دراسة الأثر المشترك للفحم الحيوي والمادة العضوية في نفاذية التربة للماء

د. علي زيدان*
د. هيثم عيد**
محمد إبراهيم***

(تاريخ الإيداع 31 / 8 / 2020. قبل للنشر في 13 / 1 / 2021)

□ ملخّص □

نفذ هذا البحث في محطة البحوث العلمية الزراعية في بيت كمونة بطرطوس، بالتعاون مع كلية الزراعة بجامعة تشرين، حيث تضمن اختبار (9) معاملات مكونة من تداخل ثلاث مستويات مضافة من المادة العضوية على شكل زبل بقري متخمر (O_0, O_1, O_2) وثلاث مستويات من الفحم الحيوي (B_0, B_1, B_2)، بالنسب الوزنية التالية (2, % 1, 0)، لكل منهما في أحواض ليزومترية زجاجية سعة 14 ليتر، حيث تم إشباع الخلطات الترابية في الأحواض الزجاجية بالماء، وتركت لمدة (24) ساعة لخروج ماء الجاذبية ولتستقر وتتوازن، وبعد انقضاء هذه المدة أضيفت حجوم متساوية من الماء، (1) لتر، لكل حوض وجرى قياس حجوم أو كميات الماء الراشح من الأحواض خلال أربع فترات زمنية متزايدة (1 ,15 ,30 ,60) دقيقة، لجميع المعاملات ثم جمعت النتائج على دفعات وفق الفترات الزمنية الأربعة المذكورة.

بينت النتائج أن إضافات الفحم الحيوي للتربة بشكل منفرد حقق زيادة طردية في نفاذية التربة للماء في كافة أزمنة القياس. وكان هناك تشابها كبيرا في تأثير الإضافات الافرادية للفحم الحيوي والمادة العضوية في زيادة النفاذية المائية للتربة تحت كافة أزمنة القياس، مع تفوق ملحوظ لمستويات الفحم الحيوي على نفس المستويات من المادة العضوية المضافة في التسبب في زيادة نفاذية التربة.

أما تأثير التكامل بين الفحم الحيوي والمادة العضوية فقد ظهر بشكل واضح وايجابي في زيادة نفاذية التربة للماء. وأعطت المعاملة المشتركة (O_2B_2) المكونة من (2% مادة عضوية + 2% فحم حيوي) أعلى مستوى نفاذية مائية في التجربة بفارق معنوي واضح عن الشاهد وكافة معاملات التجربة.

كلمات مفتاحية: الفحم الحيوي، المادة العضوية، النفاذية المائية للتربة، أحوض ليزومترية.

* أستاذ – قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
** باحث – الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، طرطوس، سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Studying the Combined Effect of Biocharand Organic Matteron Soil Waterpermeability

Dr. Ali Zidan[*]
Dr. Haitham Ead[**]
Mohamad Ibraheem[***]

(Received 31 / 8 / 2020. Accepted 13 / 1 /2021)

□ ABSTRACT □

This research was carried out at the Agricultural Scientific Research Station in Beit Kammouna, Tartous, in cooperation with the Faculty of Agriculture at Tishreen University, where it included testing of 9 treatments consisting of the interaction of 3 added levels of organic matter in the form of fermented cow manure (O0, O1, O2) and 3 levels of biochar (B0, B1, B2), on weight basis at the following ratios (0, 1 and 2%), for each of them in 14 liter lysimetric glass basins, where the soil mixtures in the glass basins were saturated with water, and left for (24 hours) to reach stabilization and to get read of gravity water. Then, equal volumes of water were added, (1 liter), to each basin and the volumes of percolated water from the basins were measured during the mentioned 4 incremental periods of time (1, 15, 30, and 60) minutes, for all treatments. The data was collected and tabulated according to the 4 mentioned time periods.

The results showed that singular soil biochar additions achieved a positive increase in soil water permeability at all measurement times. Also, there was a great similarity in the effect of the singular additions of biochar and organic matter in increasing the water permeability of the soil under all measurement times, with significant supreme of the biochar at the same levels of added organic matter in increasing the soil permeability.

As for the effect of integration between biochar and organic matter, it was clearly and positively shown to increase soil water permeability. And the combined treatment (O_2B_2) consisting of (2% organic matter + 2% biochar) in the soil, gave the highest value of water permeability with a clear significant difference in comparison with the control and all other experimental treatments.

Keywords: Biochar, Organic matter, Soil permeability, Lysimetric basin.

[*] **Professor - Soil and Water Sciences Department, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Researcher - General Commission of Scientific Agricultural Research, Tartous, Syria.**
[***] **Postgraduate Student (PhD) - Soil and Water Sciences Department, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

أكدت اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD) على الحاجة إلى إدراج برامج إدارة التربة القائمة على الفحم الحيوي كإحدى استراتيجيات إدارة النظم الطبيعية المتدهورة (UNCCD.2009; Tenenbaum.2009) وجاء ذلك بعد أن أشارت تقارير الدراسات السكانية أن عدد سكان العالم سيزداد بنسبة 65٪ أي (3.7 مليار نسمة) خلال عام 2050، هذه الزيادة ستخلق المزيد من الضغط على المياه العذبة والموارد البيئية. ووفقًا لـ (Wallace, 2000)، تعتبر الزراعة المكثفة هي المسؤولة الرئيسية عن فقدان المياه العذبة، ولهذا السبب، من المتوقع فقدان حوالي (63٪) من المياه العذبة المستخدمة لري الأراضي الزراعية من خلال التبخر والجريان السطحي، كما يفرض تغير المناخ تحديات جديدة على الممارسات الزراعية بسبب التغيرات الشديدة والسريعة في الظروف البيئية حيث أن الانجراف السريع وتدهور التربة يمثلان مشاكل ملحة في البيئة، مما يؤدي إلى تدهور وظائف النظام البيئي، وانخفاض إنتاجية التربة واستدامة الأراضي الزراعية، وخاصة وأن ظروف مناطق البحر الأبيض المتوسط المناخية تتميز بمواسم الجفاف الطويلة تليها المواسم الرطبة القصيرة مع حدوث الأمطار الشديدة الغزارة، مما يعرض التربة للانجراف ويسبب فقدان المياه بالجريان السطحي، والترب الفقيرة والمعرضة للانجراف في هذه المناطق تتطلب وضع استراتيجيات لإدارة التربة والمياه للحفاظ عليها والحفاظ على الإنتاج الزراعي.

تم استخدام الفحم الحيوي بنجاح كامل من قبل أجيال من المزارعين الأصليين في حوض الأمازون وأدى تراكم كميات كبيرة من الفحم الحيوي إلى زيادة جودة التربة الزراعية وشكل ما يعرف بالأرض الأمازونية الداكنة (Terra Pretta) التي لا تزال ذات أهمية كبيرة في الاستخدام الزراعي والبستاني.

يستخدم الفحم الحيوي كمصطلح للمادة المسامية الغنية بالكربون الناتجة عن التعديل الكيميائي والهيكلي للكتلة الحيوية المعرضة للتحلل الحراري اللاهوائي، والذي يستخدم على وجه التحديد كمادة محسنة لخصائص التربة، وتعتمد خصائصه على نوعية وطبيعة الكتلة الحيوية الأصلية (التركيب الكيميائي، ومحتوى الرماد، وحجم الجسيمات)، وظروف التحضير (درجة حرارة التفحيم، وزمن التفحيم)، وإجراءات ما قبل التحضير (التجفيف، والسحق)، وما بعد عمليات التحضير (مثل التنعيم والتنشيط)، كما أن تطبيق الفحم الحيوي في تحسين التربة وإدارة المياه له علاقة بالكمية المضافة من الفحم ونوع التربة والظروف البيئية.

