

تأثير استخدام الفحم الحيوي والكمبوست و خلأئطهم في الخصائص الفيزيائية للتربة وإنتاجية القمح القاسي *Triticum durum L* تحت ظروف الإجهاد المائي

أ.د. عمر عبد الرزاق (1) أ.د. ياسر السلامة (2) م. رحمه الدندل (3)

الملخص

نفذ البحث خلال موسمي الزراعة (2023 و 2024) م في محطة بحوث اكساد في منطقة المريعية شرق مدينة دير الزور وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بترتيب القطع المنشقة بوجود عاملين (الري ومحسنات التربة) حيث احتلت مستويات الري (100% و 75% و 50%) من السعة الحقلية القطع الرئيسية ؛ ومحسنات التربة (شاهد ، كمبوست ، فحم حيوي ، خليط كمبوست +فحم حيوي) تمثل القطع الثانوية تمت الزراعة على شكل قطع طولية بمساحة 2م 8×2م بهدف دراسة تأثير الكمبوست والفحم الحيوي وخليطهما على خصائص التربة الفيزيائية وإنتاجية نبات القمح صنف اكساد (1105). أظهرت النتائج ان تطبيق الكمبوست والفحم الحيوي وخلأئطهم ساهم في تحسين إنتاجية القمح والخصائص الفيزيائية للتربة للموسمين حيث اظهر اختبار T تحسن كل من المسامية واستقرار التربة . أما بالنسبة للخصائص الفيزيائية للتربة تحسنت بشكل عام مع استخدام المخصبات حيث جاءت نتائج الموسم الثاني متقاربة مع الأول لكن اكثر وضوح وتفوق ، اذ لوحظ انخفاض الكثافة الظاهرية خلال موسمي النمو، حيث كانت اقل قيمة في معاملة الكمبوست (1.19) غ/سم³ بزيادة قدرها (10.52) % مقارنة بالشاهد وارتفعت قيم المسامية بصورة معنوية لنفس المعاملة حيث بلغت (52.13)% بزيادة قدرها (22.57) % مقارنة بالشاهد أما بالنسبة للمجمعات الترابية الجافة، فقد أعطى خليط كمبوست +فحم حيوي اعلى ثباتية لهذه المجمعات بمقدار (64.42)% وبلغت اعلى قيمة لمعامل البناء (1.42) % . تفوق الكمبوست على باقي المعاملات في الإنتاجية وبمقدار (381.10) كغ/دونم بزيادة قدرها (35.16)% عن الشاهد . بينما لم يلاحظ وجود فروق معنوية كبيرة بمؤشر وزن الالف حبة (غ) خلال موسمي الزراعة .

الكلمات المفتاحية : كمبوست ، فحم حيوي ، الخصائص الفيزيائية للتربة ، قمح قاسي 1105، إجهاد مائي .

(1): أستاذ دكتور في قسم التربة واستصلاح الأراضي كلية الهندسة الزراعية بدير الزور - جامعة الفرات

(2): أستاذ دكتور في قسم التربة واستصلاح الأراضي كلية الهندسة الزراعية بدير الزور - جامعة الفرات

(3): طالبة دكتوراه في قسم التربة واستصلاح الأراضي كلية الهندسة الزراعية بدير الزور - جامعة الفرات

المقدمة والدراسة المرجعية:

تواجه الزراعة الحديثة تحديات كبيرة نتيجة محدودية الموارد المائية وتدهور خصائص التربة، مما يؤدي إلى انخفاض إنتاجية المحاصيل. يعد القمح من أهم المحاصيل الاستراتيجية، ويعتمد نموه بشكل كبير على توفر المياه والتربة الخصبة. وقد أظهرت الدراسات أن تحسين خصائص التربة الفيزيائية، مثل المسامية واحتفاظ التربة بالماء، يمكن أن يقلل من تأثير نقص الماء على المحاصيل..

الفحم الحيوي هو ناتج عن التحلل الحراري للمواد العضوية في بيئة منخفضة الأكسجين، أثبتت فعاليته في تحسين خصائص التربة وزيادة إنتاجية المحاصيل. يعمل الفحم الحيوي على تحسين بنية التربة، زيادة محتوى المادة العضوية، تعزيز احتفاظ التربة بالماء، وتقليل كثافة التربة، مما يدعم نمو النبات حتى في ظروف الري المحدودة.

يعرف الفحم الحيوي بأنه مادة حبيبية ، غنية بالكربون، ذو مسامية عالية، يتم إنتاجه عن طريق ما يسمى (التحلل الحراري) للمواد العضوية (كالخشب والروث وبقايا المحاصيل في درجات حرارة (400-700) م وفي ظروف معدومة أو قليلة الأوكسجين (زيدان وآخرون، 2021) . اشارت دراسة (Wang *et al.*، 2023) بأن استخدام الفحم الحيوي تحت الاجهاد الجفافي يحسن محتوى المواد العضوية في التربة كما أنه يزيد من قدرتها على الاحتفاظ بالمياه ، ويعزز استقرار بنية التربة ، مما يعزز نشاط الميكروبات المفيدة .

وهذا يتوافق مع نتائج (Boudjabi *et al.*، 2023) التي أوضحت ان تطبيق الفحم الحيوي أدى ل تحسينات في معايير التربة الفيزيائية والكيميائية مثل محتوى الرطوبة وقيمة pH التربة ومحتواها من المادة العضوية بالتالي تعزيز خصوبة التربة. حيث يعمل الفحم الحيوي على تحسين خواص التربة وزيادة محتواها من العناصر الغذائية وهذا ما أشار اليه (Hernandez *et al.*، 2019) في ابحاثه على تربة مزروعه بالقمح حيث زاد محتواها من الاحماض العضوية والكربون العضوي مما ساهم بإتاحة العناصر الغذائية الرئيسية في التربة كما وأدى الى تحسين خواص التربة الفيزيائية مع الحفاظ على إنتاجيتها.

