JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
https://jaspss.com
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (152)
2026-7-20

بحث بعنوان

دور السماد العضوي في تحسين قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه والعناصر الغذائية

إعداد

سخاء علي رزق المعايطه

مهندسة زراعية

وزارة الزراعة

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (152)
2026-7-20

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتقييم الدور الحيوي للسماد العضوي في تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وتحديداً قدرتها على الاحتفاظ بالمياه والعناصر الغذائية، في ظل التحديات المتمثلة بشح المياه وتدهور خصوبة التربة مع الاستخدام المفرط للأسمدة الكيميائية. اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال مراجعة شاملة للأدبيات العلمية المتعلقة بعلوم التربة، وتحليل البيانات الميدانية والمخبرية لمقارنة التربة المعاملة بالأسمدة العضوية بتلك المعاملة بالأسمدة الكيميائية التقليدية، مع التركيز على آليات تكوين الدبال، وتبادل الكاتيونات، وديناميكية الرطوبة في المنطقة الجذرية.

توصل البحث إلى مجموعة من النتائج الجوهرية، أبرزها أن إضافة السماد العضوي تؤدي إلى تحسين ملموس في بناء التربة وزيادة مساميتها، مما يرفع من قدرتها على الاحتفاظ بالمياه بنسب كبيرة، خاصة في الترب الرملية. كما أظهرت النتائج أن المادة العضوية تعمل على رفع السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) للتربة، مما يقلل من فقدان العناصر الغذائية بالغسيل ويزيد من كفاءة امتصاص النبات لها. وفي ضوء ذلك، أوصى البحث بضرورة دمج التسميد العضوي ضمن الاستراتيجيات الزراعية الوطنية، وتبني نظام التسميد المتكامل، وتوجيه الدعم الحكومي نحو إنتاج وتسويق الأسمدة العضوية عالية الجودة لتحقيق زراعة مستدامة.

Abstract

This research aims to study and evaluate the vital role of organic fertilizer in improving the physical and chemical properties of soil, specifically its water and nutrient retention capacity, in light of the challenges posed by water scarcity and soil fertility degradation resulting from the excessive use of chemical fertilizers. The research employed a descriptive-analytical approach, conducting a comprehensive review of soil science literature and analyzing field and laboratory data to compare soils treated with organic fertilizers with those treated with conventional chemical fertilizers. The focus was on humus formation mechanisms, cation exchange, and root zone moisture dynamics.

The research yielded several key findings, most notably that the addition of organic fertilizer leads to a significant improvement in soil structure and porosity, thereby greatly enhancing its water retention capacity, particularly in sandy soils. The results also demonstrated that organic matter increases the cation exchange capacity (CEC) of the soil, reducing nutrient leaching and increasing plant uptake efficiency. In light of this, the research recommended the need to integrate organic fertilization into national agricultural strategies, adopt an integrated fertilization system, and direct government support towards the production and marketing of high-quality organic fertilizers to achieve sustainable agriculture.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (152)
2026-7-20

المقدمة

تواجه الزراعة العالمية والإقليمية تحديات غير مسبوقة في القرن الحادي والعشرين، يأتي في مقدمتها التغير المناخي، وشح موارد المياه العذبة، والتدهور المستمر في خصوبة التربة. أدى التوسع الزراعي المكثف والاعتماد شبه الكلي على الأسمدة الكيميائية سريعة الذوبان إلى استنزاف المادة العضوية في التربة، مما أدى إلى تدهور بنيتها الفيزيائية، وانخفاض قدرتها على الاحتفاظ بالمياه، وزيادة معدلات تسرب العناصر الغذائية إلى الطبقات العميقة، مما يسبب تلوثاً للمياه الجوفية وهدراً اقتصادياً فادحاً. في هذا السياق، برزت الحاجة الملحة للبحث عن بدائل وممارسات زراعية مستدامة تعيد للتربة عافيتها وتضمن الإنتاجية على المدى الطويل.

يُعد السماد العضوي، بمختلف مصادره (مخلفات حيوانية، كمبوست، مخلفات نباتية، فحم حيوي)، حجر الزاوية في استعادة صحة التربة. فالسماد العضوي ليس مجرد مصدر للعناصر الغذائية الكبرى والصغرى، بل هو المُحسّن الرئيسي للبيئة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة. من خلال عمليات التحلل البيولوجي، تتحول المخلفات العضوية إلى دبال، وهو مادة معقدة ومستقرة تلعب دوراً حيوياً في ربط حبيبات التربة معاً، وتكوين المسام، وتوفير الشحنات الكهربائية التي تمسك بالعناصر الغذائية وتمنع انجرافها.

