مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (37) العدد (1) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (37) No. (1) 2015

تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع لتربة مختلفة في محتواها من المادة العضوية اعتماداً على الانتشارية الهيدروليكية

شذا أحمد أسعد *

(تاريخ الإيداع 2 / 11 / 2014. قبل للنشر في 14 / 1 / 2015)

□ ملخّص □

من خلال الدراسة التي أجريت على تربة طينية ثقيلة مختلفة في محتواها من المادة العضوية لتحديد الانتشارية الهيدروليكية ومعامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع بطريقة الهواء الساخن. أظهرت الدراسة ما يلي:

-إن قيم الانتشارية الهيدروليكية تراوحت بين (0.12-0.23) mm^2/s ضمن مجال رطوبي 30-38% حجماً في تربة الشاهد، وتراوحت بين(0.22-0.73) mm^2/s ضمن مجال رطوبي 31-41 %حجماً في التربة ذات المحتوى العضوي 1.78%، وبين (0.27-1.1)mm^2/s في التربة ذات المحتوى العضوي 2.19% ضمن مجال رطوبي 32-43 %حجماً. وبالتالي فإن قيم الانتشارية تنخفض بشكل عام مع نقصان المحتوى الرطوبي لعينة التربة في حين أنها تزداد مع زيادة المحتوى العضوي لنفس عينة التربة .

-تراوحت قيم معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع بين (0.0001-0.024) م/يوم ضمن مجال شد رطوبي بين (1.8-4.2) في التربة ذات المحتوى العضوي 0.68%، أما في التربة ذات المحتوى العضوي 1.78% فلقد تراوحت القيم بين (0.00034- 0.04) م/يوم ضمن مجال شد رطوبي (4.2 - 2.2) م/يوم، بينما على التربة ذات المحتوى العضوي 2.19% تراوحت القيم بين (0.00093- 0.073) م / يوم ضمن مجال شد رطوبي (4.2- 2.35) وبالتالي فأنه بنقصان الرطوبة تنخفض قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع.

-قاربت قيمة معامل التوصيل غير المشبع من القيمة الحدية (0.0002) م/يوم عند محتوى رطوبي 33% وشد رطوبي 3.45 في التربة ذات المحتوى العضوي 0.68% أما بالنسبة للترب ذات المحتوى العضوي 1.78%، 2.19% لم تصل قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع إلى القيمة الحدية حتى عند شد رطوبي 4.2.

-المادة العضوية لعبت دوراً إيجابياً في تحسين المحتوى الرطوبي للتربة والماء المتاح وكان لها تأثير واضح في زيادة معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع.

الكلمات المفتاحية: معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع- الانتشارية الهيدروليكية- المادة العضوية- المحتوى الرطوبي- الشد الرطوبي.

*مهندسة قائم بالأعمال/ معاون-قسم المكننة الزراعية – كلية الهندسة التقنية-جامعة تشرين-طرطوس- سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (37) العدد (1) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (37) No. (1) 2015

Determining of the hydraulic conductivity coefficient for unsaturated soil with different content of organic matter depending on the hydraulic diffusivity

Shaza Asaad*

(Received 2 / 11 / 2014. Accepted 14 / 1 /2015)

□ ABSTRACT □

Through the study, which was conducted on heavy clay soil in different content of organic matter to determine hydraulic diffusivity and hydraulic conductivity un saturated in a way the hot air .The study showed the following:

- The hydraulic diffusivity values ranged between (0.23-0.12) mm^2 / s with the field of moisture 38-30%by volume in the soil without organic matter, and ranged between(0.73-0.22) mm^2 / s with the field of moisture 41-31% by volume in the soil which content 1.78% organic matter , while in the soil which content 2.19% organic matter the values has ranged between(1.1-0.27) mm^2 / s with the field of moisture 43-32% by volume. so, the values of diffusivity generally decrease when the moisture content of the soil sample decrease, while it increases when organic matter increases of the same soil sample.

- the values of unsaturated hydraulic conductivity ranged between(0.0001-0.024) m /day with in the field of tension between the moisture(4.2 – 1.8) in the soil with 0.86% organic matter, while in the soil with 1.78% organic matter the values has ranged between (0.00034- 0. 04)m /day with in the field of pulling moisture(4.2 to 2.2) m /day, while the soil with 2.19% organic content the values ranged between (0.00093- 0.073) m /day with in the field of pulling moisture(4.2 to 2.35) .so that, the value of coefficient of the unsaturated hydraulic conductivity decreases when the value of moisture decreases.

- The value of conductivity coefficient un saturated approached to the threshold value (0.0002) m/day by the pulling moisture of 3.45 and moister of 33% in the soil which content 0.68% organic matter, while for soils with 1.78%, 2.19% organic content did not reach the value of the coefficient of hydraulic conductivity un saturated to the threshold value even when pulling moisture 4.2.

- The Organic matter play an important role in improve the soil moisture content, the percent of available water and its' increase the unsaturated hydraulic conductivity coefficient .

Keywords : unsaturated hydraulic conductivity coefficient - Hydraulic diffusivity -organic mater -moisture content –pulling moister.

***Engineer Assistant Work -Department of Agricultural Mechanization-Faculty of Technical Engineering- Tishreen University -Tartous-Syria.**

مقدمة:

التربة هي الطبقة السطحية من القشرة الأرضية والتي تكون في حالة تماس مع الماء والهواء. أي ذلك الجزء الحيوي من القشرة الأرضية. تتألف هذه الطبقة من حبيبات فردية مختلفة الأقطار ارتبطت مع بعضها البعض بطرق مختلفة لتشكل خليط معقد يتألف من مكونات عضوية ومعدنية مرتبة بشكل هندسي شديد التعقيد. وهذا الشكل الهندسي ليس جسماً مصمتاً بل هو جسم فراغي يحتوي على مسامات مختلفة الأقطار تحوي ضمنها الماء والهواء وبالتالي تكون التربة منظومة ثلاثية الأطوار هي الطور الصلب والطور السائل والطور الغازي، تتفاعل هذه الأطوار مع بعضها البعض لتشكل وسطاً مناسباً لنمو وتطور النبات، ما يجعل هذه المنظومة أكثر تعقيداً هو حاجة النبات للتنفس باستمرار في الوقت الذي يجب أن يكون المحتوى الرطوبي مناسباً لتأمين الماء والعناصر الغذائية الذائبة للنبات. ومن هنا تأتي أهمية المحافظة على التوازن بين هذه الأطوار الثلاثة. وحسب (Hillel ,1980) يجب أن يشكل الطور الصلب 50%، والطور السائل 25%، والطور الغازي 25%، وإن هذه النسب تتغير باستمرار تبعاً لظروف الاستثمار والظروف الجوية السائدة.

