

أثر إضافة الفحم النباتي على صفات الترب الفيزيوكيميائية وتعزيز نمو الفول (*Vicia faba*) تحت ظروف المناطق الصحراوية الجافة

كوثر المدني علي أبوزيان¹ عائشة رمضان محمد^{2,1}

المخلص

اجريت هذه الدراسة لتقييم تأثير معاملة ترب المناطق الجافة بمعاملات مختلفة من الفحم الحيوي وهي (T₀ = 0% ، T₁ = 2% ، T₂ = 4% ، T₃ = 8% ، T₄ = 15% ، T₅ = 30%) على الخصائص الفيزيوكيميائية للترب الصحراوية غير المزروعة والمزروعة بنبات الفول، وذلك في بيئة جافة. أظهرت النتائج أن معاملة 2% من الفحم النباتي كانت الأكثر فاعلية في تعزيز النمو الخضري لنبات الفول، حيث سجلت أعلى معدل طول خضري (32.5 سم) وعدد أوراق (13 ورقة)، بالإضافة إلى أعلى وزن رطب وجاف للكتلة الحيوية مقارنة بالشاهد. بينما أظهرت التراكيز العالية (T₄ = 15% ، T₅ = 30%) تأثيرًا محدودًا على النمو، مما يشير إلى وجود تركيز مثالي للفحم النباتي في تحسين نمو النبات. فيما يخص التربة غير المزروعة، لوحظ تحسن كبير في السعة الحقلية مع زيادة نسبة الفحم النباتي المضاف، حيث بلغت 46% عند تركيز 30% مقارنة بـ 9% في الشاهد (T₀ = 0%)، مما يعكس قدرة الفحم النباتي على تحسين احتباس الماء بفضل مساميته العالية. كما سجلت المادة العضوية أعلى قيمة عند المعاملة T₅ (30%) وهي 27.8% ، في حين أظهرت السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) نمطًا غير خطي، حيث انخفضت بشكل حاد عند التراكيز المتوسطة ثم ارتفعت مجددًا عند T₅ 30% ، كما بينت النتائج للتربة المزروعة وغير المزروعة تغيرات ملحوظة في تراكيز العناصر الغذائية، حيث ارتفع تركيز Mg وCa بشكل واضح عند التراكيز العالية، بينما انخفض تركيز K وCl في معظم المعاملات مقارنة بالشاهد T₀. كما سجل الفسفور أعلى قيمة له عند المعاملة (T₅ = 30%) وهي 96.02 µg /P µg soil g في التربة غير المزروعة و 282.8 µg /P µg soil g تربة في التربة المزروعة مما يشير إلى قدرة الفحم النباتي على تعزيز إطلاق الفسفور في التربة ، وتؤكد هذه الدراسة أن استخدام الفحم النباتي يمثل استراتيجية فعالة لتحسين خواص الترب الصحراوية في المناطق الجافة التربة كما انها تعزز نمو النباتات بما.

Effect of Biochar Amendment on the Physicochemical Properties of Arid Soils and Enhancement of Plant Growth

Kawtar Almadani Ali Abuzayyan¹ Aishah Ramadan Mohamed^{1,2}

This study was conducted to evaluate the effect of treating arid soils with different concentrations of biochar (0%, 2%, 4%, 8%, 15%, and 30%, respectively) on the physicochemical properties of both uncultivated and broad bean-planted desert soils in an arid environment. The results showed that the 2% biochar treatment was the most effective in promoting vegetative growth in broad beans, exhibiting the highest average vegetative length (32.5 cm), number of leaves (13 leaves), and both fresh and dry biomass weights compared to the control. The higher concentrations (15% and 30%, respectively) showed a limited effect on growth, indicating an optimal biochar concentration for enhancing plant development. Regarding uncultivated soil, a significant improvement in field capacity was observed with increasing percentage of added charcoal, reaching 46% at a concentration of 30% compared to 9% in the control (T₀ = 0%), reflecting the ability of charcoal to improve water retention due to its high porosity. Organic matter also recorded its highest value at treatment T₅ (30%), at 27.8%. Cation exchange capacity (CEC) exhibited a non-linear pattern, decreasing sharply at intermediate concentrations and then rising again at T₅ (30%). Results for both cultivated and uncultivated soils showed significant changes in nutrient concentrations. Ca and Mg concentrations increased markedly at higher concentrations, while K and Cl concentrations decreased in most treatments compared to the control (T₀). Phosphorus recorded its highest value at treatment T₅ (30%),

ARTICLE INFO

Vol. 7 No. 3 Dec., 2025

Pages (A 76- 82)

Article history:

Revised form 01 November 2025

Accepted 21 November 2025

Authors affiliation

1.Environmental Science Department,
Faculty of Environment and Natural
Resource, Wadi Alshatti University.

2.Libyan Center for Studies and Research
in Environmental Science and
Technology

kawtar09994@gmail.com

Keywords:

biochar, desert soil,
Physicochemical of soil,
fava bean, Cation exchange
capacity (CEC), arid land

© 2025

Content on this article is an open
access licensed under creative
commons CC BY-NC 4.0.



reaching 96.02 $\mu\text{g/g}$ soil in uncultivated soil and 282.8 $\mu\text{g/g}$ soil in cultivated soil. Soil in the cultivated soil, indicating the ability of charcoal to enhance phosphorus release in the soil. This study confirms that the use of charcoal is an effective strategy for improving the properties of desert soils in arid land areas, and it also promotes plant growth in them.

