

تأثير إضافة مستويات مختلفة من الفحم الحيوي (Biochar) في بعض خصائص التربة الفيزيائية.

أ.د. علي زيدان²

م. علي محمد حيدر¹

الملخص

نفذ هذا البحث في مختبر خصوبة التربة وتغذية النبات في كلية الزراعة بجامعة تشرين، حيث تضمن اختبار 4 معاملات مكونة من إضافة 4 مستويات من الفحم الحيوي المصنع من بقايا عصر الزيتون (B_0, B_1, B_2, B_4) للتربة المدروسة، بالنسب الوزنية التالية (0, 1, 2, 4%).

تم قياس الكثافة الظاهرية والسعة الحقلية والمسامية الكلية لهذه التربة بعد خلطها بالفحم الحيوي بالنسب الوزنية المذكورة، كما تم قياس النفاذية المائية للتربة في حالة الإشباع المائي خلال أربع فترات زمنية متدرجة (1, 15, 30, 60 دقيقة)، لجميع الخلطات الترابية وحسبت النفاذية المائية (سماد)، وفق قانون دارسي (Darcy's Law).

بينت النتائج وجود علاقة عكسية بين مستوى الفحم الحيوي في التربة، وكثافتها الظاهرية حيث ساهم في خفض قيمتها بشكل معنوي لكافة مستويات الإضافة وفق (5% LSD)، وعلى شكل علاقة خطية قوية من الدرجة الأولى، ذات تناسب عكسي ($R^2=0.997$)، في حين كانت العلاقة مع مساميتها وسعتها الحقلية طردية سجلت تغيرات معنوية بالمقارنة مع بعضها البعض ومع الشاهد. حيث ارتفعت المسامية من (43.68%) في الشاهد (B_0) إلى (47.83%)، في المستوى الأعلى للفحم الحيوي (B_4). وانسجماً مع تغيرات مسامية التربة سجلت قيم السعة الحقلية أيضاً ارتفاعاً من (41.32%) في الشاهد (B_0) إلى (44.25%) في المستوى (B_4).

كما ساهم وجود الفحم الحيوي في التربة بكافة مستوياته في زيادة النفاذية المائية بشكل ملحوظ ومعنوي في كافة أزمنة القياس على مستوى ثقة (LSD 5%)، وسجلت المعاملة (B₄) تفوقاً معنوياً على جميع المعاملات مع تحقيق زيادة في نفاذية التربة للماء وصلت إلى (100%) مقارنة بالشاهد.

الكلمات المفتاحية: الفحم الحيوي، الكثافة الظاهرية، المسامية، السعة الحقلية، النفاذية المائية.

¹ طالب دكتوراه في قسم علوم التربة والمياه-كلية الزراعة-جامعة تشرين-اللاذقية.

² أستاذ في قسم علوم التربة والمياه-كلية الزراعة-جامعة تشرين-اللاذقية.

Effect of applying different levels of biochar on some physical properties of soil.

¹ Eng. Ali Muhammad Haider

² Prof. Ali Zidan

Abstract

This research was carried out in the soil fertility laboratory in faculty of agriculture in Tishreen University, where it had included testing 4 treatments consisting of applying 4 levels of biochar prepared from olive mill residues (B_0 , B_1 , B_2 , B_3) to the studied soil, with the following weight percentages (0, 1, 2 and 4%).

Soil bulk density, field capacity and the total porosity were measured after mixing the soil with the biochar in the mentioned percentages, followed by measuring the water permeability of the soil at the saturation stage during four periods of time (1, 15, 30, and 60) minutes, for all soil mixtures, then, the water permeability (cm/minute) was calculated according to Darcy's Law.

The results showed an inverse relationship between the level of biochar in the soil, and its bulk density, as it contributed to a significant decrease in its value for all levels of biochar in the soil at (LSD 5%), represented by a strong linear relationship ($R^2 = 0.997$), where the relationship between the biochar with the soil porosity and field capacity recorded a positive rank, and recorded a significant changes in-between treatments and the control. Where the porosity increased from (43.68%) in the control treatment (B_0), to (47.83%), in (B_4) treatment. Similarly, in line with the changes in soil porosity, the field capacity values increased from (41.32%) in the control (B_0) to (44.25%) in the (B_4) level of biochar.

Also, the presence of biochar in the soil at all levels recorded a notable and significant increase in soil water permeability at all measurement times at (LSD 5%), where the treatment (B_4) recorded a significant superiority over all treatments with an increase in soil water permeability that reached (100%) compared to the control.

Key words: biochar, bulk density, porosity, field capacity, soil water permeability.

¹PhD student, Soil and water science Department, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.

²Professor, Soil and Water Science Department, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- المقدمة

ازداد مؤخراً الاهتمام بالنظم الزراعية في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط، حيث الترب فقيرة بالمادة العضوية بشكل عام، مما يحد من خصوبتها، وساهم تكثيف الأنشطة الزراعية، في تسريع عمليات التدهور وفقدان الخصوبة، وبالتالي زيادة تكاليف الإنتاج لتعويض الخصوبة المتراجعة والحفاظ على إنتاجية التربة [23].