تأتي أهمية الدراسة الفيزيائية للترب نظراً لكون الحالة الفيزيائية للتربة هي المسؤولة عن عمليات النقل والتخزين داخل قطاع التربة، وبالتالي هي التي تضمن امتصاص الماء والعناصر الغذائية من قبل النبات وانتشار مجموعه الجذري بشكل جيد. كما أن دراسة التربة فيزيائياً تسهم في التعرف على النظام الميكانيكي المسيطر على سلوك التربة وعلى العمليات التبادلية الموجودة بداخلها كتبادل الطاقة الأرضية وحركة الماء، وتساعد أيضا في عملية الإدارة المناسبة للتربة عن طريق الري والصرف والحراثة.

وفي هذا الإطار تلعب الناقلية المائية للتربة غير المشبعة دوراً بارزاً في حياة النبات، حيث أن معظم العمليات الحيوية والكيميائية بالإضافة إلى امتصاص الماء والعناصر الغذائية الذائبة إلى جانب التبادل الغازي تتم في حالة عدم الإشباع للتربة، لذلك تسمى طبقة التربة غير المشبعة (مابين السعة الحقلية ونقطة الذبول) عند رطوبة أكبر من نقطة الذبول بالطبقة الحيوية (Guber , 2007).

كما أن مقدرة التربة على مد النبات بالماء والعناصر الغذائية والأكسجين اللازم لنموه وتطوره عبر مراحله المختلفة تتوقف على مدى تغيرات حالة ومحتوى ماء التربة وهذه التغيرات ترتبط بعلاقات معقدة بين الرطوبة والشد الرطوبي والتوصيل الهيدروليكي، وقيمة التوصيل الهيدروليكي هو دالة لارتفاع الشد الشعري، وبالتالي فإن التدفق يتناسب مع معامل التوصيل وتدرج الجهد الهيدروليكي.

وحركة الماء تكون باتجاه الجهد المتناقص، فالماء يميل أن يسحب من منطقة حيث أغلفة التميؤ المحيطة بالحبيبات أسمك إلى منطقة أخرى حيث أغلفة التميؤ المحيطة أرق، ومن منطقة تكون فيها الأغشية الشعرية أقل انحناءً إلى أخرى حيث تكون الأغلفة الشعرية أكثر انحناءً.

وتنخفض الناقلية المائية للتربة غير المشبعة كلما ابتعدنا عن حالة الإشباع، وهذا يعود إلى انخفاض مساحة مقطع التوصيل الهيدروليكي بالإضافة إلى زيادة تعرج المسامات الموصلة مع استمرار التجفيف. وتعتبر الناقلية المائية غير المشبعة كأحد أهم الصفات الفيزيائية للتربة، يمكن من خلال تحديدها دراسة حركة الماء ضمن قطاع التربة ومن ضمنها حركة الماء الصاعدة بالخاصة الشعرية من الماء الأرضي بالإضافة إلى تحديد كمية الماء الصاعدة بالخاصة الشعرية (مم/يوم)، ويمكن من خلال دراستها معرفة مدى مساهمة الماء الأرضي في تأمين الاحتياجات المائية للنبات وبالتالي تحديد المقننات المائية الواجب إضافتها بدقة عالية (Schindler ,1980,1982). كما أن هذه الدراسة تفيد

في تنظيم مستوى الماء الأرضي وتحديد البعد المناسب له ومنعه من الارتفاع إلى المستوى الضار بنمو النبات خاصة في حالة كون الماء الأرضي ذات ملوحة عالية. فالماء الصاعد بالخاصة الشعرية يمر عبر طبقة التربة الواقعة فوق مستوى الماء الأرضي إلى منطقة انتشار المجموع الجذري. ومعدل التدفق عبر هذه الطبقة يتوقف على خصائص التربة الفيزيائية في هذه الطبقة خاصة الناقلية المائية للتربة غير المشبعة.

ويعتبر (Plagge ,1997) أن معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع هو صلة الوصل بين الوسط الخارجي والماء الأرضي، وبالتالي فهو يلعب دوراً بارزاً ومؤثراً في دورة الماء الهيدرولوجية للأرض.

ونظراً لأهمية تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع وبسبب صعوبة دراسته وتحديده تجريبياً أجريت محاولات عديدة تعتمد على أسس نظرية لتحديد العلاقة بين الشد الرطوبي ومعامل التوصيل، أو بين الرطوبة ومعامل التوصيل، لكن المعلومات الحالية ما تزال غير كافية للتنبؤ الصحيح بمعامل التوصيل، ولهذا تم إيجاد وتطوير طرق تجريبية مخبرية منها طريقة (Becher ,1970)، حيث وجد طريقة لتحديد معامل التوصيل غير المشبع باستخدام أجهزة قياس التوتر، فوضع جهازي قياس توتر في عينات تربة مقتطعة بواسطة اسطوانات معدنية لمراقبة تغيرات الجهد في نقطتين مع الزمن، واعتماداً على منحني الشد الرطوبي استطاع تحديد الناقلية المائية للتربة غير المشبعة عند مستويات مختلفة من الشد الرطوبي.

ثم جاء (Schindler 1980,1982) وعدل في طريقة Becher من خلال التقريب بين أجهزة قياس التوتر ليصبح التدفق أقرب ما يمكن للتدفق المستقر، وهذه الطريقة لا تحتاج إلى منحني الشد الرطوبي لتحديد معامل التوصيل خلافاً لطريقة Becher. إضافة لهذه الطريقة هناك طرق أخرى منها طريقة التدفق نحو الخارج بتطبيق ضغط واحد على عينة تربة مشبعة لحساب الانتشارية الهيدروليكية حسب (Gardner ,1962)، وطريقة (Bruce & Klute 1972,) التي تعتمد أيضا على حساب الانتشارية الهيدروليكية ومنها يتم تحديد معامل التوصيل باستخدام منحني الشد الرطوبي ، بالإضافة إلى طريقة الهواء الساخن حسب(Arya ,*et al.*1975).

ومن هنا تكمن أهمية البحث في تحديد الانتشارية الهيدروليكية بطريقة الهواء الساخن، ثم تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع على عينات تربة طينية مختلفة في محتواها من المادة العضوية.

أهمية البحث وأهدافه:

1- تحديد الانتشارية الهيدروليكية لتربة طينية مختلفة في محتواها من المادة العضوية بطريقة الهواء الساخن.

2- تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع لتربة طينية ثقيلة مختلفة في محتواها من المادة العضوية اعتماداً على الانتشارية الهيدروليكية.

3- إيجاد العلاقة بين معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع والشد الرطوبي عند مستويات مختلفة من المادة العضوية.