وجدت بعض الدراسات علاقة إيجابية بين خصائص التربة مثل (الكثافة الظاهرية، المسامية، القدرة على الاحتفاظ بالماء، ثباتية بناء التربة) وإضافة الفحم الحيوي (Lal, 2010)، ومن المعروف فوائد المادة العضوية التي تعمل كنوع من الغراء بين جزيئين غير عضويين متصلين (أو أكثر)، وبالتالي فإن مزيج الأنظمة العضوية وغير العضوية ينتج مجموعة من المسام الدقيقة والميكرونية والكلية حيث تمكن من زيادة القدرة على الاحتفاظ بالمياه مع العناصر الغذائية المذابة في محلول التربة. (De Pasquale etal, 2012).

وجد Baronti وزملاؤه (2014) في تجربة لدراسة تأثير إضافة الفحم الحيوي للتربة في تقليل التأثير السلبي للإجهاد المائي لنبات العنب في ايطاليا وخاصة في فترات الجفاف، ولاحظوا أن الفحم الحيوي ساهم في زيادة محتوى الماء في التربة (45 %) وفي أوراق النبات (24– 37%).

وفي مجال تأثير الفحم الحيوي في تقليل أثر تشكل الطبقة الكتيمة في التربة التي تتميز بالكتامة وتقلل معدل ارتشاح الماء فيها. ولما كان تشكل هذه الطبقة الكتيمة يعتمد على تراكيز شوارد الأملاح المنحلة والنسبة المئوية للصوديوم

المتبادل (ESP) في التربة، فقد وجد (Masiello, et al.2015)، أن معاملة التربة بالفحم الحيوي يزيد نسبة هذه الشوارد في محلول التربة مثل الكالسيوم، حيث تعمل هذه الشوارد على الحد من تشتت حبيبات الطين، وتفكك التجمعات الترابية، وبالتالي تقلل من تشكل الطبقة الكتيمة السطحية، وهذا يحل مشكلة الترب المعرضة للغدق ويزيد من معدل الارتشاح ويقلل من الانجراف.

يرى مجموعة من الباحثين،;Lehmann. 2007(Laird.2008)، أن الفحم الحيوي يلعب دورًا رئيسيًا في مجموعة واسعة من العمليات البيوجيوكيميائية في التربة حيث يتمتع بشحنة سطحية سالبة عالية ومساحة سطح نوعي كبيرة 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 يلعب دورا مهما في نفاذية الماء في التربة حيث تشكل هذه الكاتيونات جسور تربط الحبيبات الترابية مع بعضها مشكلة مسامات كبيرة تسمح بزيادة نفاذية الماء في التربة الطينية،). ويوفر الهيكل المسامي للفحم الحيوي ومساحة سطوحه الكبيرة ملجأ للكائنات الدقيقة المفيدة للتربة مثل الميكوريزا والبكتيريا، ويؤثر في ارتباط العناصر الغذائية كالآزوت والفوسفور (Atkinson, et al. 2010). كما يساهم في تحسين بناء التجمعات الترابية من خلال الارتباط بالمادة العضوية في التربة، (Fletcher, et al. 2014) ويعزز تأثيرات منطقة الرايزوسفير وبالتالي تحسين نمو النبات، (Joseph. et al. 2010).

وجد (Zwieten, et al.2012)، أن كثافة ومسامية الفحم الحيوي تؤثر في حركة جزيئاته في التربة، وتفاعلها مع الدورة الهيدرولوجية للتربة، حيث أن الفحم الحيوي عالي المسامية، وبالتالي إضافته للتربة يحسن مجموعة من خصائصها الفيزيائية بما في ذلك المسامية الكلية، وتوزيع المسام بين صغيرة وكبيرة، وكثافتها الظاهرية، والمحتوى الرطوبي، والسعة الحقلية. ويعزى الانخفاض الملحوظ في الكثافة الظاهرية للتربة إلى انخفاض كثافة الفحم الحيوي المضاف نفسه وفق نتائج (Devereux, et al. 2012)، ويرى Castellini وزملاؤه (2015)، أن هذا التأثير المباشر على كثافة التربة هو نتيجة لزيادة احتفاظ التربة بالماء بالقرب من حد الاشباع.

واستكمالا لتأثير الفحم الحيوي في تحسين خصائص التربة فقد أشارت العديد من البحوث الحديثة الى تحقيق انخفاض واضح في الكثافة الظاهرية للتربة بعد إضافة الفحم الحيوي لها،مما يزيد من مسامية وتهوية التربة، وله تأثير إيجابي على تنفس الجذور والميكروبات (Laird, etal.2010)، وهذا ما وجده Omondi وزملائه (2016)، حيث انخفضت الكثافة الظاهرية للتربة بشكل ملحوظ بعد إضافة الفحم الحيوي وزادت مساميتها وثباتية بنائها الحبيبي وقدرتها على الاحتفاظ بالمياه المتاحة والتوصيل الهيدروليكي المشبع، وفي تجارب أخرى لـBlanco-Canqui (2017)، وجد أن الفحم الحيوي قلل من الكثافة الظاهرية للتربة بنسبة وصلت إلى (31٪)، وزاد المسامية بنسبة (64٪)، كما أنه زاد من استقرار البناء الحبيبي للتربة الرطبة بنسبة (226٪)، وحسن من تماسكها، وزاد نسبة الماء المتاح بنسبة (130٪).

ومن جهة أخرى يؤثر الفحم الحيوي في مسامية التربة عن طريق المساهمة المباشرة من خلال مسامية الفحم الحيوي، حيث أن مساميته وأقطار وحجوم مساماته تتفاوت اعتماداً على المواد الأولية التي يحضر منها وحرارة التفحيم، وتكون المسامية أعلى بالنسبة للفحم الحيوي المحضر من كتلة حيوية خشبية مقارنة مع الفحم الحيوي المحضر من كتلة حيوية عشبية، وتزداد المسامية مع ارتفاع حرارة التفحيم (Brewer et al. 2014). وفي كل الأحوال يعمل الفحم الحيوي على زيادة نسبة المسامات الكبيرة في التربة الطينية والميكرونية في التربة الرملية، وبهذا الخصوص أشار Major وزملاؤه (2009)، أن هناك تفاوتا في حجوم مسامات الفحم الحيوي معظمها يقل قطرها عن (μ0.002)، الى جانب

وجود نسبة من المسامات الكبيرة تتراوح أقطارها من (1 إلى 10µ)، تلعب دورا في تشكيل مسامات واسعة وزيادة معدل ارتشاح الماء في التربة الطينية، ونظرًا لبنية المسام الدقيقة في الفحم، فهي تعمل بشكل مشابه لجزيئات الطين، مما يعزز تجميع حبيبات التربة الطينية وتشكيل البناء الحبيبي. أما في التربة الرملية تلعب المسامية في الفحم دور في زيادة احتفاظ التربة بالماء حيث تحول جزيئات الفحم الحيوي المسامات الكبيرة في التربة إلى مسامات متوسطة وصغيرة مما يساهم في زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء واتاحته للنبات خلال فترات الجفاف، وفق نتائج Devereux وزملائه (2012)، التي تشير الى أن الفحم الحيوي المضاف بنسبة 5٪ (وزن/وزن) أدى إلى انخفاض متوسط أقطار المسام في التربة الرملية من (0.07 مم إلى 0.046 مم).

