مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية
مجلد 42 العدد 2(2026): 31-47

Damascus University Journal for Agricultural Sciences
Vol 42-No.2 (2026): 31-47

مقارنة تأثير نوعين من السماد العضوي (السماد البلدي وسماد الفيرمي كومبوست) في القدرة الامتصاصية للتربة وناقليتها المائية المشبعة

إياد فؤاد سراي الدين[1]*

1-أستاذ مساعد في قسم علوم التربة، كلية الهندسة الزراعية، جامعة دمشق.
iyad.srayeddin@damascusuniversity.edu.sy

الملخّص:

تُعّد قدرة التربة على امتصاص الماء وناقليتها المائية المشبعة من أهم الخصائص الهيدروديناميكية للتربة. ولا تتأثر هذه الخصائص فقط بكمية السماد العضوي المضاف للتربة وإنّما أيضاً بنوع هذه السماد. هدف هذا البحث إلى المقارنة بين تأثير نوعين من السماد العضوي وهما السماد البلدي وسماد الفيرمي كومبوست (سماد الدود) في القدرة الامتصاصية للتربة (S) وناقليتها المائية المشبعة (K_s). تمّ في البحث قياس S وK_s على مجموعتين من عينات التربة المختلفة في محتواها من السماد العضوي. حيث تمّ تحضير هاتين المجموعتين من العينات انطلاقاً من تربة واحدة (تربة أم) أُضيف لها كميات متزايدة من كلا النوعين من السماد العضوي (البلدي والفيرمي كومبوست) بمقدار 2, 5, 10, 15, 20% من وزن التربة الجاف، وضمّت كل مجموعة 5 عينات من التربة مختلفة في محتواها من السماد العضوي. لقياس القدرة الامتصاصية للتربة أُستخدم نموذج Philip للرشح العمودي، بينما لقياس الناقلية المائية المشبعة أُستخدمت طريقة الضاغط المائي الثابت.

بيّنت نتائج هذه الدراسة وجود اختلافات واضحة في تأثير نوعي الأسمدة العضوية المدروسة في كل من قابلية التربة لامتصاصها للماء وناقليتها المائية المشبعة. حيث زادت قابلية التربة لامتصاص الماء مع زيادة كمية السماد العضوي المضاف للتربة من كلا النوعين، ولكن هذه الزيادة كانت أكبر في الترب المعاملة بالسماد البلدي بالمقارنة مع العينات المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست. كما بيّنت الدراسة أنّ السماد البلدي قد يزيد من عدد مسام الصرف في التربة بشكل أكبر على حساب المسام الصغيرة بالمقارنة مع الفيرمي كومبوست. كما أظهرت النتائج أيضاً أنّ سماد الفيرمي كومبوست أكثر قدرة من السماد البلدي على الاحتفاظ بالماء.

الكلمات المفتاحية: السماد البلدي، سماد الفيرمي كومبوست، القدرة الامتصاصية للتربة، الناقلية المائية المشبعة للتربة.

تاريخ الإيداع:2023/12/12
تاريخ القبول: 2024/03/03

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص
CC BY-NC-SA 04

Comparing the effect of two kinds of organic fertilizer: manure and vermicompost on the sorptivity and saturated hydraulic conductivity of the soil

Iyad Srayeddin[1*]
1-Associated Professor- Soil sciences department- Agriculture Faculty, Damascus university.
iyad.srayeddin@damascusuniversity.edu.sy

Abstract:

Soil sorptivity and the saturated hydraulic conductivity are the most important hydrodynamic properties of the soil. These properties aren't affected only by the amount of organic fertilizer applied, but also by the organic fertilizer type. The aim of this recent research was to compare the effects of two kinds of organic fertilizers: Manure and vermicompost on the soil sorptivity (S) and saturated hydraulic conductivity (K_s). The measurements of S and K_s were carried out using two sets of soil containing different amount of both types of organic fertilizer. Both soils sets were prepared from the same initial soil. Each set comprises 5 soil samples containing 2, 5, 10, 15, and 20 % of organic fertilizer.
To measure the soil sorptivity, the Philip equation for the vertical infiltration was used. Whereas, the saturated hydraulic conductivity of the soil was measured by using constant head method.
The results of this study showed that the two types of organic fertilizer influence the soil sorptivity and saturated hydraulic conductivity differently. The soil sorptivity increased with increasing the amount of both types of organic fertilizer added to the soil. However, the soil sorptivity was higher in the soils manure-added compared to soils treated with vermicompost. The results showed also that the manure may increase more the drainage pores number of the soil compared to the vermicompost. However, the vermicompost seems to be more able to retain water than manure.

Keywords: Manure, Vermicompost, Soil Sorptivity, Saturated Hydraulic Conductivity.

Received: 12/12/2023
Accepted:03/03/2024

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a
CC BY- NC-SA

المقدمة:

يُعّد السماد العضوي أحد أهم عناصر الإنتاج الزراعي، حيث يمدّ ويعوّض التربة بكميات العناصر الغذائية التي فقدتها نتيجة الاستثمار الزراعي المتكرر. حيث بينّت الدراسات أنّ المادة العضوية التي تصل التربة عبر إضافة السماد العضوي تلعب دوراً اساسياً في تحقيق الاستدامة في الإنتاج الزراعي من دوره في زيادة خصوبة التربة وزيادة أعداد البكتريا وتنوعها وكذلك زيادة الإنتاجية (Zink وAllen، 1998). بالإضافة إلى تأثيراته الإيجابية على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة مثل بناء التربة soil structure وثباتية التجمعات الحبيبية aggregate stability وسعة احتفاظ التربة بالماء water-holding capacity وسعة التبادل الكاتيوني (CEC) (Jedidi، 2004; Odlare، 2008; Shen وShen، 2001; Wells، 2000; Herrick، 2001؛ Liu وزملاؤه، 2006).

ويُعّد كل من روث البقر وزرق الدجاج البيّاض بالإضافة إلى زبل الأغنام المتخمرة من أهم الأسمدة العضوية المستخدمة في القطاع الزراعي في منطقتنا. ولكن لا تختلف هذه الأسمدة عن بعضها البعض فقط في محتواها من العناصر الغذائية الكبرى والصغرى وإنمّا أيضاً في تأثيرها في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحيوية للتربة (Baldock وNelson، 1999). ومع وجود هذه الأنواع من الأسمدة العضوية، ظهر في الآونة الأخيرة ميول واضح لدى المزارعين على استخدام سماد الفيرمي كومبوست (سماد الدود) في التسميد العضوي، نظراً لاحتوائه على تراكيز أعلى من العناصر الغذائية وأيضاً غناه بالحمولة البكتيرية النافعة (Sudhakar وزملاؤه، 2002 ;Moradi وزملاؤه، 2014).

إنّ أغلب الدراسات والأبحاث التي تناولت الأسمدة العضوية ركّزت على المقارنة بين الأسمدة العضوية التقليدية وسماد الفيرمي كومبوست من حيث تأثيرها في خصوبة التربة وتطور وإنتاجية النبات (Arancon وزملاؤه، 2006 ;Das وزملاؤه، 2002). ولكن بقيت دراسة تأثير تلك الأسمدة وبشكل خاص سماد الفيرمي كومبوست في خواص التربة الفيزيائية والهيدروديناميكية (كالناقلية المائية المشبعة وغير المشبعة ومعدلات الرشح والقدرة الامتصاصية للتربة) قليلة جداً، حيث لا يوجد الكثير من الأبحاث التي قارنت بين سماد الفيرمي كومبوست والأسمدة العضوية التقليدية من حيث التأثير في تلك الخصائص الهيدروديناميكية. إذ تُعّد هذه الخصائص من أهم الخصائص التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار وتُدرس بعمق نظراً لأهميتها في علوم التربة والمياه وبشكل خاص فيما يتعلق بحركة الماء وجريانه بالإضافة إلى حركة وانتقال الذائبات والعناصر الغذائية في قطاع التربة عموماً وضمن منطقة انتشار الجذور النباتية بشكل خاص.

وتُعّد قابلية التربة لامتصاص الماء soil sorptivity (أو تُدعى أيضاً القدرة على التشرّب) إحدى أهم الخصائص الهيدروديناميكية للتربة. وهي تعبّر عن قياس قدرة التربة كوسط مسامي على امتصاص الماء بالخاصة الشعرية فقط، حيث تُعّد القوى الشعرية هي القوى المسيطرة على انتقال الماء وجريانه خلال المرحلة الأولى من عملية الرشح (Hillel، 1998).