لتحسين الخواص الفيزيائية للتربة وخصوبتها، هناك حاجة لزيادة محتواها من الكربون العضوي. لهذا الغرض، أصبح الاستخدام المتكامل للأسمدة العضوية وغير العضوية ضرورة ملحة [26]، حيث يتم استخدام الأسمدة العضوية مثل الكمبوست، والمخلفات الناتجة عن تصنيع الغاز الحيوي وغيرها من مصادر المادة العضوية والتي تُعد مصدراً للكربون العضوي ولكن يؤخذ عليها عدم ثباتها في التربة بسبب معدل تحللها المرتفع جداً [22]، ومن هنا برزت الحاجة إلى استخدام محسنات التربة المقاومة للتحلل لفترة طويلة من الزمن للحفاظ على حالة الكربون العضوي في التربة.

تم استخدام الفحم الحيوي بنجاح من قبل أجيال من المزارعين الأصليين في حوض الأمازون، وأدى تراكم كميات كبيرة منه في التربة إلى زيادة جودتها الزراعية واستدامة إنتاجيتها وشكل ما يعرف بالأرض الأمازونية الداكنة (Terra Pretta) التي لا تزال ذات أهمية كبيرة في الاستخدام الزراعي [16].

يعرّف الفحم الحيوي (Biochar) بأنه منتج كربوني يتم الحصول عليه من خلال التحلل الحراري للكتلة الحيوية في ظروف معدومة أو قليلة الأكسجين عند درجات حرارة مرتفعة.

يُعد تطبيق الفحم الحيوي على التربة أمراً مهماً، ولا سيما في قضيتين مهمتين عالمياً - تغيرات المناخ والإدارة المستدامة للتربة - [5] لما له من دور في عزل و تثبيث الكربون وتحسين خصائص التربة لأنه يتكون أساساً من حلقات عطرية ثابتة من الكربون ومقاومة للتحلل الميكروبي [24]، وهو ما يعني أن لديه القدرة على البقاء في البيئة لعدة قرون [7].

إن الخاصية الرئيسية للفحم الحيوي هي هيكله المسامي، والذي يُعتقد أنه سبب قدرته على تحسين احتفاظ الماء في التربة، كما تشير خصائصه الفيزيائية أن لديه القدرة على تغيير توزيع حجم مسام التربة والاحتفاظ بالمياه وأنماط الرشح ومسارات التدفق [17].

يرى مجموعة من الباحثين [15] [14]، أن الفحم الحيوي يؤدي دوراً رئيساً في مجموعة واسعة من العمليات البيوجيوكيميائية في التربة، حيث يتمتع بشحنة سطحية سالبة عالية ومساحة سطح نوعي كبير، إضافةً إلى أنه يستطيع ادمصاص مواد عضوية على سطوح جسيماته، وخلق سطوح مؤكسدة تسمح للفحم بجذب الكاتيونات ومسكها بشكل أفضل من أشكال أخرى من المواد العضوية، وهذا يؤدي دوراً مهماً في نفاذية الماء في التربة، حيث تشكل هذه الكاتيونات جسور تربط حبيبات التربة مع بعضها مشكلة مسامات كبيرة تسمح بزيادة نفاذية الماء في التربة الطينية، ومسامات صغيرة تسمح بزيادة الاحتفاظ بالماء في التربة الرملية. ويوفر الهيكل المسامي للفحم الحيوي ومساحة سطوحه الكبيرة ملاذاً للكائنات الدقيقة المفيدة للتربة مثل الميكوريزا والبكتيريا، ويؤثر في ارتباط العناصر الغذائية كالآزوت والفوسفور [2]. كما يساهم في تحسين بناء التجمعات الترابية من خلال الارتباط بالمادة العضوية في التربة [6]، ويعزز تأثيرات منطقة الرايزوسفير وبالتالي تحسين نمو النبات [12].

أشار بعض الباحثين [27] أن الفحم الحيوي حول أقطار المسام في التربة الطينية من 0.01 إلى حدود 4 ميكرون، وبالتالي ارتبطت زيادة التوصيل الهيدروليكي في التربة الطينية بشكل طردي وإيجابي مع زيادة نسبته في التربة.

لاحظ باحثون آخرون [3] أن إضافة الفحم الحيوي قللت الموصلية الهيدروليكية المشبعة بنسبة (92%) في الرمل و (67%) في التربة العضوية، وبالمقابل زادت الموصلية بنسبة (32.8%) في التربة الغنية بالطين، وأشار الباحثون أنفسهم إلى أن الفحم الحيوي يغير طريقة حركة الماء في فراغات التربة، حيث أن جزيئاته تخلق ممرات استثنائية في التربة وبالتالي فإنه يساعد في إبطاء جريان المياه في التربة الرملية وتسريعه في التربة الطينية، فضلاً عن أنه يساهم في إبطاء حركة الرطوبة بمعدل (92%) في التربة الرملية.