بنفس السياق يعمل الكمبوست على تحسين مسامية التربة وهذا ما أشارت إليه الدراسة التي قام بها (Duan *et al.*، 2023) حيث بينت أن لتطبيق الكمبوست على التربة أثر إيجابي على خفض الكثافة الظاهرية بنسبة (4-5.6)% مما حسن من مسامية التربة بنسبة (4.2-5.9)% في الطبقة السطحية (0-40) سم. وهذا يعود للتحسن الكبير في خصائص التربة الفيزيائية ومحتواها من العناصر الغذائية .

وبشكل عام تشير معظم الدراسات السابقة أن عملية دمج محسنين يمكن أن يحسن ظروف التربة ، وبالتالي يحتمل أن يساهم في زيادة الإمدادات الغذائية (Guo *et al*,2016). إذ أثبتت الدراسات التأثير الإيجابي الناتج عن الجمع ما بين الكمبوست ومحسنات التربة الأخرى حيث أدت لتعزيز خصائص التربة ونمو النبات بشكل كبير. والتي اشارت أن خليط الفحم الحيوي والسماذ العضوي حسن بشكل كبير الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة ونمو النبات، متفوقاً على المعالجات الفردية والتربة غير المعدلة (Azman *et al*,2023) وكذلك أظهرت دراسة ل (Imran,2022) على التربة الطينية ان إضافة الكمبوست أدت الى انخفاض للكثافة الظاهرية علاوة على زيادة السعة الحقلية. توضح نتائج التجربة التي أجريت من قبل (Zaghloul *et al*,2024) أن استخدام الكمبوست عمل على زيادة الغلة الحبية بنسبة (27)% ونتاجية القش بنسبة (64)% لمحصول القمح .

2- هدف البحث :

- 1) دراسة تأثير استخدام الفحم الحيوي والكمبوست وخلاتهما في تحسين بعض الخصائص الفيزيائية للتربة مثل (الكثافة الظاهرية، المسامية، والاحتفاظ بالرطوبة) تحت ظروف الري المحدود.
 - 2) تقييم انعكاس تأثير هذه المعاملات في تحسين إنتاجية محصول القمح ومردوده في الأراضي شبه الجافة.
- 3- مواد وطرائق البحث:** تم تنفيذ التجربة في محطة بحوث أكساد في منطقة المريعية على بعد حوالي (10) كم إلى الشرق من مدينة دير الزور.
- 3-1- المادة التجريبية :** قمح قاسي صنف أكساد (1105) يمتاز بتحمل الجفاف والتأقلم الواسع في البيئات السورية ويتحمل الرقاد وهو مقاوم إلى متوسط المقاومة لمرض الصدأ الأصفر والأسود ، تمتاز حبوبه بصفات تكنولوجية جيدة .
- 3-2- تحليل التربة :** تم أخذ عينات تربة مركبة بشكل عشوائي من عدة أماكن من العمق (0-25) سم ومزجت جيداً مع بعضها لمجانستها وعمل عينة مركبة منها وبعدها تم تجفيفها هوائياً وبعد طحنها وغربلتها بغربال سعة فتحاته (2) مم أجريت التحاليل المخبرية كما يلي :
- التركيب الميكانيكي للتربة بالهيدرومتر وفقاً لطريقة (Richard,1954) .
 - الكثافة الظاهرية : قدرت مخبرياً بطريق شمع البارافين.
 - الكثافة الحقيقية باستخدام قنينة البيكونومتر سعة (100) سم³ .
 - المسامية الكلية : بالطريقة الحسابية وفقاً لطريقة (Richard,1954).
 - المجمعات الترابية الجافة وفقاً لطريقة (Chepil, 1953) .
 - قياس درجة تفاعل التربة في معلق التربة وفقاً لطريقة (Jackson,1958) .
 - قياس التوصيل الكهربائي بواسطة مستخلص العجينة المشبعة وفق طريقة (Jackson,1958) .
 - تقدير السعة التبادلية وفق طريقة (Summer,1996).
 - تقدير المادة العضوية وفق طريقة (Walkey,1996).

- تقدير الازوت المعدني وفقاً لطريقة (Black,1965).
- تقدير الفسفور المتاح بالتربة حسب (Page et al,1982).
- تقدير البوتاسيوم القابل للامتصاص بالتربة حسب (Black,1965).
- تقدير الكاتيونات والانيونات حسب ما جاء في (Page et al,1982).
- معامل البناء: حسب باستخدام المعادلة التالية $100 \times \frac{\text{تفريق بدون للطين \%} - \text{التفريق للطين \%}}{\text{التفريق للطين \%}}$

جدول (1) التحاليل الفيزيائية للتربة

العمق (سم)	رمل	سلت	طين	قوام التربة	كثافة ظاهرية	كثافة حقيقية	مسامية
30-0	%				غ/سم ³		%
	22.72	36	41.28	طيني	1.34	2.45	45.31

الجدول (2) بعض التحاليل الكيميائية والخصوبة للتربة قبل الزراعة

ميللمكافئ/100 غ تربة							K قابل للتبادل ppm	P قابل للإفادة ppm	N معدني Ppm	سعة تبادلية ميللمكافئ/100 غ تربة	مادة عضوية %	عجينة مشبعة		العمق (سم)
الكاتيونات			الانيونات									EC ds/m	PH	
K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SO4 ⁻	HCO3 ⁻	CL ⁻								
1.11	3.35	4.57	8.25	18.15	0.014	1.95	462	5.85	7.42	22.5	1.17	2.75	7.85	30-0

3-3- المؤشرات الإنتاجية لنبات القمح :

3-3-1- إنتاجية الحبوب غ/نبات.

3-3-2- وزن ال (1000) حبة ، غ : قدر معدل وزن ال 1000 حبة بأخذها عشوائياً من حاصل حبوب كل معاملة .