المقدمة

ظهرت الزراعة منذ آلاف السنين لضمان البقاء وتحقيق الأمن الغذائي والتنمية الاقتصادية. ومع الزيادة السكانية المتسارعة، تواجه التربة ضغوطاً متزايدة لتوفير الغذاء والموارد اللازمة، خاصة في ظل تغير المناخ وتدهور التربة، واعتماد الزراعة الحديثة على الأسمدة والمبيدات الكيميائية مما يؤدي إلى تلوث النظم البيئية المختلفة (Shoudho et al., 2024). ومن أهم التحديات المرتبطة بالزراعة هي نوع التربة وتعتبر التربة الرملية من أكثر أنواع التربة انتشاراً في المناطق الجافة، وتتكون من جسيمات معدنية خشنة مثل الجرانيت والحجر الجيري والكوارتز. وتقل تحدياً للإنتاج الزراعي بسبب ضعف بنائها، وانخفاض محتواها من المادة العضوية والعناصر الغذائية، وقدرتها المحدودة على الاحتفاظ بالماء، مما يقلل من قدرة الجذور على امتصاص المغذيات والرطوبة. لذلك، يمثل تحسين خصائصها الفيزيوكيميائية وألوية بخصبة، خصوصاً مع التوسع الزراعي في المناطق الجافة وشبه الجافة.

يعد الفحم الحيوي أحد الحلول الواعدة لتحسين خصوبة التربة وزيادة إنتاجية المحاصيل، إلى جانب دوره في تثبيت الكربون وتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة، كما يساهم في رفع المادة العضوية وتحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة (Pandian et al., 2024). ويتم إنتاج الفحم الحيوي من خلال التحلل الحراري للكتلة الحيوية في ظروف محدودة الأكسجين، مما ينتج مادة غنية بالكربون ذات قدرة امتصاص عالية تساعد على تثبيت الملوثات وتحسين خواص التربة (Alghamdi, 2018; Kaur et al., 2024). وقد أظهرت الدراسات فعالية الفحم الحيوي في زيادة محتوى التربة من الكربون والحفاظ على خصوبتها بعد الاستخدام الزراعي المكثف (Khan et al., 2024; Shoudho et al., 2024; Nadarajah et al., 2024).

إن استخدام الكتلة الحيوية النباتية يفيد النباتات والتربة بسبب تركيبها الكيميائي وتعتبر من أهم المؤشرات لكفاءة وفعالية الفحم الحيوي وفي جنوب ليبيا، ينتشر نبات الأثل (*Tamarix L.*) على نطاق واسع، ويتميز بمقاومته للملوحة والجفاف والحرارة وأوراقه غنية بالمعادن مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم كما يساهم في مكافحة التصحر وتثبيت الرمال وزيادة احتفاظ التربة بالرطوبة. ونظراً لخصائصه الجيدة تم اختياره لاستخدام الجذوع والأفرع الناتجة عن بقايا الأشجار وعمليات التقليم كمادة خام، مما يجعله مناسباً لإنتاج الفحم الحيوي من مخلفات التقليم دون الإضرار بالغطاء النباتي، (Britannica, 2019).

فالحاجة إلى حلول خضراء لتحسين خصوبة التربة وإنتاجيتها أصبحت أكثر إلحاحاً من أي وقت مضى وبناءً على ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تحسين بعض خواص التربة الرملية وتعزيز نمو نبات الفول (*Vicia faba L.*)، كجزء من الممارسات الزراعية المستدامة في المناطق الجافة الصحراوية.

المواد والطرق:

المواد:

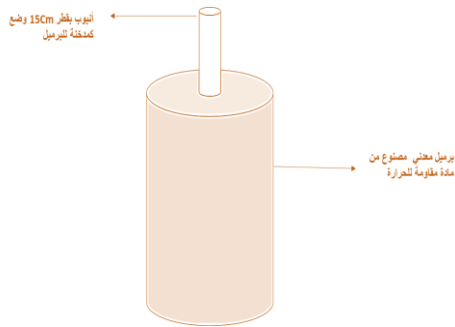
التربة: تم جمع عينة التربة وهي رملية من منطقة زلاف، حيث تم جمع العينات من الطبقة السطحية للتربة. ونقلت إلى المعمل، حيث تم تجفيفها هوائياً. ثم غربلتها باستخدام غربال بقطر 2 مم

للتخلص من الشوائب والجسيمات الكبيرة، وتحضير العينة للتحاليل المعملية، تم إجراء التحاليل للتربة لتحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي استخدمت كأساس للدراسة.

جدول 1 يبين نسب مفضولات التربة المستخدمة في الدراسة ونسجتها

تصنيف التربة	نسبة المفضولات	نوع المفضولات	
تربة رملية	99.53%	الرمل	1
	0.11%	الطين	2
	0.36%	السلت	3

الفحم النباتي: تم تجهيز الفحم النباتي بواسطة أنبوبة مجهزة يدوياً لإنتاجه في ظروف محدودة الأكسجين (حرق لاهوائي) كما هو مبين (بالشكل 1).



شكل (1) الأنبوبة المجهزة لإنتاج الفحم الحيوي

البذور: جمعت بذور نبات الفول من السوق المختص بالزراعة.

المياه المستخدمة الري :

تم استخدام المياه الجوفية في الاصح خلال فترة التجربة والجدول (2) يوضح خصائصها.

جدول 2 خصائص المياه المستخدمة في الري الري

العنصر	الوحدة	مياه الري
EC	(ms)	1.051
pH	/	6.61
CO ₃ ²⁻	meq/l	/
HCO ₃ ⁻	meq/l	5
Cl ⁻	meq/l	6
Ca ²⁺	meq/l	3
Mg ²⁺	meq/l	1.78
Na ⁺	meq/l	5.69
SO ₄ ²⁻	meq/l	0.222
K ⁺	meq/l	0.65

الطرق

تجربة الإنبات:

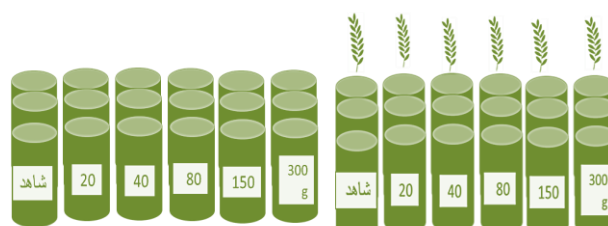
تم إجراء تجربة الإنبات لاختبار حيوية البذور باستخدام أطباق بيتري 3 أطباق، حيث وُضع في كل طبق 10 بذور من نبات الفول (*Vicia faba*) ورويت باستخدام الماء المقطر بانتظام لمدة أسبوع، وتمت مراقبة وتسجيل ملاحظات الإنبات يوميًا..