طرائق البحث ومواده:

نفذت الدراسة خلال العام 2014-2013 في مخابر كلية الزراعة باللاذقية على تربة طينية ثقيلة مأخوذة من منطقة سهل عكار التابع لمحافظة طرطوس، وهذه التربة كان مضافاً لها بتجارب سابقة وقبل جوالي سنة من أخذ

عينات التربة مستويات مختلفة من مادة عضوية سائلة من ماء الجفت حيث استخدمت المستويات التالية والتي تم حسابها على أساس السعة الحقلية للتربة (12.5,0 ,25 ,50 , 75 , 100)%من السعة الحقلية.

تم أخذ عينات التربة من 3 مواقع نسبة المادة العضوية فيها مختلفة (حيث أخذت ثلاثة مستويات مختلفة للمادة العضوية (T_2,T_1,T_0) لمعرفة تأثيرها على معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع وهذا المستويات نتجت عن إضافة معدلات مختلفة لمادة عضوية سائلة من ماء الجفت في تجارب سابقة) حيث أن:

T_0: الشاهد ذو نسبة المادة العضوية 0.68 % من دون إضافة المادة العضوية السائلة (ماء الجفت) .

T_1:عينة التربة ذات نسبة المادة العضوية1.78% بعد اضافة المادة العضوية السائلة (ماء الجفت) بمعدل 19% من السعة الحقلية.

T_2 : عينة التربة ذات نسبة المادة العضوية 2.19 % بعد اضافة المادة العضوية السائلة (ماء الجفت) بمعدل 28.5% من السعة الحقلية .

مع العلم بإن النسبة المئوية للمادة العضوية السائلة المضافة كانت (6%) والتي تم حسابها بطريقة الترميد باستخدام المرمدة على حرارة 550ºم. جمعت العينات من المواقع الثلاثة المذكورة سابقاً من الطبقة السطحية للتربة (0–20) cm بواسطة أسطوانات معدنية ارتفاعها 10cm وقطرها 5.6cm لتحديد الانتشارية الهيدروليكية وذلك بمعدل أسطوانة واحدة لكل موقع فيكون لدينا3 أسطوانات كبيرة، كما أخذت عينات من التربة بواسطة أسطوانات معدنية صغيرة حجمها $100cm^3$، وارتفاعها 4cm لتحديد منحني الشد الرطوبي والثوابت المائية بواقع ثلاثة مكررات لكل موقع فيكون لدينا المجموع الكلي للمعاملات (9=3*3) . وأخذت أيضا عينات مخربة البناء لتحديد بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة.

حدد معامل التوصيل غير المشبع بطريقة الهواء الساخن حسب (Arya ,et al,1975). حيث عرضت العينات لدرجة حرارة حوالي 220 درجة مئوية بواسطة فرد هوائي كهربائي لمدة من الزمن تقريباً 30 دقيقة حتى أصبح السطح العلوي للتربة جافاً تماماً مع بقاء التربة في الأسفل وعلى عمق 3cm رطبة (مشبعة)، ونتيجة ذلك يتشكل تدرجات هيدروليكية كبيرة تدفع الماء ليرتفع نحو الأعلى، وبالتالي يصبح هنا فروقات في المحتوى الرطوبي للتربة، بعد ذلك تنقل العينة إلى جهاز القص بحيث يمكن التحكم بسمك الشريحة المراد قصها، وهنا تم اختيار شرائح بسماكة 3mm.ويتم القص من السطح العلوي الجاف تماماً نحو الأسفل، وتوضع كل شريحة بعد قصها في جفنة معدنية ليتم تحديد رطوبة كل منها من خلال حساب الفرق بين وزن التربة الجاف هوائياً (قبل التجفيف) ووزن التربة الجاف تماماً (التجفيف على حرارة 105 درجة مئوية ولمدة 24 ساعة)، ثم حددت بعد ذلك العلاقة بين X (طول العينة) و θ(رطوبة العينة)، بعد ذلك أدخلت هذه الأرقام إلى جهاز الحاسب لحساب الانتشارية الهيدروليكية بعد معرفة الزمن المستهلك لكل عينة، ومن ثم تم تحديد العلاقة بين الرطوبة الحجمية للتربة وجهد ماء التربة($\frac{d\theta}{d\Psi}$) من خلال منحني الشد الرطوبي لحساب معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع (Ku) عند مستويات مختلفة للشد الرطوبي. والجدول رقم (1) يوضح بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة قبل وبعد إضافة المادة العضوية.

جدول (1) بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة قبل وبعد إضافة المادة العضوية وطريقة التحليل المستخدمة

نوع التحليل	T0الشاهد دون مادة عضوية	T1عينة 1 مع مادة عضوية ذات النسبة 6%	T2عينة 2 مع مادة عضوية ذات النسبة6%	طريقة التحليل
نسبة الطين %	60.42	60.42	60.42	طريقة الماصة
نسبة السلت %	28.83	28.83	28.83	
نسبة الرمل %	10.75	10.75	10.75	
نوع التربة	طينية ثقيلةT	طينية ثقيلة(T)	طينية ثقيلة(T)	مثلث القوام الألماني
نسبة المادة العضوية %	0.68	1.78	2.19	الهضم الرطب
السعة التبادلية الكاتيونية م.م /100غ تربة	53.04	55.37	61.58	خلات الصوديوم
كربونات الكالسيوم الكلية %	2.5	2.5	5	المعايرة
كربونات الكالسيوم الفعالة%	2	2	1	المعايرة (دورينو)
السعة الحقلية % حجماً	39.2	43.62	46.76	جهاز الضغط الغشائي
نقطة الذبول الدائم % حجماً	30	31.66	32.92	
الماء المتاح للنبات % حجماً	9.2	11.96	13.84	طريقة حسابية (الفرق بين السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم)
الكثافة الظاهرية غ/سم^3	1.10	1.04	1.01	الأسطونات المعدنية
الكثافة الحقيقية غ/سم^3	2.75	2.71	2.68	البكنومتر

يلاحظ من الجدول (1) أن نوع التربة المدروسة في كل من العينات الثلاث قبل وبعد إضافة المادة العضوية السائلة هي تربة طينية ثقيلة حسب مثلث القوام الألماني حيث نلاحظ تساوي نسب الرمل والسلت والطين في العينات الثلاث وذلك سببه بأنه أثناء التحليل الميكانيكي للتربة يتم أكسدة المواد العضوية اللاحمة بواسطة الماء الأوكسجيني فيتم التخلص منها كلياً لذلك تبقى النسب ثابتة.

ونلاحظ أيضاً أن نسبة المادة العضوية في تربة الشاهد بدون مادة عضوية(T_0) كانت منخفضة حوالي 0.68% وسعة التبادل الكاتيوني كانت مرتفعة حوالي 53.04 م.م/100غ تربة، ونسبة كربونات الكالسيوم الكلية والفعالة كانت منخفضة حوالي 2.5% للكلية، و2% للفعالة. السعة الحقلية للتربة كانت 39.2% حجماً ونقطة الذبول الدائم 30% حجماً والكثافة الظاهرية 1.10غ/سم^3 والكثافة الحقيقة 2.75غ/سم^3.

