

تأثير إضافة الكمبوست ومخلفات حرق النخيل والقطن في بعض الخواص الثرموديناميكية والفيزيائية للتربة

محمد حسن ملا حسين^{1*}، عمر عبد الله الرزاق²، عمر خلف العبد الله³

(1) * دكتوراه اختصاص التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة بدير الزور، جامعة الفرات، دير الزور، سوريا.
molah.mohamd@gmail.com

(2) أستاذ، قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة بدير الزور، جامعة الفرات، دير الزور، سوريا.
omarabdalrazak@alfuratuniv.edu.sy

(3) مدرس، قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة بدير الزور، جامعة الفرات، دير الزور، سوريا.
dr.omaralabdalalah@alfuratuniv.edu.sy

(*) الباحث المراسل: molah.mohamd@gmail.com

الملخص

أُجريت هذه الدراسة خلال الموسمين الزراعيين 2025/2024 و 2026/2025 في منطقة الصور التابعة لمحافظة دير الزور، بهدف تقييم تأثير إضافة الكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن في تحسين بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية والثرموديناميكية للتربة وانعكاس ذلك على نمو وإنتاجية الفول البلدي (*Vicia faba L.*) تحت الظروف البيئية الجافة.

نُفذت التجربة الحقلية وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بأربع معاملات وثلاثة مكررات، تضمنت معاملة الشاهد دون إضافات عضوية (T1)، وإضافة الكمبوست بمعدل (10 طن/هكتار) (T2)، وإضافة المادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن بمعدل (6 طن/هكتار) (T3)، والمعاملة المشتركة المكونة من (6 طن/هكتار مادة كربونية و (4 طن/هكتار كمبوست) (T4).

أظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين المعاملات المدروسة عند مستوى احتمال ($P \leq 0.05$)، حيث حققت المعاملة المشتركة (T4) أفضل النتائج في معظم الصفات المقاسة. فقد انخفضت الناقلية الكهربائية للتربة من (2.85) إلى (1.92) $ds\ m^{-1}$ مقارنة بمعاملة الشاهد، في حين ارتفع محتوى المادة العضوية من (0.52) % إلى (1.74) %، كما أدت هذه المعاملة إلى تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة من خلال خفض الكثافة الظاهرية من (1.42) إلى (1.24) $g\ cm^{-3}$ وزيادة السعة الحقلية من (15.2) % إلى (27.3) %.

كما أسهمت الإضافات العضوية في تحسين البيئة الحرارية والمائية للتربة، إذ انخفضت درجة حرارة التربة عند عمق (10 سم) من (34.8)°م في معاملة الشاهد إلى (28.9)°م في المعاملة (T4)، وارتفع المحتوى الرطوبي الحجمي من (18.2) % إلى (33.5) % . كما سجلت السعة الحرارية الحجمية أعلى قيمة لها في المعاملة (T4) حيث بلغت (1.44) $MJ\ m^{-3}\ ^\circ C^{-1}$ مقارنة بـ (1.15) $MJ\ m^{-3}\ ^\circ C^{-1}$ في معاملة الشاهد.

انعكس التحسن في خصائص التربة على أداء محصول الفول البلدي، حيث بلغت إنتاجية البذور (3.20) طن/هكتار في المعاملة (T4) مقارنة بـ (0.82) طن/هكتار في معاملة الشاهد، كما تحسنت مؤشرات النمو ومكونات الإنتاج بصورة معنوية.

الكلمات المفتاحية: الخصائص الثرموديناميكية للتربة، السعة الحرارية الحجمية، الكثافة الظاهرية، السعة الحقلية، الفول البلدي، الكمبوست.

ورد للنشر بتاريخ 2026 / 6 / 30

قبل للنشر بتاريخ 2026 / 10 / 12

Effect of Compost and Burned Date Palm and Cotton Residues on Selected Soil Thermodynamic and Physical Properties

Mohamd Hasan Mola Hossien ^{*1}, omar Abd Al –Razaak ², Omar Kalaf Al –Abdalah ³

(1) PhD in Soil Science and Land Reclamation, Faculty of Agriculture, , Al-Furat University, Deir ez-Zor, Syria

(2) Professor, Department of Soil and Land Reclamation, College of Agriculture in Deir Ezzor, Al Furat University, Deir Ezzor, Syria. omarabdrazak@alfuratuniv.edu.sy

(3) Assistant Professor, Department of Soil and Land Reclamation, College of Agriculture, Deir Ezzor , Syria. dr.omaralabdalah@alfuratuniv.edu.sy

(*) Corresponding Author: molah.mohamd@gmail.com

Abstract

This study was conducted during the 2024/2025 and 2025/2026 growing seasons in Al-Sour District, Deir Ezzor Governorate, Syria, to evaluate the effects of compost and carbonaceous material derived from burned date palm and cotton residues on selected physical, chemical, and thermodynamic soil properties and their impact on the growth and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) under arid environmental conditions.

