية ما بين الترطيب والتجفيف (الشكل 4، 6، 8، 10، 12). كما يُلاحظ أيضاً على شكل المنحنى أن عروة التخلُفيَّة تنغلق عند المص الرطوبي العالي (4) ولا تنغلق عند المص الرطوبي المنخفض (1)، ويعزى ذلك إلى أن الوصول إلى المص المرتفع تم بالطريقة ذاتها لكلتا الحالتين (تجفيف وترطيب)؛ وهي تطبيق مص رطوبي باستخدام محلول ذي تركيز 2 مول/ل وانطلاقا من حالة ابتدائية واحدة وهي الرطوبة الابتدائية عند تشكيل العينة، أمّا المحتوى الرطوبي الذي تمّ الحصول عليه عند المص المنخفض فقد حُصل عليه في حالة التجفيف نتيجة تطبيق مص رطوبي باستخدام محلول تركيزه 0.002 مول/ل في حالة التجفيف، أما في حالة الترطيب فقد طُبِّق مص باستخدام محلول تركيزه 2 مول/ل ومن ثم مص باستخدام محلول تركيزه 0.002 مول/ل ومن ثمّ فإنّ المسار مختلف، وهذا ما يبرر عدم انطباق قيمتي المحتوى الرطوبي عند المص ذي القيمة (1).

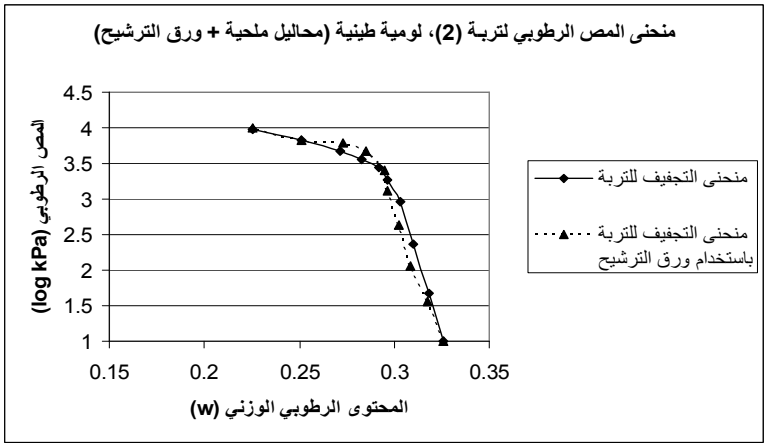


الشكل (5) مقارنة بين منحنى المص الرطوبي لتربة (1) والمقيس بطريقة المحاليل الملحية ومنحنى المص الرطوبي المستنتج باستخدام ورق الترشيح.



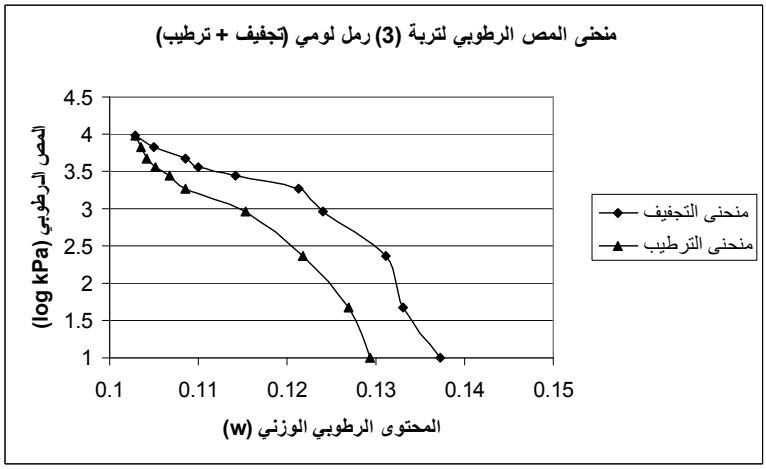
الشكل (6) منحنى المص الرطوبي لتربة (2)، لومية طينية (تجفيف + ترطيب)

أما بالنسبة إلى التحقق من إمكان استخدام ورق الترشيح في القياس المباشر للمص الرطوبي للترب المدروسة في رطوبة ما، فقد دلت النتائج أن الفرق بين قيمة المحتوى الرطوبي لورقة الترشيح الموضوعة دون تماس مع عينة التربة وبين المحتوى الرطوبي للورقة الموضوعة على تماس مباشر مع عينة التربة ليس كبيراً (لا يتجاوز 5%). لذلك ستعتمد قيمة المص الرطوبي المستنتجة من الشكل (3)، باستخدام قيمة المحتوى الرطوبي لورقة الترشيح التي على تماس مباشر مع عينة التربة، على أنها المص الرطوبي الكلي.