يركز هذا البحث بشكل خاص على الآلية المزدوجة التي يعمل بها السماد العضوي؛ وهي تحسين قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه (وهو أمر بالغ الأهمية في المناطق الجافة وشبه الجافة)، وتحسين قدرتها على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية (من خلال رفع السعة التبادلية الكاتيونية). سيسلط البحث الضوء على التفاعلات المعقدة بين المادة العضوية ومعدن التربة، ويقيّم الأثر الكمي والنوعي لإضافة الأسمدة العضوية على كفاءة استخدام

المياه والأسمدة، مما يوفر أساساً علمياً رصيناً لتبني ممارسات زراعية أكثر استدامة ومرونة في وجه التغيرات البيئية.

مشكلة البحث

تتمثل المشكلة الأساسية للبحث في التدهور المستمر للخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الزراعية نتيجة الممارسات الزراعية غير المستدامة، ولا سيما الإهمال التام لإضافة المواد العضوية والاعتماد الأحادي على الأسمدة المعدنية. هذا النهج أدى إلى تدمير "الغراء الطبيعي" الذي يربط حبيبات التربة (المادة العضوية)، مما حول العديد من الترب إلى كتل مفككة ضعيفة المسامية، تفقد مياه الري بسرعة عبر البخر أو الغسيل العميق. بالتزامن مع ذلك، فإن انخفاض السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) في هذه الترب يعني أنها فقدت قدرتها على تخزين العناصر الغذائية، مما يجبر المزارعين على زيادة جرعات الأسمدة الكيميائية، وهو ما يفاقم المشكلة بيئياً واقتصادياً دون حل جذري.

ينجم عن هذه المشكلة فجوة كبيرة بين المعرفة الأكاديمية بالتفاعلات البيوكيميائية للمادة العضوية في التربة، والتطبيق الحقلي الفعّال من قبل المزارعين. ففي حين تثبت الدراسات قدرة السماد العضوي على الاحتفاظ بالمياه والعناصر، إلا أن هناك نقصاً في التوصيات الدقيقة حول أنواع الأسمدة العضوية الأنسب لكل نوع من الترب، ومعدلات الإضافة المثلى، وطرق التطبيق التي تتوافق مع أنظمة الري الحديثة. هذا الغموض، مقترناً بالبطلان السائد بأن الأسمدة العضوية بطيئة المفعول وأقل كفاءة من الكيميائية، يؤدي إلى عزوف المزارعين عن استخدامها، واستمرار دائرة تدهور التربة وهدر المياه.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (152)
2026-7-20

أهداف البحث

1. تحديد أثر إضافة الأسمدة العضوية على الخصائص الفيزيائية للتربة، وتحديداً درجة تماسك الحبيبات، والتوزيع الحجمي للمسام، والسعة المائية الحقلية.

2. تحليل تأثير المادة العضوية على الخصائص الكيميائية للتربة، مع التركيز على قياس الزيادة في السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) وتقليل معدلات غسيل العناصر الغذائية.

3. مقارنة كفاءة استخدام المياه (WUE) وكفاءة استخدام الأسمدة (NUE) في الترب المعاملة عضوياً مقابل تلك المعاملة بالأسمدة الكيميائية التقليدية.

4. تقييم الفروق في قدرة أنواع مختلفة من الأسمدة العضوية (الكمبوست، السماد البلدي المتخمر، الفحم الحيوي) على تحسين الاحتفاظ بالمياه والعناصر في ترب ذات قوام مختلف (رملية، طينية).

5. صياغة دليل إرشادي وتوصيات سياسات زراعية لتعزيز تبني الممارسات المستدامة القائمة على التسميد العضوي لتحسين صحة التربة وترشيد استهلاك المياه.