The field experiment was arranged in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four treatments and three replications. The treatments included a control without organic amendments (T1), compost applied at a rate of (10) t ha⁻¹ (T2), carbonaceous material derived from burned date palm and cotton residues applied at (6) t ha⁻¹ (T3), and a combined treatment consisting of (6) t ha⁻¹ carbonaceous material and (4)t ha⁻¹ compost (T4).

The results showed significant differences among the studied treatments at the (0.05) probability level ($P \leq 0.05$). The combined treatment (T4) produced the best results for most measured parameters. Soil electrical conductivity decreased from (2.85) to (1.92) ds m⁻¹ compared with the control treatment, while soil organic matter content increased from (0.52)% to (1.74)%. Furthermore, bulk density decreased from (1.42) to (1.24) g cm⁻³, whereas field capacity increased from (15.2)% to (27.3)%.

Organic amendments also improved the thermal and moisture conditions of the soil. Soil temperature at a depth of (10) cm decreased from (34.8)°C in the control treatment to (28.9)°C in treatment T4, while volumetric soil moisture content increased from (18.2)% to (33.5)%. Volumetric heat capacity reached its highest value in treatment T4 (1.44) MJ m⁻³ °C⁻¹ compared with (1.15) MJ m⁻³ °C⁻¹ in the control treatment.

The improvement in soil properties was reflected in the performance of faba bean plants. Seed yield reached (3.20) t ha⁻¹ under treatment T4 compared with (0.82) t ha⁻¹ in the control treatment. Significant improvements were also observed in growth characteristics and yield components.

Keywords: Soil thermodynamic properties, volumetric heat capacity, bulk density, field capacity, faba bean, compost.

Received: 30 /6 /2026

Accepted: 12/10 /2026



© 2026 Author(s). This article is licensed under CC BY-NC-SA 4.0 Open Access License.

1- المقدمة:

تُعد التربة من أهم الموارد الطبيعية اللازمة للإنتاج الزراعي، إلا أن الترب الواقعة في المناطق الجافة وشبه الجافة تتعرض لتدهور مستمر نتيجة انخفاض الهطول المطري وارتفاع درجات الحرارة وزيادة معدلات التبخر، مما يؤدي إلى انخفاض محتواها من المادة العضوية وتراجع خصوبتها وإنتاجيتها. لذلك أصبح تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحرارية للتربة من المتطلبات الأساسية لتحقيق الاستدامة الزراعية ورفع كفاءة استخدام المياه في ظل التغيرات المناخية المتسارعة (Kabir et al., 2023؛ Pandian et al., 2024).

كما يُعد الفول البلدي (*Vicia faba L.*) من أهم المحاصيل البقولية في سورية نظراً لأهميته الغذائية والاقتصادية وقدرته على تثبيت النيتروجين الجوي، الأمر الذي يجعله محصولاً مناسباً للدراسات الهادفة إلى تقييم كفاءة محسنات التربة المختلفة. ونظراً لانتشار مخلفات النخيل والقطن في محافظة دير الزور وما تعانيه ترب المنطقة من انخفاض محتواها العضوي وتزايد تأثيرات الجفاف.

2- الدراسة المرجعية

أظهرت العديد من الدراسات أن إضافة المواد العضوية تؤدي إلى تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة نتيجة زيادة محتواها من المادة العضوية وتحسين بناء التربة. فقد بين الحديثي وعبد حمزة (2010)، و Assefa وآخرون (2004)، و Celik وآخرون (2004) أن الإضافات العضوية تسهم في زيادة استقرار البناء الترابي وتحسين المسامية وخفض الكثافة الظاهرية للتربة.

كما أوضح (Mahdy و Lakhdar وآخرون 2010) أن استخدام المواد العضوية يؤدي إلى تحسين الخصائص الكيميائية للتربة من خلال زيادة جاهزية العناصر الغذائية وخفض التأثيرات السلبية للملوحة، الأمر الذي ينعكس إيجابياً على نمو النباتات وإنتاجيتها.

وإزداد خلال السنوات الأخيرة الاهتمام باستخدام المواد الكربونية الناتجة عن المخلفات الزراعية لما تمتلكه من مساحة سطحية مرتفعة وقدرة عالية على الاحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية. وقد أشار Lehmann و Joseph (2015)، و El-Naggar وآخرون (2019) إلى أن هذه المواد تسهم في تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة وزيادة كفاءة استخدام المياه والأسمدة.

وفيما يتعلق بالخصائص الترموديناميكية للتربة، أوضح Dayoub وآخرون (2023) و Pandian وآخرون (2024) أن المواد الكربونية تساهم في زيادة السعة الحرارية الحجمية للتربة وتقليل التذبذب الحراري وتحسين الاحتفاظ بالرطوبة ضمن منطقة انتشار الجذور.