بارتفاع محتوى المادة العضوية في عينة التربة الأولى(T_1)إلى (1.78%) أي بزيادة مقدارها 1.1% بالمقارنة مع الشاهد نلاحظ زيادة في سعة التبادل الكاتيوني بمقدار2.33م م/100غ بالمقارنة مع الشاهد نظراً للدور الذي تلعبه المادة العضوية في زيادة سعة التبادل الكاتيوني، كما نلاحظ أيضاً زيادة في نسبة الماء المتاح للنبات بمقدار2.76 % بالمقارنة مع الشاهد وهذا يعود لدور المادة العضوية في زيادة قدرة التربة على مسك الماء وتحسين مساميتها، في حين بقيت نسبة كربونات الكالسيوم الكلية والفعالة منخفضة، أما بالنسبة للكثافة الظاهرية فنلاحظ أنه طرأ عليها تغير طفيف حيث انخفضت بمقدار 0.06غ/سم^{3}وهذا يعود إلى ارتفاع محتوى التربة من المادة العضوية والمعروف أن المواد العضوية هي أقل كثافة من الجزء المعدني في التربة .

وبارتفاع محتوى المادة العضوية في عينة التربة الثانية(T_3) إلى (2.19%) أي بزيادة مقدارها 1.51% بالمقارنة مع الشاهد نلاحظ زيادة في نسبة الماء المتاح للنبات بمقدار 4.64 %، وارتفاع في سعة التبادل الكاتيوني بمقدار 8.54 م م / 100غ تربة، وانخفاض الكثافة الظاهرية بمقدار 0.09 غ/سم^3 بالمقارنة مع الشاهد. وهذا يعود تفسيره للأسباب السابقة.

النتائج والمناقشة :

1- تحديد الانتشارية الهيدروليكية بطريقة الهواء الساخن:

إن دراسة التدفق غير المشبع هو عملية معقدة لذلك كثيراً ما يفضل تعديل معادلات التدفق إلى صيغة مشابهة لمعادلات الانتشارية، وفي مثل هذه الحالات يمكن ربط التدفق مع تدرج المحتوى الرطوبي بدلاً من تدرج الشد الرطوبي. كما أن تغير الانتشارية الهيدروليكية مع تغير الشد الرطوبي أو الرطوبة يكون أصغر من تغير التوصيل الهيدروليكي مع تغير الشد الرطوبي والمحتوى الرطوبي وهذه هي إحدى ميزات استخدام الانتشارية الهيدروليكية . وأن قيمة الانتشارية تزداد مع زيادة المحتوى الرطوبي للتربة من الإشباع للماء، وتزداد أيضا عند الانخفاض الحاد لمحتوى التربة الرطوبي وبكمية قليلة جداً، وهذا قد يكون ناتجاً عن تأثير مساهمة حركة بخار الماء في التربة.

ونستطيع أن نميز طرق عديدة لتحديد الانتشارية الهيدروليكية للماء في التربة منها(طريقة التدفق نحو الخارج، طريقة بروك وكلوت، وطريقة الهواء الساخن). وفي دراستنا هذه تم تحديد الانتشارية الهيدروليكية بطريقة الهواء الساخن حسب (Arya.*et al.*1975) بالاعتماد على علاقة ريتشارد:

حيث تحسب قيمة D من العلاقات التالية :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{dq}{dx}$$

$$q = -K(\Psi)\frac{d\Psi}{dx}$$

$$\Rightarrow \frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dx}[K(\Psi).\frac{d\Psi}{dx}]$$

$$\Rightarrow D(\theta) = \frac{K(\Psi)}{\frac{d\theta}{d\Psi}}$$

$$\Rightarrow \frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dx}\left[D\theta.\frac{d\theta}{d\Psi}.\frac{d\Psi}{dx}\right] \Rightarrow \frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dx}[D(\theta).\frac{d\theta}{dx}]$$

وباستخدام عدد بولتسمان ينتج لدينا λ

$$\Rightarrow \lambda = \frac{x}{\sqrt{t}} = X.t^{-\frac{1}{2}}$$

ينتج لدينا المعادلة التالية:

$$\Rightarrow -\frac{\lambda}{2t}.\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{\partial}{\partial x}[D\theta.\frac{d\theta}{d\lambda}.t^{-\frac{1}{2}}]$$

وبتكامل الطرفين والاختصار ينتج لدينا :

$$\boxed{D(\theta x) = \frac{1}{2t}.(\frac{d\theta}{dx})_{\theta x}.\int_{\theta x}^{\theta i} x d\theta}$$

وهي المعادلة النهائية لحساب الانتشارية المائية بطريقة الهواء الساخن :

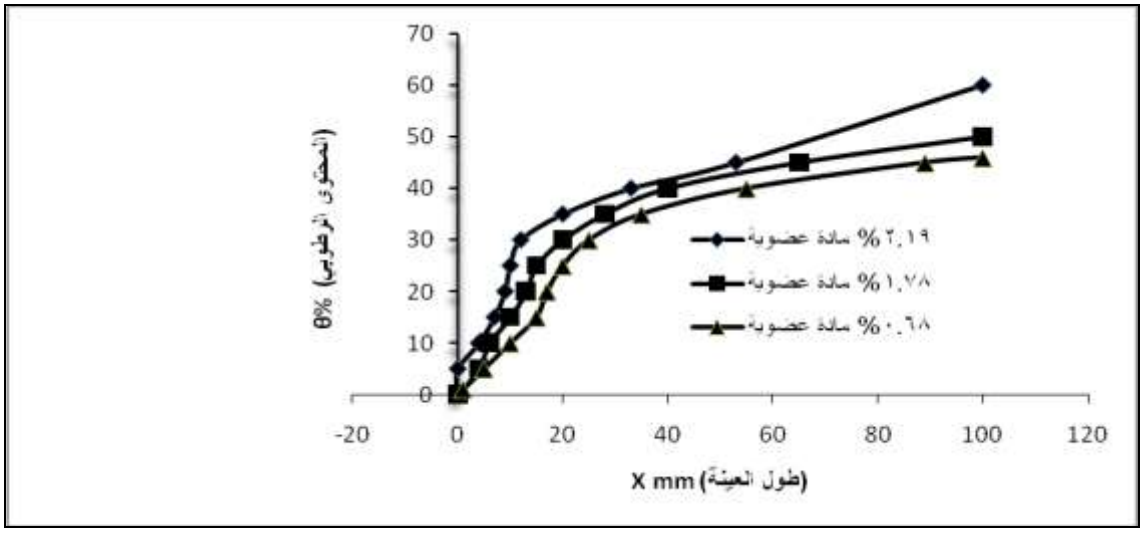
في هذه المعادلة يكون فيه :

X:طول العينة أو ارتفاعها ويجب أن لا يقل عن *10*سم، θx: الرطوبة في العمق xعند الزمن t،

t :زمن القياس، θi :الرطوبة البدائية للعينة (مشبعة)،

Ψ : الشد الرطوبي، D:الانتشارية الهيدروليكية أو المائية .