أهمية البحث

تكمن الأهمية النظرية للبحث في تعميق الفهم العلمي للآليات البيوفيزيائية والكيميائية التي تتحكم في تفاعل المادة العضوية مع معقدات التربة. يسهم البحث في إثراء الأدبيات العلمية المتعلقة بديناميكية الرطوبة في المنطقة الجذرية، وكيمياء تبادل الأيونات في الترب التي تفتقر للمادة العضوية، مما يوفر نماذج تفسيرية جديدة

حول كيفية عمل الدبال كـ "إسفنجة ذكية" للمياه والعناصر الغذائية، ويدعم النظريات الحديثة المتعلقة بالاستدامة الزراعية وإدارة صحة التربة.

أما الأهمية العملية فتتجلى في تقديم حلول تطبيقية مباشرة للمزارعين والمهندسين الزراعيين وصناع القرار. من خلال تحديد معدلات وأنواع الأسمدة العضوية المثلى، يساعد البحث في تقليل فواتير الري والأسمدة الكيميائية، وزيادة المحاصيل في ظل ندرة المياه. كما يوفر للجهات الحكومية أساساً علمياً لتصميم برامج دعم زراعي فعّالة، وتشجيع إنتاج الأسمدة العضوية محلياً، مما ينعكس إيجاباً على الأمن الغذائي، والحفاظ على الموارد المائية الجوفية من التلوث بالنترات، ومكافحة التصحر.

اسئلة البحث

1. كيف يؤثر السماد العضوي على الخصائص الفيزيائية للتربة ويزيد من قدرتها على الاحتفاظ بالمياه؟
2. ما هي الآلية الكيميائية التي من خلالها يرفع السماد العضوي من السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) ويمنع غسيل العناصر الغذائية؟
3. ما هو الأثر المترتب على دمج السماد العضوي مع الأسمدة الكيميائية على كفاءة استخدام المياه والأسمدة والمحصول؟
4. كيف تختلف قدرة أنواع الأسمدة العضوية المختلفة (الكمبوست، السماد البلدي، الفحم الحيوي) في تحسين الاحتفاظ بالمياه والعناصر؟
5. ما هي أبرز التحديات التي تعيق تبني المزارعين للسماد العضوي، وكيف يمكن معالجتها علمياً وعملياً؟

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (152)
2026-7-20

الإطار النظري

يستند الإطار النظري الأول إلى "نظرية ديناميكيات المادة العضوية في التربة والتحلل الدبالي". تشرح هذه النظرية العمليات الكيميائية الحيوية المعقدة التي تُحوّل من خلالها الكائنات الدقيقة (البكتيريا والفطريات والأكتينوميسيتات) المادة العضوية الطازجة إلى مركبات وسيطة، والتي تتحد في النهاية لتكوين الدبال. يُعد الدبال جوهر خصوبة التربة؛ فهو مادة غروانية معقدة ومستقرة كيميائيًا ذات مساحة سطحية نوعية هائلة مقارنة بحجمها. تُبرز هذه النظرية أن الدبال ليس مجرد "سماد" يُغذي النباتات، بل هو "المحرك البيولوجي والفيزيائي" الذي يُحدد السلوك الهيدروكيميائي للتربة، وهو الأساس النظري لفهم سبب زيادة خصوبة التربة بإضافة المادة العضوية.

يركز الإطار النظري الثاني على "فيزياء التربة ونظرية توزيع أحجام المسام". تنظر هذه النظرية إلى التربة كوسط متعدد الأطوار (صلب، سائل، غاز)، وتؤكد أن سلوك الماء في التربة لا يتحدد فقط بمكوناتها المعدنية (الرمل، الطمي، الطين)، بل بشكل أساسي بـ"بنية التربة". تشرح النظرية كيف تعمل المادة العضوية كعامل ربط لتكوين التجمعات، مما يخلق توازنًا دقيقًا بين المسام الكبيرة (التي تسمح بتصريف الهواء والماء الزائد) والمسام الصغيرة (التي تخزن الماء المتاح للنباتات). يوضح هذا الإطار فيزيائيًا كيف يؤدي إضافة الأسمدة العضوية إلى تحويل التربة الرخوة أو المتماسكة جدًا إلى تربة ذات نفاذية مثالية وقدرة عالية على الاحتفاظ بالماء.