يرى Ajaya و Horn (2017)، أن دورات الترطيب والتجفيف المتكررة تؤثر في انكماش التربة وانتفاخها، هذا يؤدي إلى تحطم التجمعات الحبيبية للتربة وإعادة ترتيبها بشكل حبيبات منفردة وبالتالي انسداد مسامات التربة وخفض النفاذية المائية وبالتالي حدوث الانجراف المائي، بالمقابل وجد أن معاملة هذه التربة بالفحم الحيوي كان ملائما لتقليل تأثير التغيرات الفيزيائية السلبية تحت ظروف الترطيب أو التجفيف، وتقليل التشقق مقارنة بالتربة الطينية غير المعاملة بالفحم الحيوي، بسبب دوره في زيادة احتفاظ التربة بالماء وزيادة ثباتية التجمعات الترابية وهذا يؤدي إلى تعزيز قدرة نفاذية التربة للماء مما يقلل من حجم الجريان السطحي ومخاطر الانجراف، ووجد Zhang وزملاؤه (2016) أن استخدام الفحم الحيوي المحضر من قش القمح وفحم الخشب في التربة يزيد من حد السيولة للتربة بنسبة (48–99 %) وبالتالي الفحم الحيوي يحسن تماسك التربة بغض النظر عن قوامها وهو علاج للتربة الطينية المعرضة للانتفاخ والتشقق التي تعاني بسبب هذا التشقق من فقدان للماء والعناصر الغذائية من منطقة الجذور وتقطعها. ويقول Lu وزملاؤه (2014) أن الفحم الحيوي يقلل من انتفاخ الطين عبر تقليله لمعامل التمدد الخطي حيث قلل من هذا المعامل من (0.63 إلى 0.56) وهذا بدوره يزيد من نفاذية وحركة الماء داخل التربة الطينية.

تساهم مساحة السطح النوعي ومسامية جزيئات الفحم الحيوي في زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، حيث تتراوح مساحة السطح النوعي للتربة الرملية اللومية من (10 إلى 40 م^2\غ) وللتربة السلتية اللومية من (5 إلى 150م^2/غ) وللتربة الطينية من (150 إلى 250م^2/غ) لكنها تصل إلى (3000م^2/غ) في الفحم الحيوي، كذلك الفحم هو مادة مسامية يمكنه الاحتفاظ بالماء ليس فقط داخل المسام وإنما بين الجسيمات بسبب مساحة سطحه 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، (Brodowski, etal. 2006) حيث وجد Itsukushima وزملاؤه (2016)، أن معدلات ارتشاح للماء أعلى في التربة المعاملة بفحم الخيزران والدبال من التربة غير المعاملة، وهذا ما أشار إليه Hamidreza وزملاؤه (2016) و Abrol وزملاؤه (2016) أيضاً، ووجدوا أن معاملة التربة بالفحم الحيوي ساهم في انخفاض الجريان السطحي وعزوا السبب إلى زيادة سعة احتفاظ التربة بالماء وزيادة نفاذية الماء عبر الطبقة السطحية للتربة والذي يجعل من الفحم الحيوي مفيداً كإجراء للحفاظ على التربة من خلال تحسين الارتشاح والسيطرة على الانجراف.

ويرى Hardie وزملاؤه (2014)، أن الفحم الحيوي يزيد من الماء المتاح للنبات من خلال زيادة المسامات التي يتراوح قطرها بين (30و 0.2µ).

تم دراسة تأثير الفحم الحيوي المحضر من كيزان الذرة الصفراء على تربة طميه رملية من قبل مجموعة من الباحثين، (Obia, et al. 2017)، حيث لوحظ انخفاضا في مقاومة اختراق الماء للتربة السطحية، مع زيادة في التوصيل الهيدروليكي المشبع مع إضافة الفحم الحيوي للتربة، وربط الباحثون ذلك بزيادة تكون التجمعات الترابية الثابتة في الطبقة السطحية للتربة.

كما أجرى Devereux وزملاؤه (2012)، اختبار السرعة ارتشاح أو اختراق الماء للتربة (النفاذية المائية) (permeability)، حيث وجدوا أن الفحم الحيوي يسرع من دخول الماء في التربة ويخفض زمن عبور الطبقة السطحية الى الخمس، وتم ربط هذا الفعل بحرارة التفحيم أثناء تحضير الفحم الحيوي التي تجعل من الفحم مادة أليفة للماء (غير كارهة) حيث تعمل على إزالة المركبات العضوية على سطح جزيئات الفحم مثل المجموعات الوظيفية الاليفاتية، وهذا يسهل من اختراق قطرة المطر للتربة المعاملة بالفحم ويقلل من انحباس الهواء داخل مسامات التربة.

يرى (Brodowski, et al. 2006) أن الفحم الحيوي يزيد من ثباتية التجمعات الترابية في حالتي الرطوبة والجفاف، حيث أن ثباتية التجمعات الترابية الرطبة هو مؤشر حساس للاستقرار الهيكلي للتجمعات الحبيبية للتربة ويؤثر على العمليات الزراعية وتشكل المسام ونفاذية الماء والانجراف المائي، وفي دراسة قاموا بها على 24 نوع من التربة الرطبة مختلفة القوام، وثبت أن معاملة التربة بالفحم الحيوي زاد من ثباتية التجمعات الترابية الرطبة بنسب وصلت إلى (58%) وذلك بسبب قدرة الفحم الحيوي على تعزيز الروابط بين الجزيئات الكبيرة ويحفز تجمع التربة في تجمعات ثابتة وخشنة حيث أن جزيئات الكربون تشكل جسور ربط بين حبيبات التربة والكاتيونات متعددة التكافؤ.

يؤكد Herath وزملاؤه (2013)، و Lu وزملاؤه (2014)، أن الفحم الحيوي يزيد ثباتية التجمعات الترابية نتيجة اندماج الفحم الحيوي مع الأطوار المعدنية الطينية في التربة وتكوين تجمعات ترابية مكرونية ثابتة، وسلطت العديد من الدراسات الضوء على التفاعلات الإيجابية بين الفحم الحيوي والمجمّعات المعدنية العضوية، وكلها يمكن أن تعزز تكوين التجمعات الترابية واستقرارها، وبالتالي فإن تطبيق الفحم الحيوي على التربة قد لا يقلل فقط من تحلل المواد العضوية الأصلية من خلال التجميع، ولكن قد يقلل أيضًا من إمكانية انسداد مسامات التربة بجزيئات الفحم الحيوي الناعمة وفق ما أشار إليه (Cross andSohi. 2011)، انسجاما مع ما وجده Zhang وزملاؤه (2016)، حول إضافة الفحم الحيوي للتربة، حيث ساهم بشكل كبير في تعزيز تكوين التجمعات الترابية والاستقرار البنائي للتربة في نظام زراعة مكثف في سهل شمال الصين، ولاحظوا ارتفاع تراكم كربون التربة العضوي، مما يشير إلى الفعل الإيجابية للفحم الحيوي في حماية كربون التربة العضوي من خلال تجميع حبيبات التربة، ومن جهة أخرى تحفيز النشاط المكروبي الذي يعزز تكون التجمعات الترابية الثابتة والذي يحسن نفاذية التربة للماء ويزيد من قدرتها لمقاومة الانجراف المائي.