تقييم تأثير الفحم الحيوي على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة الرملية وحيوية نبات الفول (*Vicia faba L.*)

تصميم التجربة:

أُجريت هذه التجربة خلال موسم الزراعة ربيع 2025 من (مارس) إلى (مايو) في جامعة وادي الشاطئ، كلية البيئة والموارد الطبيعية، قسم علوم البيئة. ركزت الدراسة على تحسين بعض خصائص التربة وأيضاً تقييم نمو وحيوية نبات الفول *Vicia faba L.* عند مختلف المعاملات، تم اتباع تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، مع ثلاثة مكررات لكل معاملة، حيث تم تحضير التربة والفحم الحيوي والبذور قبل الزراعة. طحن الفحم الحيوي وُغريل بغريال حجمه 2 ملم للحصول على حجم مناسب من الحبيبات. استُخدمت في الزراعة أصص بلاستيكية، وأضيفت خمس مستويات من التراكيز المختلفة للفحم النباتي وهي (T₁ 2%، T₂ 4%، T₃ 8%، T₄ 15%، T₅ 30%) حيث تم خلط التربة بوضع وزن 1000 جم من التربة بحسب النسب المقاسة والتراكيز، تم إعداد مجموعة مرجعية (شاهد) وهي (T₀ 0%) .

التربة المعاملة بالفحم النباتي للأثل



تربة غير مزروعة

تربة مزروعة (فول)

رسم توضيحي 2 تصميم التجربة

تم وضع الأصص في بيئة ملائمة تتوفر فيها الإضاءة الطبيعية، التهوية الجيدة، والتعرض لأشعة الشمس المباشرة. تم الري بمياه جوفية وفق 75% من السعة الحقلية للتربة. وعند نهاية التجربة، تم تسجيل الخصائص الحيوية لنمو النبات التي شملت عدد الأوراق، طول الجذر، ارتفاع النبات، الوزن الرطب، والوزن الجاف.

طول الجذر وارتفاع النبات (سم): تم قياس طول الجذر وارتفاع النبات من كل وحدة تجريبية باستخدام شريط قياس دقيق، وحسب المتوسط لكل نبات.

الوزن الرطب للنبات (جم): عند نهاية التجربة، قُلع النبات من التربة، ونظفت جذوره لإزالة أي تربة عالقة، قبل قياس الوزن الرطب بميزان حساس.

الوزن الجاف للنبات (جم): بعد التنظيف، جُفف النبات في فرن بدرجة حرارة ثابتة لمدة أربع ساعات، ثم قيس الوزن الجاف باستخدام ميزان دقيق لضمان دقة النتائج.

قدرت السعة الحقلية للتربة حسب ما ورد في (Association of Official Analytical Chemists- AOAC (1975)، الأس الهيدروجيني (pH): تم قياس الأس الهيدروجيني لعينات المياه ولمستخلصات التربة بالقياس المباشر باستخدام pH-meter الإحصائية الكهربائية (EC) باستعمال جهاز قياس التوصيل الكهربائي Electrical Conductivity Meter، الاملاح الذائبة الكلية، تم تقديرها بطريقة حسابية (Rice et. al., 2000). المادة العضوية (OM) تم تقديرها في استخدام طريقة الحرق الجاف (Loss on Ignition - LOI) في فرن الترميد (Muffle Furnace) عند درجة حرارة 600 درجة مئوية ولمدة 6 ساعات (Zhang and Wang, 2014). تم تقدير الصوديوم والبوتاسيوم باستخدام جهاز مطياف اللهب حسب طريقة (Franson et. al., 1995). وقدرت الكلوريد (Cl⁻) حسب طريقة Argentometric Method حسب ما ورد في (AOAC (1975). وتم تقدير الكبريتات (SO₄²⁻) في المستخلص المائي للتربة بطريقة الترسيب باستخدام كلوريد الباريوم (Richards, 1954) تم قياس الكثافة الظاهرية للتربة باستخدام طريقة الإزاحة الحجمية، حيث وزن 10 غرام من التربة الجافة وأضيفت إلى 20 مل من الماء في مخبار مدرج، وسُجلت زيادة مستوى الماء لحساب حجم الإزاحة ما تم تقدير الفسفور المتاح باستخدام طريقة أولسن وقياس الامتصاصية بجهاز الطيف الضوئي، وقيست السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) باستخدام طريقة خلاص الأيونوم (بشور & الصايغ، 2007).

النتائج والمناقشة:

نسبة الانبات للبذور تحت الدراسة:

أظهرت النتائج (جدول 3) نسبة الانبات للبذور المستخدمة في الدراسة لتقييم حيويتها، حيث وُضع في كل طبق 10 بذور من نبات الفول (*Vicia faba L.*) لمدة أسبوع، وتمت مراقبة وتسجيل ملاحظات الإنبات يوميًا. حيث لم تُظهر بذور الفول أي علامات إنبات خلال اليومين الأول والثاني ابتداءً من اليوم الثالث، بدأت بذور الفول في إظهار علامات النمو التدريجي وكانت نسبة الانبات 0%، حيث لوحظت زيادة واضحة في معدل الإنبات مع مرور الأيام فكانت في الثالث 20% و40% في اليوم الرابع وبلغت أقصى نسبة للإنبات 90% في نهاية الأسبوع، مما يشير إلى جودة جيدة للبذور (Al-Siriri et al., 2025).