وفي هذه الطريقة تكون كمية الماء المفقودة متناسبة مع الجذر التربيعي لزمن القياس. ويجب أن يبقى الجزء السفلي من العينة محافظاً على رطوبة قريبة من الإشباع. بعد ذلك أخرجت العينات من الجهاز ونقلت إلى جهاز القص ثم تمت عملية القص إلى شرائح بسماكة (3) ملم، ثم تم تحديد رطوبة كل شريحة %حجماً كتابع لطول العينة (ملم)، وتم إيجاد العلاقة بين الرطوبة الحجمية وارتفاع العينة لثلاث مستويات من المادة العضوية في التربة (0.68– 1.78– 2.19 %)، وكانت النتائج كما هي موضحة في الشكل رقم (1):



شكل (1) يوضح العلاقة بين (θ%) و (x) في عينات التربة المدروسة

يلاحظ من الشكل رقم (1) أن المحتوى الرطوبي للتربة يزداد مع زيادة x (طول العينة)، وتكون الرطوبة في الشرائح الأولى قريبة من الصفر وفي أسفل العينة يلاحظ بأن التربة بقيت عند رطوبة قريبة من الإشباع كما يلاحظ من الشكل رقم(1) أن رطوبة التربة في (عينة الشاهد) ذات نسبة المادة العضوية 0.68% هي أقل من رطوبة التربة في العينة ذات نسبة المادة العضوية 1.78%، وهذه أيضاً ذات رطوبة أقل من العينة ذات نسبة المادة العضوية 2.19% عند نفس العمق ويزداد الفرق مع نقصان العمق. وهذا يعني بأن المادة العضوية لعبت دوراً كبيراً في زيادة مقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء بالإضافة إلى تحسين الحالة البنائية لها.

ونظراً لصعوبة حساب قيم الانتشارية تم تطوير برامج حاسوبية يمكن من خلالها تحديد هذه القيم بسهولة وبسرعة عند مستويات مختلفة من المحتوى الرطوبي للتربة ومستويات مختلفة من المادة العضوية. حيث أعطيت قيم أرقام كل من θ% وx إلى جهاز الحاسب لتحديد الانتشارية الهيدروليكية باستخدام برنامج Q.Basic، والجدول (2) يوضح النتائج.

جدول (2) يمثل قيم الانتشارية الهيدروليكية عند مستويات مختلفة من الرطوبة وعند نسب مختلفة للمادة العضوية

محتوى الرطوبة θ%	الانتشارية الهيدروليكية $D(mm^2/s)$		
	T_2 نسبة المادة العضوية 2.19%	T_1 نسبة المادة العضوية 1.78%	الشاهد T_0 ذو نسبة المادة العضوية 0.68 %
47	0.78	–	–
46	1.1	0.43	–
45	1.007	0.41	–
44	1.06	0.54	0.14
43	1.1	0.64	0.16
42	1.07	0.61	0.21
41	0.92	0.73	0.22
40	0.89	0.68	0.2
39	0.78	0.38	0.15
38	0.55	0.40	0.23
37	0.57	0.42	0.19
36	0.30	0.37	0.14
35	0.26	0.23	0.13
34	0.32	0.24	0.14
33	0.32	0.41	0.12
32	0.27	0.25	0.11
31	–	0.22	0.11
30	–	–	0.12

يلاحظ من الجدول (2) أن قيم الانتشارية تنخفض بشكل عام مع نقصان المحتوى الرطوبي، حيث تراوحت القيم بين (0.12–0.23) mm^2/s ضمن مجال رطوبي 30–38% حجماً في تربة الشاهد.

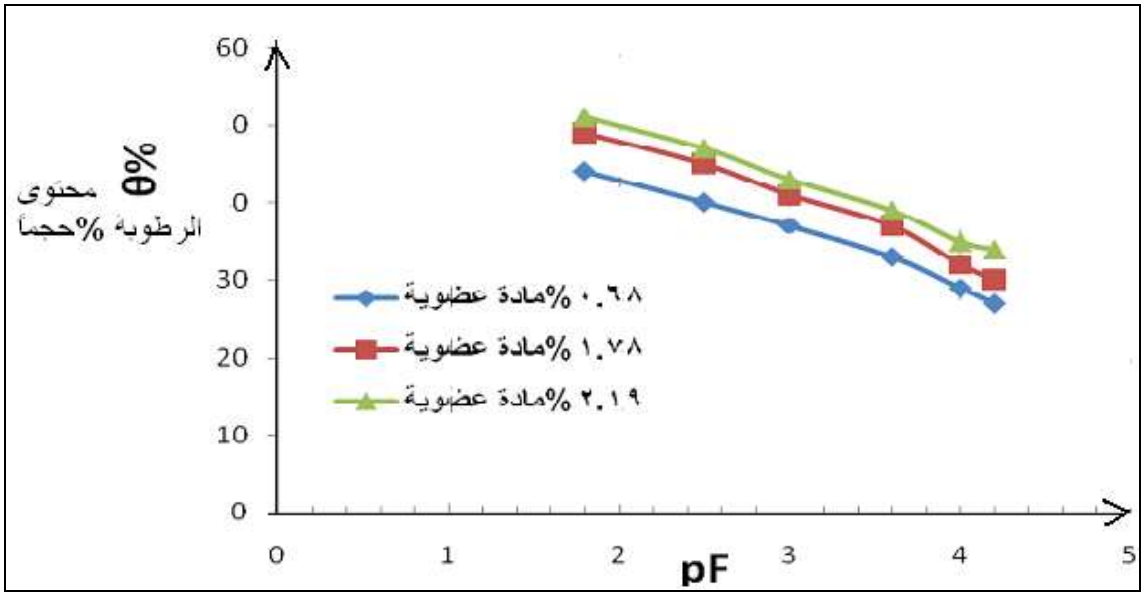
وتراوحت بين(0.22–0.73) mm^2/s ضمن مجال رطوبي 31–41 %حجماً في التربة ذات المحتوى العضوي1.78%، وفي التربة ذات المحتوى العضوي 2.19% تراوحت بين(0.27–1.1) mm^2/s ضمن مجال رطوبي 32–43 %حجماً .