تساهم مساحة السطح النوعي ومسامية جزيئات الفحم الحيوي المضاف للتربة في زيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء، حيث تتراوح مساحة السطح النوعي للتربة الرملية اللومية من (10 إلى 40 م²/غ) وللتربة السلتية اللومية من (5 إلى 150 م²/غ) وللتربة الطينية من (150 إلى 250 م²/غ) وقد تصل إلى (3000 م²/غ) في الفحم الحيوي، كذلك الفحم هو مادة مسامية يمكنه الاحتفاظ بالماء ليس فقط داخل المسام وإنما بين الجسيمات بسبب مساحة سطوح جزيئاته العالية وخاصة أن المسامات الدقيقة تمسك الماء بقوة أكبر من المسامات الكبيرة عن طريق القوى الشعرية وقوى الالتصاق، وهذا يسهم في الحد من وتيرة عمليات الري وزيادة الماء المتاح للنبات خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة، وبينت العديد من الدراسات أهمية هذا الموضوع في تعزيز عملية ارتشاح الماء من التربة [4]. حيث وجد [11]، أن معدلات ارتشاح الماء أعلى في التربة المعاملة بالفحم الحيوي والبدال من التربة غير المعاملة، وهذا ما أشار إليه [9] و [1] أيضاً، ووجدوا أن معاملة التربة بالفحم الحيوي ساهمت في انخفاض الجريان السطحي وعزوا السبب إلى زيادة نفاذية الماء عبر الطبقة السطحية للتربة والذي يجعل من الفحم الحيوي مفيداً كإجراء للحفاظ على التربة من خلال تحسين الارتشاح والتخفيف من معدل انجرافها.

2- هدف البحث:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير تطبيق الفحم الحيوي في بعض الخصائص الفيزيائية للتربة، لاسيما فيما يتعلق بقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، وقياس التغيرات في المسامية الكلية والكثافة الظاهرية والسعة الحقلية.

3- مواد وطرائق البحث:

A. المادة الأولية:

استخدم في هذه الدراسة الفحم الحيوي المحضر محليا من الكتلة الحيوية لمخلفات عصر ثمار الزيتون (العرجوم أو تمز الزيتون) كمحسن لخصائص التربة، حيث أن اضافته لها بأي نسبة، تترك أثراً تراكمياً فيها وتشكل قيمة مضافة تمتد لآلاف السنين، نظراً لمقاومته العالية للتحلل [13].

استخدمت تربة زراعية من موقع خربة التين في محطة بحوث أكساد (ACSAD) في محافظة حمص. حيث تم تحديد بعض الخصائص المختارة لكل من التربة والفحم الحيوي وفق الجدول (1).

جدول (1): بعض الخصائص الفيزيائية للتربة والفحم الحيوي.

الصفة	التربة S	الفحم الحيوي B
الكثافة الظاهرية (غ/سم ³)	1.16	0.28
المسامية (%)	43.63	74.77
السعة الحقلية حجماً (%)	41.32	59.14
قوام التربة	طينية	>1مم

B. تصميم وتنفيذ البحث:

تضمن هذا البحث، تنفيذ تجربة مخبرية لحساب الكثافة الظاهرية ($BD \text{ g/cm}^3$)، والمسامية ($\text{Por} \%$)، والسعة الحقلية الحجمية ($\text{FC} \%$)، وقياس النفاذية المائية للتربة المشبعة وتسجيل بعض القياسات الأخرى باستخدام اسطوانات بلاستيكية شفافة بقطر (7.5 سم) وارتفاع (30 سم)، بحجم (1325 سم³)، مفتوحة بشكل كامل من الطرف العلوي ومثقبة في الطرف السفلي، حيث ملئت بحجوم متساوية من الخلطات الترابية المكونة من تربة مضاف لها الفحم الحيوي بنسب مختلفة وفق الجدول (2).

جدول (2): معاملات التجربة ونسب الخلط مع التربة.

رقم الاسطوانة	المعاملات	حجم التربة (سم ³)	% للفحم الحيوي وزناً	ارتفاع عمود التربة (ل) سم	ارتفاع عمود التربة والماء (ع) سم	مساحة مقطع الاسطوانة (ط) سم ²
1	B ₀	928	0	21	29	44.2
2	B ₁	928	1	21	29	44.2
3	B ₂	928	2	21	29	44.2
4	B ₃	928	4	21	29	44.2

استخدم في هذه التجربة (4) خلطات ترابية مكونة من تربة الموقع مع أربع مستويات من الفحم الحيوي (B_0, B_1, B_2, B_3) ، كما هو مبين في الجدول (1) أعلاه. تم تعبئة الخلطات الترابية الجافة تماماً في الاسطوانات البلاستيكية بحجم واحد وهو (928 سم³) مع قليل من الرج، وبارتفاع (21 سم) للمعاملات الأربعة كما تم اشباع التربة بالماء العادي من أسطوانة مدرجة لمعرفة الكمية المستهلكة من قبل عمود التربة عند تمام الاشباع، ثم سجل الحجم الظاهري للتربة، ووزنها الجاف في عمود التربة، وحجم ماء الاشباع، لكل معاملة، وبعد تصريف ماء الجاذبية خلال 24 ساعة من الزمن تم وزن التربة الرطبة لكل خبطة لحساب ماء السعة الحقلية، حيث استخدمت هذه القياسات في حساب الكثافة الظاهرية والمسامية والسعة الحقلية وفق [29] كما يلي:

- الكثافة الظاهرية غ/سم³ (Bulk Density, BD) = وزن التربة الجافة غ / حجم التربة الظاهري سم³

- المسامية % (Porosity %): تم حسابها من القانون التالي:

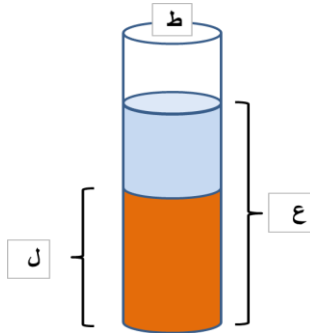
$$100 \times \frac{\text{حجم ماء الاشباع سم}^3}{\text{الحجم الظاهري سم}^3} = \% \text{ Porosity}$$

- السعة الحقلية الحجمية % (Field Capacity by Volume, FCV):

تم تقديرها عن طريق حساب حجم الماء المحتفظ به من قبل التربة بعد اشباعها وتركها لمدة 24 ساعة ليرشح منها ماء الجاذبية وفق القانون التالي:

$$100 \times \frac{\text{حجم الماء المحتفظ به بعد 24 ساعة سم}^3}{\text{الحجم الظاهري لعينة التربة سم}^3} = \% \text{ FCV}$$

أما قياس النفاذية المائية فقد تم بعد أخذ القياسات المذكورة أعلاه والسماح لماء الجاذبية بالخروج من أسفل عمود التربة، حيث اشبعت التربة بالماء مرة أخرى من خلال إضافة نصف ليتر من الماء لكل أسطوانة بارتفاع قدر ب (8 سم) فوق سطح التربة، شكل (1)،



شكل (1): شكل وحجم والقياسات النسبية لأسطوانات التجربة

حيث: (ع = 29 سم) وهي ارتفاع عمود التربة والماء في الأسطوانة، (ل = 21 سم) وهي ارتفاع عمود التربة في الأسطوانة، (ط = 44.2 سم²) وهي مساحة مقطع الأسطوانة. جرى قياس وتسجيل كمية الماء الراشح من العبوات خلال أربع فترات زمنية متزايدة (1، 15، 30) دقيقة، لجميع الخلطات الترابية في الأسطوانات الأربعة، باستقبال الرشاحة في عبوات بلاستيكية وتحديد حجمها باستخدام أسطوانات مدرجة ثم حساب معدل الرشح من وحدة المساحة في وحدة الزمن (سم³ اسم² ادقيقة) التي يعبر عنها عادة بالنفاذية المائية (سم/د) (Permeability)، أو بال (سم /سا). وفق قانون دارسي (Darcy's Law)، $s = k * d$ حسب [29]، حيث:

s = سرعة جريان الماء في عمود التربة سم³ اسم² اساعة او (سم/اسا).

k = ثابت النفاذية المائية.

d = القوة الدافعة = ع/ل.

تحسب s من حجم الماء الراشح (ح سم³) من مساحة مقطع الأسطوانة (ط سم²) في زمن محدد (ز).

وبالتالي: $s = C / (ط * ز) = ك * ع / ل$

وجمعت نتائج القياسات في الجدول (4) والأشكال (2,3,4).

C. التحليل الإحصائي:

نتائج القياسات التي كررت ثلاث مرات خضعت لتحليل التباين (ANOVA)، وجرى حساب أقل فرق معنوي (LSD)، عند مستوى معنوية 5%، لمتوسطات المعاملات وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي Genstat الإصدار الثاني عشر [21].

4- النتائج والمناقشة:

أظهرت نتائج تحليل التباين (ANOVA) لمعاملات إضافة الفحم الحيوي للتربة في الجدول (3) وجود تأثيرات عالية المعنوية، من درجة احتمالية (>0.001) للفحم الحيوي في كافة الخصائص الأربعة المدروسة في التربة وفق ما هو متوقع استناداً الى المواصفات النوعية للفحم الحيوي [17].

جدول (3): تحليل التباين لتأثير إضافة الفحم الحيوي للتربة في بعض خصائصها الفيزيائية والمائية.