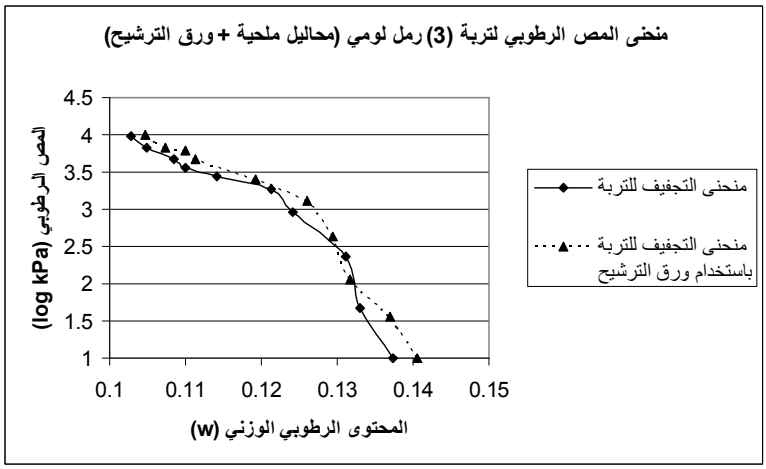


الشكل (7) مقارنة بين منحنى المص الرطوبي لتربة (2) والمقيس بطريقة المحاليل الملحية ومنحنى المص الرطوبي المستنتج باستخدام ورق الترشيح.

في الأشكال (5، 7، 9، 11، 13) وُضعتْ كلٍ من منحنيات التجفيف للترب المدروسة والمستنتجة مباشرة من تطبيق جهود رطوبية علىً عينات الترب باستخدام تراكيز مختلفة من محلول كلور الصوديوم، ومنحنيات التجفيف المستنتجة من وضع عينات من التـرب المدروسة عند قيم مختلفة للرطوبة على تماس مباشر مع ورق الترشيح، ومن ثم اِسـتنتجَ المص الرطوبي لِهذه العينات من معرفة المص الرطوبي لورق الترشيح باستخدامِ منحنى المعايرة الذي اِستنتجَ في هذه الدراسة لهذا النوع من ورق الترشيح (الشكل 3).

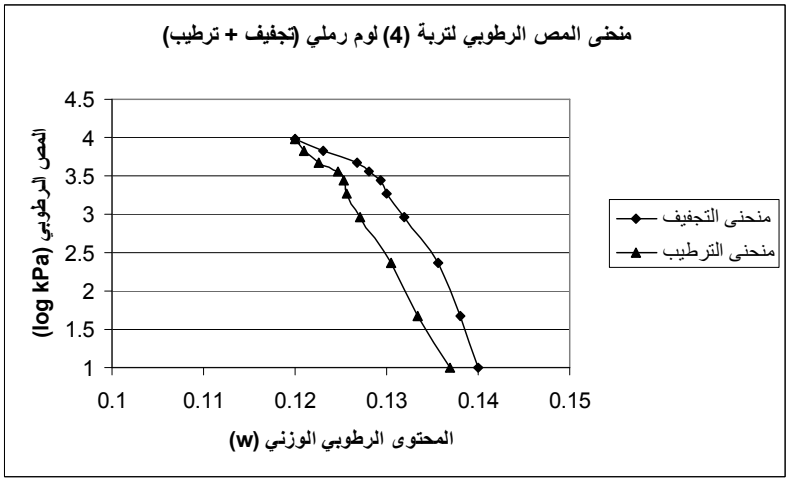


الشكل (8) منحنى المص الرطوبي لتربة (3) رمل لومي (تجفيف + ترطيب)