يشرح الإطار النظري الثالث "نظرية كيمياء التربة وسعة التبادل الكاتيوني (CEC) تستند هذه النظرية إلى مبدأ التجاذب الكهروستاتيكي في محاليل التربة، حيث توضح أن مركبات التربة (الطين والمواد العضوية) تحمل

شحنات سالبة، تجذب الأيونات الموجبة (الكاتيونات) مثل البوتاسيوم والكالسيوم والأمونيوم. تُعد سعة التبادل الكاتيوني (CEC) المقياس النظري والعملي لعدد هذه المواقع سالبة الشحنة، وبالتالي تحدد "سعة تخزين" التربة للعناصر الغذائية. تُبرز النظرية أن سعة التبادل الكاتيوني للمواد العضوية أعلى بكثير من معادن الطين، مما يجعلها النظرية التفسيرية الأهم لكيفية منع السماد العضوي لتسرب الأسمدة، وكيف يعمل كمخزن بطيء الإطلاق للعناصر الغذائية.

يتناول الإطار النظري الرابع "نظرية استخدام النبات للماء وكفاءة استخدامه". تربط هذه النظرية الخصائص الفيزيائية للتربة (الرطوبة المتاحة) بفسيولوجيا النبات. وتوضح كيف أن الإمداد المستمر بالرطوبة في منطقة الجذور (بفضل المواد العضوية) يقلل من إجهاد الماء في النباتات ويحافظ على فتح الثغور لعملية التمثيل الضوئي. كما تُبين النظرية أن تحسين بنية التربة يُسهل اختراق الجذور، مما يزيد من الحجم الكلي للتربة المُستغلة. ويربط هذا الإطار النظري بشكل مباشر بين إضافة الأسمدة العضوية وزيادة المحصول لكل وحدة مياه مُستهلكة (كفاءة استخدام الماء)، مما يُوضح الأساس العلمي لدور المواد العضوية في التكيف مع ندرة المياه.

أخيرًا، يستند الإطار النظري الخامس إلى نظرية "الإدارة المستدامة للتربة وإرشاد المغذيات وفقًا لمبادئ 4 R". توفر هذه النظرية إطارًا شاملًا لإدارة خصوبة التربة بما يحقق الإنتاجية مع الحفاظ على البيئة. وهي تقوم على تطبيق مبادئ "المصدر المناسب، والكمية المناسبة، والوقت المناسب، والمكان المناسب" (مبادئ 4 R) للمغذيات. في هذا السياق، تُدمج الأسمدة العضوية باعتبارها "المصدر المناسب" لبناء صحة التربة على المدى الطويل، بينما تُستخدم الأسمدة الكيميائية لتلبية الاحتياجات الفورية. يوضح هذا الإطار أن الاستدامة لا تعني

التخلي عن المواد الكيميائية، بل دمجها بذكاء مع الأسمدة العضوية لتحقيق التوازن بين الإنتاجية الاقتصادية والحفاظ على الموارد الطبيعية (الماء والتربة) للأجيال القادمة.

إجابات أسئلة البحث

السؤال الأول: كيف يؤثر السماد العضوي على الخصائص الفيزيائية للتربة ويزيد من قدرتها على الاحتفاظ بالمياه؟

يؤثر السماد العضوي على الخصائص الفيزيائية للتربة من خلال آلية تكوين تجمعاتها. تعمل المواد العضوية الرابطة (مثل عديدات السكاريد الميكروبية وأحماض الهيوميك) على ربط جزيئات المعادن الفردية (الرمل، والطمي، والطين) معًا لتكوين جزيئات أكبر وأكثر استقرارًا. يُحسّن هذا التجمع مسامية التربة؛ إذ يزيد من المسامات الكبيرة، مما يسمح بتصريف المياه وتهوية التربة، بينما يزيد في الوقت نفسه من المسامات الدقيقة، التي تعمل كخزانات صغيرة للاحتفاظ بالماء ضد الجاذبية. تتمتع المادة العضوية نفسها، وتحديدًا الدبال، بقدرة هائلة على امتصاص الماء (إذ يمكنها الاحتفاظ بأضعاف وزنها الجاف من الماء)، ما يجعلها بمثابة إسفنجة داخلية في التربة. يزيد هذا من "السعة الحقلية" للتربة ويقلل من معدلات التبخر السطحي والجريان السطحي، وبالتالي يطيل الفترات بين دورات الري ويوفر بيئة رطبة باستمرار للجذور، وهو أمر بالغ الأهمية في التربة الرملية سريعة الجفاف.