وتُقاس عموماً هذه الخاصية في المخبر بطريقة الرشح الصاعد upward infiltration أو الرشح الأفقي أو العمودي. وهي خاصية هامة في علوم فيزياء التربة حيث يمكن من خلالها تقدير خواص هيدروديناميكية هامة أخرى مثل منحنى احتفاظ التربة بالماء soil water retention curve وكذلك التوصيل الهيدروليكي المشبع للتربة (Moret وLatorre، 2016). ونظراً لكون هذه الخاصية تقاس تحت ظروف الغمر فهي تسمح أيضاً بدراسة الجريان السطحي باستخدام النماذج الرياضية المختلفة (Parlange، 1999).

تملك الأسمدة العضوية بشكل عام تأثير واضح في خواص التربة الفيزيائية، إذ بينت دراسة قام بها (Logsdon وزملاؤه، 2017) ارتفاع محتوى التربة المائي مع زيادة كمية السماد العضوي المضاف للتربة، حيث ارتفع هذا المحتوى بمقدار يتراوح بين 5.5 إلى 16.4 % عند إضافة كمية من السماد العضوي (كومبوست نباتي) على شكل طبقة على سطح التربة تعادل نصف عمق (سماكة)

طبقة التربة المحروثة. وكذلك بينت دراسة أخرى قام بها (Schmid وزملاؤه، 2017) ارتفاع محتوى التربة المائي بنسبة تتراوح بين 6 لى 9 % مع زيادة كمية السماد العضوي المضاف للتربة بالمقارنة مع تربة لم تتلقى أي إضافة.

كما بينت العديد من الدراسات تأثير إضافة الأسمدة العضوي للتربة في معدل الرشح. وجد كل من Agassi وزملاؤه (1998) وLogsdon وزملاؤه (2017) أن معدل الرشح قد ازداد بمقدار 24% في التربة المعاملة بكمية من السماد العضوي بالمقارنة مع الشاهد (تربة غير معاملة)، بينما وجد Mohammadshirazi وزملاؤه (2017) أن معدل الرشح قد ازداد بمقدار يزيد عن 100% عند إضافة السماد العضوي للتربة بسماكة 5 سم على سطح التربة ثم خلطه مع التربة حتى عمق 30 سم.

تُرجع معظم الدراسات سبب ارتفاع معدل الرشح مع إضافة السماد العضوي للتربة مع القلب إلى ازدياد مسامية التربة وانخفاض الكثافة الظاهرية للتربة (Pitt وزملاؤه، 1999; Schwartz وSmith، 2016). ولكن بالمقابل وجدت دراسات أخرى أنّ معدل الرشح يعتمد بشكل كبير على قوام التربة وظروف تكوينها والظروف المناخية السائدة (Weindorf وزملاؤه، 2006).

من جهة أخرى، أكدّت بعض الدراسات تأثير إضافة الأسمدة العضوية للتربة في الناقلية المائية المشبعة للتربة. حيث درس Cannavo وزملاؤه (2014) تأثير نوعين من الأسمدة العضوية في الناقلية المائية المشبعة للتربة وهما: كومبوست خليط من الفضلات الحيوانية والبقايا النباتية وكومبوست أخر مكوّن من البقايا النباتية فقط. ووجدت هذه الدراسة أنّ كلا النوعين يزيد من الناقلية بمقدار 225 % بينما الناقلية في حالة البقايا النباتية تنخفض بسرعة أكبر خلال 5 سنوات بالمقارنة مع الكومبوست الخليط.

لا يوجد الكثير من الدراسات المرجعية حول أهمية سماد الفيرمي كومبوست من حيث تأثيره في خصائص التربة الفيزيائية. بالرغم من أهمية سماد الفيرمي كومبوست في نمو وتطور النبات من خلال احتوائه على منظمات النمو (Hartia، 2001) والهيومات humates (Atiyeh، 2002)، فهو يملك تأثير هام على مستوى التربة. حيث بينت بعض الدراسات أنّ الإضافة المستمرة للفيرمي كومبوست للتربة يؤدي إلى زيادة الكربون العضوي وانخفاض في الكثافة الظاهرية للتربة وزيادة سعة احتفاظ التربة بالماء وكذلك زيادة في أعداد الميكروبات وزيادة في نشاط أنزيم ديهادروجيناز (Mahewarappa،1999) بالمقابل، بينت دراسات مرجعية أخرى (Moradi وزملاؤه، 2014; Kranz وزملاؤه، 2020) أنّ سماد الفيرمي كومبوست يعمل على تحسين خصائص التربة الفيزيائية ومنها زيادة معدل الرشح أو الناقلية المائية عند إضافته على سطح التربة دون خلطه مع الطبقة السطحية للتربة.

مبررات البحث:

– أهمية السماد العضوي في القطاع الزراعي باعتباره أحد المدخلات الهامة في أي استثمار زراعي، وأهمية دراسة تأثيره وبشكل خاص في خواص التربة الهيدرديناميكية التي تعكس بشكل مباشر حركة الماء في التربة من خلال مياه الري.

– أغلب الدراسات الموجودة حول الأسمدة العضوية تناولت السماد البلدي، وتركزت بشكل خاص حول الإنتاجية وزيادة خصوبة التربة، بينما لم يُدرس سماد الفيرمي كومبوست بشكل واسع ولم تتم بعد مقارنته مع السماد البلدي في تأثيرهما في خصائص التربة الهيدرديناميكية.

– أهمية دراسة بعض خصائص التربة الهيدرديناميكية وبشكل خاص طبيعة العلاقة بين القدرة الامتصاصية للتربة وناقليتها المائية المشبعة.

الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث المخبري إلى تحقيق الهدفين التاليين:

أولاً: إجراء مقارنة بين تأثير كل من السماد البلدي (روث البقر المتخمر) وسماد الفيرمي كومبوست (سماد الدود) في بعض خصائص التربة الهيدرديناميكية مثل القدرة الامتصاصية للتربة (S) والناقلية المائية المشبعة (K_s).

ثانياً: دراسة قدرة كلا النوعين من الأسمدة على الاحتفاظ بالماء من خلال قياس كمية مياه الصرف بعد الوصول لحالة الجريان الثابت في الرشح العامودي للماء في التربة.

مواد البحث وطرائقه:

1 – عينات التربة المدروسة:

أُستخدم في هذه الدراسة نوع واحد من التربة الزراعية تزن حوالي 40 كغ، تمّ اعتيانها من الطبقة السطحية للتربة من عمق (5-15 سم) من أحد الحقول الزراعية التابعة للمعهد التقاني الزراعي بالسويداء. ثم نُقلت التربة إلى المخبر (مخبر التربة في المعهد التقاني الزراعي بالسويداء) حيث جُففت هوائياً وطُحنت ثم غُربلت بمنخل أقطار ثقوبه 2 مم للحصول على تربة متجانسة. وتمّ تحليل التربة لتحديد بعض خصائصها الفيزيائية والكيميائية كما يبيّن الجدول رقم (1).

الجدول (1): بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لعينة التربة الأولية من محافظة السويداء

العمق (سم)	التركيب الميكانيكي (%)			قوام التربة	pH 2.5:1	EC (dS/m) 5:1	المادة العضوية (%)	الماء الاسترطابي %
	الطين	السلت	الرمل					
15-5	52.6	22.3	25.1	طيني	7.42	0.172	1.55	5

انطلاقاً من هذه التربة الأولية تمّ تحضير مجموعتين من التربة، وهما:

المجموعة الأولى: تضم خمس عينات من التربة (وزن كل عينة 1 كغ). أُضيف للعينات الخمسة كميات مختلفة من السماد البلدي وكانت نسب الإضافة على الشكل التالي: 2، 5، 10، 15، و20 % من الوزن الجاف للعينة.

المجموعة الثانية: تضم أيضاً خمس عينات من التربة (وزن كل عينة 1 كغ). وهنا أُضيف سماد الفيرمي كومبوست بنفس النسب السابقة: 2، 5، 10، 15، و20 % من الوزن الجاف للعينة. تمّ تحضير هذه العينات بمعدل ثلاث مكررات لكل عينة، وأُعتبرت التربة الأم هي الشاهد. تمّ إجراء كل القياسات بعد إضافة الأسمدة المدروسة مباشرة. وعلى اعتبار أنّ كل الاختبارات المطلوبة هي فيزيائية وتتم على عينات مضطربة ومتجانسة، لذلك لا يوجد تأثير لعامل الزمن في طبيعة مثل هذه الاختبارات. حيث يُخلط السماد المضاف مع التربة المدروسة بشكل جيد للحصول على عينة متجانسة تمتلك فيها المسام بنية هندسية محددة تبعاً لكمية السماد المضاف ونوعيته وأحجام حبيباته.