3-4- تم تحضير الأرض بإجراء فلاحيتين متعامدتين لسطح التربة بالموقع المدروس على عمق (0-25) سم وأجريت عمليات التنعيم والتسوية والتقسيم إلى مساكب مساحة الواحدة منها (8×2) م² ثم زرعت بذور القمح بمعدل (30) كغ/هـ .

3-5- تصميم التجربة والتحليل الإحصائية:

تم تنفيذ التجربة وفق تصميم القطاعات المنشقة ،حيث جاءت نوعية مياه الري في القطع الرئيسية ، ومحسنات التربة (كمبوست+فحم حيوي) القطع الثانوية. تضمنت التربة المعاملات التالية :

أ- تم استخدام أربع معاملات من محسنات التربة بالإضافة إلى خليطهما ومعاملة الشاهد وكانت المعاملات على النحو التالي :

- 1) معاملة الشاهد.
- 2) معاملة الكمبوست : (50%مخلفات نباتية+50%مخلفات ابقار)
- 3) الفحم الحيوي: تم انتاجه مخبرياً من خشب الكينا و اضافته للتربة بمعدل 6%.
- 4) خليط من الكمبوست والفحم الحيوي والذي يتكون من (50% كمبوست +100% فحم حيوي).

ب- معاملات الري : والموضحة حسب المخطط.

القطاع الاول 100% من السعة الحقلية	القطاع الثاني 75% من السعة الحقلية	القطاع الثالث 50% من السعة الحقلية
F0	F1	F3
F1	F3	F0
F2	F2	F1
F3	F0	F2

4- النتائج والمناقشة:

1-4 دراسة تأثير إضافة محسنات التربة والخلط بينها في الكثافة الظاهرية (غ/سم³) تحت مستويات الري المختلفة

الجدول (3) تأثير محسنات التربة في الكثافة الظاهرية غ/سم³ تحت مستويات الري المختلفة

الموسم الثاني				الموسم الأول					
معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات	معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات
	%50	%75	%100			%50	%75	%100	
1.39b	1.43	1.40	1.33	F0	b1.38	1.41	1.40	1.34	F0
a91.1	1.35	1.10	1.11	F1	a1.22	1.36	1.18	1.11	F1
1.21a	1.36	1.17	1.09	F2	a1.22	1.34	1.19	1.14	F2
1.23a	1.36	1.22	1.10	F3	a1.24	1.37	1.23	1.12	F3
	1.38c	1.22b	a61.1	معدل مستويات مياه الري	c1.37	b1.25	a1.18	معدل مستويات مياه الري	
		0.05	I	L.S.D. 0.05%		0.05	I	L.S.D. 0.05%	
		0.06	F			0.06	F		
		0.11	F*I			0.10	F*I		

يلاحظ من نتائج الجدول (3) وجود فروق معنوية بين مستويات الري على الكثافة الظاهرية للتربة. حيث أظهرت المحسنات المضافة (F1, F2, F3) انخفاضاً ملحوظاً في قيم الكثافة الظاهرية مقارنة بمعاملة الشاهد (F0) عبر معظم مستويات الري. فعند مستوى الري 100% في الجدول الأول، انخفضت قيمة الكثافة الظاهرية من 1.34 غ/سم³ في F0 إلى 1.12 غ/سم³ في F3. مما يشير إلى الدور الإيجابي والفعال لهذه المحسنات في تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة. حيث تفوق الكمبوست في كلا الموسمين في خفض الكثافة الظاهرية من (1.39) غ/سم³ إلى (1.19) غ/سم³ بمقدار (10.52) % مقارنة بمعاملة الشاهد.

وهذا يتفق مع نتائج كل من (Blanco-Canqui et al, 2023) والتي اثبتت التأثير الإيجابي للكمبوست على خصائص التربة وخفض الكثافة الظاهرية. كما كان للفحم الحيوي دور فعال في خفض الكثافة الظاهرية وهذا ما أشارت له دراسة قام بها (Wang et al, 2023) بأن استخدام الفحم الحيوي تحت ضغط الجفاف حسن

محتوى المواد العضوية في التربة كما أنه زاد من قدرتها على الاحتفاظ بالمياه ، وعزز استقرار بنية التربة ، وحفز نشاط الميكروبات المفيدة .في حين كانت لمعاملات الري تأثير سلبي على قيمة الكثافة الظاهرية إذ يلاحظ من نفس الجدول ارتفاع قيم الكثافة الظاهرية لكلا الموسمين بانخفاض مستوى مياه الري إذ بلغت قيمة الفرق عن الشاهد للموسم الأول للمعاملة 75% (5.56)% وللموسم الثاني (4.79)% بينما كان الانخفاض أكثر معنوية لمستوى الري 50% إذ وصلت الزيادة الى (18.96)% مقارنة بمعاملة الشاهد للموسم الثاني . يُعزى هذا الارتفاع إلى ظاهرة الانكماش التي تتميز بها التربة الطينية تحت الجفاف. مما يؤدي إلى ازدياد معدلات الجريان السطحي وارتفاع معدلات التبخر التي تعرض التربة للإجهاد المائي وتدهور البنية الحبيبية، وزيادة الكثافة الظاهرية، وانخفاض المسامية الكلية. (Kumar *et al.*, 2023). مما يحد من فعالية هذه المحسنات في تعويض هذا التأثير بشكل كامل.

كان تأثير التفاعل بين عامل الري ومحسنات التربة ذا دلالة إحصائية كما يتضح من قيمة L.S.D للتفاعل البالغة 0.10 و 0.11 مما يفسر أن تأثير المحسنات على الكثافة الظاهرية لم يكن متطابقاً عبر جميع مستويات الري. هذا يؤكد أن فاعلية المحسنات في انخفاض الكثافة الظاهرية كانت معتمدة على مستويات الري المختلفة مع ملاحظة أن أداء المعاملات كان أكثر فعالية تحت مستوى ري (100%)، حيث توفر الرطوبة الوسط الأمثل للنشاط الميكروبي وتفكك المواد العضوية.