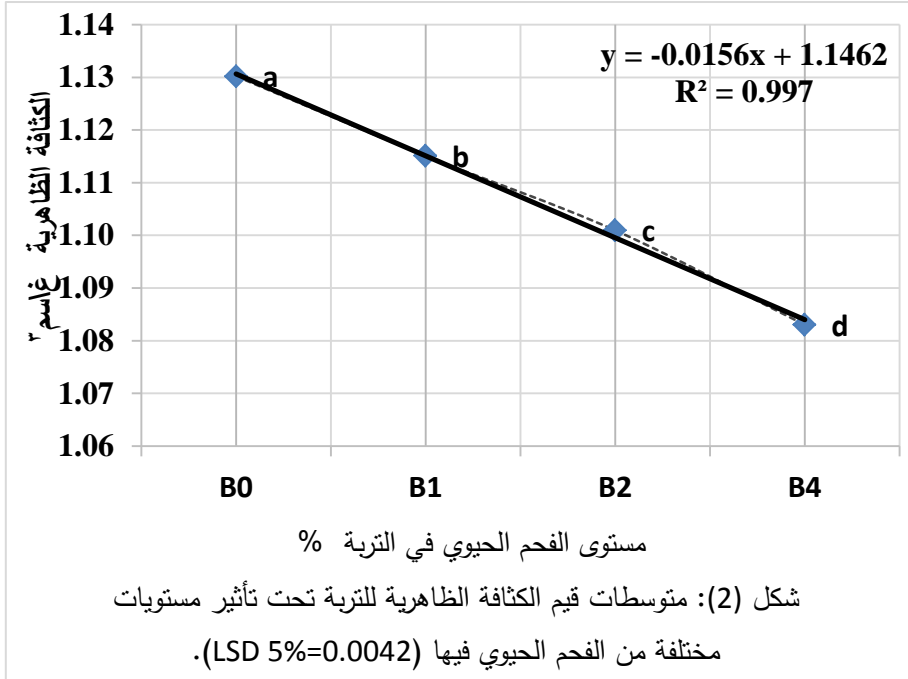
الخاصية	V.R	F.pro
الكثافة الظاهرية (غ/سم ³)	277.58	***
المسامية (%)	186.83	***
السعة الحقلية حجماً (%)	182	***
النفاذية المائية سم/دقيقة	8658	***

هذا وتبين الأشكال البيانية (2،3،4)، علاقات الارتباط الخطية وكيفية تأثر كل صفة مع تغير مستويات الفحم الحيوي في التربة وفق التالي:

التأثير في الكثافة الظاهرية للتربة:

إن لكثافة التربة الظاهرية تأثيراً مباشراً في خصائصها وفي نمو النبات فيها، فالتربة ذات الكثافة الظاهرية العالية تكون أكثر انضغاطاً وذات سعة أقل للاحتفاظ بالماء ومقاومتها أكبر لاختراق الجذور [8].

يبين الشكل (2) أنه بزيادة مستويات الفحم الحيوي في التربة، ظهر تأثيره الإيجابي في خفض متوسطات قيم الكثافة الظاهرية للتربة بشكل معنوي لكافة المستويات وفق $(LSD_{0.05})$ ، وعلى شكل علاقة خطية قوية ذات تناسب عكسي $(R^2=0.997)$ ، حيث انخفضت الكثافة الظاهرية من (1.13) في معاملة الشاهد (B_0) لتصبح (1.083) عند معاملة المستوى (B_4).



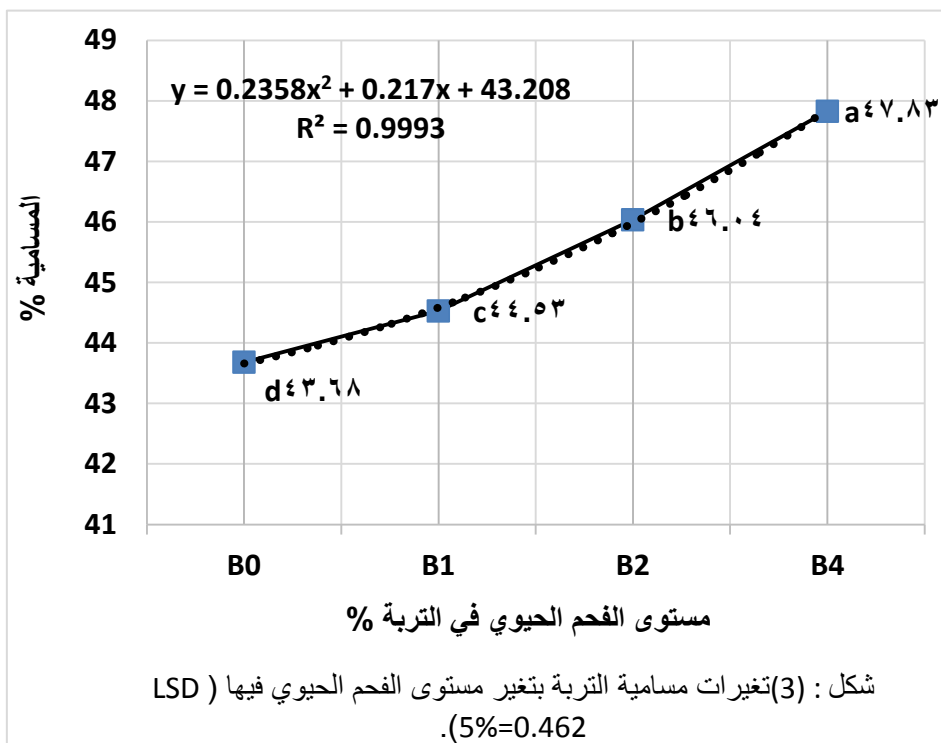
هذه النتيجة متوافقة مع نتائج التجربة المخبرية التي أجراها [18]، حيث انخفضت قيم الكثافة الظاهرية من (1.65 غ/سم³) في معاملة الشاهد (بدون إضافة فحم حيوي) لتصبح (1.55 غ/سم³) عند معدل إضافة (2.6 %) فحم حيوي للتربة.