جدول 3 نسبة الانبات للبذور تحت الدراسة

النسبة المئوية للإنبات (%)	عدد البذور	اليوم
0	0	1
0	0	2
20	2	3
40	4	4
60	6	5
80	8	6
90	9	7

تقييم تأثير الفحم الحيوي على المؤشرات الحيوية لنمو نبات الفول (*Vicia faba L.*)

يوضح (الجدول 4) معدل المؤشرات الحيوية لنمو نبات الفول عند معاملات الفحم الحيوي المختلفة من حيث الطول الوزن الخضري والجذري والجاف والرطب وعدد الأوراق يتضح من الجدول ان معاملة الشاهد (T₀ 0%) كان طول الجذر 19 سم وهو متقارب من الطول الجزء الخضري للنبات (19.5). فيما كان عدد الأوراق كان 5 اوراق، وإنتاجية النبات أي الوزن الجاف للكتلة الحيوية للنبات تساوي 0.69 جم، مما يشير محدودية النمو و يعكس بيئة

تقييم تأثير الفحم الحيوي على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة الرملية غير المزروعة:

تُظهر نتائج الدراسة (الجدول 5) تأثير الفحم الحيوي على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة الرملية غير المزروعة. حيث وجد أن إضافة الفحم الحيوي أدت إلى تحسّن واضح في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الرملية غير المزروعة ودرجة تعتمد على نسبة الإضافة. حيث بلغت أعلى قيمة للسعة الحقلية عند المعاملة (30%) T_5 إذ وصلت إلى 46%، مقارنة بمعاملة الشاهد T_0 (0%) التي سجلت أدنى قيمة بلغت 8%، ويُعزى ذلك إلى الطبيعة المسامية للفحم الحيوي وزيادة قدرته على الاحتفاظ بالماء، كما سُجلت أدنى قيمة للكثافة الحقيقية عند المعاملة T_5 وبلغت 1.7 g/cm^3 ، مما يدل على تحسّن بناء التربة وزيادة مساميتها. و تراوحت قيم الأس الهيدروجيني (pH) في التربة المعاملة بين (7.10–6.17) وهي ضمن المدى المتعادل تقريبًا، بينما سجلت معاملة الشاهد T_0 قيمة 5.86 مما يشير إلى قدرة الفحم الحيوي على تعديل تفاعل التربة، كما أظهرت النتائج تأثير معاملات الفحم الحيوي على قيم الإصالية التربة المعاملة، حيث قيمة الإصالية الكهربائية في تربة الشاهد (7.9 mS/cm)، وأصبحت 4.38، 4.00، 4.16، 6.40، 4.09 mS/cm على التوالي للمعاملات T_0 ، 0%، T_1 ، 2%، T_2 ، 4%، T_3 ، 8%، T_4 ، 15%، و T_5 ، 30% على الترتيب نتيجة تحسّن ديناميكية الأملاح في التربة المعاملة

أما فيما يخص الكاتيونات (الأيونات الموجبة) فقد سجل الكالسيوم قيمًا مرتفعة نسبيًا في جميع المعاملات، وبلغت أعلى قيمة عند المعاملة T_5 ، مما يعكس قدرة الفحم الحيوي في تعزيز توفر هذا العنصر. كما أظهر المغنيسيوم استجابة واضحة لإضافة الفحم الحيوي؛ إذ ارتفع تركيزه من 2.36 مليمكافئ/لتر في الشاهد T_0 إلى قيم أعلى، وسُجلت أعلى القيم عند المعاملتين T_4 (15%) و عند المعاملة T_5 (30%) (12.2/13 meq/l)، ويُعزى ذلك إلى المحتوى المعدني للفحم الحيوي وقدرته على الاحتفاظ بالمغذيات وإطلاقها تدريجيًا كما أن التراكيز العالية قد تساهم في إطلاق كميات أكبر من المغنيسيوم المرتبط بالرماد المعدني للفحم، مما يعزز من خصوبة التربة ويزيد من توفر العناصر المغذية للنباتات. وتتفق هذه النتائج مع العديد من الدراسات التي تشير إلى أن الفحم الحيوي، خصوصًا عند تحضيره من مصادر نباتية غنية يمكن أن يكون مصدرًا للعناصر الغذائية، مما يساعد في تحسّن التوازن الأيوني في التربة الرملية الفقيرة.

كما انخفض تركيز الصوديوم بشكل ملحوظ مع إضافة الفحم الحيوي؛ إذ سجلت أعلى قيمة في معاملة الشاهد T_0 ، في حين انخفضت القيم في جميع المعاملات المضافة بالفحم الحيوي، وسُجلت أدنى قيمة عند المعاملة (30%) T_5 ، مما يدل على دور الفحم الحيوي في ادمصاص الصوديوم أو دخوله في التبادل الأيوني داخل بنيتها المسامية (Yang et al., 2024) الذي أشار إلى ادمصاص أيون الصوديوم، حيث أظهر كل من الفحم الحراري المستخرج من قش القمح (3.95–4.94 ملجم/جم Na^+) والفحم الحراري المستخرج من رقائق خشب الحور (0.62–0.70 ملجم/جم Na^+) مما يشير إلى إطلاق وادمصاص أيون الصوديوم على التوالي. كما لوحظ انخفاض عام في تركيز البوتاسيوم مقارنة بالشاهد، خاصة عند التراكيز المنخفضة مما يشير إلى أن الفحم الحيوي في الإضافات المنخفضة قد يكون قد ادمص البوتاسيوم أو ارتبط به داخل بنيتها المسامية، مما قلل من تركيزه، مع ارتفاع نسبي محدود عند المعاملتين T_4 و T_5 ، مما يشير إلى أن الفحم الحيوي، خصوصًا في التراكيز العالية، قد يساهم في تحرير جزء من البوتاسيوم المرتبط بالرماد المعدني أو من خلال التبادل الأيوني وهذا يتوافق مع (Zhao et al., 2014)

أما بالنسبة للأيونات السالبة (الأيونات)، فقد بلغ أعلى تركيز لأيون الكلوريد في معاملة الشاهد وهو 130 meq/l، وهي قيمة مرتفعة تعكس ملوحة عالية في التربة الرملية غير المعاملة، مما يُعد مؤشرًا سلبيًا على جودة التربة، بينما أدى إضافة الفحم الحيوي إلى انخفاض ملحوظ في تركيزه، وسُجلت أدنى قيمة عند المعاملة (30%) T_5 ، مما يعكس قدرة الفحم الحيوي على تقليل الإجهاد الملحي وتحسّن جودة التربة كما ازداد تركيز الكبريتات تدريجيًا مع زيادة نسبة الفحم الحيوي مما يدل على أن التراكيز المنخفضة والمتوسطة من الفحم الحيوي تساهم في تحسّن محتوى الكبريتات في التربة. وهذا يتوافق مع (Zhao and Zhang, 2021) اللذين