4-2- دراسة تأثير إضافة محسنات التربة والخلط بينها في المسامية (%) تحت مستويات الري المختلفة .

الموسم الثاني				الموسم الأول					
معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات	معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات
	%50	%75	%100			%50	%75	%100	
42.53b	40.00	41.33	46.27	F0	43.79b	42.14	43.43	45.81	F0
52.13a	45.00	55.33	56.07	F1	50.20a	44.13	51.73	54.73	F1
49.60a	43.40	51.30	54.10	F2	48.23a	42.17	50.30	52.23	F2
a49.81	44.10	50.53	54.80	F3	49.45a	44.13	50.00	54.23	F3
	c43.14	49.62b	52.81a	معدل مستويات مياه الري		43.14c	48.87b	51.75a	معدل مستويات مياه الري
		3.21	I	L.S.D. 0.05%			1.82	I	L.S.D. 0.05%
		3.70	F				2.10	F	
		6.42	F*I				3.64	F*I	

الجدول (4) : تأثير محسنات التربة في مسامية التربة (%) تحت مستويات ري مختلفة

تظهر النتائج الموضحة بالجدول (4) وجود فروق معنوية بين كل من الكمبوست والفحم الحيوي وخليطهما مقارنة بالشاهد حيث تفوقت معاملة الكمبوست للموسم الثاني على باقي المحسنات للموسمين فقد بلغت (52.13)% بزيادة قدرها (22.57)% عن F0 مما يؤكد دور هذه المواد العضوية في تحسين خصوبة التربة من خلال زيادة محتواها من الكربون العضوي وتحسين بنيتها وهذا يتفق مع نتائج (Paradelo et al,2019) التي أثبتت أن الكمبوست يعمل على زيادة مسامية التربة .

بينما كان لتأثير خفض مستويات الري أثراً سلبياً على مسامية التربة وكان ذلك في الموسم الثاني بشكل أوضح إذ تراوح الفرق لمستوى الري 75% بانخفاض (-6.04) % عن معاملة F0 وانخفاض أكثر معنوية لمستوى الري 50% بفارق (-18.31)% عن F0 .

في حين أظهر تأثير التفاعل للمحسنت والري أن استجابة التربة للمحسنت كانت معتمدة على مستوى الري ففي ظل ظروف الري المحدود 50% كان تأثير المحسنت أقل وضوحاً في حين كان التأثير الأكبر

تحت مستويات الري 100% و 75%. وهذا يتوافق مع نتائج دراسة (Zhu et al,2024) التي أشارت أن ضغط التربة تحت الاجهاد المائي يؤثر سلبا على خصائصها مما يؤدي لانخفاض المسامية .
 4-3- دراسة تأثير إضافة محسنات التربة والخلط بينها في المجمعات الترابية الجافة تحت مستويات ري مختلفة :

الجدول (5): تأثير محسنات التربة على النسبة المئوية للمجمعات الترابية الجافة تحت مستويات الري المختلفة.

الموسم الثاني				الموسم الأول					
معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات	معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات
	%50	%75	%100			%50	%75	%100	
d43.14	44.80	44.20	40.43	F0	42.07d	45.43	42.27	38.50	F0
cb56.53	60.17	57.23	52.20	F1	54.79c	58.53	55.50	50.33	F1
b60.88	64.40	61.53	56.70	F2	58.75b	62.23	59.50	54.53	F2
a64.42	59.60	65.23	68.43	F3	62.62a	58.23	63.23	66.40	F3
	c57.24	b57.05	54.44a	معدل مستويات مياه الري		56.11cb	55.13ab	52.44a	معدل مستويات مياه الري
		3.05	I	L.S.D. 0.05%			3.21	I	L.S.D. 0.05%
		3.52	F				3.70	F	
		6.10	F*I				6.42	F*I	

تبين المعطيات الواردة في الجدول (5) تفوق الموسم الثاني بزيادة نسبة المجمعات الجافة في التربة حيث كان لاضافة المحسنات تأثير إيجابي معنوي وكانت أعلى قيمة لخليط كمبوست +فحم حيوي والتي بلغت (64.42) % بزيادة معنوية عن الشاهد. مما يشير الى أن تكوين المجمعات يعتمد على المادة العضوية في التربة وهذا يتفق مع نتائج الدراسة التي أجريت من قبل (Mueller et al, 2023) التي أثبتت أن استخدام الأسمدة العضوية قد أثر بشكل واضح على بنية التربة واستقرارها.

أما بالنسبة لمستويات الري فقد كانت الفروق غير معنوية بين مستويات الري المختلفة مع ازدياد نسبة المجمعات بانخفاض مستويات الري حيث بلغت أعلى قيمة لها عند مستوى الري 50% كانت (57.24)% بزيادة قدرها 5.14% عن F0. وكان تأثير التفاعل بين محسنات التربة ومستويات الري المختلفة غير معنوي مما يؤكد أن تأثير المخصبات كان ثابت بغض النظر عن مستويات الري .

وهذا يتفق مع دراسة (Guan et al., 2023) التي خلصت بأن انخفاض كميات مياه الري يمكن أن يعزز من استقرار التربة حيث يعمل على زيادة نسبة التجمعات الجافة الكلية مما يعطي استقرار أكثر لبنية التربة بالتالي يزيد من مقاومتها لظروف التعرية والجفاف، بالتالي المحافظة على محتواها من العناصر الغذائية وزيادة قدرتها على تخزين الرطوبة . بشكل عام تشير معظم الدراسات أن عملية دمج محسنين يمكن أن يحسن ظروف التربة وزيادة المادة العضوية ونشاط الكائنات الحية الدقيقة فيها (Guo et al, 2016).