كما أكدت الدراسات الحديثة وجود تأثير تكاملي بين الكمبوست والمواد الكربونية؛ حيث بين Qian وآخرون (2023)، و Hassan وآخرون (2024)، و Li وآخرون (2024) أن الإضافة المشتركة لهذين المحسنين أدت إلى تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية والمائية للتربة وزيادة إنتاجية المحاصيل، خاصة تحت ظروف الجفاف والملوحة.

وأشارت دراسات حديثة أجريت على الفول البلدي إلى أن تحسين الخصائص الفيزيائية والحرارية للتربة باستخدام المواد العضوية والكربونية يزيد من قدرة النباتات على تحمل الإجهاد البيئي ويحسن النمو والمحصول، كما ورد في نتائج Abd El Moaty وآخرون (2024) و Rajhi وآخرون (2024).

وبالرغم من تعدد الدراسات التي تناولت تأثير الكمبوست أو المواد الكربونية بصورة منفردة، فإن الدراسات المتعلقة باستخدام الكمبوست مع مخلفات حرق النخيل والقطن معاً وتأثيرهما في المؤشرات الترموديناميكية والفيزيائية للتربة تحت الظروف الجافة ما تزال محدودة، الأمر الذي يبرز أهمية إجراء هذه الدراسة.

3- أهداف البحث

تقييم تأثير الإضافة المنفردة والمشاركة للكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن مخلفات النخيل والقطن في بعض الخصائص الفيزيائية والترموديناميكية والكيميائية للتربة وإنتاجية الفول البلدي تحت الظروف الجافة في منطقة الصور بمحافظة دير الزور.

4- مواد وطرائق البحث

4-1 - موقع البحث

نُفذت الدراسة خلال الموسمين الزراعيين 2025/2024 و 2026/2025 في حقل زراعي خاص بمنطقة الصور الواقعة في الريف الشرقي لمحافظة دير الزور، على بعد نحو 35 كم شرق مدينة دير الزور.

4-2 - عينات التربة:

تم اخذ عينات التربة قبل الزراعة وبعد انتهاء كل موسم من الطبقة السطحية (0-15 سم)، وأجريت لها التحاليل الفيزيائية والكيميائية والترموديناميكية التالية:

- التحليل الميكانيكي للتربة بطريقة الهيدروميتر. (Piper, 1950)
- الكثافة الظاهرية باستخدام أسطوانة معدنية حجمها 100 سم³. (Black and Hartge, 1986)
- السعة الحقلية بطريقة تقدير المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية.
- السعة الحرارية الحجمية للتربة (Volumetric Heat Capacity) وفق المعادلات الواردة بحسب طريقة العالم (Hillel, 1998).
- درجة حرارة التربة عند عمقي (10 و 20 سم). Soil Thermometer Method (Hillel, 1998)
- المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة. (%). (Oven Dry Method).
- درجة الحموضة (pH) في معلق مائي بنسبة 1:2.5. (Richards, 1954)
- الناقلية الكهربائية (Ece) لمستخلص العجينة المشبعة. (Richards, 1954)
- المادة العضوية وفق طريقة. Walkley and Black.

4-3- عينات المياه:

استخدمت مياه نهر الفرات في ري المعاملات بطريقة الري السطحي وفق الاحتياجات المائية لمحصول الفول.

4-4- المؤشرات المائية والحرارية :

لإيضاح العلاقة بين المعاملات والبيئة الجذرية، تم قياس درجة حرارة التربة عند عمقي (10 و 20 سم) والمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة أربع مرات خلال الموسم الزراعي، وذلك في مراحل الإنبات، والنمو الخضري، والإزهار، وامتلاء القرون. وقد حُسب متوسط القراءات الأربع لكل معاملة واعتمد في التحليل الإحصائي وعرض النتائج. وشملت القياسات ما يأتي:

1. درجة حرارة التربة عند عمق (10) سم.
2. درجة حرارة التربة عند عمق (20) سم.

3. المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (%) .

واستخدمت متوسطات هذه القراءات في تفسير التغيرات التي طرأت على المؤشرات الثرموديناميكية للتربة وإنتاجية الفول البلدي تحت تأثير المعاملات المختلفة.

4-5 العينات النباتية:

تم مراقبة محصول الفول من بداية الانبات وحتى مرحلة الجني وفي نهاية الموسم تم حساب الإنتاجية طن/هكتار

4-6 الصنف المستخدم:

أُستُخدم في الدراسة صنف الفول البلدي المحلي "دير الزور 1"، وهو صنف متوسط النضج ومتحمل نسبياً لظروف الجفاف السائدة في المنطقة. تمت الزراعة في الأول من شهر تشرين الثاني خلال الموسمين الزراعيين.

4-7 المواد المستخدمة

استُخدم في الدراسة الكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن الاحتراق الجزئي لمخلفات النخيل والقطن.