نمو فقيرة، كما تشير النتائج إلى أن الوزن الجاف للجذور فقط يساوي 0.40 جم مما يشير إلى أن النبات اتجه إلى دعم نمو المجموع الجذري أكثر من النمو المجموع الخضري لتعويض نقص العناصر والماء في التربة وهذا يفسر قلة عدد الأوراق (جدول 4) وهذا يتفق مع دراسة (Bakhoum et al., 2022). أما المعاملة T_1 (2%) فقد كانت مخففة لنمو النبات حيث بلغ طول الجزء الخضري 32.5 سم كما بلغ عدد الأوراق 13 ورقة ما يدل على تحسّن كبير في النمو الخضري والبناء الضوئي للنباتات حيث كان الوزن الكلي الجاف 1.16 جم وكان الوزن الجاف للجزء الخضري 0.71 جم مما يدل إلى أن النمو في الجزء الخضري كان أكبر من النمو في الجزء الجذري عند هذه المعاملة مما يشير إلى أن المعاملة T_1 (2%) يدعم نمو أفضل للجزء الخضري و يرفع معدل إنتاج الكتلة الحيوية. أما بالنسبة T_2 (4%) فقد لوحظ انخفاض في طول الجذر مقارنة بمعاملة الشاهد مع زيادة الطول الخضري أما بالنسبة لمتوسط عدد الأوراق فبلغ 13 ورقة وهو مساوي لعددتها في المعاملة T_1 (2%)، أما بالنسبة للوزن الكلي الجاف 0.71 جم وهذا يعتبر مؤشرًا مهمًا على قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية. وعند المعاملة T_3 (8%) فإن النتائج تظهر أن النمو الخضري والجذري متوازن أكثر، متوسط عدد الأوراق فكان أقل ويساوي 11 ورقة، أما عند المعاملة T_4 (15%) فإن متوسط طول النباتات كان 18.1 سم وطول الجزء الجذري 9.33 سم و متوسط الوزن الجاف فكان 0.655 جم. بينما في المعاملة T_5 (30%) كان متوسط طول النبات 19.25 سم أما متوسط طول الجزء الجذري فكان 13.56 سم أما متوسط الوزن الجاف فبلغ 0.783 جم.

إن نتائج الدراسة الحالية تشير إلى أن استخدام الفحم النباتي بنسب معتدلة يمثل استراتيجية فعالة لتحسين خصوبة التربة الرملية وتعزيز نمو النباتات في البيئات الجافة. وتتفق النتائج مع ما توصلت إليه (Egamberdieva et al., 2020)، أن إضافة الفحم الحيوي المصنوع من الذرة بتركيزين 2% و 4% أدت إلى تحسّن نمو نبات الفول العريض (*Vicia faba L.*) سواء في ظروف الري أو الجفاف. فقد زادت الكتلة الجافة للجذر والساق بشكل ملحوظ عند إضافة الفحم الحيوي. وأيضًا إلى ما توصلت إليه (Egamberdieva et al., 2016) الذي وجد أن نباتات فول الصويا المزروعة في تربة معدلة بفحم الهيدروكربوني (2%) تعطي أفضل إنتاجية. وكذلك تتفق مع موجد (Huynh et al., 2021) الذي وجد أن نبات الخردل الأخضر المزروع في تربة مُحتنة بالفحم تكون أكثر ارتفاعًا بمعدل 3% إلى 21%، كما وجد أنها ذات محصولًا أعلى بنسبة 18% إلى 81% مقارنةً بالنباتات المزروعة في التربة الغير معاملة.

جدول 1 يبين تأثير معاملات الفحم الحيوي على المؤشرات الحيوية لنمو نبات الفول (*Vicia faba L.*)

المؤشرات الحيوية للنبات	معاملات إضافة الفحم %					
	شاهد	2	4	8	15	30
طول الجزء الجذري سم	19.00	17.50	10.00	12.50	9.33	13.56
طول الجزء الخضري سم	19.50	32.50	23.00	19.00	18.10	19.25
الطول الكلي للنبات سم	38.50	50.00	33.00	31.50	30.41	29.50
عدد الاوراق	5.00	13.00	11.00	12.00	14.00	
الوزن جذر رطب جم	0.57	2.93	1.54	1.50	1.43	0.79
وزن الأخضر رطب جم	0.58	4.68	2.26	1.49	2.59	3.05
وزن الكامل رطب جم	1.15	7.61	3.80	2.99	4.02	4.14
وزن جذر جاف جم	0.40	0.45	0.22	0.27	0.28	0.38
وزن الخضري جاف جم	0.29	0.71	0.49	0.34	0.38	0.41
وزن الكامل جاف جم	0.69	1.16	0.71	0.60	0.66	0.78

96.02	66.9	18.7	63.6	68	51	µg P/g soil	P
27.8	15.4	7.4	4.6	1.4	1.8	(%)	OM
5.29	1.30	1.23	1.23	1.1	5.50	(meq/100g)	CEC

تأثير الفحم الحيوي على الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة الرملية المزروعة:

أظهرت نتائج الدراسة (الجدول 6) أن إضافة الفحم الحيوي حسنت الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المزروعة بشكل واضح عند زيادة نسبة إضافة الفحم الحيوي. فقد بلغت أعلى قيمة للسعة الحقلية 43% عند المعاملة T₅-30% مقارنة بالشاهد T₀-0% الذي سجل 9%، مما يعكس قدرة الفحم الحيوي على تحسين الاحتفاظ بالماء بفضل مساميته العالية وهذا يتوافق مع (Premalatha et al., 2023). كما لوحظ انخفاض قيمة الكثافة الحقيقية إلى 1.25 g/cm³ عند المعاملة T₅ مقارنة بـ 3.33 g/cm³ في معاملة الشاهد T₀، مما يشير إلى زيادة المسامية وتخفيف التربة، في حين تراوح pH بين 6.26-7.02 مقابل 6.29 في T₀ الشاهد. ان نتائج هذه الدراسة تبين تأثير الفحم الحيوي على خصائص التربة المعاملة، حيث ان الإيصالية الكهربائية EC انخفضت بشكل ملحوظ من 5.32 mS/cm في معاملة الشاهد T₀ إلى 1.59-3.11 mS/cm في المعاملات المنخفضة والمتوسطة، ما يدل على دور الفحم الحيوي في تقليل الملوحة والحد من إجهاد الصوديوم على النباتات.