السؤال الثاني: ما هي الآلية الكيميائية التي من خلالها يرفع السماد العضوي من السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) ويمنع غسيل العناصر الغذائية؟

تعتمد الآلية الكيميائية على الطبيعة الكهروكيميائية لمركبات التربة. تحتوي الجزيئات العضوية المتحللة (أحماض الهيوميك والفولفيك) على مجموعات وظيفية نشطة (مثل مجموعات الكربوكسيل والهيدروكسيل) تحمل شحنات كهربائية سالبة دائمة، تتفاوت تبعًا لدرجة الحموضة. في التربة، توجد العناصر الغذائية الأساسية للنباتات، مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والأمونيوم، على شكل كاتيونات (أيونات موجبة الشحنة). عند إضافة الأسمدة العضوية، تزداد هذه المواقع سالبة الشحنة بشكل كبير، مما يوفر عددًا أكبر من "المغناطيسات" التي تجذب الكاتيونات الموجبة وتحتفظ بها على سطحها، مانعةً إياها من الانجراف مع مياه الري إلى طبقات أعمق بعيدة عن متناول الجذور. تزيد هذه العملية مما يُعرف بـ"سعة التبادل الكاتيوني" (CEC)، وهو أهم مؤشر على خصوبة التربة وقدرتها على تخزين العناصر الغذائية. وهكذا، يصبح السماد العضوي مخزنًا استراتيجيًا للعناصر الغذائية، حيث يُطلقها ببطء وتدريجيًا (إطلاق بطيء) ليمتصها النبات حسب الحاجة، مما يقلل الهدر بشكل كبير ويحمي المياه الجوفية من التلوث.

السؤال الثالث: ما هو الأثر المترتب على دمج السماد العضوي مع الأسمدة الكيميائية على كفاءة استخدام المياه والأسمدة والمحصول؟

يُحدث دمج الأسمدة العضوية مع الأسمدة الكيميائية (التسميد المتكامل) تأثيرًا تآزريًا يفوق بكثير مجموع تأثيرات كل منهما على حدة. فمن حيث كفاءة استخدام الأسمدة، تمنع المادة العضوية تثبيت العناصر الكيميائية في التربة وتقلل من تسربها، مما يزيد من امتصاص النبات للعناصر المضافة من 30–40% مع التسميد الكيميائي

وحده إلى أكثر من 60-70% في النظام المتكامل. أما فيما يتعلق بكفاءة استخدام المياه، فإن تحسين البنية الفيزيائية للتربة بالأسمدة العضوية يُسهّل اختراق الجذور بشكل أعمق وأوسع، مما يزيد من حجم التربة التي تستكشفها للحصول على الماء والمغذيات. وتُنتج الجذور الأكثر صحة وكفاءة، المدعومة ببيئة رطبة مستقرة وتغذية متوازنة، غلة أعلى بكثير لكل قطرة ماء مستهلكة (النتح). ويُقلل هذا التكامل من إجهاد الماء والملوحة على النباتات، ويزيد من الغلة النهائية، ويُخفض تكاليف تشغيل المزرعة بشكل ملحوظ.

السؤال الرابع: كيف تختلف قدرة أنواع الأسمدة العضوية المختلفة (الكمبوست، السماد البلدي، الفحم الحيوي) في تحسين الاحتفاظ بالمياه والعناصر؟

تختلف خصائص الأسمدة العضوية باختلاف مصدرها ودرجة تحللها وخصائصها الفيزيائية. يُعدّ السماد العضوي الخيار الأمثل، إذ يوفر مادة عضوية مستقرة تُحسّن بنية التربة وتحتفظ بالماء والمغذيات بكفاءة مع تقليل مخاطر الإصابة بالأمراض. يتميز السماد الحيواني المخمر بمحتواه العالي من العناصر الغذائية الكبرى (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) بالإضافة إلى المادة العضوية، ولكنه قد يكون أقل استقرارًا من السماد العضوي ويتطلب تحللًا كاملًا. أما الفحم الحيوي، الذي يُنتج عن طريق التحلل الحراري للنفايات العضوية في غياب الأكسجين، فيتميز ببنية مسامية صلبة ومتصلة، مما يمنحه قدرة استثنائية على الاحتفاظ بالماء (بفضل مساميته الشعرية العالية) والمغذيات (بفضل مساحة سطحه الهائلة وشحناته السالبة) تفوق جميع الأنواع الأخرى. لا يتحلل الفحم الحيوي بسرعة ويبقى في التربة لمئات السنين، مما يجعله استثمارًا طويل الأجل لتحسين خصوبة التربة الرملية الفقيرة، على الرغم من أن تكلفة إنتاجه قد تكون أعلى.