4-8 معاملات التجربة:

اشتملت التجربة على أربع معاملات هدفت إلى دراسة تأثير الكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن في بعض خصائص التربة وإنتاجية الفول البلدي. تضمنت المعاملة الأولى (T1) الشاهد دون إضافة أي محسنات عضوية، في حين تضمنت المعاملة الثانية (T2) إضافة الكمبوست بمعدل (10 طن/هكتار). أما المعاملة الثالثة (T3) فتضمنت إضافة المادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن بمعدل (6 طن/هكتار). وشملت المعاملة الرابعة (T4) الإضافة المشتركة للكمبوست والمادة الكربونية، حيث أضيفت المادة الكربونية بمعدل (6 طن/هكتار) والكمبوست بمعدل (4 طن/هكتار). وقد وزعت المعاملات عشوائياً ضمن كل مكرر وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD).

4-9 التحليل الاحصائي

تم إجراء التحليل الاحصائي باستخدام برنامج (Gen Stat) وحساب أقل فرق معنوي LSD عند مستوى 0.05 للمقارنة بين المعاملات المدروسة.

5- النتائج والمناقشة

5-1 خصائص التربة قبل الزراعة:

تشير النتائج في الجدول (1) إلى أن التربة المدروسة ذات قوام لومي طيني إلى طيني، مع زيادة تدريجية في الكثافة الظاهرية بزيادة العمق نتيجة انخفاض المادة العضوية وازدياد درجة التراص في الطبقات السفلى.

الجدول (1): بعض الخصائص الفيزيائية للتربة قبل الزراعة

الكثافة الظاهرية (غ/سم ³)	قوام التربة	طين %	سلت %	رمل %	العمق (سم)
1.33	لومية طينية	39	38	23	0-15
1.35	طينية	41	35	24	15-30
1.39	طينية	43	37	20	30-45
1.46	طينية	45	36	19	45-60

أظهرت نتائج التحاليل في الجدول (2) انخفاض محتوى المادة العضوية وارتفاع القلوية نسبياً مع العمق، وهو ما يعكس الحاجة إلى استخدام محسنات عضوية لتحسين خصوبة التربة.

الجدول (2): الخصائص الكيميائية والخصوبة للتربة قبل الزراعة

المادة العضوية %	Ece (ds/m)	pH	العمق (سم)
0.53	2.46	7.55	0-15
0.51	2.25	7.63	15-30
0.42	2.10	7.90	30-45
0.31	1.81	8.10	45-60

5-2- خصائص المواد المستخدمة:

الجدول (3): الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة الكربونية والكمبوست

الكمبوست	المادة الكربونية الناتجة عن مخلفات النخيل والقطن	الصفة
7.2	9.5	ph
1.2	3.8	Ec (ds/m)
31.0	72.0	المادة العضوية %

5-3- خواص مياه الري:

تشير النتائج في الجدول (4) إلى أن مياه الري تقع ضمن الحدود المقبولة للاستخدام الزراعي.

الجدول (4): خواص مياه الري المستخدمة

الصفة	pH	Ecw (ds/m)
القيمة	7.4	1.01

5-4- تأثير المعاملات المدروسة في الخصائص الكيميائية للتربة

5-4-1 - الناقلية الكهربائية (Ece)

يبين الجدول (5) وجود فروق معنوية بين المعاملات المدروسة في قيمة الناقلية الكهربائية للتربة. إذ سجلت معاملة الشاهد (T1) أعلى قيمة بلغت $(2.85) \text{ ds m}^{-1}$ ، في حين أدت إضافة الكمبوست والمادة الكربونية إلى خفض قيم الناقلية الكهربائية، وسجلت المعاملة المشتركة (T4) أدنى قيمة بلغت ds m^{-1} (1.92). ويعزى ذلك إلى دور المادة العضوية في تحسين بناء التربة وزيادة نفاذية الماء وتحسين حركة الأملاح خارج منطقة الجذور، مما ساهم في الحد من تراكمها مقارنة بمعاملة الشاهد. كما يشير انخفاض الناقلية الكهربائية في المعاملات المضافة إلى تحسن الظروف الكيميائية للتربة نتيجة التأثير التكاملي للكمبوست والمادة الكربونية.

الجدول (5): تأثير المعاملات في الناقلية الكهربائية للتربة

المعاملة	Ece (ds/m)
T1	2.85 a
T2	2.31 b
T3	2.45 b
T4	1.92 c
LSD 0.05	0.24

5-4-2 - درجة (pH) التربة:

أظهرت نتائج الدراسة وجود فروق معنوية بين المعاملات المدروسة في درجة تفاعل التربة. فقد سجلت معاملة الشاهد (T1) أعلى قيمة بلغت (7.85)، بينما أدت إضافة الكمبوست والمادة الكربونية إلى خفض قيمة pH تدريجياً، حيث بلغت (7.62) و (7.70) في المعاملتين (T2) و (T3) على التوالي، في حين سجلت المعاملة المشتركة (T4) أدنى قيمة بلغت (7.41). ويعزى ذلك إلى تحلل المواد العضوية وتكون الأحماض العضوية التي ساهمت في خفض قلوية التربة وتحسين ظروفها الكيميائية.