يمكن تفسير هذه النتيجة بأن تطبيق الفحم الحيوي في التربة أدى إلى تقليل كثافتها الظاهرية بسبب مساميته العالية، التي تجعله يزيد من حجوم المسامات الصغيرة والكبيرة في التربة وفق [20].

التأثير في مسامية التربة:

ساهمت عملية خلط الفحم الحيوي مع التربة في التأثير إيجاباً في مساميتها، كما هو مبين في الشكل (3)، حيث ازدادت مساميتها بشكل طردي ومعنوي مع زيادة مستوى الفحم الحيوي لكافة المستويات المضافة على أساس قيمة (LSD 5%)، وبلغت نسبة الزيادة عند المستوى الرابع للفحم الحيوي (B₄) حوالي (9.5 %) مقارنة مع معاملة الشاهد (B₀)، وتأتي هذه النتائج متوافقة مع ما أشار إليه بعض الباحثين [17]، حيث وجدوا تفاوتاً في حجوم مسامات الفحم الحيوي حيث معظمها يقل قطرها عن (1 μ)، الى جانب وجود نسبة من المسامات الكبيرة تتراوح أقطارها من (1 إلى 10 μ)، وبعضها يصل الى (50 μ)، تلعب جميعها دوراً في تشكيل المسامية وتساهم في زيادة معدل ارتشاح الماء في التربة الطينية، وتعمل بشكل مشابه لجزيئات الطين، مما يعزز تجميع حبيبات التربة الطينية وتشكيل البناء الحبيبي.

يبين الشكل (3) أيضاً ان هناك علاقة إيجابية قوية بين تغيرات متوسطات قيم المسامية في التربة ومستوى الفحم الحيوي فيها، يمثلها منحنى لمعادلة من الدرجة الثانية، حيث سجلت قيمة ($R^2=0.9993$).

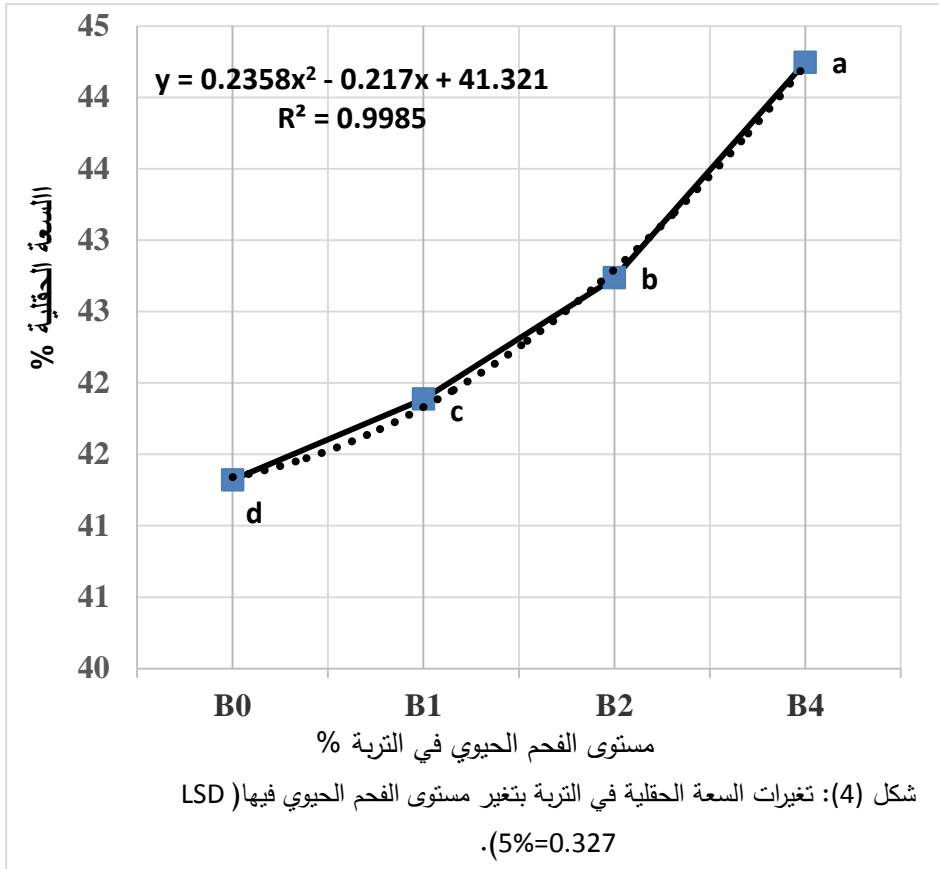


التأثير في السعة الحقلية (%FC):

يبين الشكل (4) أن متوسطات قيم السعة الحقلية الحجمية للتربة قد ارتفعت بشكل معنوي، حيث سجلت قيمة (44.25%) عند المستوى الرابع للفحم الحيوي (B₄) بالمقارنة مع معاملة الشاهد (B₀) التي سجلت (41.32%) في حين سجلت المعاملات الأخرى (B₂, B₁) القيم التالية (42.74, 41.89) على التوالي وأظهرت جميعها تفوقاً معنوياً على الشاهد مع وجود فروق معنوية فيما بينها على مستوى ثقة (5% LSD). يعود هذا التأثير الى مساحة السطح النوعي ومسامية جزيئات الفحم الحيوي في زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء. يبين الشكل (4) أيضاً أن هذه العلاقة الإيجابية لتأثير الفحم الحيوي في السعة الحقلية أفضل ما يمثلها معادلة من الدرجة الثانية على شكل منحنى بياني سجلت عليه قيمة مربع معامل الارتباط (R²=0.9985).

