مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الزراعية والتقانة الحيوية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 48 . العدد 14

1448 هـ - 2026 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص **المدير المسؤول عن المجلة**

أ. د. وليد حمادة	**رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية**
د.نعيمة عجيب	**رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية**

د.محمد فراس رمضان	عضو هيئة التحرير
د. مضر سعود	عضو هيئة التحرير
د. ممدوح عبارة	عضو هيئة التحرير
د. موفق تلاوي	عضو هيئة التحرير
د. طلال رزوق	عضو هيئة التحرير
د. أحمد الجاعور	عضو هيئة التحرير
د. الياس خلف	عضو هيئة التحرير
د. روعة الفقس	عضو هيئة التحرير
د. محمد الجاسم	عضو هيئة التحرير
د. خليل الحسن	عضو هيئة التحرير
د. هيثم حسن	عضو هيئة التحرير
د. أحمد حاج موسى	عضو هيئة التحرير

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الالكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- **اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:**

يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقته على النشر في المجلة.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:**

يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :**

يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.

- **اذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :**

يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):**

عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1- مقدمة

2- هدف البحث

3- مواد وطرق البحث

4- النتائج ومناقشتها .

5- الاستنتاجات والتوصيات .

6- المراجع.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب – الاقتصاد– التربية – الحقوق – السياحة – التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):**
- عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

أ- قياس الورق 17.5×25 B5.

ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 – يمين 2.5- يسار 2.5 سم

ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8

ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20

ـ كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي ـ العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.

8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.

9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة ـ الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة ـ سنة النشر ـ وتتبعها معترضة (–) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة ـ دار النشر وتتبعها فاصلة ـ الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة.

وفيما يلي مثال على ذلك:

–MAVRODEANUS, R1986– **Flame Spectroscopy**. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

ـــ بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة ـــ المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة ـــ أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.

مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases **Clinical Psychiatry News** , Vol. 4. 20 – 60

ج. إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. **دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.**
2. **دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .**
3. **دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .**
4. **دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.**

المحتوى

اسم البحث	اسم الباحث	الصفحة
"استجابة الكثافة النباتية لصنفين من الفول (*Vicia faba* L.) إنتاجياً وطيفياً"	م. مايا نصر د. لينا النداف أ.د. أحمد مهنا	48-11
أثر الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في تحسين الإنتاجية والوعي البيئي في الساحل السوري	م. روز اسماعيل أ.د. غسان يعقوب د. محمد محمود	70-49
معدل البذار والتسميد بعنصر الفوسفور في بعض الصفات الإنتاجية لنبات الكمون	لؤي صالح سلمان د. عزة بشير خلوف	92-71
مقارنة تأثير التسميد بالزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوي والعادي في بعض الخصائص الكيميائية لتربة مزروعة بالحمص الشتوي	م.يامن الحسن أ.د. عبد الله العيسى د. محمود الحمدان	133-93

"استجابة الكثافة النباتية لصنفين من الفول (*Vicia faba* L.) إنتاجياً وطيفياً"

م. مايا نصر[1] د. لينا النداف[2] أ.د. أحمد مهنا[3]

(1) ماجستير في قسم المحاصيل الحقلية – كلية الهندسة الزراعية – جامعة حمص – حمص - سورية
(2) أستاذ مساعد في قسم المحاصيل الحقلية - كلية الهندسة الزراعية – جامعة حمص – حمص - سورية
(3) أستاذ في قسم المحاصيل الحقلية – كلية الهندسة الزراعية – جامعة حمص – حمص - سورية

الملخص

نفذ البحث خلال الموسم الزراعي 2023 – 2024 في مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص، بهدف تقييم الأداء الإنتاجي والتوصيف الجزيئي لبذور صنفين من الفول العادي (حماه2 – قبرصي) تحت تأثير خمس مستويات من الكثافة النباتية (33.3، 22.2، 16.7، 13.3، 11.1 نبات/م^2).

صممت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بثلاث مكررات، شملت الدراسة مؤشرات مورفولوجية (ارتفاع النبات، عدد الأفرع المثمرة)، ومؤشرات إنتاجية (عدد البذور بالقرن، الغلة البذرية، دليل الحصاد)، بالإضافة إلى استخدام تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء لتتبع التغيرات في المجموعات الوظيفية والروابط الجزيئية للبذور الناتجة. وقد حللت البيانات إحصائياً باستخدام برنامج Genstat 20 عند مستوى دلالة معنوية (0.05).

أظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين الأصناف والكثافات والتداخل بينهما، حيث حققت الكثافة (22.2 نبات/م^2) التوازن الأمثل بين نمو النبات الفردي والغلة البذرية، مسجلة أعلى غلة

بذرية للصنفين (3933 – 3633 كغ/هـ على التوالي). وتفوق الصنف حماه2 في الغلة البذرية الإجمالية، بينما تميز الصنف قبرصي في مكونات الغلة (عدد الأفرع، ووزن الـ 100 بذرة).

وعلى المستوى الجزيئي كشفت بصمة (FTIR) عن استقرار هيكلي وتوازن في حزم (Amide) والكربوهيدرات عند الكثافة المثلى D2 (22.2 نبات/م^2)، بينما أدت الكثافة D1 (33.3 نبات/م^2) إلى إزاحات طيفية حادة (Red shift) في روابط (−OH) ومنطقة (Amide I)، مما يعكس حالة من الإجهاد الهيكلي. في حين أظهرت الكثافات المنخفضة تحرراً جزيئياً (Blue shift) يعبر عن اكتمال النضج الكيميائي للبذور، تخلص الدراسة إلى التوصية بزراعة الصنفين بكثافة (22.2 نبات/م^2) في المناطق البعلية المشابهة، مع اعتماد تقنية (FTIR) كأداة تشخيصية سريعة ودقيقة لتقييم الجودة النوعية والوظيفية للمحاصيل البقولية.

الكلمات المفتاحية: الفول العادي (*Vicia faba* L.)، الكثافة النباتية، FTIR، الغلة البذرية.

1. المقدمة والدراسة المرجعية:

يعد الفول العادي (*Vicia faba* L.) من أهم البقوليات ذات الاستهلاك الواسع عالمياً، حيث يشكل ركيزة أساسية للبروتين في تغذية الإنسان والحيوان على حدٍّ سواء Cazzato *et al* (2012)، وتبرز الأهمية البيئية لهذا المحصول في قدرته العالية على تحسين خصوبة التربة عبر تثبيت النتروجين حيوياً بمعدلات تتراوح بين 30 إلى 50 كغ نيتروجين/هكتار، مما يجعله عنصراً حيوياً في الدورات الزراعية المستدامة للتقليل من استخدام الأسمدة الكيميائية Karkanis *et al.* (2018)

ونظراً لقدرة الفول على التكيف مع بيئات مناخية متنوعة، فإن تعظيم إنتاجيته يرتبط ارتباطاً وثيقاً باتباع ممارسات زراعية دقيقة، وفي مقدمتها الزراعة بكثافة حقلية مناسبة، حيث تهدف هذه الممارسة إلى تحقيق التوازن الأمثل بين المجموع الجذري والنمو الخضري لضمان إمداد النبات بالغذاء اللازم لزيادة المحصول .Huthily *et al* (2020)

وقد تباينت استجابة أصناف الفول (*Vicia faba* L.) لتغير الكثافات النباتية، تبعاً للصنف والظروف البيئية، حيث لاحظ Bakry *et al.* (2011) عند دراسة خمسة أصناف تحت تأثير ثلاث كثافات نباتية (16، 25، 42 نبات/م^2) توصل إلى أن زيادة الكثافة النباتية أدت إلى زيادة الغلة البذرية والبروتين وارتفاع النبات ووزن (100 بذرة) بالإضافة لتقليل عدد الأفرع وخفض دليل الحصاد، وأن للتداخل تأثيراً معنوياً لكل الخصائص المدروسة. ومن جانبه أشار Yucel (2013) عند اختباره لأربعة أصناف تحت تأثير أربع كثافات نباتية (11، 15، 22، 44.5 نبات/م^2) إلى أن زيادة الكثافة النباتية أدت إلى ارتفاع النبات، وانخفاض عدد الأفرع، ووزن (100 بذرة)، وبالتالي انخفاض إنتاجية النبات الواحد، دون ملاحظة فروق معنوية بين الأصناف المدروسة.

وفي سياق متصل أثبت محمد وإبراهيم (2015) عند زراعة صنفين من الفول العادي (البلدي، والإيطالي) بخمس كثافات (4، 5، 6.67، 10، 20) نبات/م^2 لاحظوا وجود فروق معنوية بين الصنفين والتأثير المعنوي للتداخل في صفات ارتفاع النبات، عدد الأفرع، عدد البذور/القرن، والغلة البذرية؛ إذ حققت الكثافات العالية زيادة الكثافة النباتية زيادة في ارتفاع النبات، ووزن (100 بذرة)، والغلة البذرية، وقل عدد الأفرع/النبات، وعلى نحو مشابه درس بكور وعيوش (2016) الصنف القبرصي بأربع كثافات (8.3، 11.1، 16.3، 33.3 نبات/م^2)، فلاحظوا تفوق الكثافة المنخفضة في عدد الأفرع وعدد القرون ووزن البذور/النبات الواحد، بينما تفوقت الكثافة المرتفعة من حيث ارتفاع النبات والغلة البذرية وعدد البذور في القرن، ولم يكن هناك أثراً يذكر للكثافة النباتية على وزن البذور في القرن ووزن (100 بذرة).