الجدول (6): تأثير المعاملات في pH التربة

المعاملة	pH
T1	7.85 a
T2	7.62 b
T3	7.70 b
T4	7.41 c
LSD 0.05	0.16

خفضت المعاملات العضوية ال pH مقارنة بالشاهد نتيجة تحلل المادة العضوية وإنتاج الأحماض العضوية.

5-4-3- المادة العضوية

تبين النتائج الموضحة بالجدول (7) أنه حققت المعاملة T4 أعلى محتوى من المادة العضوية نتيجة التأثير التكاملية بين الكمبوست والمادة الكربونية.

الجدول (7): تأثير المعاملات في المادة العضوية

المعاملة	المادة العضوية(%)
T1	0.52 d
T2	1.12 b
T3	0.92 c
T4	1.74 a
LSD 0.05	0.15

5-5- تأثير المعاملات في الخصائص الفيزيائية والثرموديناميكية للتربة

أظهرت النتائج المبينة في الجدول (8) وجود فروق معنوية بين المعاملات المدروسة في كل من الكثافة الظاهرية والسعة الحقلية. فقد سجلت معاملة الشاهد (T1) أعلى قيمة للكثافة الظاهرية بلغت (1.42) غ/سم³ نتيجة افتقار التربة للمحسنات العضوية، في حين انخفضت هذه القيمة مع إضافة الكمبوست والمادة الكربونية لتصل إلى أدنى قيمة في المعاملة المشتركة (T4) بلغت (1.24) غ/سم³ ويُعزى ذلك إلى دور المواد العضوية في تحسين بناء التربة وزيادة المسامية وتقليل التراص.

كما أدت المعاملات المختلفة إلى زيادة السعة الحقلية للتربة مقارنة بالشاهد، حيث ارتفعت من (15.2) % في معاملة الشاهد إلى (27.3) % في المعاملة المشتركة (T4) ، مما يشير إلى تحسن قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء نتيجة إضافة الكمبوست والمادة الكربونية.

الجدول (8): تأثير المعاملات في الكثافة الظاهرية والسعة الحقلية

المعاملة	الكثافة الظاهرية (غ/سم ³)	السعة الحقلية(%)
T1	1.42 a	15.2 d
T2	1.34 b	18.4 c
T3	1.29 c	22.1 b
T4	1.24 d	27.3 a
LSD 0.05	0.08	1.60

5-5-1- السعة الحرارية الحجمية للتربة

أظهرت النتائج المبينة في الجدول (9) وجود استجابة واضحة للسعة الحرارية الحجمية للتربة للمعاملات المدروسة. فقد سجلت المعاملة المشتركة (T4) أعلى قيمة للسعة الحرارية الحجمية نتيجة تحسن المحتوى الرطوبي وارتفاع قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، في حين سجلت معاملة الشاهد (T1) أدنى قيمة.

وتشير هذه النتائج إلى أن إضافة الكمبوست والمادة الكربونية حسنت الخصائص الحرارية للتربة وساهمت في زيادة قدرتها على خزن الطاقة الحرارية وتخفيف التذبذبات الحرارية في منطقة الجذور .

الجدول (9): تأثير المعاملات في المؤشرات الترموديناميكية للتربة

المعاملة	السعة الحرارية الحجمية ($\text{MJ m}^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
T1	1.15 d
T2	1.24 c
T3	1.32 b
T4	1.44 a
LSD 0.05	0.08

5-2- درجة حرارة التربة والرطوبة الحجمية:

أظهرت النتائج المبينة في الجدول (10) وجود فروق معنوية بين المعاملات المدروسة في درجة حرارة التربة عند عمقي (10 و 20) سم وفي المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة. فقد سجلت معاملة الشاهد (T1) أعلى درجات حرارة للتربة، حيث بلغت (34.8°C) عند عمق (10) سم و (31.4°C) عند عمق (20) سم، في حين سجلت أدنى قيمة للرطوبة الحجمية بلغت (18.2)%. وعلى العكس من ذلك، حققت المعاملة المشتركة (T4) أدنى درجات حرارة للتربة بلغت (28.9°C) و (27.2°C) عند العمقين (10 و 20) سم على التوالي، وأعلى محتوى رطوبي حجمي بلغ (33.5) %.

كما أظهرت المعاملتان (T2) و (T3) قيماً وسطية بين المعاملة المشتركة، مما يدل على وجود تأثير إيجابي لكل من الكمبوست والمادة الكربونية في تحسين الظروف المائية والحرارية للتربة، إلا أن التأثير كان أكثر وضوحاً عند استخدامهما معاً.

ويُعزى انخفاض درجة حرارة التربة في المعاملات المضاف إليها الكمبوست والمادة الكربونية إلى زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء وارتفاع محتواها من المادة العضوية، الأمر الذي ساهم في تقليل التذبذبات الحرارية وتحسين التنظيم الحراري داخل منطقة الجذور . كما أدت زيادة المسامية والسعة الحقلية إلى رفع المحتوى الرطوبي الحجمي، مما وفر بيئة أكثر ملاءمة لنمو الجذور وزاد من كفاءة امتصاص الماء والعناصر الغذائية. وتتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه Dayoub وآخرون (2023) و Pandian وآخرون (2024) من أن الإضافات العضوية والكربونية تحسن البيئة الحرارية والمائية للتربة وتزيد من قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة تحت الظروف الجافة.