4-4- دراسة تأثير إضافة محسنات التربة والخلط بينها في معامل بناء التربة تحت مستويات الري المختلفة :

الجدول (6) يوضح تأثير محسنات التربة على معامل البناء (%) تحت مستويات ري مختلفة .

الموسم الثاني				الموسم الأول					
معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات	معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات
	%50	%75	%100			%50	%75	%100	
0.97d	0.87	0.85	1.18	F0	d0.94	0.85	0.83	1.15	F0
1.37abc	1.13	1.42	1.56	F1	abc1.38	1.17	1.42	1.54	F1
1.35abc	1.14	1.41	1.50	F2	abc1.39	1.19	1.43	1.55	F2
1.42a	1.28	1.43	1.55	F3	a1.41	1.26	1.42	1.55	F3
	1.11c	1.28b	1.45a	معدل مستويات مياه الري		c1.12	b1.28	a1.45	معدل مستويات مياه الري
		0.134	I	L.S.D. 0.05%			0.12	I	L.S.D. 0.05%
		0.15	F				0.14	F	
		0.27	F*I				0.25	F*I	

يبين الجدول (6) أن لمستويات الري المختلفة (50، 75، 100) % ومحسنات التربة (كمبوست + فحم حيوي) تأثير معنوي في تحسين معامل البناء لكلا الموسمين فقد لوحظ أن زيادة مستوى الري من 50% إلى 100% أدى لارتفاع تدريجي لقيم معامل البناء حيث سجلت أعلى قيمة عند مستوى الري 100% مما يعكس الدور الحيوي للمياه في تعزيز استقرار بنية التربة وتحسين التماسك بين حبيباتها. حيث حقق خليط كمبوست + فحم حيوي (F3) أعلى قيمة لمعامل البناء مقارنة بالشاهد للموسمين مع تقارب نتائج الموسمين إذ تراوحت الزيادة من (46.39-50) % عن الشاهد F0. ما يشير إلى دوره في رفع كفاءة استخدام المياه وتقليل تدهور بنية التربة تحت ظروف الإجهاد المائي. في حين حققت قيم معاملات الري المختلفة فروق معنوية فيما بينها بانخفاض قيمة معامل البناء مع تقليل مستويات الري المقدمة بفارق (11.72)% للري 75% ووصلت إلى (23.44) % لمستوى ري 50% للموسم الثاني. وهذا يوضح أهمية محسنات التربة في الحفاظ على استقرار تجمعاتها وزيادة قدرتها على مقاومة الانفصال والتفكك. وهذا يتفق مع نتائج (Du et al., 2020) التي أثبتت الدور الرئيسي للمادة العضوية في زيادة ثباتية تجمعات التربة بنسبة (28.8)%. أما بالنسبة للتفاعل بين المحسنات والري إذ أظهرت النتائج أن التفاعل بين مستويات الري والمحسنات كان معنويًا حيث أن بعض المحسنات احتفظت بكفاءتها حتى مع انخفاض الري إلى 75% و 50% مقارنة بالشاهد مما يؤكد أن لهذه المحسنات دور إيجابي كبير في تقليل الآثار السلبية للإجهاد المائي. بمقارنة الموسمين يلاحظ أن النتائج كانت متقاربة مع تفوق الموسم الثاني وهذا يعزى للأثر التراكمي للمحسنات في التربة.

4-5- دراسة تأثير إضافة محسنات التربة والخلط بينها في وزن ال (1000) حبة (غ) تحت مستويات ري مختلفة :

الجدول (7) تأثير محسنات التربة في وزن (1000) حبة (غ) تحت مستويات الري المختلفة.

الموسم الثاني					الموسم الأول				
معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات	معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات
	%50	%75	%100			%50	%75	%100	
d38.68	34.22	37.69	44.12	F0	d36.77	30.81	34.44	45.07	F0
bd39.39	34.42	38.73	45.03	F1	b38.97	32.13	38.37	46.40	F1
cbd38.75	33.57	38.54	44.15	F2	a42.27	35.87	42.23	48.70	F2
ab40.67	34.81	41.17	46.02	F3	cb38.76	33.04	37.51	45.73	F3
	c34.26	b39.03	a44.83	معدل مستويات مياه الري		c32.96	b38.14	a46.48	معدل مستويات مياه الري
		1.58	I	L.S.D. 0.05%			1.24	I	L.S.D. 0.05%
		1.82	F				1.42	F	
		3.16	F*I				2.46	F*I	

يشير الجدول (7) أن وزن الألف حبة تأثر بشكل كبير عند إضافة محسنات التربة (كمبوست+ فحم حيوي) تحت مستويات ري مختلفة، إذ وجد ارتباط وثيق ومباشر بكمية المياه المتاحة للنبات ووزن الحبوب الناتجة. ففي كلا الموسمين أدى ارتفاع مستوى الري من 50% إلى 100% إلى زيادة وزن ال (1000) حبة (غ) . في حين أدى خفض مستوى الري إلى 75% إلى انخفاض في وزن ال (1000) حبة (غ) للموسمين إذ انخفضت بنسبة (-17.94%) للموسم الأول و (-12.93%) للموسم الثاني .ويعزى هذا التباين إلى أن توفر الماء بكميات كافية يساهم في تحسين كفاءة عملية البناء الضوئي وزيادة إنتاجية المواد الكربوهيدراتية، مما يعزز امتلاء الحبوب ويؤدي إلى زيادة وزنها، في حين أن تقليل مستوى الري يسبب إجهاداً جفافياً يحد من قدرة النبات على تكوين الحبوب الممتلئة. وهذا ما أثبتته الدراسة التي قام بها (Khatiwada et al., 2020)