وهذا يعني بأن قيم الانتشارية ازدادت مع ازدياد المحتوى العضوي للتربة، وانخفضت مع نقصان المحتوى الرطوبي لنفس عينة التربة. وكما ذكرنا سابقاً فأنه يزداد المحتوى الرطوبي لعينة التربة بزيادة نسبة المادة العضوية فيها.

2- تحديد منحنيات الشد الرطوبي:

تسمى أحياناً منحنيات الاحتفاظ بالماء، وهي المنحنيات التي توضح العلاقة بين الشد الرطوبي (أي قوة مسك الماء) والمحتوى الرطوبي للتربة كنسبة مئوية حجماً، وهي تعطي فكرة عن الخصائص المائية للتربة بما فيها السعة

الحقلية ونقطة الذبول والماء المتاح للنبات، كما تعطي فكرة عن ثباتية بناء التربة بالإضافة إلى أنها تستخدم لحساب السعة المائية النوعية عند مستويات الرطوبة المختلفة، ويمكن من خلالها تحديد بعض الثوابت الهيدروديناميكية المتعلقة بالتربة. ويمكن تحديد هذه المنحنيات باعتماد علاقات تجريبية بعد تحديد الثوابت التجريبية لها، كما يمكن تحديدها مخبرياً بواسطة جهاز الضغط الغشائي عند تطبيق ضغوط متزايدة بدءاً من الضغط عند $pF_{1.8}$، $pF_{2.5}$، pF_3، $pF_{3.5}$، pF_4 (pF: الشد الرطوبي). وهذه الطريقة هي طريقة مجهدة وتحتاج لوقت طويل (عدة أشهر) وذلك عند استخدام أسطوانات تربة ارتفاعها (4)سم، ولكن هذه الطريقة تعتبر من أكثر الطرق دقة لتحديد منحني الشد الرطوبي لذلك تم اعتمادها في هذه الدراسة، حيث تم حساب المحتوى الرطوبي المقابل لكل شد رطوبي، ثم أدخلت هذه الأرقام إلى جهاز الحاسب فتم التوصل إلى علاقة أسية من الشكل($\Psi=a.\theta^b$). وكانت النتائج كما هي موضحة في الشكل رقم(2):



شكل(2) يمثل منحني الشد الرطوبي للتربة المدروسة عند مستويات مختلفة من المادة العضوية

يلاحظ من الشكل رقم (2) أنه مع زيادة الشد الرطوبي ينخفض المحتوى الرطوبي للتربة. وأن نسبة المادة العضوية لها تأثير كبير على المحتوى المائي للتربة، حيث مع زيادة المادة العضوية في التربة يزداد المحتوى المائي عند نفس الشد الرطوبي، ويرافق ذلك زيادة في السعة الحقلية للتربة وزيادة أيضاً في نقطة الذبول الدائم.

ومن خلال منحنيات الشد الرطوبي نستطيع أن نحدد المقدار($\frac{d\theta}{d\Psi}$)، (والذي يعبر عن العلاقة بين تغير المحتوى الرطوبي بالنسبة لتغير الجهد) للمعاملات المدروسة عند مستويات مختلفة من الشد الرطوبي تمهيداً لحساب معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع للتربة، وبعد تحديد هذه المنحنيات تم تحديد المقدار($\frac{d\theta}{d\Psi}$)، وكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول رقم (3).

جدول(3) يوضح قيم $\frac{d\theta}{d\Psi}$ عند مستويات مختلفة من المحتوى الرطوبي وعند نسب مختلفة من المادة العضوية

محتوى الرطوبة %θ	$\frac{d\theta}{d\Psi}$ (1/cm)		
	نسبة المادة العضوية T_2 %2.19	نسبة المادة العضوية T_1 %1.78	الشاهد T_0 ذو نسبة المادة العضوية 0.68 %
47	0.0097	–	–
46	0.0069	0.011	–
45	0.0070	0.0062	–
44	0.0048	0.0063	0.02
43	0.0033	0.0045	0.012
42	0.0021	0.00427	0.010
41	0.0019	0.00383	0.006
40	0.0015	0.00209	0.005
39	0.0012	0.0024	0.003
38	0.00097	0.0016	0.002
37	0.00077	0.0021	0.001
36	0.00061	0.00025	0.00098
35	0.00048	0.000993	0.00080
34	0.00050	0.00056	0.0009
33	0.00045	0.00049	0.00020
32	0.00040	0.00021	0.00015
31	–	0.00018	0.00010
30	–	–	0.00010

يلاحظ من الجدول (3) بأن قيمة $\frac{d\theta}{d\Psi}$ تنخفض مع انخفاض المحتوى الرطوبي للتربة، وبالتالي تنخفض مع زيادة قيمة PF، وهذا يعود إلى ارتفاع الفرق بين قيم Ψ عند مستويات عالية للشد الرطوبي مقارنة مع الفرق بين قيم المحتوى الرطوبي θ.

3- تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع بطريقة الهواء الساخن :

بعد تحديد الانتشارية الهيدروليكية وقيم $\frac{d\theta}{d\Psi}$ يمكن تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع عند مستويات مختلفة من المحتوى الرطوبي اعتماداً على قيم الانتشارية وفق العلاقة التالية:

$$Ku(\theta) = D(\theta).(\frac{d\theta}{d\Psi})$$

(Arya.*et al.*1975)

حيث أن:

K_U: معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع .

D: الانتشارية الهيدروليكية ملم^2/ثا.

$\frac{d\theta}{d\Psi}$: تغير المحتوى الرطوبي مع تغير الجهد وتؤخذ من منحني الشد الرطوبي للتربة.

حيث تحوّل الانتشارية من ملم^2/ ثا إلى سم^2/ثا بالتقسيم على*100*. ثم نضرب الرقم الناتج بقيمة $\frac{d\theta}{d\Psi}$ وبضرب الرقم الناتج هنا بـ*864* نحصل على قيمة K_U مقدرة ب م/يوم. والجدول (*4*) يوضح قيم معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع للتربة وقيم الشد الرطوبي عند مستويات مختلفة من المحتوى الرطوبي وعند نسب مختلفة من المادة العضوية.