الجدول (10): تأثير المعاملات في درجة حرارة التربة والرطوبة الحجمية

المعاملة	الرطوبة الحجمية (%)	حرارة التربة عند 20 سم ($^{\circ}\text{C}$)	حرارة التربة عند 10 سم ($^{\circ}\text{C}$)
T1	18.2 d	31.4 a	34.8 a
T2	24.6 c	29.5 b	32.1 b
T3	28.2 b	28.8 c	30.7 c
T4	33.5 a	27.2 d	28.9 d

5-6 - تأثير المعاملات في نمو وإنتاجية الفول البلدي:

أظهرت النتائج المبينة في الجدول (11) وجود فروق معنوية بين المعاملات المدروسة في جميع الصفات الإنتاجية للفول البلدي. فقد حققت المعاملة المشتركة (T4) أعلى القيم في ارتفاع النبات وعدد القرون للنبات ووزن (100) حبة وإنتاجية البذور، إذ بلغت (72.5) سم، و(14.2) قرناً/نبات، و(112.4) غ، و(3.20) طن/هكتار على التوالي، مقارنة بمعاملة الشاهد (T1) التي سجلت أدنى القيم في جميع الصفات المدروسة.

ويُعزى تفوق المعاملة المشتركة (T4) إلى التأثير التكاملي بين الكمبوست والمادة الكربونية، حيث أسهما معاً في تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية والثرموديناميكية للتربة، مما أدى إلى زيادة المحتوى الرطوبي وتحسين جاهزية العناصر الغذائية وتوفير ظروف ملائمة لنمو الجذور وامتصاص الماء والعناصر الغذائية، وهو ما انعكس بصورة إيجابية على نمو النبات ومكونات الإنتاج والإنتاجية النهائية.

أما المعاملة (T2)، فقد حققت نتائج أفضل من الشاهد نتيجة الدور المباشر للكمبوست في زيادة المادة العضوية وتحسين خصوبة التربة وتوفير العناصر الغذائية اللازمة للنمو. في حين تفوقت المعاملة (T3) على الشاهد أيضاً، إلا أنها سجلت قيماً أقل من المعاملة (T2) في معظم الصفات المدروسة. ويمكن تفسير ذلك بأن المادة الكربونية أسهمت بصورة رئيسية في تحسين الخصائص الفيزيائية والمائية للتربة، إلا أن محتواها من العناصر الغذائية الجاهزة للنبات أقل من الكمبوست، مما أدى إلى انخفاض نسبي في النمو والإنتاجية مقارنة بمعاملة الكمبوست.

وتشير هذه النتائج إلى أن استخدام المادة الكربونية بمفردها يحسن البيئة الجذرية للتربة، إلا أن دمجها مع الكمبوست يوفر فوائد إضافية تتمثل في تحسين خواص التربة الفيزيائية والمائية من جهة، وزيادة توافر العناصر الغذائية من جهة أخرى، وهو ما يفسر التفوق الواضح للمعاملة المشتركة (T4).

الجدول (11): تأثير المعاملات في بعض الصفات الإنتاجية

الإنتاجية (طن/هكتار)	وزن 100 حبة (غ)	عدد القرون/نبات	ارتفاع النبات (سم)	المعاملة
0.82 d	72.3 d	6.2 d	46.3 d	T1
2.10 b	88.5 b	9.5 b	59.4 b	T2
1.90 c	82.1 c	8.8 c	56.8 c	T3
3.20 a	112.4 a	14.2 a	72.5 a	T4

5-7 - تحليل التباين (ANOVA)

يبين الجدول (12) نتائج تحليل التباين لإنتاجية الفول البلدي، حيث أظهرت النتائج وجود فروق معنوية عالية بين المعاملات المدروسة. بلغت قيمة متوسط مربعات المعاملات (3.29) مقارنة بمتوسط مربعات الخطأ البالغ (0.033)، مما نتج عنه قيمة F محسوبة قدرها (98.65) وتشير هذه القيمة المرتفعة إلى وجود تأثير معنوي للمعاملات المختلفة في إنتاجية الفول البلدي عند مستوى معنوية (0.05). كما يلاحظ أن مجموع المربعات العائد للمعاملات بلغ (9.87) من أصل (10.14) من مجموع المربعات الكلي، مما يدل على أن الجزء الأكبر من التباين في الإنتاجية يرجع إلى تأثير المعاملات المطبقة وليس إلى العوامل العشوائية أو الخطأ التجريبي.