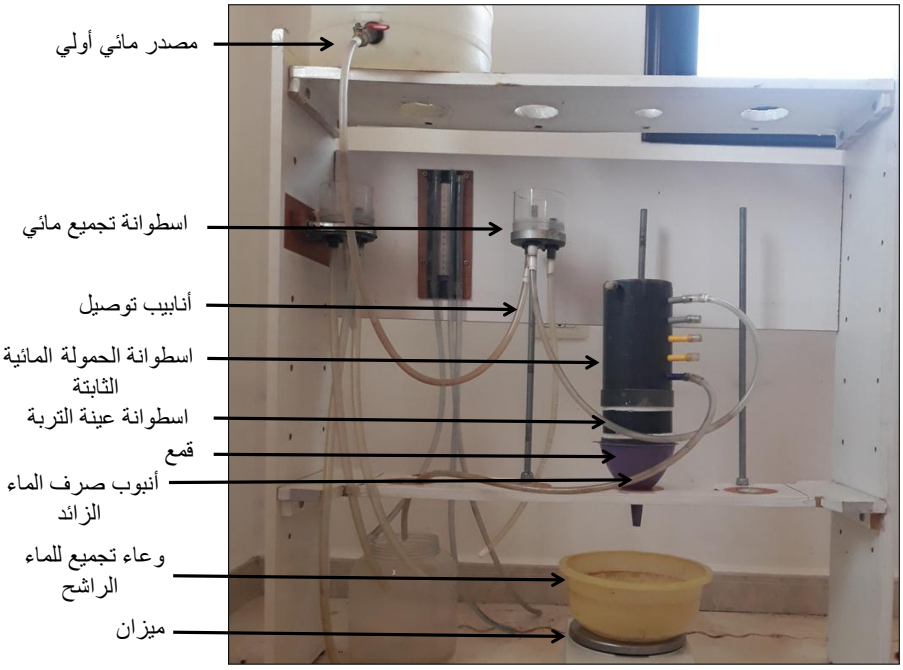
2 – قياس بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة:

تمّ تحديد التركيب الميكانيكي للتربة باستخدام طريقة الهيدروميتر (ASTM No.152H) (Gee وBauder, 1986)، وأُستخدمت هيكساميتا فوسفات الصوديوم كمادة مفرقة لحبيبات التربة. أمّا قوام التربة فتم تحديده باستخدام مثلث وزارة الزراعة الأمريكية (USDA) (William, 1991). كما قُدرت المادة العضوية في التربة عن طريق أكسدة الكربون العضوي بديكرومات البوتاسيوم في وسط حامضي واستخدام ملح مور للمعايرة وبوجود دليل الفيروئين (Pansu, 2006). وجرى قياس الناقلية الكهربائية لمستخلص التربة (1:5) عن طريق جهاز قياس الناقلية، أمّا درجة الـ pH فتم قياسها باستخدام جهاز قياس الـ pH بمعلق (1: 2.5).

3 – قياس معدل الرشح العامودي $f_v(t)$:

تمّ قياس معدل الرشح العامودي $f_v(t)$ للتربة باستخدام اسطوانة مصنوعة من مادة الـ PVC (Polyvinyl chloride) طولها 6.9 سم وقطرها 10.3 سم كما يبين الشكل 1. حيث مُلئت الاسطوانة بكمية من التربة الجافة هوائياً وزنها 712 غرام (وهي تساوي 676.4 غرام من التربة الجافة تماماً على اعتبار أنّ قيمة الماء الاسترطابي للتربة تبلغ 5%، الجدول 1). ومن أجل تحقيق تماثل لظروف القياس التجريبية لكل عينات التربة المدروسة أُستخدمت نفس الكمية من التربة (712 غرام من التربة الجافة هوائياً) عند قياس معدل الرشح. وبالإضافة إلى ذلك، تمّ الحفاظ على قيمة ثابتة للكثافة الظاهرية للتربة تبلغ 1.18 غرام/سم^3 وذلك من خلال تطبيق ضغط مقداره 360 غرام/سم^2 على سطح التربة باستخدام وزن ثابت يبلغ 30 كغ. وقِيس معدل الرشح خلال زمن مقداره ساعتين ونصف (150 دقيقة)، بفارق زمني دقيقة واحدة، تحت تأثير الغمر بوجود عمود مائي ثابت ارتفاعه 1 سم. وأُستخدم في

التجربة ماء الصنبور حيث بلغت ناقليته الكهربائية 0.1±0.58 ديسيسيمنس/م. تمّ قياس معدل الرشح العامودي بمعدل ثلاثة مكررات لكل عينة.



الشكل (1) صورة تبين الطريقة المستخدمة لقياس معدل الرشح

ولحساب معدل الرشح (f) أُستخدمت معادلة Philip (1957) للرشح العامودي والتي تُعطى على النحو الآتي:

$$F(t) = St^{1/2} + k_s t \quad \textbf{(1)}$$

$$f(t) = \frac{1}{2} St^{-1/2} + k_s \quad \textbf{(2)}$$

حيث يُعبّر F عن الرشح التراكمي cumulative infiltration (سم) أي حجم الماء الذي يُرشح خلال واحدة الزمن عبر واحدة المساحة من سطح التربة. S: هو قدرة التربة على امتصاص الماء (التشرّب) soil sorptivity (سم/دقيقة$^{0.5}$)، k_s: الناقيلة المائية المشبعة للتربة (سم/دقيقة)، t: الزمن (دقيقة)، وf هو معدل الرشح infiltration rate (سم/دقيقة).

ويمكن حساب الرشح التراكمي من العلاقة التالية:

$$F = \frac{V}{A} \quad \textbf{(3)}$$

حيث V هو حجم الماء الراشح خلال الزمن وA هي مساحة مقطع الاسطوانة (83.32 سم^2).

4– تقدير القدرة الامتصاصية للتربة (S):

يوجد العديد من طرائق قياس القدرة الامتصاصية للتربة مثل طريقة Bruce–Klute، طريقة Benson، وطريقة Philip للرشح الأفقي (Chossat، 2005). تعتمدُ هذه الطرائق على قياس مباشر للقدرة الامتصاصية، كما تتطلب أجهزة دقيقة وتحتاج لزمن طويل. بينما القياس غير المباشرة للامتصاصية من خلال تقديرها أثناء الرشح العمودي للماء باستخدام نموذج Philip للرشح

العمودي (Philip، 1957) لا يحتاج إلى أجهزة مخبرية خاصة ويمكن إجراءه خلال زمن قصير. وفي هذا البحث أُتبّعت هذه الطريقة في تقدير القدرة الامتصاصية للتربة.

في هذه الطريقة تمّ تقدير القدرة الامتصاصية لعينات التربة المدروسة من خلال عملية ضبط وإحكام fitting منحنى الرشح العمودي المُعطى بنموذج Philip (المعادلة 1) مع منحنى الرشح المقاس تجريبياً لكل عينة. حيث تسمح عملية الضبط والإحكام بتحديد قيمة الامتصاصية S انطلاقاً من عملية إحكام منحنى الرشح المُعْطى من قبل النموذج مع منحنى الرشح المقاس تجريبياً وتترافق عملية الإحكام مع أقل خطأ RMSE ممكن. حيث RMSE (Root Mean Square Error) هو جذر متوسط مربع الخطأ الناتج بين القيم المحسوبة والقيم المقاسة لمعدل الرشح.

ولتقدير القدرة الامتصاصية للتربة حسب هذه الطريقة لا بدّ أولاً من تحديد قيمة الناقيلة المائية المشبعة k_s للتربة. حيث سيتم استخدام قيم هذه الناقلية من أجل تحديد قيمة الامتصاصية S بشكل أكثر دقة عند استخدام عملية الضبط والإحكام لنموذج Philip.

5– قياس الناقيلة المائية المشبعة للتربة (k_s):

تمّ قياس الناقيلة المائية المشبعة للتربة (k_s) بإستخدام طريقة الضاغط المائي الثابت constant head method وهي طريقة مباشرة لقياس k_s (Klute و Drikson، 1986). أُستخدم في القياس اسطوانات مصنوعة من مادة الـ PVC طولها 5 سم وقطرها 6.8 سم. عند تنفيذ هذه التجربة تمّ الحفاظ على نفس الشروط المخبرية المتبعة عند قياس معدل الرشح من حيث المحافظة على قيمة ثابتة للكثافة الظاهرية للتربة وهي (1.18 غرام/سم^3).