يعبر عن التوصيل الهيدروليكي سهولة حركة وتدفق الماء خلال مسامات التربة، والتوصيل الهيدروليكي عادةً هو أكبر في الترب الرملية من الترب الطينية، وتأتي أهمية الفحم الحيوي الذي يلعب دوراً مزدوجاً في هذا المجال، حيث وجد أنه يقلل التوصيل الهيدروليكي للتربة الرملية بسبب تضييق أحجام المسامات الكبيرة وبالمقابل يزيد التوصيل الهيدروليكي للتربة الطينية، (Blanco-Canqui. 2017)، كما ان Wong وزملائه (2018)، وجدوا أن الفحم الحيوي حوّل أقطار المسام في التربة الطينية من (0.01 إلى حدود 4 ميكرون) وبالتالي ارتبطت زيادة التوصيل الهيدروليكي في التربة الطينية بشكل طردي وايجابي مع زيادة نسبة الفحم الحيوي المضاف لها.

كما لاحظ Barnes وزملاؤه (2014) أن إضافة الفحم الحيوي قللت الموصلية الهيدروليكية المشبعة بنسبة (92٪) في الرمل و(67٪) في التربة العضوية، وبالمقابل زاد هذه الموصلية بنسبة (328٪) في التربة الغنية بالطين، وأشار نفس البحثين الى 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، فضلا عن أنه ساهم في إبطاء حركة الرطوبة بمعدل (92 %) في التربة الرملية. يمكن استخدام الفحم الحيوي للتغلب على بعض محددات الزراعة في التربة الرملية (أسمدة إضافية وري مكثف)، مما يوفر خيارًا واعدًا لإدارة هذا النوع من الترب،حيث أظهرت دراسات حديثة لـ(Suliman, et al. 2017) أن إضافات الفحم الحيوي للتربة تزيد من قيمة الـpH فيها، وتعزز قدرة التبادل الكاتيوني (CEC)، وتزيد من وجود الكاتيونات القاعدية القابلة للتبادل وتعديل الكثافة الظاهرية وتزيد من قدرتها على الاحتفاظ بالماء.

أما (Tian, et al. 2013)، فقد وجدواأن الكثافة الظاهرية والمسامية هما العاملان المؤثران الرئيسيان على معدل رشح الماء من التربة الرملية، حيث كان هناك انخفاضا في الكثافة الظاهرية وزيادة في المسامية مع زيادة محتوى الفحم الحيوي في التربة الرملية بالمقارنة مع التربة غير المعاملة بالفحم الحيوي، وانعكس ذلك على زيادة احتفاظ التربة للرطوبة والمحتوى الرطوبي المتاح، وعلى ابطاء تدفق الماء في التربة الرملية عن طريق تحسين ترابط جزيئات الرمل مما يساهم أيضا في تقليل انغسال العناصر الغذائية وزيادة مدة بقائها في محلول التربة وبالتالي زيادة امتصاصها من قبل جذور النبات.

وأخيرا في الترب المتأثرة بالملوحة والقلوية، وجد (sun, et al. 2018) أن الفحم الحيوي يحسن من الخاصية الهيدرولوجية للتربة المالحة وذلك كونه يزيد في سرعة رشح الماء منها وبالتالي يساهم في تسهيل عملية غسيل الأملاح، خاصة وأن المصلحات الكيميائية المستخدمة لاستصلاح هذه التربة قصيرة الأمد.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من استخدام استراتيجية جديدة لتقليل فقدان التربة بالإنجراف وتحسين الخصائص الفيزيائية والهيدرولوجية للتربة مثل زيادة سعة احتفاظ التربة بالماء كما تفيد في تقليل المقنن المائي للمحاصيل في المناطق الجافة إضافةً لتحسين بناء التربة وإمداد النباتات بشكل مستمر بالعناصر الغذائية.

طرائق البحث ومواده:

1-المادة الأولية:

الفحم الحيوي: تم تحضيره من قشور الفول السوداني بطريقة التفحيم في ظروف لاهوائية لمدة ساعة على حرارة (450م^0)، حيث أن هذه الحرارة مع هذا الزمن كانا كافيين للتوصل إلى فحم حيوي بمواصفات مناسبة استناداً لتجارب سابقة، (Ibraheem and Zidan, 2020)، واستخدمت مخلفات قرون الفول السوداني (القشور) ككتلة حيوية لتحضير الفحم الحيوي، والفول السوداني هو من النوع البلدي الذي يزرع عادةً في شهر نيسان في المنطقة الساحلية في سورية.

المادة العضوية: تم استخدام الزبل البقري المتخمر والجاف لهذا الغرض.

2-تصميم وتنفيذ البحث:

تضمن هذا البحث تنفيذ تجربة مخبرية بهدف دراسة الأثر المشترك لإضافة الفحم الحيوي والمادة العضوية في نفاذية التربة للماء. وتم تنفيذها في محطة البحوث الزراعية – بيت كمونة – طرطوس، حيث جرى تصميم (أحواض) ليزومترات زجاجية أبعادها 20×20 سم وارتفاعها (35) سم،حيث ملئت بحجوم متساوية من الخلطات الترابية المكونة من المواد التالية: (8) كغ تربة مضاف لها الفحم الحيوي والمادة العضوية حسب معاملات التجربة وفق الجدول (1).

جدول (1) يوضح معاملات التجربة ونسب الخلط مع التربة.

تسلسل	المعاملات	وزن التربة (غ)	وزن الفحم الحيوي (غ)	حجم المادة العضوية (ليتر)
1	O_0B_0	8000	0	0
2	O_0B_1	8000	80	0
3	O_0B_2	8000	160	0
4	O_1B_0	8000	0	0.4
5	O_1B_1	8000	80	0.4
6	O_1B_2	8000	160	0.4
7	O_2B_0	8000	0	0.8
8	O_2B_1	8000	80	0.8
9	O_2B_2	8000	160	0.8

وتم تحديد بعض الصفات المختارة لكل من التربة والفحم الحيوي والزبل البقري وفق الجدول (2).

جدول (2): بعض الخصائص المختارة للتربة والفحم الحيوي والزبل.

الصفة	التربة S	الفحم الحيويB	المادة العضوية O
الكثافة الظاهرية (غ/سم^3)	1.16	0.28	0.31
الكثافة الحقيقية (غ/سم^3)	2.5	1.11	0.91
المسامية (%)	53.6	74.77	65.93
السعة الحقلية حجماً (%)	32.8	59.14	48.73
قوام التربة (طينية): رمل %	29	–	–
سلت %	21	–	–
طين %	50	–	–

تضمنت هذه التجربة (9) معاملات، مكونة من تداخل ثلاث مستويات من المادة العضوية (O_0, O_1, O_2) وثلاث مستويات من الفحم الحيوي(B_0, B_1, B_2)، كما هو مبين في الجدول (1) حيث تم إشباع الخلطات الترابية في

الأحواض الزجاجية بالماء، وتركت لتستقر ولتتوازن، ثم تم إشباع الخلطات الترابية في الأحواض الليزومترية بالماء ثم تركت لمدة (24) ساعة لخروج ماء الجاذبية وبعد انقضاء هذه المدة اشبعت التربة بالماء مرة أخرى من خلال إضافة ليتر واحد من الماء لكل حوض وجرى قياس وتسجيل كمية الماء الراشح من الأحواض خلال أربع فترات زمنية متزايدة (60, 30, 15, 1) دقيقة، لجميع المعاملات وجمعت النتائج في الجدول (3).