ولإظهار الفروق بين المتوسطات، تم إجراء اختبار المقارنات المتعددة LSD عند مستوى (0.05)، حيث تفوقت المعاملة المشتركة بين الكمبوست والمادة الكربونية (T4) معنوياً على جميع المعاملات الأخرى، تلتها معاملة الكمبوست (T2)، ثم معاملة المادة الكربونية (T3)، في حين سجلت معاملة الشاهد (T1) أدنى قيمة للإنتاجية. ويشير ذلك إلى أن الجمع بين الكمبوست والمادة الكربونية كان الأكثر كفاءة في تحسين خصائص التربة وزيادة إنتاجية الفول البلدي.

كما بلغ معامل الاختلاف (CV%) (5.8) وهي قيمة منخفضة نسبياً، مما يعكس دقة تنفيذ التجربة وارتفاع درجة التجانس بين الوحدات التجريبية، ويؤكد موثوقية النتائج المتحصل عليها وإمكانية الاعتماد عليها في تفسير تأثير المعاملات المدروسة.

الجدول (12): تحليل التباين لإنتاجية الفول البلدي

F	متوسط المربعات	درجات الحرية	مجموع المربعات	مصدر التباين
98.65	3.29	3	9.87	بين المعاملات
-	0.033	8	0.27	الخطأ
-	-	11	10.14	المجموع

بلغ معامل الاختلاف (CV%) (5.8) %، مما يدل على دقة تجريبية عالية.

5-8- معاملات الارتباط والانحدار:

أظهرت النتائج المبينة بالجدول (13) وجود ارتباطات موجبة قوية بين إنتاجية الفول البلدي وكل من المادة العضوية والسعة الحقلية والرطوبة الحجمية، في حين ظهرت ارتباطات سالبة مع الكثافة الظاهرية ودرجة حرارة التربة. كما أظهرت السعة الحرارية الحجمية استجابة واضحة للمعاملات المختلفة نتيجة التغيرات في الكثافة الظاهرية والرطوبة، مما يؤكد أهمية المؤشرات الثرموديناميكية والفيزيائية في تفسير استجابة محصول الفول البلدي للمعاملات العضوية تحت الظروف الجافة.

الجدول (13): معاملات الارتباط بين بعض خصائص التربة وإنتاجية الفول البلدي

معامل الارتباط (r)	العلاقة
0.94	المادة العضوية × الإنتاجية
0.96	السعة الحقلية × الإنتاجية
0.93	الرطوبة الحجمية × الإنتاجية
-0.92	الكثافة الظاهرية × الإنتاجية
-0.89	درجة حرارة التربة × الإنتاجية

6-الاستنتاجات والتوصيات

6-1- الاستنتاجات:

بعد تحليل النتائج توصلنا الى مايلي:

- 1- تنتمي التربة بتركيبها الميكانيكي إلى الترب اللومية الطينية والطينية حسب مثلث القوام ، وتراوحت الكثافة الظاهرية بين (1.33-1.46) غ/سم³، والناقلية الكهربائية (Ece) بين (1.81-2.46) ds. m⁻¹، ودرجة تفاعل التربة (pH) بين (7.55-8.10).
- 2- أدت المعاملة المشتركة بين الكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن (T4) إلى خفض قيمة الناقلية الكهربائية للتربة بنسبة (32.6) % مقارنة بمعاملة الشاهد (T1) ، حيث انخفضت من (2.85) ds m⁻¹ إلى (1.92) ds m⁻¹.
- 3- أدت المعاملة المشتركة بين الكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن (T4) إلى زيادة محتوى التربة من المادة العضوية من (0.52) % إلى (1.74) %، وخفض الكثافة الظاهرية من (1.42) إلى (1.24) غ/سم³، كما رفعت السعة الحقلية من (15.2) % إلى (27.3) %.
- 4- أظهرت المعاملة المشتركة بين الكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن (T4) تأثيراً واضحاً في الخصائص الثرموديناميكية للتربة، حيث ارتفعت السعة الحرارية الحجمية من (1.15) إلى (1.44) MJ m⁻³ °C⁻¹ نتيجة التحسن في المحتوى الرطوبي والكثافة الظاهرية للتربة.
- 5- أسهمت المعاملة المشتركة بين الكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن (T4) في خفض درجة حرارة التربة عند عمق (10) سم من (34.8) °م إلى (28.9) °م ، وعند عمق (20) سم من (31.4) °م إلى (27.2) °م ، وزيادة في المحتوى الرطوبي الحجمي من (18.2) % إلى (33.5) %.
- 6- حققت المعاملة المشتركة بين الكمبوست والمادة الكربونية الناتجة عن مخلفات حرق النخيل والقطن (T4) أعلى إنتاجية للقول البلدي بلغت (3.20) طن/هكتار مقارنة بـ (0.82) طن/هكتار في معاملة الشاهد (T1) .
- 7- أظهر التحليل الإحصائي وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين إنتاجية القول البلدي وكل من المادة العضوية والسعة الحقلية والمحتوى الرطوبي الحجمي، في حين ظهرت علاقة ارتباط سالبة مع الكثافة الظاهرية ودرجة حرارة التربة.