جدول (4) يوضح قيم معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع للتربة

وقيم الشد الرطوبي عند مستويات مختلفة من المحتوى الرطوبي وعند نسب مختلفة من المادة العضوية

%θ محتوى الرطوبة	PF الشد الرطوبي			Ku(m/d)معامل التوصيل الهيدروليكي		
	T_2 نسبة المادة العضوية %2.19	T_1 نسبة المادة العضوية %1.78	الشاهد T_0 ذو نسبة المادة العضوية 0.68 %	T_2 نسبة المادة العضوية %2.19	T_1 نسبة المادة العضوية %1.78	الشاهد T_0 ذو نسبة المادة العضوية 0.68 %
47	2.35		–	0.073		–
46	2.54	2.2	–	0.065	0.04	–
45	2.7	2.4	–	0.060	0.022	–
44	2.85	2.5	1.8	0.044	0.029	0.024
43	2.98	2.6	2	0.031	0.025	0.016
42	3.1	2.7	2.2	0.019	0.022	0.018
41	3.25	3	2.42	0.015	0.024	0.011
40	3.35	3.15	2.58	0.011	0.012	0.0086
39	3.44	3.20	2.74	0.0081	0.007	0.0038
38	3.55	3.30	2.85	0.0046	0.0055	0.0039
37	3.65	3.40	2.96	0.0038	0.0076	0.0016
36	3.74	3.50	3.1	0.0016	0.0008	0.0012
35	3.87	3.65	3.25	0.0011	0.0019	0.00089
34	3.96	3.8	3.4	0.0014	0.0012	0.00011
33	3.05	3.94	3.45	0.0012	0.0017	0.00021
32	4.2	4.01	3.74	0.00093	0.00045	0.00014
31	–	4.2	3.92	–	0.00034	0.00010
30	–	–	4.2	–	–	0.00010

يلاحظ من الجدول (4) بالنسبة للتربة ذات المحتوى العضوي 0.68% أنه مع نقصان الرطوبة تنخفض قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع وتتراوح قيمته بين 0.024 m/d عند $PF_{1.8}$ إلى 0.0001 m/d عند $PF_{4.2}$ كما يلاحظ من الجدول أن قيمة معامل التوصيل غير المشبع وصلت إلى القيمة الحدية (0.0002 m/d) حسب (Renger & streble,1972) وذلك عند محتوى رطوبي 33% وشد رطوبي 3.45.

أما بالنسبة لعينة التربة ذات المحتوى العضوي 1.78% نلاحظ من الجدول رقم (4) بأن معامل التوصيل تراوحت قيمته بين 0.04 m/d عند $PF_{2.2}$ والمحتوى الرطوبي 46% إلى 0.00034 m/d عند $PF_{4.2}$ والمحتوى الرطوبي 31% كما يلاحظ أن قيمة Ku لم تصل بعد إلى القيمة الحدية حتى عند$PF_{4.2}$.

وبالنسبة لعينة التربة ذات المحتوى العضوي 2.19% يلاحظ من الجدول رقم (4) أن قيمة Ku تراوحت بين 0.073 m/d عند شد رطوبي pF 2.35 والمحتوى الرطوبي 47% إلى 0.00093m/d عند شد رطوبي pF 4.2 والمحتوى الرطوبي 32%، وأيضاً هنا لم تصل قيمة Ku بعد إلى القيمة الحدية حتى عند $Pf_{4.2}$.

كما يلاحظ بان زيادة نسبة المادة العضوية ترافقها زيادة في قيمة معامل التوصيل عند نفس المحتوى الرطوبي.

فبزيادة نسبة المادة العضوية بمقدار 1.1% يزداد معامل التوصيل بمقدار 3.4 مرة عند pF4.2، وبزيادة نسبة المادة العضوية بمقدار 1.51% يزداد معامل التوصيل بمقدار 9.3 مرة مقارنة بقيمته عند الشاهد وعند نفس الشد الرطوبي.

ومن خلال قيم الجدول (4) تم تحديد العلاقة بين الشد الرطوبي pF و قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي Ku وفق علاقات ارتباط من الدرجة الثانية، وكانت النتائج كما هي موضحة في العلاقات التالية والشكل (3).

بالنسبة لتربة الشاهد ذات المحتوى العضوي 0.68% كانت المعادلة على الشكل التالي :

$$\log ku = -1.507 + 0.282 \log \Psi - 0.216 \log \Psi^2$$

n=15 (n:عدد المكررات) , R^2=0.97 (R: معامل التحديد)

أما بالنسبة للتربة ذات المحتوى العضوي 1.78% فكانت المعادلة على الشكل التالي :

$$Log\ Ku = -1.8068 - 1.539\ Log\ \Psi + 0.085\ Log\ \Psi^2$$

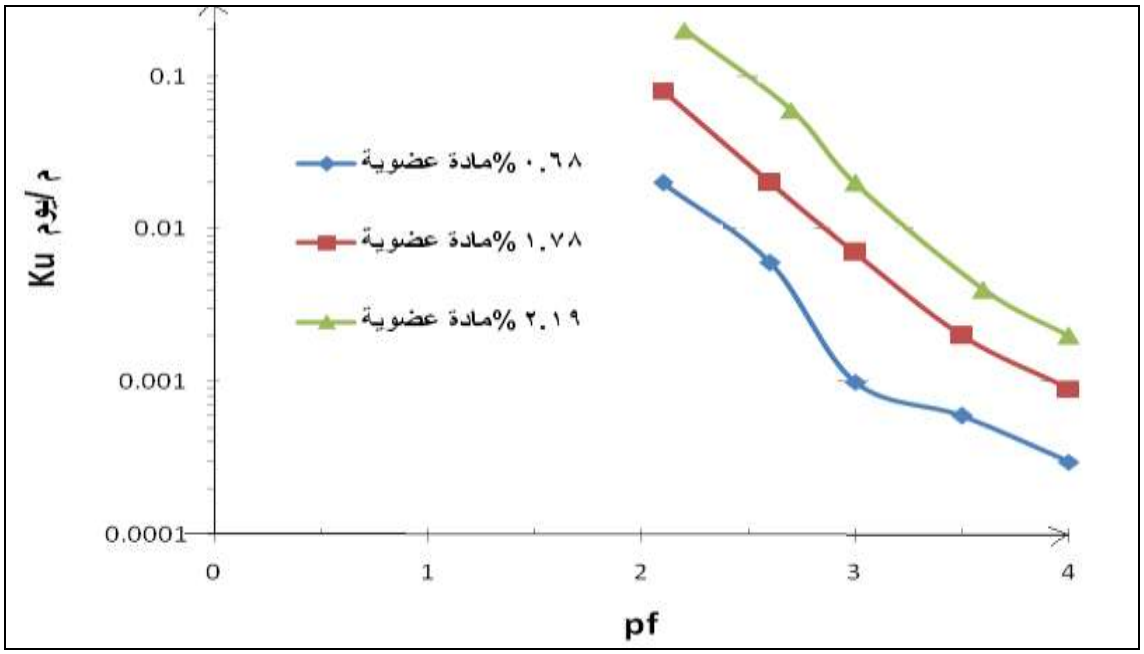
R^2=0.95 , n=16

أما بالنسبة للتربة ذات المحتوى العضوي 2.19% فكانت المعادلة على الشكل التالي :

$$Log\ Ku = 0.879 - 0.652\ Log\ \Psi - 0.074\ Log\ \Psi^2$$

R^2=0.92 , n=15

تم تحديد العلاقة بيانياً بين معامل التوصيل الهيدروليكي غيرالمشبع(Ku) والشد الرطوبي(pF) وكانت النتائج كما هي موضحة في الشكل رقم (3).