3-القراءات والتحاليل المنفذة: تمت وفق (zidan, et al. 1997)، حيث أن:

- **الكثافة الظاهرية (Bulk Density, BD) والحقيقية (Particle Density, PD) للخلطات الترابية الجافة،** تم حسابهما بطريقة البكنومتر.
- **المسامية % (Porosity %):** تم حسابها من القانون التالي (من اليمين لليسار):

$$\% \text{ Porosity} = \frac{BD - PD}{PD} \times 100$$

حيث أن **(PD)** هي الكثافة الحقيقية و **(BD)** هي الكثافة الظاهرية.

- **السعة الحقلية الحجمية % (FC_V) (Field Capacity by Volume, FC_V):** تم تقديرها عن طريق حساب حجم الماء المحتفظ به من قبل حجم معلوم من التربة بعد اشباعها وتركها لمدة 24 ساعة ليرشح منها ماء الجاذبية وفق القانون التالي:

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

- **قوام التربة (Texture):** تم تحديد النسب المئوية لحبيبات التربة (الرمل والسلت والطين) بطريقة الهيدرومتر ومن ثم تحديد قوام التربة بالعودة الى مثلث القوام. كما تم قياس وتسجيل الكميات الحجمية للماء الراشح من التربة خلال الفترات الزمنية المحددة (سم^3)، باستقبال الرشاحة في عبوات بلاستيكية وتحديد حجمها باستخدام أسطوانات مدرجة ثم حساب معدل الرشح من واحدة المساحة في واحدة الزمن (سم^{3}اسم^{2}ادقيقة) التي يعبر عنها عادة بالنفاذية المائية (سماد) (permeability)، وفق قانون دارسي (Zidan, et al. 1997)، عند تدرج هيدروليكي =1، والبعض يعبر عنها بالـ (ملم اسا).

4-التحليل الإحصائي:

خضعت نتائج التجربة لتحليل التباين (Two ways ANOVA)، وجرى حساب أقل فرق معنوي (LSD)، عند مستوى معنوية5%، لمتوسطات المعاملات وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي Genstat الإصدار الثاني عشر NULL (Corporation, 2009).

النتائج والمناقشة:

في كل الفترات الزمنية لقياسات النفاذية المائية، كان هناك علاقة طردية ومعنوية بين نفاذية التربة للماء (سم/د) ومستويات الفحم الحيوي أو المادة العضوية فيها، وسجل الشاهد (O_0B_0) أدنى القيم للنفاذية بالمقارنة مع المعاملات الأخرى كما هو مبين في الجدول (3):

جدول (3): تأثير الفحم الحيوي والمادة العضوية في معدل نفاذية التربة للماء (سم/د) خلال أربع فترات زمنية من القياس.

الزمن	O_0B_0	O_0B_1	O_0B_2	O_1B_0	O_1B_1	O_1B_2	O_2B_0	O_2B_1	O_2B_2	$LSD_{0.05}$
1د	17.67	35.00	60.00	34.00	41.67	69.67	59.33	66.00	78.00	3.760
15د	30.09	35.62	38.22	34.04	37.04	39.71	36.40	38.04	40.71	0.287
30د	19.66	23.03	25.30	22.33	24.12	26.60	23.79	25.49	26.62	0.207
60د	10.97	12.92	14.32	12.59	13.66	15.22	13.59	14.79	15.62	0.114

أما تحليل التباين (AOV) لتأثير المعاملات في النفاذية المائية للتربة خلال أربع فترات من زمن القياس فقد ظهر جليا وايجابيا وبشكل عالي المعنوية (***) كما هو مبين في الجدول (4).

جدول (4): يبين قيمة ودرجة المعنوية لتحليل التباين لتأثير المعاملات المختلفة في النفاذية المائية للتربة.

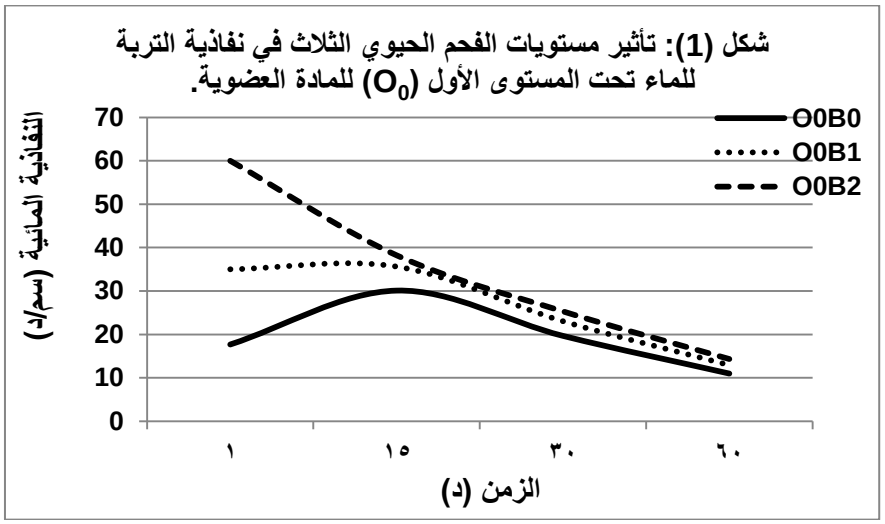
البيان		B	OM	B x OM
قيمة (F)	**F value**	<0.001	<0.001	<0.001
درجة المعنوية	**$F_{probability}$**	***	***	***

وتشير قيم (LSD) على مستوى معنوية (5%) للفروقات بين متوسطات كافة المعاملات تحت الأزمان الأربعة أن تأثيرات هذه المعاملات في زيادة النفاذية المائية كانت معنوية سواء بارتفاع مستوى الفحم الحيوي أو المادة العضوية في التربة، مع ملاحظة أنه وبالرغم من زيادة سرعة النفاذية المائية للتربة سواء مع زيادة المستويات المضافة من الفحم الحيوي أو من المادة العضوية في كل الأزمان، إلا أنها تكون سريعة في بداية الترطيب وتتناقص كلما تأخر زمن القياس بعد الترطيب تحت كل المستويات المضافة، (Yumang, et al. 2016)، لأسباب كثيرة منها تمدد وانتفاخ التربة نتيجة الترطيب وهجرة بعض حبيبات الطين مع تيار الماء الراشح نحو المسامات الكبيرة وبالتالي تضييق المسامات واغلاقها.