على نبات القمح حيث بينوا أن المكون الأكثر تأثر بشدة بالجفاف هو الإنتاجية حيث ان الضرر الذي يلحق بوزن الحبة يكون كبير وهذا ما تؤكدته نتائج كلاً من (karmollachaab *et al.*, 2013) إذ بينوا أن للجفاف التأثير الأكبر على إنتاج الحبوب التي انخفضت بنسبة 38% و (Xu *et al.*, 2023) الذين أثبتوا في دراستهم ان الجفاف خفض محصول الحبوب بنسبة 33.8% ووزن الحبوب لكل سنبله بنسبة 31.7%. بينما كان لإضافة المحسنات تأثير إيجابي ومعنوي للموسمين فقد ظهر التحسن بوزن الألف حبة مقارنة بالشاهد لجميع المعاملات ففي الموسم الأول ظهر تفوق معاملة الفحم الحيوي F2 بزيادة (14.95) % عن الشاهد تلتها معاملة الكمبوست، أما بالنسبة للموسم الثاني تفوقت معاملة خليط (كمبوست + فحم حيوي) بزيادة قدرها (5.14)% عن الشاهد. ويُفسر هذا التفوق بقدرة هذه المحسنات على تحسين البنية الفيزيائية للتربة وزيادة مساميتها وخصوبتها، إضافة إلى دورها في الاحتفاظ بالرطوبة وتقليل الفاقد من الماء والعناصر الغذائية، مما ينعكس بشكل مباشر على إمداد النبات بالماء والغذاء الضروريين لنمو الحبوب. ويلاحظ أن الكمبوست والفحم الحيوي يمتلكان تأثيراً تراكمياً يتزايد بمرور الوقت نتيجة تحللها التدريجي وإطلاق المغذيات. وهذا يتوافق مع نتائج (Hafez *et al.*, 2021) على نبات القمح اذا اثبتت تجاربهم كفاءة استخدام خليط كمبوست والفحم الحيوي في تقليل اثار الاجهاد المائي على النبات. كذلك أظهرت نتائج التفاعل بين مستويات الري والمحسنات (F^*I) وجود فروق معنوية عند مستوى 0.05، ما يعني أن فعالية المحسنات تختلف باختلاف مستوى الري. ففي الموسم الأول مثلاً، كانت أعلى قيمة مع الفحم الحيوي تحت الري الكامل (48.70) غ، بينما انخفض الوزن بشكل واضح عند مستوى الري 50% (35.87) غ وهذا يشير إلى أن أثر المحسنات يكون أكثر وضوحاً عند توفر كميات مناسبة من المياه، حيث تساهم هذه المواد في تحسين كفاءة الاستفادة من الماء.

وبالمقارنة بين الموسمين، يمكن ملاحظة ارتفاع القيم عموماً في الموسم الثاني، وهو ما قد يُعزى إلى الأثر التراكمي للمحسنات العضوية والمعدنية في التربة بعد مرور موسم كامل من الإضافة. مما سبق يلاحظ أن هذه النتائج تؤكد أن الجمع بين الري الكافي وتطبيق المحسنات، وخاصة الفحم الحيوي والكمبوست، يُعدّ إستراتيجية فعالة لتحسين صفة وزن الألف حبة وبالتالي زيادة إنتاجية الحبوب واستقرارها تحت ظروف الري المحدود.

4-6- دراسة تأثير إضافة محسنات التربة والخلط بينها في إنتاجية القمح (طن/هـ) تحت مستويات ري مختلفة
الجدول (8) تأثير محسنات التربة في إنتاجية القمح (طن/هـ) تحت مستويات الري المختلفة

الموسم الثاني				الموسم الأول					
معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات	معدل محسنات التربة	مستويات الري			مخصبات
	%50	%75	%100			%50	%75	%100	
2.81d	2.54	2.86	3.03	F0	2.89d	2.49	3.05	3.13	F0
3.47b	2.91	3.47	4.03	F1	3.36a	2.79	3.60	3.67	F1
3.14c	2.56	3.18	3.69	F2	3.16bc	2.52	3.51	3.46	F2
3.57ab	3.11	3.67	3.92	F3	3.20bc	2.58	3.49	3.53	F3
	2.78c	3.30b	3.66a	معدل مستويات مياه الري		2.60c	3.41b	3.45a	معدل مستويات مياه الري
		0.091	I	L.S.D. 0.05%		0.082	I	L.S.D. 0.05%	
		0.105	F			0.095	F		
		0.182	F*I			0.164	F*I		

يبين الجدول (8) وجود فروق معنوية بين معاملات الري والمحسنات وتفاعلها في إنتاجية نبات القمح خلال موسمي الزراعة (2023 و2024) م. حيث أدى انخفاض مستويات مياه الري إلى انخفاض واضح في إنتاجية نبات القمح للموسمين وكان الانخفاض اشد وضاحاً عند مستوى ري 50% ، في حين تميزت معاملة الري 75% بأداء جيد نسبياً محققة إنتاجية قريبة من الري الكامل مما يعكس الأهمية الكبرى لتوفير الكمية الكافية من مياه الري في تحسين نمو وزيادة إنتاجية القمح وهذا يتوافق مع نتائج دراسة أجراها (Xu et al, 2023). والذين أكدوا أن الجفاف خفض محصول الحبوب بنسبة (33.8) % . أما بالنسبة للمحسّنات يلاحظ وجود فروق معنوية بين جميع المعاملات ومعاملة الشاهد حيث ازدادت الإنتاجية لجميع معاملات الموسمين مع تفوق معاملات الموسم الثاني حيث كانت اعلى قيمة للمعاملة F3 بزيادة قدرها (27.04) % مقارنة بمعاملة الشاهد مما يوضح أن إضافة المحسّنات ساعدت على تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وزيادة كفاءة استخدام المياه من خلال تقليل اثر الاجهاد المائي وتحسين احتفاظ التربة بالرطوبة. كما أظهرت نتائج الجدول (8) أن التفاعل بين مستويات الري ومحسنات التربة كان معنوياً لكلا الموسمين حيث حققت معاملات المحسّنات تحت الري 75% نتائج مقاربة لتلك تحت الري 100% مع تفوق للمعاملتين F1 وF3