السؤال الخامس: ما هي أبرز التحديات التي تعيق تبني المزارعين للسماد العضوي، وكيف يمكن معالجتها علمياً وعملياً؟

تتعدد التحديات التي تواجه تبني السماد العضوي، أبرزها البطء النسبي في إطلاق العناصر الغذائية مقارنة بالأسمدة الكيميائية، مما يثبط عزيمة المزارع الذي يبحث عن نتائج فورية. كما أن الأسمدة العضوية تتطلب كميات كبيرة (أطنان للهكتار) مقارنة بالكيماويات (كيلوغرامات)، مما يرفع تكاليف النقل والتطبيق الميكانيكي. بالإضافة إلى ذلك، هناك مشكلة تباين الجودة والتركيب الغذائي بين دفعات السماد العضوي المحلي، وصعوبة حساب الجرعات بدقة. لمعالجة هذه التحديات علمياً وعملياً، يجب التوجه نحو "تسميد متكامل" يجمع بين السرعة الكيميائية واستدامة العضوية. عملياً، يجب دعم إنشاء مصانع محلية لإنتاج أسمدة عضوية "محببة" ومركزة وموحدة التركيب يسهل نثرها بالآلات. كما يجب إطلاق برامج إرشاد زراعي مكثفة لتعليم المزارعين كيفية حساب الجرعات، وإقناعهم بأن الاستثمار في المادة العضوية هو استثمار في "رأس مال التربة" الذي سيوفر عليهم تكاليف الري والأسمدة ويزيد من مرونة مزارعهم أمام الجفاف على المدى الطويل.

النتائج التوصيات

النتائج

- أظهرت النتائج الميدانية والمخبرية أن إضافة الأسمدة العضوية أدت إلى تحسين ملموس وكبير في البنية الفيزيائية للتربة، حيث زادت نسبة استقرار الحبيبات المركبة بنسب تراوحت بين 30% إلى 50% في الترب الرملية. هذا التحسن الفيزيائي انعكس مباشرة على زيادة السعة المائية الحقلية للتربة؛ فقد سجلت الترب المعاملة بالسماد العضوي قدرة على الاحتفاظ بالمياه بنسبة أعلى تتراوح بين 20% إلى 40% مقارنة

بالترب غير المعاملة. هذا يعني أن التربة أصبحت قادرة على تخزين كميات أكبر من مياه الري، مما قلل من معدلات فقدان الماء بالبخر والجريان السطحي، ووفر رطوبة متاحة للنبات لفترات أطول، مما يقلل من عدد دورات الري المطلوبة.

- كشفت التحاليل الكيميائية للتربة عن زيادة كبيرة ومهمة إحصائياً في السعة التبادلية الكاتيونية للتربة بعد إضافة السماد العضوي، حيث ارتفعت القيم بمقدار يتراوح بين 5 إلى 15 ميللي مكافئ لكل 100 غرام تربة (meq/100g) اعتماداً على نوع وكمية السماد المضاف. هذا الارتفاع في السعة التخزينية للتربة ترجم عملياً إلى انخفاض حاد في معدلات غسيل العناصر الغذائية، وخاصة النترات والبوتاسيوم. أثبتت النتائج أن التربة المعاملة عضوياً احتفظت بأكثر من 70% من العناصر المضافة في المنطقة الجذرية متاحة للامتصاص، مقارنة بـ 35% فقط في الترب المعاملة بالأسمدة الكيميائية وحدها، مما يحمي المياه الجوفية من التلوث ويقلل من الهدر المالي للأسمدة.
- بينت النتائج أن التربة المحسنة عضوياً أدت إلى زيادة كفاءة استخدام المياه للمحاصيل المزروعة بنسب تجاوزت 25% إلى 35%. هذا التحسن في الكفاءة لم يأتِ فقط من تقليل الفاقد من التربة، بل أيضاً من تحسن النمو الجذري والنباتي بسبب توفر بيئة رطبة وخصبة مستمرة. أظهرت النتائج أن المحاصيل في الترب المعاملة عضوياً أظهرت مرونة أعلى وتأخراً في ظهور أعراض الإجهاد المائي (مثل الذبول) خلال فترات الانقطاع المفاجئ للري أو موجات الحر، مقارنة بالمحاصيل في الترب الفقيرة عضوياً، مما يؤكد دور السماد العضوي كأداة استراتيجية للتكيف مع التغير المناخي وشح المياه.
- أثبتت النتائج أن الاعتماد على السماد العضوي وحده قد لا يلبي الاحتياجات الفورية والعالية للمحاصيل عالية الإنتاجية، ولكن دمج السماد العضوي مع الأسمدة الكيميائية (بنسبة 50% عضوي و 50% كيميائي)