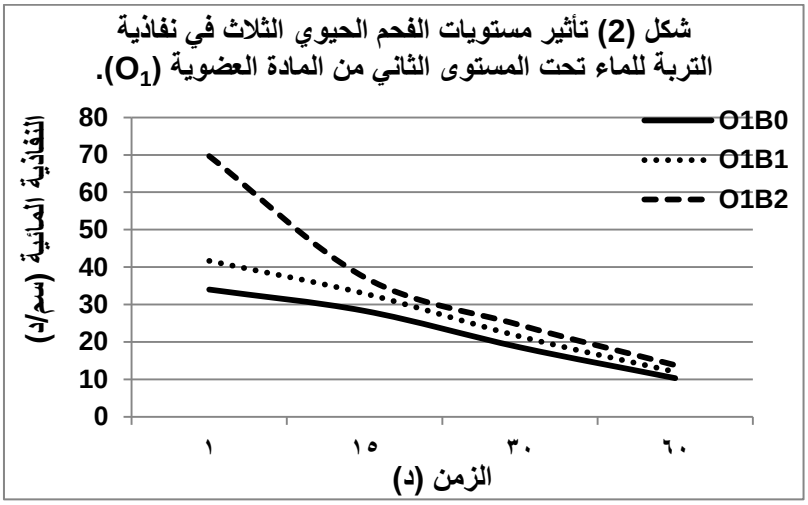
1-التأثيرات الإفرادية لمعاملات الفحم الحيوي والمادة العضوية في نفاذية التربة للماء:

بالنسبة لتأثيرات معاملات الفحم الحيوي بشكل منفرد، تبين الأشكال (1, 2, 3) والجدول (3) أن إضافات الفحم الحيوي للتربة حققت قفزات واضحة في زيادة نفاذية التربة للماء خصوصا خلال الزمن الأول (1د)، مقارنة مع الشاهد حيث سجل المستوى (O_0B_1) (35سم/د) بنسبة زيادة مرتفعة (98%) عن الشاهد والمستوى (O_0B_2) (60سم/د) بزيادة معنوية واضحة عن الشاهد وصلت إلى (239%) وبنسبة زيادة (71%) عن المستوى (O_0B_1)، وهذه الظاهرة لها

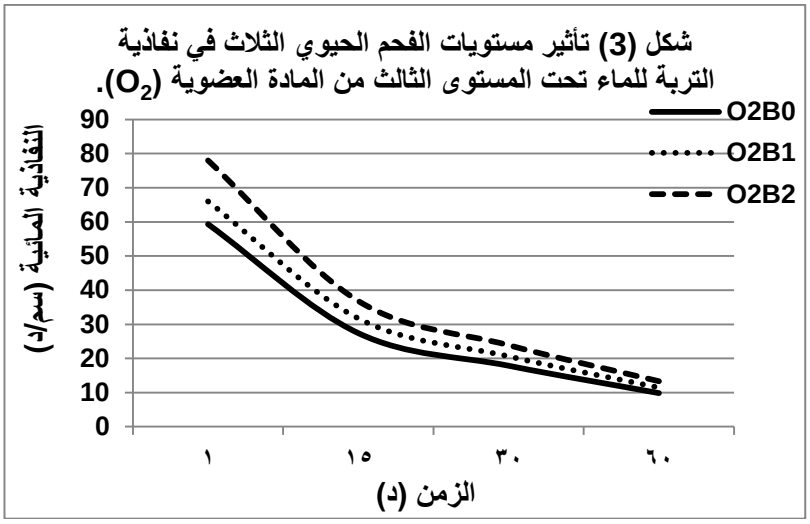
أهمية كبيرة من حيث أنها تساعد على تشرب قطرات الأمطار الأولى مما يقلل من انجراف التربة، وخلال باقي الأزمنة كان لإضافات الفحم الحيوي نفس الاتجاه في التأثير على زيادة معدل النفاذية المائية مقارنة مع الشاهد، جاءت هذه النتائج متوافقة مع Barnes وزملاؤه (2014)، حيث عزوا هذا التأثير الى قدرة الفحم الحيوي في خلق ممرات استثنائية عمودية وافقية في التربة وتغيير حركة الماء داخلها، في حين عزى Masiello وزملاؤه (2015) السبب الى أن الفحم الحيوي في التربة يحول دون تشكل الطبقة الكتيمة فيها وبالتالي يحسن من نفاذيتها للماء، أما Zhang وزملائه (2016)، فقد وجدوا نتائج مشابهة وعزوا السبب الى قدرة الفحم الحيوي على التخفيف من تمدد وانتفاخ الطين في التربة.



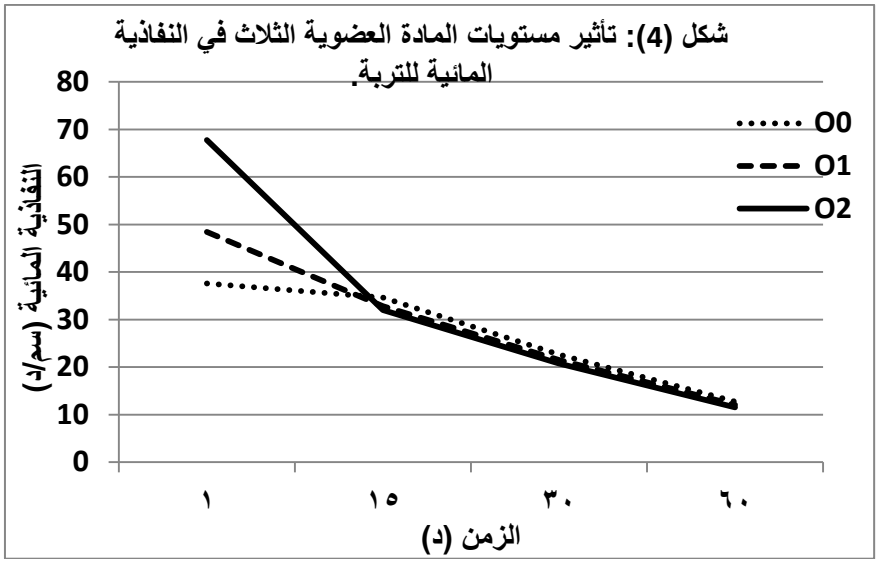
شكل (1): تأثير مستويات الفحم الحيوي الثلاث في نفاذية التربة للماء تحت المستوى الأول (O_0) للمادة العضوية.



شكل (2) تأثير مستويات الفحم الحيوي الثلاث في نفاذية التربة للماء تحت المستوى الثاني من المادة العضوية (O_1).