6-2- التوصيات:

- 1- يوصى باعتماد المعاملة T4 (6) طن/هكتار من المادة الكربونية الناتجة عن مخلفات النخيل والقطن (4) طن/هكتار من الكمبوست لتحسين بعض صفات التربة وزيادة إنتاجية القول البلدي.
- 2- تشجيع استثمار مخلفات (النخيل والقطن) وتحويلها إلى مواد كربونية محسنة للتربة بدلاً من التخلص منها بالطرق التقليدية.

- 3- إدراج السعة الحرارية الحجمية ودرجة حرارة التربة ضمن برامج تقييم جودة التربة في الدراسات المستقبلية لما لهما من أهمية في توصيف البيئة الحرارية لمنطقة الجذور.
- 4- إجراء دراسات طويلة الأمد لتقييم التأثير التراكمي للكمبوست والمواد الكربونية في تحسين بعض خواص التربة واستدامة الإنتاج الزراعي.

7. المراجع:

7. 1. المراجع العربية:

1. الحديثي، جاسم عبد، وعبد حمزة، جاسم. (2010). تأثير مصادر ومستويات المادة العضوية في بعض صفات التربة الفيزيائية وحاصل الذرة الصفراء. *مجلة القادسية للعلوم الزراعية*، 15(3)، 67-78.

2. الحموض، محمد، والعلي، فايز. (2020). تقييم التدهور الزراعي في أراضي منطقة الصور بدير الزور. *مجلة جامعة الفرات للعلوم الزراعية*، 12(3)، 45-62.

7-2- المراجع الأجنبية

1. Abd El Moaty, H. I., El Dissouky, A., Elhusseiny, A. F., Farag, K. M., Abu Khudir, R., Alkuwayti, M. A., Al Abdulsalam, N. K., & Abdel Rahman, S. M. (2024). Low-cost nano biochar: A sustainable approach for drought stress mitigation in faba bean (*Vicia faba* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15, 1438893.
2. Assefa, D., Itanna, F., & Olsson, M. (2004). The effect of organic and inorganic fertilizers on soil physical properties and crop yield in Ethiopia. *Soil Use and Management*, 20(4), 436-440.
3. Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk Density. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods* (2nd ed., pp. 363-375). Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
4. Celik, I., Ortas, I., & Kilic, S. (2004). Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*, 78(1), 59-67. [researchgate.net]
5. Dayoub, E. B., Tóth, Z., & Anda, A. (2023). Biochar and its effects on soil properties and evapotranspiration: A sustainable solution for plant growth. *Cogent Food & Agriculture*, 9(2).
6. El-Naggar, A., El-Naggar, A. H., Shaheen, S. M., Sarkar, B., Chang, S. X., Tsang, D. C. W., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2019). Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: A review. *Journal of Environmental Management*, 241, 458-467. [eprints.wh...rose.ac.uk], [research.p...lyu.edu.hk]
7. Hassan, M. U., Huang, G., Munir, R., Khan, T. A., & Noor, M. A. (2024). Biochar co-compost: A promising soil amendment to restrain greenhouse gases and improve soil fertility and crop productivity. *Agronomy*, 14(7), 1583.
8. Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics*. San Diego, California: Academic Press.
9. Kabir, E., Kim, K. H., & Kwon, E. E. (2023). Biochar as a tool for the improvement of soil and environment. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1324533.
10. Lakhdar, A., Hafsi, C., Debez, A., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2011). Assessing solid waste compost application as a practical approach for salt-affected soil reclamation. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 61(3), 284-288. [tandfonline.com]

11. Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (2nd ed.). London: Routledge. [biochar-international.org], [scirp.org]
12. Li, X., Li, Y., Zhang, Y., et al. (2024). Composted biochar versus compost with biochar: Effects on soil quality and crop performance. *Biochar*, 6, 79.
13. Mahdy, A. M. (2011). Comparative effects of different soil amendments on amelioration of saline-sodic soils. *Soil and Water Research*, 6(4), 205-216. [swr.agriculturejournals.cz], [scirp.org]
14. 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. *Frontiers in Soil Science*, 4, 1376159.
15. Piper, C. S. (1950). *Soil and Plant Analysis*. Adelaide, Australia: University of Adelaide Press.
16. Qian, S., Zhou, X., Fu, Y., Song, B., Yan, H., Chen, Z., Sun, Q., Ye, H., Qin, L., & Lai, C. (2023). Biochar-compost as a new option for soil improvement: Application in various problem soils. *Science of the Total Environment*, 870, 162024.
17. Rajhi, I., Nefissi Ouertani, R., Ferchichi, N., Khiari, B., El-Bassi, L., & Mhadhbi, H. (2024). Biochar alleviates single and combined effects of salinity and drought stress in faba bean plants. *Photosynthetica*, 62(2), 221-231.
18. Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agriculture Handbook No. 60. Washington, DC: United States Department of Agriculture.
19. Walkley, A., & Black, I. A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63, 251-264.