تأثير إضافة مستويات مختلفة من الفحم الحيوي (Biochar) في بعض خصائص التربة الفيزيائية

وبهذا الخصوص وجد بعض الباحثين [10]، أن تطبيق الفحم الحيوي زاد من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء لأنه يزيد مسامية التربة بسبب الطبيعة الامتصاصية التي يتصف بها، بينما وجد آخرون [25]، أن هناك مجموعات وظيفية محبة للماء موجودة على سطوح وريقات جزيئات الفحم وكذلك على سطوح المسام.



التأثير في معدل ارتشاح التربة للماء في حالة الإشباع المائي:

سجلت متوسطات القياسات لثلاث مكررات لمعدل ارتشاح الماء في التربة بتغير عامل الزمن في الجدول (4)، الذي يبين أن إضافات الفحم الحيوي للتربة حققت زيادات واضحة ومعنوية في معدل ارتشاح التربة للماء في وضع الإشباع، مقارنة مع الشاهد على مستوى ثقة (LSD 5%)، حيث سجلت المستويات (B₄, B₂, B₁) من الفحم

الحيوي القيم التالية لمتوسطات ارتشاح الماء في التربة (0.22, 0.174, 0.143 سم/د) على التوالي، حيث تفوقت جميعها معنوياً على الشاهد الذي سجل قيمة (0.092 سم/د)، وسجلت المعاملة (B₄) تفوقاً معنوياً على جميع المعاملات مع تحقيق زيادة وصلت إلى (100%) مقارنة بالشاهد.

هذه الظاهرة لها أهمية كبيرة من حيث أنها تساعد على تشرب قطرات الأمطار الأولى مما يقلل من انجراف التربة مع التيارات السطحية، مع الإشارة الى ان تدني معدل ارتشاح الماء في التربة تحت تأثير كل المعاملات بتقدم الزمن، يعود الى انتفاخ التربة وانضغاطها بدرجات متفاوتة وفق المعاملات المطبقة.

الجدول (4): تأثير الفحم الحيوي في معدل ارتشاح التربة للماء (سم/د) خلال أربع فترات زمنية من القياس.

LSD 0.05	AVG	B4	B2	B1	B0	الزمن دقيقة
0.0017	0.193	0.28	0.22	0.16	0.11	1 د
	0.160	0.233	0.167	0.151	0.088	15 د
	0.145	0.196	0.162	0.137	0.086	30 د
	0.132	0.172	0.146	0.124	0.084	60 د
		0.220 a	0.174 b	0.143 c	0.092 d	AVG
0.0033		0.0017				LSD 0.05

يمكن تفسير ذلك بقدرة الفحم الحيوي على خلق ممرات استثنائية عمودية وافقية في التربة وتغيير حركة الماء داخلها توافقا مع نتائج بعض الباحثين [3]، فضلاً عن رأي باحثين آخرين [19] الذين عزوا السبب الى أن الفحم الحيوي في التربة يحول دون تشكل الطبقة الكتيمة تحت السطحية فيها وبالتالي يحسن من نفاذيتها للماء، وعلى نفس السياق وجد [28]، نتائج مشابهة عزوا سببها الى قدرة الفحم الحيوي على التخفيف من تمدد وانتفاخ الطين في التربة.

4- الاستنتاجات:

- أدت إضافات الفحم الحيوي للتربة إلى خفض قيم كثافتها الظاهرية، على شكل علاقة خطية قوية ذات تناسب عكسي.
- حققت إضافات الفحم الحيوي للتربة زيادة طردية في كل من مسامية التربة والسعة الحقلية الحجمية.
- حققت إضافات الفحم الحيوي للتربة تحسناً واضحاً في زيادة معدل ارتشاح التربة للماء في وضع الإشباع لفترة زمنية تمتد الى 60 دقيقة على الأقل.

5- المقترحات:

- ينصح بإضافة الفحم الحيوي للتربة، لتحسين ظروف النمو والإنتاج وتقليل تأثيرها بالانجراف المائي.