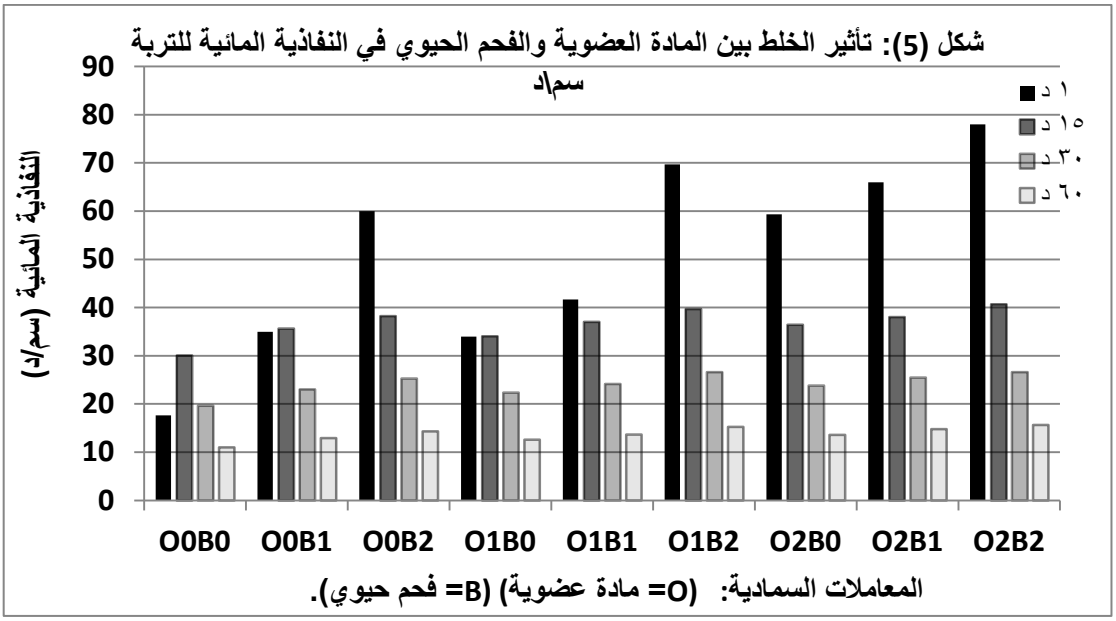
أما بالنسبة لتأثيرات معاملات المادة العضوية بشكل منفرد، يبين الجدول (3) أن إضافة المادة العضوية للتربة ساهم في رفع النفاذية المائية للتربة بشكل واضح مقارنة بالشاهد خلال الدقيقة الأولى (1د)، حيث سجلت معاملة الشاهد (O_0B_0) بدون إضافة مادة عضوية (17.67 سم/د) وسجلت المعاملة (O_1B_0) في نفس الزمن قيمة (34سم/د) بنسبة زيادة (92%) عن الشاهد وحقق المستوى (O_2B_0) من المادة العضوية (59.33سم/د) بزيادة عن الشاهد بنسبة (235%) وعن المستوى (O_1B_0) (74%)، وبالرغم من تضاؤل الفروق مع الشاهد وبين مستويات الإضافة في الأزمنة اللاحقة لكنها أخذت نفس المنحى في التأثير وبقيت قيم النفاذية المائية عند اضافة المادة العضوية أعلى من الشاهد بشكل معنوي، توافقا مع نتائج (Acharya and Bandyopadhyay. 2005)، أما الشكل (4)، فانه يبين مقارنة بين متوسطات تأثيرات المستويات الثلاث للمادة العضوية (O_0, O_1, O_2)، حيث يبين وجود علاقة طردية بين مستوى المادة العضوية المضافة والزيادة في قيمة النفاذية المائية. توافقت هذه النتيجة مع نتائج DePasquale وزملائه (2012)، الذين أكدوا الدور الهام للمادة العضوية في زيادة النفاذية المائية للتربة حيث أنها تعمل كمادة لاصقة لحبيبات التربة وبالتالي تساهم في تشكيل تجمعات ترابية أكثر ثباتا وذات نفاذية مائية عالية نسبيا، خلال الـ 15 دقيقة الأولى، أما أخذ القياسات خلال الزمن من (15−60د)، فانه يظهر أن معدل الزيادة في النفاذية المائية يبدأ بالتناقص تحت كل مستويات المادة العضوية في التربة وتتلاشى الفروقات بين المعاملات في التأثير في النفاذية المائية، نتيجة لمؤثرات عديدة، منها التغير في حجوم المسامات في التربة بعد ترطيبها بزمن قصير، (Kabira, et al. 2020).



2- تأثير التداخل بين معاملات الفحم الحيوي و المادة العضوية:

يبين الجدول (3) والشكل (5)، أن تأثير التداخل بين المستويات المضافة من المادة العضوية والفحم الحيوي كان واضحا، حيث أظهرت كافة معاملات التداخل (O_2B_1, O_1B_2, $O_1B_1O_2B_2$,) تفوقا معنويا واضحا على معاملة الشاهد (O_0B_0) والمعاملات الافرادية لكل من المادة العضوية والفحم الحيوي، في زيادة معدل النفاذية المائية للتربة، في كافة الأزمنة، وساهمت إضافة الفحم الحيوي للتربة في زيادة تأثير كفاءة المادة العضوية في تحسين النفاذية المائية، مما يؤكد التأثير المتكامل لهما وفقا لـ(Kishimoto and Sugiura. 1980; Steiner, et al. 2007) وتأكيدا لما وجده Dias وآخرون (2009)، وHua وآخرون (2009)، في أن تطبيق الفحم الحيوي في التربة يزيد من كفاءة استخدام الأسمدة العضوية.

وسجلت المعاملة (O_2B_2)، كما هو مبين في الشكل 5، أعلى معدل نفاذية مائية تحت كل أزمنة القياس، متفوقة بذلك على كافة معاملات التجربة بشكل معنوي. توافقت هذه النتائج مع نتائج Lehmann (2007) وLaird (2008)، حيث وجد كلا الباحثين وجود علاقة تكامل بين الفحم الحيوي والمادة العضوية تزيد من جذب الكاتيونات الثنائية لمعقد الادمصاص والتي بدورها تشكل روابط مع حبيبات التربة وبالتالي تساعد على تشكل تجمعات ترابية ثابتة وتزيد نفاذية الماء فيها، وكذلك توافقت هذه النتائج مع Devereux وزملائه (2012) حيث وجدوا أن الفحم الحيوي يزيد في سرعة حركة الماء ويقلل من زمن انتقاله في التربة، كما وجدوا أن الفحم والمادة العضوية معا تخفضان الكثافة الظاهرية للتربة الأمر الذي يسمح بزيادة المسامية وسهولة الحركة العمودية للماء ضمن مقطع التربة.



الاستنتاجات والتوصيات:

- حققت إضافات الفحم الحيوي منفردة زيادة طردية في نفاذية التربة للماء في كافة أزمنة القياس.
- كان هناك تشابها كبيرا في تأثير الإضافات الافرادية للفحم الحيوي والمادة العضوية في زيادة النفاذية المائية للتربة تحت كافة أزمنة القياس، مع تفوق ملحوظ لمستويات الفحم الحيوي على نفس المستويات من المادة العضوية المضافة.
- ظهر تأثير التداخل بين الفحم الحيوي والمادة العضوية بشكل واضح وايجابي في زيادة نفاذية التربة للماء. وأعطت المعاملة المشتركة (O_2B_2) المكونة من(2% مادة عضوية+2% فحم حيوي) أعلى مستوى نفاذية مائية في التجربة بفارق معنوي واضح عن الشاهد وكافة معاملات التجربة.

References:

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. V: 16. Pp: 2709–2719.

2. Acharya, C. L and K. K. Bandyopadhyay. 2005. In; Encyclopedia-of-Soils-in-the-Environment. Editor-in-chief Daniel Hillel Columbia University, NY, USA.

3. Ajayi, A and R. Horn. 2017. Biochar-Induced Changes in Soil Resilience: Effects of Soil Texture and Biochar Dosage. Pedosphere. V: 27. Pp: 236–247.

4. Yumang, A.N., Paglinawan, A. C and J. B. Santos. 2016. Soil infiltration rate as a parameter for soil moisture and temperature based Irrigation System. Environmental Science. 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE).