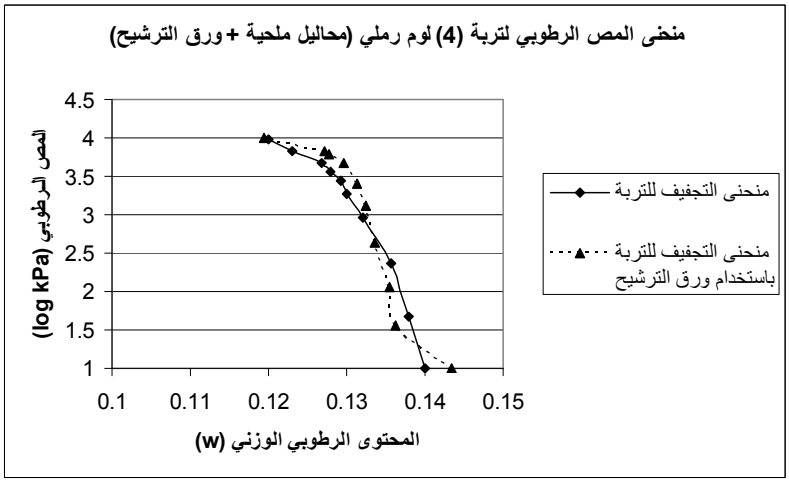


الشكل (9) مقارنة بين منحنى المص الرطوبي لتربة (3) والمقيس بطريقة المحاليـل الملحيـة ومنحنى المص الرطوبي المستنتج باستخدام ورق الترشيح.

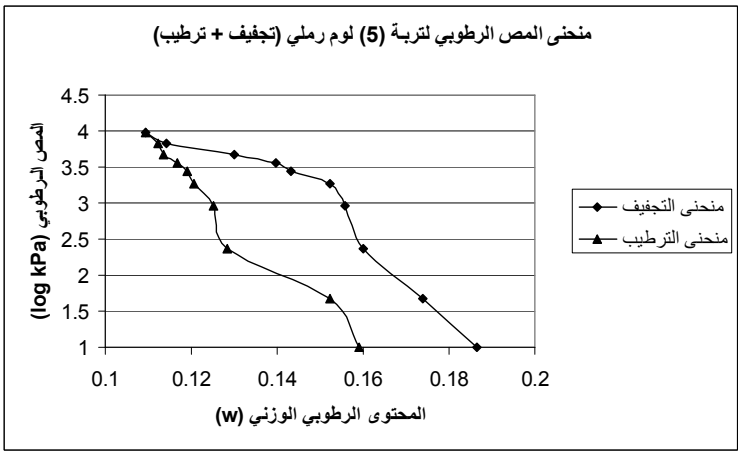
يلاحظ على الأشكال أن هناك تقارباً كبيراً في القيم المستنتجة بكلتا الطريقتين ولاسيما عند القيم المرتفعة للمص الرطوبي (بين 2.5 و4). أمّا عند قيم مص رطوبي منخفضة (بين 1 و2.5) فتزداد هذه الفروق بين الطريقتين مما يقلل من حساسية طريقة ورقة الترشيح في تقدير المص الرطوبي للتربة، مع ملاحظة أن هناك محافظة على شكل المنحنى.



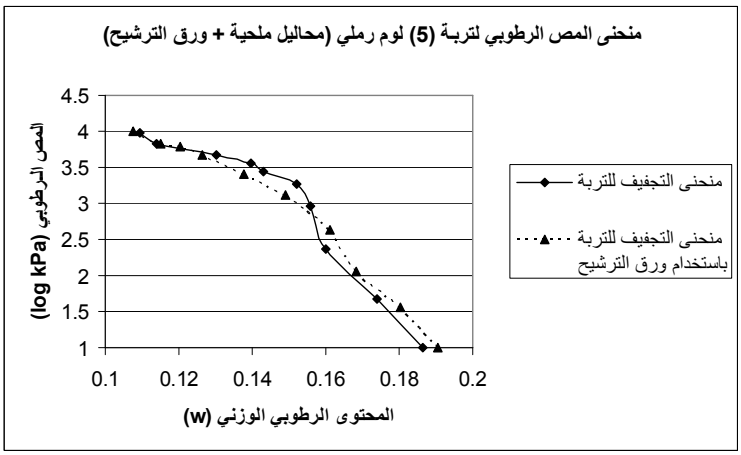
الشكل (10) منحنى المص الرطوبي لتربة (4) لوم رملي (تجفيف + ترطيب)



الشكل (11) مقارنة بين منحنى المص الرطوبي لتربة (4) والمقيس بطريقة المحاليل الملحية ومنحنى المص الرطوبي المستنتج باستخدام ورق الترشيح.



الشكل (12) منحنى المص الرطوبي لتربة (5) لوم رملي (تجفيف + ترطيب)



الشكل (13) مقارنة بين منحنى المص الرطوبي لتربة (5) والمقيس بطريقة المحاليل الملحيـــة ومنحنى المص الرطوبي المستنتج باستخدام ورق الترشيح.