حيث مُلئت الاسطوانة بكمية من التربة المعاملة بالسماد العضوي وزنها 225 غرام (تربة جافة هوائياً) وهي كمية ثابتة لكل المعاملات ثم خضعت التربة لضغط مقداره 360 غرام/سم^2 على السطح التربة باستخدام وزن ثابت يبلغ 30 كغ أجل المحافظة على تماثل الشروط التجريبية لكل المعاملات.

وحسب هذه الطريقة أُشبعت أولاً اسطوانة التربة من الأسفل بوضعها مدة 48 ساعة في حوض مائي يبلغ ارتفاع عمود الماء فيه حوالي 1 سم، ثم وُضعت اسطوانة التربة بعد ذلك على جهاز قياس الناقيلة المائية المشبعة. وتم قياسk_s في حالة الجريان المائي المستقر Steady state، وترافق ذلك مع قياس درجة حرارة الماء المستخدم في القياس قبل تطبيق الضاغط المائي من أجل تصحيح قيمة k_s الناتجة. ثم أُستخدمت المعادلة التالية لحساب k_s وهي إحدى أشكال تطبيقات معادلة دارسي في التربة المشبعة (Bardhan وزملاؤه، 2007):

$$K_s = \frac{Q \times L}{A \times t \times \Delta H} \qquad (4)$$

حيث Q هو حجم الماء الخارج من اسطوانة التربة (سم^3)، L هو طول الاسطوانة (5سم)، A هي مساحة مقطع الاسطوانة (36.32سم^2)، ΔH هو فرق الضاغط المائي المطّبق (سم)، وt هو الزمن (دقيقة). وتمّ قياس k_s للتربة بمعدل ثلاثة مكررات لكل عينة وباستخدام نفس المصدر المائي المستخدم في قياس معدل الرشح.

6– قياس حجم الماء المصروف من التربة:

يهدف قياس حجم الماء المصروف من عينة التربة إلى تحديد تأثير كمية السماد العضوي المضاف في قدرة التربة على احتفاظها بالماء من جهة، وإلى تحديد تأثير السماد العضوي في حجم مسام التربة الكبيرة غير الشعرية (مسام الصرف) من جهة أخرى. حيث يمكن اعتبار أنّ حجم الماء الراشح المصروف من التربة بعد انتهاء عملية الرشح العامودي يساوي حجم مسام الصرف (Hillel، 1980).

تمّ قياس حجم الماء المصروف من التربة على النحو التالي:

بعد نهاية عملية الرشح لكل عينة من عينات التربة المدروسة (أي بعد انقضاء 150 دقيقة من عملية الرشح) تمّ إغلاق مصدر الماء الداخل للعينة. ثم جُمعت كمية الماء الراشحة من عينة التربة وذلك بعد إختفاء عمود الماء (ارتفاعه 1 سم) من سطح التربة، واستمرت عملية جمع الراشح ساعة واحدة.

7- حساب الخطأ RMSE (Root Mean Square Error):

من أجل تحديد القيمة الدقيقة لقدرة التربة الامتصاصية باستخدام معادلة Philip تمّ حساب قيمة الخطأ RMSE (قيمة جذر متوسط مربع الخطأ) الذي يعطى بالعلاقة التالية (Poulsen وزملاؤه, 2002):

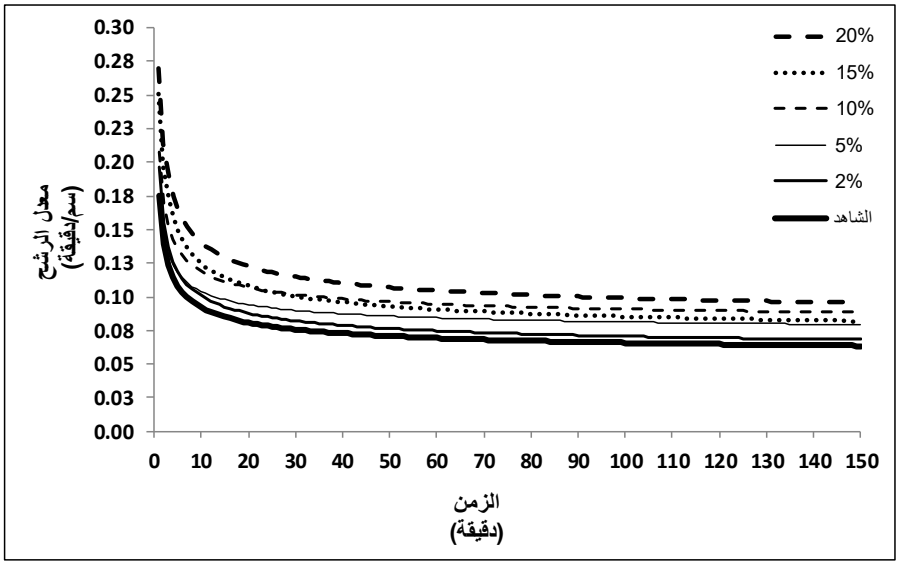
$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(\bar{I} - I)^2}{N}} \qquad (5)$$

حيث يمثل I معدل الرشح المقاس تجريبياً في المخبر، و $\bar{I}$ معدل الرشح المحسوب من قبل نموذج Philip، ويمثل N عدد قيم I المقاسة لكل عينة تربة.

النتائج والمناقشة:

1- تأثير السماد البلدي وسماد الفيرمي كمبوست في معدل الرشح:

من أجل توضيح تأثير نوعي السماد العضوي (السماد البلدي وسماد الفيرمي كمبوست) في قابلية التربة لامتصاص الماء نبيّن أولاً تأثيرها في معدل الرشح وشكل منحنى الرشح العامودي وخاصةً خلال الفترة الأولى من عملية الرشح. حيث يبين الشكلين (2) و(3) منحنيات الرشح العمودي لكل من عينات التربة المدروسة المعاملة بالسماد البلدي وسماد الفيرمي كومبوست على التوالي بالإضافة إلى عينة الشاهد.

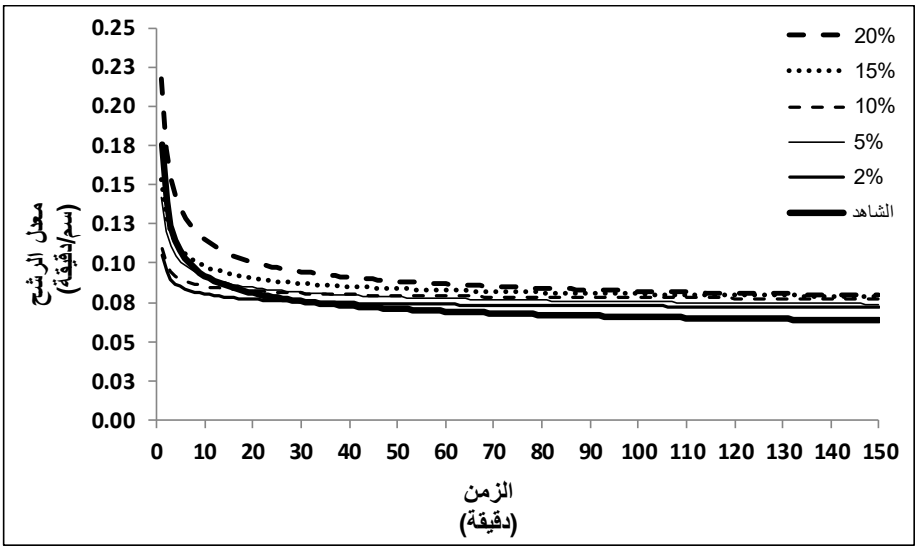


الشكل (2): منحنيات الرشح لعينات التربة المعاملة بالسماد البلدي

يمثل كل منحنى متوسط معدلات الرشح لثلاثة مكررات للعينة الواحدة. يُلاحظ أولاً من الشكل (2) أن جميع معدلات الرشح لعينات التربة المدروسة تنخفض مع الزمن، وهذا الانخفاض يكون في البداية حاد خلال الفترة الأولى ثم يتدرج مع الزمن حتى تصل معدلات الرشح إلى قيم ثابتة (steady infiltration rate) ضمن ظروف التجربة ثم يتبعها حالة جريان مستقر steady state،

وهذا الشكل يتوافق بشكل كامل مع نموذج Philip. ولكن يُلاحظ أنّ معدل الرشح عند زمن معين يزداد مع ازدياد كمية السماد العضوي المضاف للتربة وهذه نتيجة متوَقعة ناتجة عن دور المادة العضوية التي تعمل على زيادة مسامية التربة (Marshall،1988). وتزداد مسامية التربة من خلال زيادة عدد كل من المسام الصغيرة micropores والمسام الكبيرة macropores وذلك إمّا عن طريق إلتحام حبيبات التربة معاً وتشكيل تجمعات حبيبية أو عن طريق خلق ظروف مناسبة مشجعة لنمو الاحياء الدقيقة في التربة مما يحسن من تهوية التربة (Li وزملاؤه، 2018). وتقود زيادة مسامية التربة إلى انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة (Kranz وزملاؤه، 2020).