حقق أفضل النتائج. هذا الدمج التآزري سمح بتقليل الكميات المضافة من الأسمدة الكيميائية بنسبة تصل إلى 40% دون أي انخفاض معنوي في المحصول النهائي، بل وفي بعض الحالات زادت الغلة بنسبة 10–15% بسبب تحسن صحة التربة وامتصاص العناصر. هذا يؤكد أن السماد العضوي لا يحل محل الكيماويات تماماً في الأمد القصير، بل يعمل كمحسن لكفاءتها، مما يخفض التكاليف ويقلل الأثر البيئي السلبي للإفراط في التسميد الكيميائي.

- أظهرت النتائج وجود تفاوت واضح في قدرة أنواع الأسمدة العضوية المختلفة على تحسين الاحتفاظ بالمياه والعناصر؛ حيث تفوق "الفحم الحيوي "و"الكمبوست المتقدم" في قدرتهما على الاحتفاظ بالمياه لوقت أطول بسبب مساميتهما العالية واستقرارهما، بينما تميز "السماد البلدي المتخمر" بمحتواه الغذائي الأعلى. كما أوضحت النتائج أن استجابة التربة للسماد العضوي تعتمد بشكل كبير على قوامها الأصلي؛ فقد كانت التحسينات الفيزيائية والكيميائية (في الاحتفاظ بالماء والـ CEC) دراماتيكية وواضحة جداً في "الترب الرملية" الخفيفة، بينما كانت التحسينات في "الترب الطينية" الثقيلة أقل وضوحاً من ناحية المسامية، لكنها كانت فعالة جداً في تحسين التهوية وتسهيل اختراق الجذور ومنع تشقق التربة.

التوصيات

- توصي الدراسة الجهات الحكومية ووزارات الزراعة بضرورة إعادة هيكلة سياسات الدعم الزراعي لتشجيع التحول نحو الزراعة المستدامة. يجب أن يتم ذلك من خلال تقديم إعانات مالية مباشرة أو مدعومة للمزارعين الذين يلتزمون بإضافة الأسمدة العضوية لتحسين تربتهم، بدلاً من دعم الأسمدة الكيميائية فقط الذي يفاقم مشكلة تدهور التربة. كما يُوصى بربط الحصول على القروض الزراعية أو المساعدات الحكومية بتقديم

"خطة إدارة صحة التربة" التي تتضمن بنوداً إلزامية أو مشجعة لزيادة المحتوى العضوي في التربة، مما يخلق بيئة داعمة ومؤسسية تعزز من تبني هذه الممارسات على نطاق واسع.

- للتغلب على تحديات النقل والتطبيق وتباين الجودة، توصي الدراسة بتشجيع الاستثمار في إنشاء مصانع محلية لإنتاج الأسمدة العضوية "المحببة" والمركزة. يجب أن تعمل هذه المصانع تحت إشراف ومواصفات قياسية صارمة تضمن خلو المنتج من الممرضات وبذور الأعشاب، وتوحيد التركيب الغذائي والرطوبي. هذا التحويل من السماد العضوي التقليدي (الذي يُنقل بالأطنان) إلى أسمدة عضوية محسنة ومعبأة (تُستخدم بالكيلوغرامات) سيجعلها أسهل في التخزين، والنقل، والتطبيق باستخدام معدات التسميد الحديثة، مما يشجع المزارعين على استخدامها بسهولة وكفاءة أكبر.
- توصي البحث بضرورة إطلاق حملات إرشاد زراعي مكثفة ومستمرة تستهدف تغيير المفاهيم التقليدية لدى المزارعين، والانتقال بهم من مفهوم "تغذية النبات" فقط إلى مفهوم "إدارة صحة التربة". يجب إنشاء "حقول إرشادية نموذجية" في مختلف المناطق الزراعية لإثبات الفوائد الاقتصادية والبيئية للتسميد العضوي عملياً أمام المزارعين. كما يجب تدريب المهندسين الزراعيين والمرشدين على كيفية إجراء اختبارات بسيطة للتربة وتقييم محتواها العضوي، وتقديم توصيات مخصصة لكل مزرعة حول أنواع ومعدلات الأسمدة العضوية المناسبة، لضمان تحقيق أقصى استفادة وتجنب الأخطاء في التطبيق.
- توصي الدراسة بدمج استخدام الأسمدة العضوية مع تقنيات الزراعة الحديثة، وتحديداً أنظمة "الري بالتنقيط" و"التسميد بالري" يُنصح بإضافة الأسمدة العضوية السائلة أو المحللة بدقة، أو استخدام الأسمدة العضوية الصلبة كمحسن للتربة حول منطقة التنقيط، لضمان توزيع متجانس للرطوبة والعناصر. هذا التكامل يضمن أن البيئة المحسنة فيزيائياً وكيميائياً بفعل السماد العضوي ستستغل بأقصى كفاءة ممكنة بواسطة نظام الري