هذه النتائج تتماشى إلى حد كبير مع ما ذكره (Premalatha et al., 2023) الذين أشاروا إلى أن إضافة الفحم إلى التربة ترفع قيم المسامية وتقلل من قيم الكثافة الحقيقية بفضل الطبيعة شديدة المسامية للفحم الحيوي، مما يحسن الاحتفاظ بالماء والحركة الميكانيكية للتربة.

بالنسبة للأيونات الموجبة (الكاتيونات)، فقد سجل الكالسيوم أعلى قيمة عند المعاملتين T₄، T₅ (24.7-25.5) meq/l مقارنة بالشاهد T₀ (5.98) meq/l بينما ارتفع المغنيسيوم من 5.13 meq/l في T₀ إلى 11.8-18.2 meq/l عند T₄ و T₅، مما يعكس قدرة الفحم الحيوي على تعزيز توفر العناصر الغذائية. (Ekuya et al., 2022) الصوديوم انخفض من 7.09 meq/l في T₀ إلى 4.10-6.95-4.37 meq/l عند T₁-T₂-T₃، ثم ارتفع عند المعاملات العالية T₄، T₅ (9.01-9.19) meq/l ما يعكس إعادة توزيع الصوديوم عبر الامتصاص أو التبادل الأيوني. أما البوتاسيوم فقد ارتفع في المعاملات العالية T₄، T₅ (0.32-0.42) meq/l مقارنة بالشاهد 0.28 meq/l نتيجة تحريره من الرمد المعدني للفحم أو التبادل الأيوني. (Nastaran et al., 2020).

أما الأيونات السالبة (الأنيونات)، فقد انخفض الكلوريد من 25.2 meq/l في الشاهد T₀ إلى 8.4-16.7-9.8 meq/l في كل من المعاملات T₁-T₂-T₃، بينما بلغ 23.8 meq/l في كل من المعاملتين T₄، T₅ مما يدل على قدرة الفحم الحيوي على تحسين بيئة جذور النباتات. كما تراوحت تراكيز الكبريتات من 0.14 meq/l في معاملة الشاهد T₀ إلى 0.69 و 0.89 في كل من المعاملتين T₄ و T₅، ما يعكس تأثير الفحم الحيوي على تحسين توفر الكبريتات في التربة المعاملة. لم تُسجل كربونات حرة، بينما تراوحت البيكربونات بين 0.8-1.6 meq/l في المعاملات المنخفضة والمتوسطة و كانت (2-2.4) meq/l عند المعاملتين T₄ و T₅، مما يشير إلى تعديل التفاعل الكيميائي للتربة. (Li et al., 2022) (Dong et al., 2018).

ان النتائج تشير إلى ارتفاع تركيز الفوسفور تدريجيًا من 42 µg P / g soil في معاملة الشاهد T₀ إلى 282 µg P / g soil عند المعاملة T₅ وذلك بالتوازي مع زيادة المادة العضوية من 2% إلى 25.4% عند T₅، مما يعكس قدرة الفحم الحيوي على تعزيز الخصوبة

بينما ان الاستخدام المشترك للفحم الحيوي والكبريتات بكميات مناسبة يحسن من نمو النبات ويوفر الكبريت في التربة الجيرية، و حيث سُجلت أعلى قيمة عند المعاملة (15%) T₄، قبل أن تنخفض نسبيًا عند T₅، ويُعزى ذلك إلى مساهمة الرمد المعدني وتعزيز النشاط الميكروبي (Zhao and Zhang, 2021).

بالمقابل لم تسجل تراكيز للكربونات (CO₃²⁻) في جميع المعاملات، وهو أمر متوقع في الترب ذات التفاعل المتعادل إلى الحمضي. في المقابل، انخفض تركيز البيكربونات عند التراكيز المنخفضة والمتوسطة من الفحم الحيوي، ثم ارتفع عند أعلى نسب الإضافة T₄ و T₅، مما يدل على تأثير الفحم الحيوي في ديناميكية الكربون غير العضوي وتعديل تفاعل التربة وهو ما يتوافق مع (Li et al., 2022)، ان هذه النتائج تشير إلى أن الفحم الحيوي لم يؤدي إلى تراكم كربونات في التربة، لكنه أثر بشكل ملحوظ على ديناميكية البيكربونات وخاصة عند التراكيز العالية، مما قد يكون له دور في تعديل تفاعل التربة وتحسين قابليتها لتبادل العناصر الغذائية. وهذا يتفق مع ما توصل اليه (Dong et al., 2018). أن معدلات تطبيق الفحم الحيوي ارتبطت ارتباطًا إيجابيًا بمحتوى الكربون غير العضوي في التربة. وباستخدام طريقة نظائر الكربون C₁₃ المستقرة، وُجد أن الفحم الحيوي يزيد من تكوين الكربون غير العضوي المولد للتربة وليس من خلال الحفاظ على الكربون القديم فقط. كما أظهرت النتائج ارتفاعًا تدريجيًا في تركيز الفوسفور مع زيادة نسبة الفحم الحيوي المضاف، حيث ارتفع من 51 µg P/g soil في معاملة الشاهد T₀ إلى 96.02 µg P/g soil عند المعاملة T₅-30%، وهذا الارتفاع في التركيز كان بالتوازي مع ارتفاع المادة العضوية للتربة التي ارتفعت من 1.4% إلى 27.8%، مما يعكس قدرة الفحم الحيوي على الاحتفاظ بالفوسفور وتقليل فقدته كما ان هذا الارتفاع في التركيز يعكس قدرة الفحم الحيوي على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية وتقليل فقدها بالجريان السطحي أو التسرب العميق، كما يعزز من توفر واتاحة الفوسفور للنباتات مستقبلاً وتعزيز خصوبة التربة (Glaser and Lehr, 2019).