ويعكس ذلك الدور الفعّال لمحسنات التربة في تقليل التأثيرات السلبية لنقص المياه وتعزيز مقاومة النبات للإجهاد الجفافي، مما يشير إلى إمكانية تقليل كميات المياه المضافة دون التأثير السلبي على الإنتاجية عند استخدام المحسنات المناسبة. وهذا يتوافق مع ما أشار إليه (Leogrande *et al.*, 2024) في دراستهم على نبات القمح إذا بينوا أن السماد العضوي كان أكثر فائدة لمحصول القمح القاسي، بينما الفحم الحيوي بمعدل مرتفع أثر سلبا عليه. تؤكد هذه النتائج بشكل عام أن محسنات التربة تسهم في ترشيد استخدام مياه الري وتحقيق إنتاجية مرتفعة حتى تحت ظروف الإجهاد المائي.

5- الاستنتاجات :

- 1) ان استخدام الكمبوست والفحم الحيوي والخليط بينهما ساهم في تحسين الخواص الفيزيائية للتربة، حيث أدى إلى انخفاض الكثافة الظاهرية وزيادة المسامية وتحسن ثباتية التجمعات ومعامل البناء، مما انعكس إيجاباً على بنية التربة واستقرارها تحت ظروف الري المحدود.
- 2) ساهم الكمبوست منفرداً في رفع إنتاجية القمح بشكل ملحوظ مقارنة بالشاهد، في حين ساعد خليط الكمبوست والفحم الحيوي على تعزيز ثباتية التربة وزيادة معامل البناء.
- 3) أظهرت النتائج وجود أثر تراكمي للمحسنات خلال موسمي الزراعة (2023 و2024) م، حيث تفوقت نتائج الموسم الثاني على الأول، الأمر الذي يبرز أهمية الاستمرار في إضافة المحسنات العضوية لتحقيق استقرار التربة ورفع إنتاجية القمح.
- 4) ساعدت المحسنات على تخفيف أثر الإجهاد المائي، حيث حققت معاملات الري 75% نتائج مقارنة للري الكامل (100%) من حيث إنتاجية الحبوب، ما يدل على إمكانية ترشيد مياه الري دون التأثير الكبير على الإنتاج عند استخدام المحسنات العضوية المناسبة.

6- المقترحات :

- 1) التوسع في استخدام الكمبوست والفحم الحيوي في النظم الزراعية، وخاصةً في المناطق الجافة وشبه الجافة، لتحسين خصائص التربة وزيادة كفاءة استخدام المياه.
- 2) اعتماد خلائط الكمبوست مع الفحم الحيوي كخيار فعال في تحسين استقرار بنية التربة ومعامل البناء، خصوصاً في الأراضي الطينية المعرضة للتدهور تحت ظروف الإجهاد المائي.
- 3) إجراء بحوث طويلة الأمد على أنواع مختلفة من الترب والمحاصيل لقياس الأثر التراكمي لهذه المحسنات وتعميم نتائجها.

7- المراجع العربية والأجنبية:

- 1) زيدان، علي. عيد، هيثم. ابراهيم، محمد (2021). دراسة الاثر المشترك للفحم الحيوي والمادة العضوية في نفاذية التربة للماء. مجلة تشرين العدد(43).
- 2) Azman, N. A. N. M. N., Khalid, P. I. M., Amin, N. A. S., Zakaria, Z. Y., Zainol, M. M., Ilham, Z., PHaiboonsilpa, N., & Asmadi, M. (2023). *Effects of biochar, compost, and composted biochar soil amendments on okra plant growth*.
- 3) Blanco-Canqui, H., Ruis, S. J., & Francis, C. (2023). Do organic farming practices improve soil physical properties? *Soil Use and Management*, 40(1).
- 4) Boudjabi, S., Ababsa, N., & Chenchouni, H. (2023). Enhancing soil resilience and crop physiology with biochar application for mitigating drought stress in durum wheat (*Triticum durum*). *Heliyon*, 9.
- 5) Bremner, J. M. (1965). "Total Nitrogen." In C. A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- 6) Chepil, W. S. (1953). Field structure of cultivated soils with special reference to erodibility by wind. *Soil Science Society of America Proceedings, 17 (2), 185–190.
- 7) Du, Y., Cui, B., Zhang, Q., Wang, Z., Sun, J., & Niu, W. (2020). Effects of manure fertilizer on crop yield and soil properties in China: A meta-analysis. *Catena*, 193, 104617.
- 8) Duan, C., Li, J., Zhang, B., Wu, S., Fan, J., Feng, H., He, J., & Siddique, K. H. M. (2023). Effect of bio-organic fertilizer derived from agricultural waste resources on soil properties and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in semi-humid drought-prone regions. *Agricultural Water Management*.
- 9) Guan, S., Lv, X., Zhou, M., Jiao, X., Sui, Y., Chen, Y., & He, Y. (2023). *Appropriate Irrigation Reduction Increases Soil Aggregate Stability of 20-80 Cm Soil Layer on Greenhouse Eggplant in Mollisols*.
- 10) Guo, L., Wu, G., Li, Y., Li, C., Liu, W., Meng, J., Liu, H., Yu, X., & Jiang, G. (2016). Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat–maize rotation system in Eastern China. *Soil & Tillage Research*, 156, 140–147.
- 11) Hafez, E. M., Omara, A. E.-D., Alhumaydhi, F. A., & El-Esawi, M. A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 587–602.
- 12) Hernández, T., Chocano, C., Coll, M. D., & García, C. (2019). Composts as alternative to inorganic fertilization for cereal crops. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(35), 35340–35352.
- 13) Imran, A., Sardar, F., Khaliq, Z., Nawaz, M. S., Shehzad, A., Ahmad, M., Yasmin, S., Hakim, S., Mirza, B. S., Mubeen, F., & Mirza, M. S. (2022).