6- المراجع:

1. ABROL, V., BEN-HUR, M., VERHEIJEN, F., KEIZER, J., MARTINS, M., TENAW, H. and E. GRABER. 2016. Biochar effects on soil water infiltration and erosion under seal formation conditions: rainfall simulation experiment, Journal of Soils and Sediments, Vol. 16, 2709–2719.
2. ATKINSON, C., FITZGERALD, J and N. HIPPS. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review, Plant and Soil, Vol. 337, 1–18.
3. BARNES, R., GALLAGHER, M., MASIELLO, C., LIU, Z and B. DUGAN. 2014. Biochar-induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments, PloS one, Vol.9, P 9.
4. BRODOWSKI, S., JOHN, B., FLESSA, H and W. AMELUNG. 2006. Aggregate-occluded black carbon in soil, European Journal of Soil Science, Vol. 57, 539-546.
5. CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A and S, JOSEPH. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment, Australian Journal of Soil Research, No.45, 629.
6. FLETCHER, A., SMITH, M., HEINEMEYER, A., LORD, R., ENNIS, C., HODGSON, E and K. FARRAR. 2014. Production factors controlling the physical characteristics of biochar derived from phytoremediation willow for agricultural applications, Bioenergy Research, Vol. 7, 371–380.
7. GLASER, B., HAUMAIER, L., GUGGENBERGER, G. and ZECH, W. 2001. The Terra Pretta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics, Naturwissenschaften, V. 88, 37-41.
8. GOODMAN, A.M. and ENNOS. A.R. 1999. The effects of soil bulk density on the morphology and anchorage mechanics of the root systems of sunflower and maize, J. Annals of Botany, 293-302.
9. HAMIDREZA S, S., HAZBAVI, Z and H. M. KIANI. 2016. Control ability of Runoff and Soil Loss from Small Plots Treated by Vinasse-Produced Biochar, Sci. Total Environ, Vol. 541, 483–490.

10. HERATH, H., CAMPS-ARBESTAIN, M and M. HEDLEY. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. Geoderma, Vol. 209, 188–197.
11. ITSUKUSHIMA, R., IDETA, K., IWANAGA, Y., SATO, T and Y. SHIMATANI. 2016. Evaluation of infiltration capacity and water retention potential of amended soil using bamboo charcoal and humus for urban flood prevention, in: Proceeding of the 11th International Symposium on Eco-hydraulics. Melbourne. Australia.
12. JOSEPH, S., ET AL and J. AMONETTE. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. Au. J. Soil Res. V. 48, 501-515.
13. KUZYAKOV, Y.; SUBBOTINA, I.; CHEN, H.; BOGOMOLOVA, I. and XU, X. 2009. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial bio-mass estimated by ¹⁴C labeling, Soil Biol. Bio-chem, Vol. 41, No. 2, 210–219.
14. LAIRD, D. 2008. The charcoal vision: A win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality, Agro. J., Vol. 100, 178–181.
15. LEHMANN, J. 2007. A handful of carbon, Nature, (London), Vol. 446, 143–144.
16. LEHMANN, J., KERN, D. C., GLASER, B. AND W, WOODS. 2003a. Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
17. MAJOR, J; STEINER, C; DOWNIE, A. and LEHMANN, J. 2009- Biochar effects on nutrient leaching. J. Lehmann and S. Joseph (ed.) Biochar for environmental management. Science and technology. Earth scan. London. Pp: 271–287.
18. MANKASINGH, U., CHOI, P.C and RAGNARSDOTTIR, V. 2011. Biochar application in a tropical, agricultural region: A plot scale study in Tamil Nadu, India. Appl. Geochem, 218-221.
19. MASIELLO, C., DUGAN, B., BREWER, C., SPOKAS, K., NOVAK, J and Z. LIU. 2015. Biochar effects on soil hydrology. Lehmann J, Stephen J (eds) Biochar for environmental management. science and technology, Routledge, 543–562.
20. MUKHERJEE, A. and LAL. R. 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. J. Agronomy, 313- 339.

21. NULL Corporation. 2009. Genstat Twelfth Edition, Procedure Library Release, PL12.1, VSN. International Ltd.
22. PALM, C A., GACHENGO, C.N., DELVE, R.J., CADISH, G. and GILLER, K.E. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agro ecosystem: application of an organic resource database. Agric. Ecosys. Environ, Vol. 83, 27-42.
23. PASCUAL, JA.; GARCÍA, C and HERNANDEZ, T. 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. Biol-Fertil Soils, No. 30, 1–6.
24. SOHI, SP.; KRULL, E.; LÓPEZ-CAPEL, E and BOL, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil, Adv. Agron., No. 105, 47–82.
25. UZOMA, K.C., INOUE, M., ANDRY, H., FUJIMAKI, H., ZAHOOR, A and NISHIHARA, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition, Soil Use and Management, Vol. 27 (2), 205–212.
26. VANLAUWE, B. 2004. Integrated soil fertility management research at TSBF: the framework, the principles and their application. In: Managing N nutrient cycles to sustain soil fertility in sub-Saharan Africa. A. Bationo (ed.) Academy Science Publishers, AAS, Nairobi, Kenya, 25-42.
27. WONG, J., CHEN, Z., WONG, A., NG, C and M. WONG. 2018. Effects of biochar on hydraulic conductivity of compacted kaolin clay. Envi. Poll, Vol. 234, 468–472.
28. ZHANG, L., ZHAO, J and Y. WANG. 2016. Biochar addition drives soil aggregation and carbon sequestration in aggregate fractions from an intensive agricultural system, Soils Sediments, 1349-1368.
29. ZIDAN, A; EBRAHEM, G; HABEEB, L and A. ROKIA. 1997. Geology & Fundamentals of Soil Science, Tishreen University Publications, Text book for 2nd year agriculture. (Arabic). Lattakia. Syria. 350.