ومن ناحية أخرى، يختلف شكل منحنيات الرشح عن بعضها البعض وبشكل خاص خلال الفترة الأولى من عملية الرشح. ولكي نبين بشكل واضح هذا الاختلاف سوف نقارن بين عينة الشاهد من جهة والعينتين (5% و20%) من جهة أخرى من الشكل (2). بالمقارنة مع عينة الشاهد، يُلاحظ أنّ شكل منحنى الرشح للعينة 5% خلال الفترة الأولى من الرشح يتميز بإنحناء أكثر امتداداً خلال الزمن قبل أن يصل لقيمة ثابتة أو قريبة من الاستقرار، وكذلك الأمر بالنسبة للعينة 20% التي تبدي الانحناءً الأكثر امتداداً مع الزمن مقارنة بالعينة 5% وبالشاهد أيضاً. إنّ شكل انحناء وامتداد منحنى الرشح خلال هذه المرحلة يعكس عملياً مدى قدرة التربة على امتصاص الماء (S) أو التشرّب عن طريق الخاصة الشعرية عندما تكون التربة جافة، حيث كلما زاد امتداد المنحنى عبر الزمن قبل الوصول لمرحلة الاستقرار كلما زادت امتصاصية التربة. وهذا الاختلاف جاء كنتيجة لتأثير المادة العضوية التي تعمل على تغيير نسب مسام التربة.



الشكل (3): منحنيات الرشح لعينات التربة المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست

وكذلك الأمر بالنسبة إلى تأثير سماد الفيرمي كومبوست، حيث يُلاحظ من الشكل (3) الذي يبيّن منحنيات الرشح لعينات التربة المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست نفس التأثير الذي يبديه السماد البلدي. حيث تنخفض معدلات الرشح لعينات التربة المدروسة مع الزمن مع وجود اختلافات في شكل منحنى الرشح خلال الفترة الأولى من عملية الرشح.

يرتبط معدل الرشح العامودي على خلاف الرشح الأفقي بشكل أساسي بقيمة الناقلية المائية للتربة وبشكل أقل بالقدرة الامتصاصية للتربة التي تصف فقط سلوك الماء خلال الفترة الأولى من عملية الرشح تحت تأثير القوى الشعرية عندما تكون التربة جافة، في حين أنّ حركة الماء تخضع بشكل كامل خلال الرشح العامودي لقوى الجاذبية ومقدار الناقلية المائية للتربة (Hillel، 1998).

2- تأثير السماد البلدي وسماد الفيرمي كمبوست في القدرة الامتصاصية للتربة (S):

تّم في هذا البحث تقدير القدرة الامتصاصية (S) لعينات التربة باستخدام عملية ضبط وإحكام نموذج Philip مع القيم التجريبية الناتجة. تُعّبر القدرة الامتصاصية للتربة عن قدرة تلك التربة على امتصاص أو تشرّب الماء عن طريق الخاصة الشعرية خلال الزمن خلال عملية الرشح الأفقي، حيث تكون القوى الشعرية في التربة هي المسيطرة كلياً على حركة الماء في التربة الجافة (Hillel، 1998). ولكن في حالة الرشح العامودي، تصبح القوى الشعرية أقل أهمية وتكون قوى الجاذبية الأرضية هي المؤثرة على حركة الماء، وعندها تقتصر القدرة الامتصاصية للتربة فقط على الفترة الأولى من عملية الرشح العمودي قبل أن تصل التربة إلى مرحلة معدل الرشح الثابت (steady infiltration rate) وعندما تصبح التربة مشبعة عندها تنعدم القدرة الامتصاصية وتأخذ القيمة (S =0). إنّ القدرة الامتصاصية للتربة تصف فقط سلوك الماء في التربة خلال المرحلة الأولى من عملية الرشح عندما تكون التربة جافة، وتقل أهمية تلك الخاصة مع تقدم عملية الرشح لتخضع حركة الماء عندها لتأثير الناقلية المائية للتربة التي تصبح بشكل أساسي المسوؤلة عن مقدار انتقال الماء في التربة.

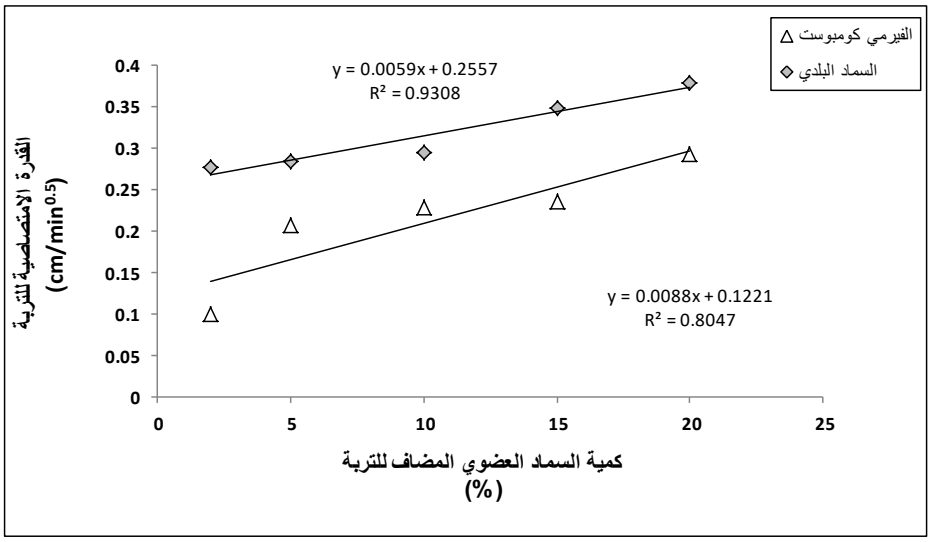
يمثل الجدول (2) متوسط قيم القدرة الامتصاصية (± الإنحراف المعياري) لعينات التربة المدروسة المعاملة بكل من السماد العضوي وسماد الفيرمي كومبوست.

الجدول (2): متوسط قيم القدرة الامتصاصية (± الإنحراف المعياري) للترب المدروسة المعاملة بكل من السماد العضوي وسماد الفيرمي كومبوست بالإضافة لعينة الشاهد

العينة	كمية السماد المضافة للتربة	القدرة الامتصاصية للتربة S ($cm/min^{0.5}$)	
	%	السماد البلدي	سماد الفيرمي كومبوست
1	2	0.272 ±0.004	0.099 ±0.003
2	5	0.289 ±0.005	0.207 ±0.006
3	10	0.307 ±0.009	0.228 ±0.005
4	15	0.346 ±0.005	0.237 ±0.007
5	20	0.392 ±0.013	0.294 ±0.011
الشاهد		0.221 ± 0.008	

يُلاحظ من هذا الجدول أنّ القدرة الامتصاصية لعينات التربة المعاملة بالسماد البلدي أكبر من تلك التي تبديها عينة الشاهد غير المعاملة بأي سماد ($0.221\ cm/min^{0.5}$)، بينما في عينات التربة المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست، فقط العينات الثلاثة الأخيرة (العينات 3، 4، 5) كانت قدرتها الامتصاصية أعلى من عينة الشاهد.

في حين أنّ العينتان الأولى والثانية التي أضيف لهما 2 و5% من الفيرمي كومبوست على التوالي أبدت قدرة امتصاصية أقل من الشاهد، قد يعود السبب في ذلك إلى طبيعة الفيرمي كومبوست كمخرجات الدود وهي جزيئات عضوية حجمومها أقل من 2 ميكرون، مغلّفة بمواد ذات طبيعة مخاطية قابلة للإندماج والتشكّل على عكس السماد البلدي ذات البنية الحبيبية (Sudhakar وزملاؤه، 2002). يمكن القول أنّ إضافة السماد العضوي للتربة يعمل على زيادة قدرتها الامتصاصية، أي زيادة قدرة التربة على امتصاص ونقل الماء عن طريق الخاصة الشعرية. وذلك بسبب أنّ المادة العضوية تعمل على زيادة مسامية التربة. ولكي نقارن بشكل أوضح بين تأثير نوعي السماد في القدرة الامتصاصية للتربة تمّ في الشكل (4) توقيع قيم تلك الأخيرة (S) تبعاً لكمية السماد المضاف.