- Tailored bioactive compost from agri-waste improves the growth and yield of chili pepper and tomato. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, Article 787764
- 14) Jackson, M. L. (1958). *Soil chemical analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc
- 15) Karmollachaab, A., Bakhshandeh, A., Gharineh, M. H., Telavat, M. R. M., & Fathi, G. (2013). Effect of Silicon application on PHysiological characteristics and Grain Yield of Wheat under Drought stress condition. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(1), 30–37.
- 16) Khatiwada, A., Neupane, I., Sharma, B., Bhetwal, N., & Pandey, B. (2020). *Effects of Drought Stress on Yield and Yield Attributing Characters of Wheat: A Review*. 8(2), 118–124.
- 17) Kumar, A., Singh, B. K., & Kumar, R. (2023). Impact of drought stress on soil microbial communities and their functional roles in soil health. *Environmental Microbiology Reports*, 15(5), 1234–1245.
- 18) Leogrande, R., Vitti, C., Castellini, M., Garofalo, P., Samarelli, I., Lacolla, G., Montesano, F. F., Spagnuolo, M., Mastrangelo, M., & Stellacci, A. M. (2024). Residual Effect of Compost and Biochar Amendment on Soil Chemical, Biological, and PHysical Properties and Durum Wheat Response. *Agronomy*.
- 19) Mueller, C. W., Tamburini, F., & Raymond, N. S. (2023). *Organic fertilizer amendment affect soil aggregates during crop growth: a hotspot for microbial pHospHorus turnover*
- 20) Paradelo, R., Eden, M., Martínez, I., Keller, T., & Houot, S. (2019). Soil pHyysical properties of a Luvisol developed on loess after 15 years of amendment with compost. *Soil & Tillage Research*, 191, 207–215.
- 21) Pagel, H., Enzmann, J., Mutscher, H., (1982) *Pflanzennährstoffe in tropischen Boden-1*. Anflage VEB Deutscher land wirtschafts verlag-Berlin.
- 22) Richards L.A.(1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agriculture handbook. No.60.US Dep.Agric.
- 23) Sumner, M. E., & Miller, W. P. (1996). *Cation exchange capacity and exchange coefficients*. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods* (SSSA Book Series Vol. 5, pp. 1201-1229). Soil Science Society of America & American Society of Agronomy.
- 24) Walkley, A. J., & Black, I. A. (1934). *An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method*. *Soil Science*, 37(1), 29–38.
- 25) Wang, L., Guan, J., Jian, W., Mahmood, A., Rasheed, A., Al-Khayri, J. M., Aldaej, M. I., Sattar, M. N., Rezk, A. A.-S., Almaghasla, M. I., & Shehata, W. F. (2023). Biochar a promising amendment to mitigate the drought stress in plants: review and future prospective. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*.
- 26) Xu, Z., Lai, X., Ren, Y., Yang, H., Wang, H., Wang, C., Xia, J., Wang, Z., Yang, Z., Geng, H., Shi, X., & Zhang, Y. (2023). Impact of Drought Stress

on Yield-Related Agronomic Traits of Different Genotypes in Spring Wheat. *Agronomy*.

- 27) Zaghoul, E. M., Awad, E.-S. A. M., Mohamed, I., Abd El-Hameed, A. M., Feng, D., Desoky, E. M., Algotishi, U. B., Al Masoudi, L. M., Elrys, A. S., Mathew, B. T., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2024). Co-application of organic amendments and natural biostimulants on plants enhances wheat production and defense system under salt-alkali stress. *Dental Science Reports*, 14(1).
- 28) Zhu, X., Peng, W., Xie, Q., & Ran, E. (2024). *Effects of Soil Compaction Stress Combined with Drought on Soil Pore Structure, Root System Development, and Maize Growth*.

The Effect of Biochar, Compost, and Their Mixtures on Soil Physical Properties and Wheat Productivity under Water Stress Conditions

Abstract

The study was conducted during the 2023 and 2024 growing seasons at the ACSAD Research Station in Al-Mreiy'eah, east of Deir ez-Zor, using a randomized complete block design with a split-plot arrangement that included two factors: irrigation levels and soil amendments. Irrigation levels (100%, 75%, and 50% of field capacity) were assigned to the main plots, while soil amendments (control, compost, biochar, and compost + biochar mixture) were assigned to the sub-plots. Wheat (ACSAD-1105 cultivar) was planted in longitudinal plots measuring $2 \times 8 \text{ m}^2$ to investigate the effects of compost, biochar, and their mixture on soil physical properties and wheat productivity under water stress.

Results showed that the application of compost, biochar, and their mixtures improved both wheat yield and soil physical properties across both seasons. *t*-test results indicated significant improvements in soil porosity and aggregate stability. In general, soil physical properties improved with the use of soil amendments, with the second season showing results similar to but more pronounced than the first. Bulk density decreased during both seasons, reaching its lowest value (1.19 g cm^{-3}) in the compost treatment, representing a 10.52% reduction compared with the control. Soil porosity significantly increased in the same treatment, reaching 52.13%, a 22.57% increase compared with the control. The compost + biochar mixture showed the highest dry aggregate stability (64.42%) and the highest structure coefficient (1.42). Compost treatment outperformed all others in wheat productivity, reaching $381.10 \text{ kg dunum}^{-1}$, a 35.16% increase over the control. No significant differences were observed in the thousand-grain weight (g) during either season.

Keywords: Compost, Biochar, Soil physical properties, Durum wheat (ACSAD-1105), Water stress.