ان نتائج الدراسة تشير إلى تباين قيم السعة التبادلية الكاتيونية في التربة (CEC)، إذ سُجلت أعلى قيمة في معاملة الشاهد T₀، بينما انخفضت عند الإضافة المنخفضة ثم ارتفعت قيمتها عند المعاملة T₅ وهو ما يتوافق مع (Antonangelo et al., 2024) الذين أشاروا إلى أن الفحم الحيوي يؤثر بشكل كبير على السعة التبادلية الكاتيونية للتربة اعتمادًا على خصائصه مثل الرمد، مساحة السطح، والمحتوى المعدني. كما انها تتوافق مع (Basso et al., 2012) و (Zhao et al., 2014) الذين أشاروا إلى أن الفحم الحيوي يمكن أن يخفض CEC بنسبة تصل إلى 10%، مما يعكس تأثيره على ديناميكيات العناصر الغذائية وتحسين خصوبة التربة.

جدول 2 خصائص الفيزيوكيميائية للتربة الغير مزروعة

الخاصية	الوحدة	المعاملات %					
		شاهد	2	4	8	15	30
FC	(%)	8.00	8.00	9.00	12.00	33.0	46.00
EC	(ms)	7.9	4.38	4.00	4.09	6.40	4.16
pH		5.86	7.10	6.44	6.23	6.17	7.03
ρs	g/cm ³	3.30	3.30	2.50	2.00	2.00	1.70
Ca ²⁺	meq/l	8.7	12.70	14.70	13.60	24.4	24.7
Mg ²⁺	meq/l	2.36	4.73	3.15	3.55	13.0	12.2
Na ⁺	meq/l	22.6	6.60	4.63	5.71	6.95	4.28
K ⁺	meq/l	1.89	0.09	0.06	0.10	0.19	0.15
Cl ⁻	meq/l	130.00	21.00	15.40	15.00	22.0	10.0
SO ₄	meq/l	0.12	0.58	0.83	0.93	1.35	1.09
CO ₃	meq/l	0	0	0	0	0	0
HCO ₃	meq/l	2	1.8	1.4	1.4	2	3

المراجع:

- بشور، ع.، & الصايغ، أ. (2007). طرق تحليل تربة المناطق الجافة وشبه الجافة. الجامعة الأميركية في بيروت، لبنان. http://agri-science-reference.blogspot.com/2015/01/blog-post_37.html
- Aboeela, D., Saleh, H., Attia, A. M., Elhenawy, Y., Majozi, T., & Bassyouni, M. (2023). Recent advances in biomass pyrolysis processes for bioenergy production: Optimization of operating conditions. *Sustainability*, 15(14), 11238. <https://doi.org/10.3390/su151411238>
- Alghamdi, A. G. (2018). Biochar as a potential soil additive for improving soil physical properties—a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(24).
- Al-Siriti, S. M., Alsbani, A. A., & Mohammed, N. (2025). A study of the effect of soaking faba bean seeds in several treatments on germination, some morphological and physiological growth characteristics, and their tolerance to salt stress. *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*, 38-52. <https://doi.org/10.54361/ajmas.253s06>
- American Public Health Association. (1975). Standard methods for the examination of water and wastewater (12th ed.). New York, NY: Author.
- Antonangelo, J. A., Culman, S., & Zhang, H. (2024). Comparative analysis and prediction of cation exchange capacity via summation: influence of biochar type and nutrient ratios. *Frontiers in Soil Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1371777>
- AOAC. (1975). Official methods of analysis (12th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Bakhrouf, G., Gehan, A. A., & Sadak, M. (2022). Biochemical study of some faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars under different water regimes in sandy soil. *Egyptian Journal of Chemistry*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.117184.5288>
- Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R., & Westgate, M. (2012). Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy*, 5(2), 132–143. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12026>
- Dong, X., Singh, B. P., Li, G., Lin, Q., & Zhao, X. (2018). Biochar increased field soil inorganic carbon content five years after application. *Soil and Tillage Research*, 186, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.013>
- Egamberdieva, D., Wirth, S., Behrendt, U., Abd_Allah, E. F., & Berg, G. (2016). Biochar treatment resulted in a combined effect on soybean growth promotion and a shift in plant growth promoting rhizobacteria. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00209>

(Glaser & Lehr, 2019) (Khan et al., 2023).
(Glaser & Lehr, 2019) (Khan et al., 2023).

أما السعة التبادلية الكاتيونية CEC، فقد تغيرت بشكل غير خطي؛ فكانت (5.1 T₀ meq /100g) عند الإضافات المنخفضة (2–4%) T₁–T₂، ثم انخفضت عند التراكيز المتوسطة (8–15%) T₃–T₄ إلى 1.1 meq /100g، قبل أن ترتفع عند نسبة عالية (30%) T₅ لتصل إلى 13 meq /100g، مما يعكس تأثير خصائص الفحم الحيوي مثل الرماد، مساحة السطح والمحتوى المعدني على CEC. وأيضاً لم تؤد إضافة 3–6% من الفحم الخشبي الصلب إلى التربة الرملية إلى أي تغير ملحوظ في CEC وهذا يتفق مع (Zhao et al., 2014) و (Basso et al., 2012).