الشكل (4): مقارنة بين القدرة الامتصاصية لعينات التربة المعاملة بالسماد البلدي وتلك المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست تبعاً لكمية السماد البلدي المضاف للتربة

يشير الشكل (4) إلى وجود علاقة ارتباط خطية موجبة، قوية (R=0.96، R=0.89) عند مستوى معنوية 5% بين القدرة الامتصاصية للتربة وكمية السماد العضوي البلدي والفيرمي كومبوست على التوالي. يُلاحظ من الشكل أنّ القدرة الامتصاصية للتربة تزداد مع زيادة كمية السماد العضوي المضاف من كلا النوعين ولكن، أبدت الترب المعاملة بالسماد البلدي قدرة امتصاصية للماء أعلى من الترب المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست. يمكن تفسير ذلك من خلال أنّ السماد البلدي يعمل على زيادة مسامية التربة بشكل أكبر من سماد الفيرمي كومبوست.

من ناحية أخرى، خلال انتقال الماء في التربة الجافة خلال الرشح العامودي، يكون دور مسام التربة الكبيرة غير الشعرية non-capillary (أي مسام الصرف) أكثر أهمية من دور مسام التربة الصغيرة لأنّ المسام الكبيرة غير الشعرية تُمتلىء بالماء وتُشبع قبل المسام الصغيرة مما يشجع أكثر على إنتقال الماء ضمن التربة (Chen وWagenet، 1992)، وقد يشير هذا ضمناً أن نسبة مسام التربة الكبيرة غير الشعرية في التربة المعاملة بالسماد البلدي أكبر منها في تلك الترب المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست. كما وجد Amer (2011) أنّ القدرة الامتصاصية للتربة خلال الرشح العامودي في مرحلة الجريان الثابت تزداد مع زيادة نسبة الرمل في التربة، حيث يرتبطان معاً بعلاقة ايجابية قوية (R=0.96)، ويدل هذا أنّ القدرة الامتصاصية للتربة في حالة الرشح العامودي ترتبط إيجاباً بنسبة مسام التربة الكبيرة غير الشعرية.

3- العلاقة بين القدرة الامتصاصية (S) والناقلية المائية المشبعة (k_s) في الترب المدروسة:

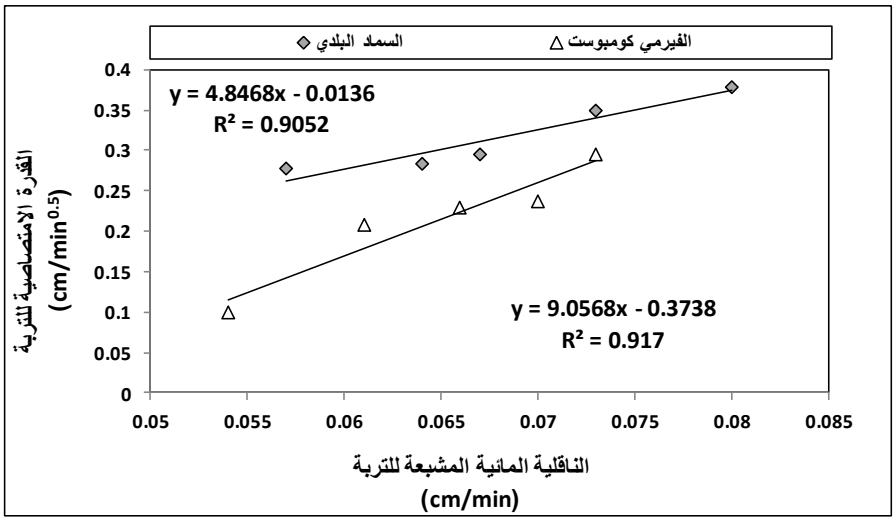
يبين الجدول (3) متوسط قيم الناقلية المائية المشبعة (± الإنحراف المعياري) المقاسة لعينات التربة المدروسة المعاملة بكل من السماد البلدي وسماد الفيرمي كومبوست بالإضافة لعينة الشاهد.

الجدول (3) متوسط الناقلية المائية المشبعة (± الإنحراف المعياري) لعينات التربة المدروسة المعاملة بكل من السماد البلدي وسماد الفيرمي كومبوست وعينة الشاهد

العينة	كمية السماد المضافة للتربة	الناقلية المائية المشبعة للتربة Ks (cm/min)	
	%	السماد البلدي	سماد الفيرمي كومبوست
1	2	0.057 ±0.002	0.054 ±0.001
2	5	0.064 ±0.004	0.061 ±0.002
3	10	0.067 ±0.001	0.066 ±0.001
4	15	0.073 ±0.002	0.070 ±0.002
5	20	0.080 ±0.002	0.073 ±0.002
الشاهد		0.052 ±0.001	

يبين الجدول السابق أنّ الناقلية المائية المشبعة للتربة تزداد مع زيادة كمية السماد العضوي المضاف للتربة لكلا النوعين من السماد وكانت جميعها أعلى من عينة الشاهد ($0.052\ cm/min^{0.5}$). ولكن، قيم k_s للترب المعاملة بالسماد البلدي كانت أعلى من مثيلتها في الترب المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست. حيث وُجدَ أن k_s في الترب المعاملة بالسماد البلدي تزداد من $0.057\ cm/min^{0.5}$ في العينة الأولى (التي أضيف لها 2% سماد بلدي) إلى $0.08\ cm/min^{0.5}$ في العينة الخامسة (التي أضيف لها 20% سماد بلدي). بينما وُجد أن k_s في الترب المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست قد ازدادت من 0.054 في العينة الأولى إلى $0.073\ cm/min^{0.5}$ في العينة الخامسة. يعود سبب ارتفاع الناقلية المائية المشبعة للتربة مع ازدياد كمية المادة العضوية المضافة بشكل أساسي إلى تأثير المادة العضوية التي تعمل على زيادة مسامية التربة وبالتالي انخفاض كثافتها الظاهرية مما يسهل انتقال الماء ضمن التربة. قد يعود سبب ارتفاع قيم k_s للترب المعاملة بالسماد البلدي بالمقارنة مع مثيلتها في الترب المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست إلى السماد البلدي يعمل على زيادة نسبة المسام الكبيرة غير الشعرية (المسؤولة عن نقل الماء) في التربة أكثر من المسام الصغيرة. حيث بيّن Amer (2012) أهمية المسام غير الشعرية (أي مسام الصرف) في انتقال الماء خلال عملية الرشح العامودي حيث وجد أنّ الناقلية المائية للتربة عبر المسام غير الشعرية تكون أكبر من الناقلية المائية التي تحدث عبر المسام الشعرية في التربة.

ولكي ندرس العلاقة المباشرة بين القدرة الامتصاصية والناقلية المائية المشبعة لعينات التربة المدروسة، تمّ توقيع قيم كل منهما في الشكل (5).