الخاتمة

تم في هذه الدراسة معايرة ورق الترشيح نوع (ALBET DP 411 110) باستخدام طريقة المحاليل الملحية. كما استخدمت الطريقة نفسها من أجل رسم منحنى المص الرطوبي لعدد من الترب المأخوذة من مناطق مختلفة من سورية. في القسم الأخير من الدراسة استُخدمَ ورق الترشيح المعاير في استنتاج قيم المص الرطوبي للترب المدروسة ومقارنتهاَ بقيم المص الرطوبي التي استنتجت باستخدام طريقة المحاليل الملحية.

أوضحت النتائج أن منحنى المعايرة لورق الترشيح يكون حساساً للتغيرات في المص الرطوبي من أجل محتويات رطوبية منخفضة، على العكس يفقد جزءاً من هذه الحساسية عند المحتويات الرطوبية العالية. أمّا فعالية استخدام ورق الترشيح المعاير في تقدير المص الرطوبي للتربة بشكل مباشر فقد أوضحت النتائج دقة الطريقة من أجل محتويات رطوبية منخفضة، أمّا عند المحتويات العالية من الرطوبة فتظهر فروق كبيرة نسبياً بين القياسات باستخدام الطرائق المختلفة. لذا ينصح باستخدام طريقة ورق الترشيح بعد معايرتها في قياس المص الرطوبي للتربة لما فيها من توفير في الوقت والجهد، ولما توفره من دقة وخاصة للترب عند محتويات منخفضة من الرطوبة.

REFERENCES المراجع

Chandler, R. J. and C. I. Gutierrz, 1986. "The Filter Paper Method of Suction Measurements," *Geotechnique*, Vol. 36, pp. 265-268.

Fredlund, D. G. and H. Rahardjo, 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*, New York: John Wiley & Sons, Inc.

Gardner, R. 1937. "A Method of Measuring the Capillary Tension of Soil Moisture Over a Wide Moisture Range," *Soil Science*, Vol. 43, No. 4, pp. 277-283.

Goldberg, R. N. and R. L. Nuttall, 1978. "Evaluated Activity and Osmotic Coefficients for Aqueous Solutions: The Alkaline Earth Metal Halides," *Journal of Physics and Chemistry Reference Data*, Vol. 7, No. 1, pp. 263-310.

Goldberg, R. N., 1981. "Evaluated Activity and Osmotic Coefficients for AqueousSolutions: Thirty-six Uni-Bivalent Electrolytes," *Journal of Physics and Chemistry Reference Data*, Vol. 10, No. 3, pp. 671-764.

Hamblin, A. P., 1981. "Filter Paper Method for Routine Measurement of Field Water Potential," *Journal of Hydrology*, Vol. 53, No. 3/4, pp.355-360.

Hamer, W. J. and Y.-C Wu, 1972. "Osmotic Coefficients and Mean Activity Coefficients of Uni-Univalent Electrolytes in Water at 25oC," *Journal of Physics and Chemistry Reference Data*, Vol. 1, No. 4, pp. 1047-1099.

Houston, S. L., W. N. Houston and A. M. Wagner, 1994. "Laboratory Filter Paper Measurements," *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol. 17, No. 2, pp. 185-194.

Lang, A. R. G., 1967. "Osmotic Coefficients and Water Potentials of Sodium Chloride Solutions from 0 to 40oC," *Australian Journal of Chemistry*, Vol. 20, pp. 2017-2023.

McKeen, R. G., 1980. "Field Studies of Airport Pavement on Expansive Clay," *Proceedings 4th International Conference on Expansive Soils,* Vol. 1, pp.242-261, ASCE, Denver, Colorado.

Rifat Bulut, L. Lytton Robert and K. Wray Warren, 2001. " Soil Suction Measurements By Filter Paper," *Proceedings of Geo-Institute Shallow Foundation and Soil Properties Committee Sessions at the ASCE 2001 Civil Engineering Conference,* pp. 234-261.

Rifat Bulut and K. Wray Warren, 2005. "Free Energy of Water-Suction-In Filter Papers", *Geotechnical Testing Journal July 2005, Vol. 28, No. 4.*

Schofield, R. K., 1935. "The pF of the Water in Soil," *Transactions, 3rd International Congress of Soil Science*, Vol. 2, pp. 37-48.

Swarbrick, G. E. 1995. "Measurement of Soil Suction Using the Filter PaperMethod"*First International Conference on Unsaturated Soils*, Eds.: E. E.

Received	**2009/07/05**	**إيداع البحث**
Accepted for Publ.	**2010/05/24**	**قبول البحث للنشر**