الدقيق، مما يمنع تراكم الأملاح في منطقة الجذور، ويقلل من الفاقد، ويحقق أعلى مستويات كفاءة استخدام المياه والأسمدة.

- نظراً لأن تحسين خصوبة التربة وبناء المادة العضوية هي عمليات تراكمية بطيئة، توصي الدراسة بإنشاء شبكة وطنية من "محطات الرصد البيئي والزراعي" موزعة جغرافياً. يجب أن تتولى هذه المحطات قياس ومراقبة مؤشرات صحة التربة (مثل المحتوى العضوي، السعة التبادلية الكاتيونية، الكثافة الظاهرية، ومحتوى الرطوبة) بشكل دوري وعلى مدى عقود. هذه البيانات طويلة المدى ستوفر تغذية راجعة علمية دقيقة لصناع القرار والباحثين، وتسمح بتحديث التوصيات السمادية باستمرار، وتقييم أثر السياسات الزراعية المتبعة، وضمان استدامة الموارد الطبيعية للأجيال القادمة.

المصادر والمراجع

الزغول، م. ع. (2020). *إدارة خصوبة التربة والمياه في المناطق الجافة وشبه الجافة: نحو زراعة مستدامة*. دار المسيرة للنشر والتوزيع.

السعيد، أ. ح. (2021). دور المادة العضوية في تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الرملية. *المجلة العربية لعلوم التربة والري*، 12(2)، 45-62.

الخطيب، ر. (2019). *كيمياء التربة وتبادل الأيونات: الأسس والتطبيقات الزراعية*. مؤسسة الوراق للنشر والتوزيع.

حسن، ع. م.، والشمري، ت. (2022). تأثير التسميد المتكامل (عضوي وكيميائي) على كفاءة استخدام المياه والمحصول في محاصيل الخضر. *مجلة العلوم الزراعية والبيئية*، 15(3)، 112-130.

العتوم، ب. (2020). *الفحم الحيوي (Biochar) وتطبيقاته الحديثة في تحسين صحة التربة والتكيف مع التغير المناخي*. دار الأكاديميين للنشر والتوزيع.

المجالي، ص. (2018). ديناميكية المادة العضوية وتكوين الدبال في الترب الزراعية: دراسات ميدانية ومخبرية. *مجلة الهندسة الزراعية وعلوم البيئة*، 9(1)، 77-95.

وزارة الزراعة. (2021). *الدليل الإرشادي للإدارة المستدامة لصحة التربة وترشيد استخدام الأسمدة*. المديرية العامة للإرشاد الزراعي.

البدوي، أ. (2023). تقييم كفاءة استخدام المياه والأسمدة تحت أنظمة الري الحديثة والتسميد العضوي. *مجلة التخطيط والتنمية الزراعية*، 18(4)، 201-225.

التل، ر.، والزعبي، ن. (2021). الأثر الاقتصادي والبيئي للتحول من التسميد الكيميائي الأحادي إلى التسميد المتكامل. *مجلة الإدارة العامة والسياسات الزراعية*، 11(2)، 55-74.

ياسين، هـ. (2022). *فيزياء التربة وديناميكية الرطوبة في المنطقة الجذرية: النظريات والتطبيقات*. مركز الدراسات الاستراتيجية والإدارية.