الشكل (5) العلاقة بين القدرة الامتصاصية والناقلية المائية المشبعة للترب المدروسة المعاملة بكل من السماد البلدي وسماد الفيرمي كومبوست

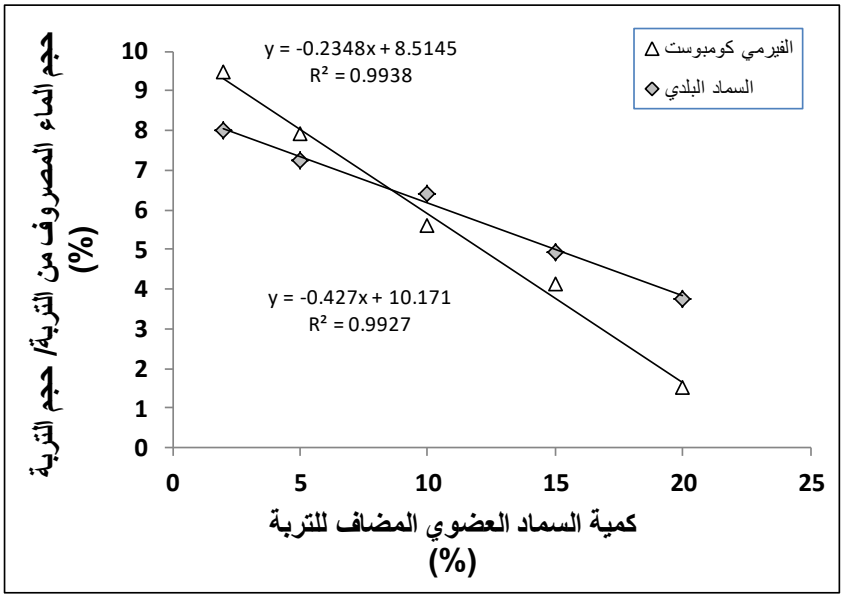
يُلاحظ من الشكل السابق (5) وجود علاقة ارتباط خطية موجبة، قوية (R=0.95، R = 0.96)، ومعنوية عند مستوى معنوية (p= 0.05) بين القدرة الامتصاصية للتربة المدروسة وناقليتها المائية المشبعة في كل من التربة المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست والسماد البلدي على الترتيب. وتتوافق هذه النتيجة مع تلك التي حصل عليها Amer (2011) حيث بيّن في دراسته وجود علاقة ارتباط موجبة قوية (R= 0.84) بين S وK_s خلال دراسته لعملية الرشح العامودي في حالة الجريان المستقر في التربة الطينية.

تشير هذه النتائج إلى أنّه في حالة الرشح العامودي للماء في التربة ليس فقط الناقلية المائية المشبعة ترتبط بنسبة المسام الكبيرة غير الشعرية في التربة كما وجد Amer (2012)، وإنّما أيضاً القدرة الامتصاصية للتربة.

4- تأثير السماد البلدي وسماد الفيرمي كمبوست في حجم الماء المصروف من التربة:

يمكن من خلال قياس حجم الماء المصروف من التربة في نهاية عملية الرشح دراسة تأثير إضافة السماد العضوي في تحديد مدى سعة التربة وقدرتها على الاحتفاظ بالماء. بالإضافة إلى ذلك، يمكن من خلال معرفة حجم الماء الذي يصرف من التربة معرفة مدى تأثير المادة العضوية في مسام التربة، حيث ينعكس هذا التأثير عملياً على سلوك الماء خلال انتقاله في التربة. حيث أنّ الصرف العمودي للماء بفعل قوى الجاذبية gravitational forces يحدث عبر مسام التربة غير الشعرية الكبيرة (بمسام الصرف)، ولكن توزع الماء ضمن الوسط وحركته الصاعدة، وكذلك الاحتفاظ بالماء تتم عبر مسام التربة الشعرية (Marshall، 1988).

من أجل توضيح هذا التأثير تمّ أولاً حساب النسبة بين حجم الماء المصروف من التربة إلى حجم عينة التربة معبراً عنها كنسبة مئوية ثم تمّ توقيع هذه النسب تبعاً لكمية السماد العضوي المضاف من كلا النوعين (السماد البلدي وسماد الفيرمي كومبوست) في الشكل (6). يُلاحظ من هذا الشكل وجود علاقة ارتباط خطية سالبة، قوية جداً (R=0.99)، ومعنوية عند مستوى معنوية 5%.



الشكل (6): تغير النسبة المئوية لحجم الماء المصروف من التربة إلى حجم التربة تبعاً لكمية السماد البلدي المضاف من السماد البلدي وسماد الفيرمي كومبوست

يُلاحظ هذا الشكل أنّ النسبة (حجم الماء المصروف من التربة/ حجم التربة) تنخفض مع زيادة كمية السماد العضوي المضاف للتربة من كلا النوعين. أي بمعنى أخرى، يشير هذا إلى أنّ كمية الماء التي تحتفظ بها التربة تزداد مع زيادة كمية السماد العضوي في التربة. حيث من المعروف أنّ السماد العضوي يزيد من سعة احتفاظ التربة بالماء (Crogger، 2005؛ Logsdon وزملاؤه،

2017)، حيث أنّ كل 1% من المادة العضوية يتم إضافتها للتربة يزيد سعة احتفاظ التربة بالماء بمقدار 3.7% (Hudson، 1994)، ويعود ذلك إلى أنّ المادة العضوية تعمل على زيادة مسامية التربة (Li وزملاؤه، 2018).

يمكن تفسير تأثير المادة العضوية في انخفاض كمية الماء المصروفة من التربة من خلال أمرين: (i) القدرة العالية للمادة العضوية على الاحتفاظ بالماء، حيث يمكن للمادة العضوية أن تحتفظ بالماء حتى 20 ضعف من وزنها (Reicosky، 2005). وبالتالي كلما زادت كمية المادة العضوية المضافة للتربة زادت كمية الماء المحتجزة بالتربة وانخفضت كمية الماء المصروفة. (ii) بما أنّ حجم الماء المصروف من التربة يرتبط بشكل مباشر بحجم المسام الكبيرة غير الشعرية أي مسام الصرف، فقد تعمل المادة العضوية من خلال زيادة المسامية على زيادة عدد المسام الصغيرة الأكثر قدرة على حجز الماء والذي يُعرف باسم الماء الشعري capillary water على حساب عدد مسام الصرف. فالماء الشعري تحتفظ به التربة تحت تأثير القوى الشعرية طالما أنّ خواص التوتر السطحي (أي عمليتي الالتصاق adhesion والتماسك cohesion) لمسام التربة الصغيرة أكثر قوة من تأثير قوى الجاذبية gravitational forces (Marshall، 1988).

ومن ناحية أخرى، بالرغم من وجود تشابه في المنحى العام لتأثير كلا النوعين من الأسمدة في كمية الماء المصروفة من التربة، إلاّ إنّه لُوحظ وجود اختلاف في حجم تأثيرهما. حيث وُجِد أنّ حجم الماء المصروف من التربة المعاملة بالسماد البلدي أكبر مما هو عليه في الترب المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست عندما تتجاوز كمية السماد المضاف 10% من كلا النوعين. أي أنّ زيادة كمية سماد الفيرمي كومبوست في التربة يؤدي إلى زيادة قدرة التربة على احتفاظها بالماء أكثر من السماد البلدي. أي بمعنى آخر، يؤدي زيادة كمية سماد الفيرمي كومبوست إلى زيادة مسامية التربة من خلال زيادة عدد مسام التربة الصغيرة.

ولكن، بما أنّ زيادة كمية السماد العضوي المضاف للتربة قد أدّت إلى ارتفاع قيمة ناقليتها المائية المشبعة k_s كما يبيّن الجدول (3)، وبما أنّ أيضاً ks للترب المعاملة بالفيرمي كومبوست أقل من تلك المعاملة بالسماد البلدي فيمكن القول أنّ سماد الفيرمي كومبوست يزيد عدد المسام الصغيرة على حساب المسام الكبيرة (مسام الصرف).

الاستنتاجات:

سمحت هذه الدراسة المخبرية بمقارنة تأثير نوعين من الأسمدة العضوية (السماد البلدي وسماد الفيرمي كمبوست) في اثنتين من خصائص التربة الهيدروديناميكية وهما قابلية التربة لامتصاص الماء (S) والناقلية المائية المشبعة (K_s). بينت نتائج هذه الدراسة وجود فروقات هامة في تأثير هاذين التوعين من الأسمدة العضوية في كل من قابلية التربة لامتصاصها للماء وناقليتها المائية المشبعة. حيث أظهرت النتائج زيادة قابلية التربة لامتصاص الماء مع زيادة كمية السماد العضوي المضاف للتربة من كلا النوعين، ولكن كانت قيمة قابلية الامتصاص وكذلك الناقلية المائية المشبعة في الترب المعاملة بالسماد البلدي أعلى من مثيلتها في الترب المعاملة بسماد الفيرمي كومبوست. يمكن أن يُعزى ذلك إلى أنّ السماد البلدي يعمل على زيادة مسامية التربة بشكل أكبر من سماد الفيرمي كومبوست. كما يمكن أن يعمل السماد البلدي على زيادة عدد المسام الكبيرة غير الشعرية (مسام الصرف) في التربة بشكل أكبر على حساب المسام الصغيرة. وقد يشير هذا أيضاً إلى أنّه في حالة الرشح العامودي للماء في التربة ليس فقط الناقلية المائية المشبعة ترتبط بنسبة مسام الصرف وإنّما ايضاً القدرة الامتصاصية للتربة.