5. 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. V: 337. Pp: 1–18.

6. Baronti, S., Vaccaro, F., Miglietta ,F., Calzolari, C., Lugato ,E., Orlandini, S., Pini, R., Zulian, C and L. Genesio. 2014. Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L.). Eur J Agron . V: 53. Pp: 38–44.

7. 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. V:9. Pp:9.

8. Blanco-Canqui, H. 2017. Biochar and Soil Physical Properties. Soil Science Society of America Journal. V: 81. Pp: 687.

9. Brewer, C., Chuang, V., Masiello, C., Gonnermann, H., Gao, X., Dugan, B and C. Davies. 2014. New approaches to measuring biochar density and porosity. Biomass and Bioenergy. V: 66. Pp: 176–185.

10. Brodowski, S., John, B., Flessa, H and W. Amelung. 2006. Aggregate-occluded black carbon in soil. European Journal of Soil Science. V: 57. Pp: 539-546.

11. Castellini, M., Giglio, L., Niedda, M., Palumbo, A and D. Ventrella. 2015.Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil. Soil Tillage Res. V: 154. Pp: 1–13.

12. Cross, A and S. Sohi.2011. The priming potential of biochar products inrelation to labile carbon contents and soil organic matter status. Soil Biol. Biochem. V: 43. Pp: 2127–2134.

13. De Pasquale, C., Marsala, V., Berns, A., Valagussa, M., Pozzi, A., Alonzo, G and P. Conte. 2012. Fast field cycling NMR relaxometry characterization of biochars obtained from an industrial thermos-chemical process. J. S. Sed. V:12. Pp:121–122.

14. Devereux, R., Sturrock, J and S. Mooney. 2012. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. Earth and Environmental Science Trans actions of the Royal Society of Edinburgh. V: 103. Pp: 13–18.

15. Dias, B.O., Silva,C.A., Higashikawa, F.S., Roig, A and M.A. Sanchez-Monedero. 2010. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure; Effect on organic matter degradation and humification. Bio-resource. Technology. 101:1239–1246.

16. 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.V: 7. Pp: 371–380.

17. Hamidreza S, S., Hazbavi, Z and H. M. Kiani. 2016. Controllability of Runoff and Soil Loss from Small Plots Treated by Vinasse-Produced Biochar. Sci. Total Environ. V: 541. Pp: 483–490.

18. Hardie, M., Clothier, M., Bound, S., Oliver, G and D. Close. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? Plant Soil. V: 376. Pp: 347–361.

19. 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. V: 209. Pp: 188–197.

20. Hua, L., Wu, W.X., Liu, Y.X., McBride, M and Y.X. Chen. 2009. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. Environ. Sci. Pollut. Res. 16, 1-9.

21. Ibraheem, M and A. Zidan, 2020. The effect of Integration Between Heat and Time Factors on the Efficiency of the Carbonization of Peanut Shells to Prepare Biochar. SSRG, IJAES, v7. Issue 3.

22. 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 softhe11th International Symposium on Eco-hydraulics. Melbourne. Australia.

23. Joseph, S., et al andJ. Amonette. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. Aust. J. Soil Res. V: 48. Pp: 501–51 5.

24. Kabira, E. B;Basharia, H; Bassiria, M and M. R. Mosaddeghib. 2020. Effects of land-use/cover change on soil hydraulic properties and pore characteristics in a semi-arid region of central Iran. Soil and Tillage Research. Volume 197, 104478.

25. Kishimoto, S and G. Sugiura. 1980. Introduction to Charcoal Making on Sunday, Sougou Kagaku Shuppan, Tokyo (in Japanese)

26. 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. V:100. Pp: 178–181.

27. Laird, D., Fleming, P., Davis, D., Horton, R., Wang, B andD. Karlen.2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma 158 (September). Pp: 443–449.

28. Lal, R .2010. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. Bioscience. V:60. Pp:708–721.

29. Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. Nature (London). V: 446. Pp: 143–144.

30. Lu, S., Sun, F and Y. Zong. 2014. Effect of rice husk biochar and coal-fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vert). Catena.V:114. Pp: 37–44.

31. Major, J., Steiner, C., Downie, A and J. Lehmann.2009. Chapter 15. Biochar effects on nutrient leaching. In: J Lehmann, S Joseph (eds) Biochar for environmental management: science and technology. Earth-scan, London.

32. 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. Pp: 543–562.

33. NULL Corporation, 2009; Genstat Twelfth Edition, Procedure Library Release, PL12.1, VSN International Ltd.

34. Obia, A., Børresen, T., Martinsen, V., Cornelissen, G and J. Mulder. 2017. Effect of biochar on crust formation, penetration resistance and hydraulic properties of two coarse-textured tropical soils. Soil and Tillage Research. V: 170 Pp: 114-121.

35. Omondi, M., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K and G. Pan. 2016. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. Geoderma. V: 274. Pp: 28–34.

36. Steiner, C., Teixeira,W.G., Lehmann, J., Nehls,T., Macedo, J. L.V., Blum, W. E. H and W. Zech. 2007. 'Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil', Plant and Soil, vol 291, pp275–290.

37. Suliman, W., Harsh, J., AbuLail, N., Fortuna, A., Dallmeyer, I and M. Garcia-Pérez. 2017. The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. Sci. Total. Envi. V: 574. Pp: 139–147.

38. Sun, J., Yang, R., Li, W., Pan, Y., Zheng, M and Zhang, Z. 2018. Effect of biochar amendment on water infiltration in a coastal saline soil. Journal of soils and sediments. V: 18. Pp: 3271-3279.

39. Tian, D., Qu, Z., Gou, M., Li, B and Y. Lv. 2013. Influence and mechanism analysis of biochar on water diffusivity of different soil textures. Chinese Journal of Soil Science. V: 44. Pp: 1374-8.

40. Tenenbaum, D. 2009. Biochar: carbon mitigation from the ground up. Environmental health perspectives. V:117. Pp: 70.

41. United Nations Convention to Combat Desertification, (UNCCD). 2009. Required policy actions to include carbon contained in soils including the use of biochar (charcoal) to replenish soil carbon pools, and restore soil fertility and sequester CO^2. 5^{th} Session of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention (AWG-LCA 5). Bonn, Germany.

42. Wallace, J .2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agr. Ecosyst. Environ. V: 82. Pp:105.

43. Wong, J., Chen, Z., Wong, A., Ng, C and M. Wong. 2018. Effects of biochar on hydraulic conductivity of compacted kaolin clay. Envi. Poll. V: 234. Pp: 468–472.

44. Zhang,L., Zhao, J andY. Wang. 2016. Biochar addition drives soil aggregation and carbon sequestration in aggregate fractions from an intensive agricultural system. Soils Sediments. Pp: 1349-1368.

45. Zidan, A; Ebrahem, G; Habeeb, L and A. Rokia. 1997: "Geology & Fundamentals of Soil Science." Text book for 2nd year agriculture. (Arabic). 350 p. Tishreen University Publications, Lattakia. Syria.

46. Zwieten,L., Singh B and J. Cox.2012. Chapter four: biochar effects on soil properties. In: J Cox (ed) Biochar in horticulture: prospects for the use of biochar in Australian horticulture. Horticulture Australia, NSW Department of Primary Industries.