شكل (3) يوضح العلاقة بين Ku و PF للترب المدروسة والمختلفة المحتوى العضوي

يلاحظ من الشكل رقم (3) أن معامل التوصيل الهيدروليكي ينخفض مع زيادة الشد الرطوبي وهذا الانخفاض يعود إلى انخفاض المحتوى الرطوبي للتربة، وبالتالي انخفاض سطح مقطع التوصيل الهيدروليكي الفعال، كما يلاحظ أن معامل التوصيل الهيدروليكي يزداد مع زيادة نسبة المادة العضوية في التربة عند نفس الشد الرطوبي

كما يمكننا من خلال العلاقة بين معامل التوصيل وقيمة PF أن نحدد الثوابت التجريبية الخاصة بالتربة(c,d). ويمكن أيضاً معرفة ما هو معامل التوصيل لهذا النوع من الأتربة بعد معرفة نسبة المادة العضوية وقيمة الشد الرطوبي.

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال الدراسة التي أجريت لتحديد الانتشارية الهيدروليكية ومعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة غير المشبعة بطريقة الهواء الساخن على تربة طينية ثقيلة مختلفة المحتوى من المادة العضوية تم استنتاج ما يلي:

1. انخفاض قيم الانتشارية الهيدروليكية بشكل عام مع نقصان المحتوى الرطوبي للتربة، وازديادها مع ازدياد المحتوى العضوي للتربة حيث تراوحت قيم الانتشارية بين (0.12–0.23) mm^2/s ضمن مجال رطوبي 30–38% حجماً في تربة الشاهد، وتراوحت بين(0.22–0.73) mm^2/s ضمن مجال رطوبي 31–41 %حجماً في التربة ذات المحتوى العضوي 1.78%، بينما في التربة ذات المحتوى العضوي 2.19% فلقد تراوحت القيم بين (0.27–1.1) mm^2/s ضمن مجال رطوبي32–43 % حجماً .

2. ازدياد الشد الرطوبي للتربة مع انخفاض المحتوى الرطوبي وازدياد المحتوى العضوي لها. وعند نفس الشد الرطوبي ازداد المحتوى المائي للتربة مع ازدياد المحتوى العضوي لها.

3. انخفاض قيمة تغير المحتوى الرطوبي بالنسبة لتغير الجهد مع انخفاض المحتوى الرطوبي للتربة وازدياد قيمة الشد الرطوبي، وهذا يعود إلى ازدياد قيمة الجهد مع ازدياد قيمة الشد الرطوبي.

4. انخفاض قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع مع انخفاض المحتوى الرطوبي للتربة وازدياد الشد الرطوبي، حيث تراوحت قيم معامل التوصيل غير المشبع بين (0.0001–0.024) م/يوم ضمن مجال شد رطوبي بين(4.2–1.8) على التربة ذات المحتوى العضوي 0.68%، وبين (0.00034–0.04) m/d ضمن مجال شد رطوبي (4.2–2.2) على التربة ذات المحتوى العضوي 1.78% ، وفي التربة ذات المحتوى العضوي 2.19% تراوحت بين (0.00093–0.073) m/d ضمن مجال شد رطوبي بين (4.2–2.35) . وقد قاربت قيمة معامل التوصيل من القيمة الحدية (0.0002m/d)عند محتوى رطوبي 33% ومحتوى عضوي 0.68% وشد رطوبي 3.45.

5. تزداد قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع بزيادة نسبة المادة العضوية وذلك عند نفس الشد الرطوبي. فبزيادة نسبة المادة العضوية بمقدار 1.1 % ازداد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع بمقدار 3.4مرة عند شد رطوبي pF4.2، في حين أنه ازدادد بمقدار 9.3 مرة مقارنة بقيمته عند الشاهد عند زيادة نسبة المادة العضوية بمقدار 1.51% عند شد رطوبي pF4.2.

6. التوصل إلى مخطط بياني يمكن من خلاله تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع بعد معرفة الشد الرطوبي في التربة، كما له أهمية كبيرة في دراسة حركة الماء في التربة وتحديد كمية الماء المتدفقة بين نقطتين عند أي مستوى شد رطوبي، وهذا له أهمية كبيرة في مجال الري الزراعي.

ونقترح متابعة هذا البحث على أنواع أخرى من الأتربة المتباينة في خصائصها الفيزيائية والكيميائية ومختلفة المحتوى العضوي واستخدام طرق أخرى لتحديد معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع ومقارنة هذه الطرق مع بعضها لإيجاد أفضل وأسرع طريقة لتحديد هذا المعامل وإمكانية الاستفادة منه أثناء دراسة حركية العناصر الغذائية والأملاح في التربة .

المراجع :

1. ARYA, L.M; BLAKE,G.R; FARRELL,A: *Afield study of soil water depletion patterns in presence of growing soy bean roots determination of hydraulic properties of the soil* . soil. Soc . ARER. PROC.U.S.A, 39,1975,4-424.

2. BECHER,H.H: *Ein verfahren zur Messung der ungesattigten Wasserleitfahigheit pflanzenernahr.u.Bodennkd* . Germany ,128,1970, 1- 12.

3. BRUCE , R.a;Klute, A: *The measurement of soil moisture diffusivity*. Soil . sci. soc . Am .proc. U.S.A,1972.

4. GARDNER, W.R: *Note on the separation and solution of diffusion type equation* . SSSAP-26, U.S.A,1962.

5. GUBER,A:*Unsaturated soil hydraulic conductivity:the Field infiltrometer method* .Grif and company publishing House,Mosco,Russia,2007,Pp 270-273.

6. HILLEL,D:*Fundamentals of soil physics*. Academic press,New Yourk,USA, 1980, P:201-210.

7. PLAGGE,R: *Bestimung des ungesattigten hydraulischen*. Leifahigkeit im Boden, Berlin,1997.

8. RENGER , M and STREBLE, O: *Der einfluss des grundwasser auf die wasser ve sorgung der pflanzen*. Kali-briefe. Fachgeb. Z. Ltanover, Germany,1972.

9. SCHINDLER, U: *Eine schenllver Fahren zur messung der wasserleifahighiet in teilhesattigten Boden aut stechzyllenderoben* . Arch. Accker.u, Germany,1980.

10. SCHINDLER, U : *Unter suchungen zum, kapillaren wasseraufsteig aus dem Grundwasser*. Arch. Acher. U . planzenbau. Bodenkd. Berlin, Germany,26,1982.