كما بينت النتائج أنّ سماد الفيرمي كومبوست أكثر قدرة من السماد البلدي على الاحتفاظ بالماء. وقد يرجع ذلك إلى أنّ سماد الفيرمي كومبوست يزيد من مسامية التربة من خلال زيادة عدد مسام التربة الصغيرة على حساب مسام الصرف.

التمويل:

هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل:(501100020595).

المراجع:

References:

1. Agassi, M., Hadas, A., Benyamini, Y., Levy, G.J., Kautsky, L., Avrahamov, L., Zhevelev, H. (1998). Mulching effects of composted MSW on water percolation and compost degradation rate. Compost Sci. Util. 6, 34–41.
2. Amer AM. (2011). Effects of water infiltration and storage in cultivated soils on surface irrigation. Agr Water Manage. 98(5):815–822.
3. Amer AM. (2012). Water flow and conductivity into capillary and non-capillary pores of soils. Journal of Soil Sciences and Pant Nutrition. 17(1):99–112.
4. Arancon N, Q, Edwards C,I Bierman, P. (2006). Influence of vermicomposts on field strawberries: Effects on soil microbiological and chemical properties. Bioresour, Technol., 97: 831-840.
5. Atiyeh RM, Lee S, Edwards CA, Arancon NQ and Metzger JD. (2002). The influence of humic acids derived from earthworms- processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology 84: 7-14.
6. Baldock, J.A. And Nelson , P.N. (1999). Soil organic matter . In ‘ Handbook of soil science
7. Bardhan. G., Chaudhari. S.K and Mohapatra. P.K. (2007). Effect of Irrigation Water Quality on Saturated Hydraulic Conductivity of Typic Haplustert,
8. Vertic Haplustept, and Lithic Ustorthent Soils. J. Agric. Physics. 7: 38-46.
9. Cannavo, P., Vidal-Beaudet, L., Grosbellet, C. (2014). Prediction of long-term sustainability of constructed urban soil: impact of high amounts of organic matter on soil physical properties and water transfer. Soil Use Manag. 30, 272–284.
10. Chen C, Wagenet RJ. (1992). Simulation of water and chemicals in macropore soils. Part 1. Representation of the equivalent macropore influence and its effect on soil water flow. J Hydrol. 130:105–126.
11. Chossat. J. Claude. (2005). La mesure de la conductivité hydrique dans le sol. P: 460-466. Lavoisier. ISBN: 2-7430-0653-6.
12. Crogger, C.G. (2005). Potential compost benefits for restoration of soils disturbed by urban development. Compost Sci. Util. 13, 243–251. experiment. Soil Sciences. 84: 163-178.
13. Das, P.K. Jena, M.K. and Sahoo, K.C. (2002). Effect of integrated application of vermicompost and chemical fertilizer on growth and yield of paddy in red soil of south eastern Ghat Zone of Orissa. Environ, Ecol., 20: 13-15.
14. Gee, G.W., and J.W. Bauder. (1986). Particle-size analyses. p. 384–423.
15. Hartia, S., Molina., J and Te., G. (2001). Production des composés indoliques rhizogénes par le ver de terre Lumbricus terrestris. Can J Zool-Rev Can Zool 79, 1921-1932.
16. Herrick. J.E, W.G. Whitford, A.G. de Soyza, J.W. Van Zee. (2001). Field soil aggregates stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. Catena 44: 27-35.
17. Hillel, D. (1980). Application of Soil Physics. Academic press, Inc. New York, 5-21.
18. Hillel, D. (1998). Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations. Academic Press, Oval Road, London, UK, 775.
19. Hudson, B.D. (1994). Soil organic matter and available water capacity. J. Soil Wat. Con., 49(2): 189-194.
20. Jedidi N, Hassen A, Van Cleemput O and M’Hiri A. (2004). Microbial biomass in a soil amended with different types of organic wastes. Waste Manag Res 22: 93–99.
21. Kranz. C. N., Richard A. McLaughlin, Amy. J, Grady. M., Joshua L. Heitman. (2020). The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review. Journal of Environmental Management 261 110209.
22. Klute, A. and Dirkson C. (1986). Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory
23. Methods. In Methods of Soil Analysis; Klute, A. Ed., Part 1 Agronomy Society of America: Madison, WI, 687-732.
24. Li, Y., Hu, S., Chen, J., Muller, K., li, y., Fu, W., et al. (2018). Effects of biochar application in forest ecosystems on soil properties and greenhouse gas emissions: a review. J. Soils Sediment. 18, 546-563.

25. Liu, X., S.J. Herbert, A.M. Hashemi, X. Zhang, and G. Ding. (2006). Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation–A review. Plant Soil Environ. 52:531–543.
26. Logsdon, S.D., Sauer, P.A., Shipitalo, M.J. (2017). Compost improves urban soil and water quality. J. Water Resour. Protect. 9, 345–357.
27. Mahewarappa HP, Nanjappa HV and Hegde MR. (1999). Influence of organic manures on yield of arrowroot, soil physico-chemical and biological properties when grown as intercrop in coconut garden. Annals of Agricultural Research. 20: 318-323.
28. Marshall. T. J and Holmes. J. W (1988) Soil Physics, 2nd edn. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
29. Mohammadshirazi, F., McLaughlin, R.A., Heitman, J.L., Brown, V.K. (2017). A multi-year study of tillage and amendment effects on compacted soils. J. Environ. Manag. 203, 533–541.
30. Moradi. M., Mohammad. F, Alireza. S, Mohammad. A, Mohsen. N, Shila. A, and Khashayar. R. (2014). Effect of vermicompost on plant growth and its relationship with soil properties. International Journal of Farming and Allied Sciences. IJFAS -3-3/333-338. ISSN 2322-4134
31. Moret. D, Latorre, B. (2016). Estimate of the soil water retention curve from the sorptivity and parameter calculated from an upward infiltration experiment. J. Hydrol. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.035.
32. Odlare M, Pell M and Svensson K. (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. Waste Manag. 28: 1246-1253.
33. Pansu, M. (2006). Handbook of soil analysis. Chapter 10. P: 327-367.
34. Parlange, Marc B; Hopmans, J. W.(1999). Vadose Zone Hydrology: Cutting Across Disciplines. Oxford University Press.
35. Philip JR. (1957). The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. Soil Sci. 83:345–357.
36. Pitt, R., Lantrip, J., Harrison, R., Henry, C.L., Xue, D. (1999). Infiltration through Disturbed Urban Soils and Compost-Amended Soil Effects on Runoff Quality and Quantity. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
37. Poulsen, TG., Moldrup, P., Iversen, BV., and Jacobsen, OH. 2002. Three-region
38. Campbell model for unsaturated hydraulic conductivity in undisturbed soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 744-752.
39. Reicosky, D.C. (2005). Alternatives to mitigate the greenhouse effect: emission control by carbon sequestration. In: Simpósio sobre Plantio direto e Meio ambiente; Seqüestro de carbono e qualidade da agua, pp. 20-28. Anais. Foz do Iguaçu, 18-20 de Maio.
40. Schmid, C.J., Murphy, J.A., Murphy, S. (2017). Effect of tillage and compost amendment on turfgrass establishment on a compacted sandy loam. J. Soil Water Conserv. 72, 55–64.
41. Schwartz, S.S., Smith, B. (2016). Restoring hydrologic function in urban landscapes with suburban subsoiling. J. Hydrol. 543, 770–781.
42. Shen Q.R and Shen ZG. (2001). Effects of pig manure and wheat straw on growth of mung bean seedlings grown in aluminium toxicity soil. Biores Tech 76: 235-240.
43. Sudhakar. G., A. Christopher. L., A. Rangasamy, P. Subbian and A. Velayutham. (2002). Effect of vermicompost application on the soil properties, nutrient availability, uptake and yield of rice. A review. Agric. Rev.. 23 (2): 127 – 133.
44. Weindorf, D.C., Zartman, R.E., Allen, B.L. (2006). Effect of compost on soil properties in Dallas, Texas. Compost Sci. Util. 14, 59–67.
45. Wells A, Chan K and Cornish P. (2000). Comparison of conventional and alternative vegetable farming systems on the properties of a yellow earth in New South Wales. Agric Ecosyst Environ 80: 47-60.
46. William, A. J. (1991). Soil Physics. (Book) fifth edition. Chapter 1. P: 1-32.
47. Zink TA and Allen MF. (1998). The effects of organic amendments on the restoration of a disturbed coastal sage scrub habitat. Restor. Ecol. 6: 52-58.