جدول 3 الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة المزروعة

الخاصية	الوحدة	شاهد	%2	%4	%8	%15	%30
FC	(%)	9.00	11.00	15.00	15.00	26.00	43.00
EC	(ms)	5.32	1.59	3.11	1.75	5.66	6.30
pH	/	6.29	7.02	6.30	6.26	6.60	6.72
ρ_s	g/cm ³	3.33	2.50	2.50	2.50	2.00	1.25
Ca+2	meq/l	5.98	5.59	11.20	8.70	25.50	24.70
Mg+2	meq/l	5.13	2.36	3.55	2.36	11.80	18.20
Na+	meq/l	7.09	4.10	6.95	4.37	9.01	9.19
K+	meq/l	0.28	0.09	0.20	0.11	0.42	0.32
Cl-	meq/l	25.20	9.80	16.70	8.40	23.80	23.80
SO ₄ -	meq/l	0.14	0.14	0.18	0.16	0.89	0.69
CO ₃	meq/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO ₃	meq/l	1.60	1.20	1.60	0.80	2.00	2.40
P	µg P / g soil	42.00	54.70	72.10	80.30	87.80	282.20
OM	(%)	2.00	3.20	5.00	7.60	13.00	25.40
CEC	(meq/100g)	6.00	5.10	5.10	1.10	1.10	13.00

الخلاصة

أظهرت هذه الدراسة أن تطبيق الفحم الحيوي يمكن أن يعزز بشكل كبير الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة الصحراوية ويعزز نمو النباتات في البيئات الجافة. وفقاً للنتائج، فإن الكميات المعتدلة من الفحم الحيوي هي الأفضل لتحسين خصوبة التربة واحتباس الماء دون أن يكون لها تأثير سلبي. نتيجة لذلك، يعتبر الفحم الحيوي مكماً مفيداً ومستداماً لزيادة الإنتاج الزراعي وجودة التربة في المناطق الجافة.

الشكر وتقدير

الشكر موصول إلى كل من مد يد المساعدة لإنجاز هذا البحث، والله ولي التوفيق. ولا يوجد تعارض مصالح.

- fields in northeast China. *BioResources*, 17(4), 5936–5957. <https://doi.org/10.15376/biores.17.4.5936-5957>
- Nadarajah, K., Asharp, T., & Jeganathan, Y. (2024). Biochar from waste biomass, its fundamentals, engineering aspects, and potential applications: an overview. *Water Science & Technology*, 89(5), 1211–1239. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.051>.
- Pandian, K., Vijayakumar, S., Mustaffa, M. R. a. F., Subramanian, P., & Chitraputhirapillai, S. (2024). Biochar – a sustainable soil conditioner for improving soil health, crop production and environment under changing climate: a review. *Frontiers in Soil Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1376159>
- Premalatha, R. P., Bindu, J. P., Nivetha, E., Malarvizhi, P., Manorama, K., Parameswari, E., & Davamani, V. (2023). A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. *Frontiers in Energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1092637>
- Shoudho, K. N., Khan, T. H., Ara, U. R., Khan, M. R., Shawon, Z. B. Z., & Hoque, M. E. (2024). Biochar in global carbon cycle: Towards sustainable development goals. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 100409. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2024.100409>
- Yang, K., Jing, W., Wang, J., Zhang, K., Li, Y., Xia, M., Zhang, K., & Mao, J. (2024). Structure–Activity mechanism of sodium ion adsorption and release behaviors in biochar. *Agriculture*, 14(8), 1246. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081246>
- Zhang, H., & Wang, J. J. (2014). Loss on ignition method. In *Soil test methods from the southeastern United States* (pp. 155–157).
- Zhao, B., & Zhang, T. (2021). Effects of biochar and sulfate Amendment on plant physiological characteristics, soil properties and sulfur phytoavailability of corn in calcids soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(3), 2917–2925. <https://doi.org/10.15244/pjoes/129690>.
- Zhao, R., Coles, N., Kong, Z., & Wu, J. (2014). Effects of aged and fresh biochars on soil acidity under different incubation conditions. *Soil and Tillage Research*, 146, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.014>
- Egamberdieva, D., Zoghi, Z., Nazarov, K., Wirth, S., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2020). Plant growth response of broad bean (*Vicia faba* L.) to biochar amendment of loamy sand soil under irrigated and drought conditions. *Environmental Sustainability*, 3(3), 319–324. <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00116-y>
- Ekuya, A. L., Luta, J. N., Mande, I. K., & Mbe-Mpie, P. M. (2022). Physico-chemical characteristics of the biochars of *Acacia* sp, *Bambusa* sp, *Eichhornia crassipes* and *Hymenocardia acida*. *Journal of Applied Biosciences*, 170, 17680–17689. <https://doi.org/10.35759/jabs.170.2>
- Glaser, B., & Lehr, V. (2019). Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45693-z>
- Huynh, B. P. K., Van Nguyen, T., & Tran, V. M. (2021). THE CHANGE OF SANDY SOIL PROPERTIES AFTER ADDING CHARCOAL PRODUCED FROM a TRADITIONAL KILN IN THE MEKONG DELTA, VIET NAM. *Scientific Journal of Tra Vinh University*, 1(42), 109–115. <https://doi.org/10.35382/18594816.1.42.2021.698>
- Kaur, H., Prince, D., Kaushal, S., & Shubham. (2024). Effectiveness of Soil-amended Biochar in Improving Crop Production, Soil Health and *Environmental Aspects*. *Asian Research Journal of Agriculture*, 17(2), 284–293. <https://doi.org/10.9734/arja/2024/v17i2449>
- Khan, M. A., Salman, A. Z., & Khan, S. T. (2023). Indigenously produced biochar retains fertility in sandy soil through unique microbial diversity sustenance: a step toward the circular economy. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1158784>
- Khan, S., Irshad, S., Mehmood, K., Hasnain, Z., Nawaz, M., Rais, A., Gul, S., Wahid, M. A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., & Ibrar, D. (2024b). Biochar production and characteristics, its impacts on soil health, crop production, and yield enhancement: a review. *Plants*, 13(2), 166. <https://doi.org/10.3390/plants13020166>.
- Li, X., Che, W., Piao, J., Li, X., Jin, F., Yao, T., Li, P., Wang, W., Tan, T., & Shao, X. (2022). Peanut shell biochar's effect on soil physicochemical properties and salt concentration in highly saline-sodic paddy