وعززت خضر (2020) هذه النتائج بدراسة الصنف قبرصي بثلاث كثافات (12.5، 16.7، 25) نبات/م^2، حيث حققت الكثافة المرتفعة زيادة معنوية في ارتفاع النبات والغلة البذرية، بينما ساهمت الكثافة المنخفضة في زيادة عدد الأفرع الجانبية والمثمرة، وعدد القرون ، ووزن البذور الجافة.

وفي أحدث الدراسات، أكدت العفاص وخضر (2025) على الصنف قبرصي أيضاً أن الكثافة العالية أدت إلى زيادة معنوية في ارتفاع النبات والغلة البذرية، مقابل انخفاض معنوي في المكونات الفردية (عدد الأفرع، عدد القرون، وزن البذور للنبات الواحد)، وذلك نتيجة التنافس على الموارد. مما يبرز أهمية فهم التفاعل بين التركيب الوراثي للصنف والكثافة الحقلية المعتمدة.

إن هذا التباين في الأداء الحقلي والتنافس الملاحظ بين الأصناف يستوجب دراسة أثر هذه الممارسات على الجودة الكيميائية الحيوية للبذور عبر تقنيات متطورة، حيث برزت المطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريير (FTIR) كأداة محورية في فهم الديناميكية الجزيئية للمكونات الحيوية، وقد تطورت الدراسات حول استخدامها بشكل مطرد، بدءاً من اعتماد Schweitzer–Stenner (2006) عليها لتوصيف البنية الثانوية للبروتينات، وصولاً إلى تطوير Mecozzi

et al (2011) لمنهجية دقيقة لتحليل مناطق امتصاص (Amide) لتتبع أثر العوامل البيئية على جودة واستقرار السلاسل الببتيدية، وفي ذات العام ركزت دراسة Ambigaipalan *et al* (2011) على تقييم جودة النشاء في بذور الفول، بينما أثبت Sturchio *et al* (2012) كفاءة التقنية في رصد التغيرات في المجموعات الوظيفية للكربوهيدرات والبروتينات والدهون للفول الناتجة عن الظروف البيئية الضاغطة من خلال تسجيل إزاحات نوعية في حزم (-OH) وحزم (Amide). وفي إطار دراسة التباينات الوراثية، وظف Khalil *et al* (2017) التقنية لفحص تركيب الأحماض الدهنية والزيوت في بذور الفول، فيما أيدRodriguez Espinosa (2018) وجود تباين بين الأصناف الوراثية، وصولاً إلى ما استعرضه Johnson *et al* (2020) حول الإمكانيات المتقدمة لهذه التقنية كأداة تحليلية سريعة وغير مدمرة لتقييم الجودة الغذائية الشاملة، وتتبع التحولات الأيضية الناتجة عن تداخل العوامل الوراثية مع الظروف البيئية، مما يجعلها أداة أساسية لتقييم الخصائص الوظيفية للبذور تحت مختلف الممارسات الزراعية.

أهداف البحث:

1. تحديد الكثافة النباتية المثلى للصنفين (حماه2 وقبرصي) التي تحقق التوازن بين الإنتاجية البذرية القصوى والجودة النوعية للبذور تحت ظروف بيئة حمص.
2. الكشف عن التغيرات في الروابط الجزيئية والمجموعات الوظيفية للمكونات الحيوية للبذور باستخدام تقنية (FTIR).
3. فهم أثر الإجهاد التنافسي الناتج عن الكثافة النباتية على البنية الجزيئية والخصائص الوظيفية للمحصول.

2. طرائق البحث ومواده: (Materials and Methods)

2.1. المادة النباتية Plant Material: تم استخدام صنفين متباينين وراثياً من الفول العادي (*Vicia faba* L.)، تم الحصول على بذارهما من الهيئة العامة لإكثار البذار لضمان النقاوة الوراثية:

يوضح الجدول (1): الخصائص التصنيفية والمورفولوجية والإنتاجية لصنفي الفول المدروسين.

الصنف	المنشأ	وزن 100 بذرة (غ)	الغلة البذرية (كغ/هـ)	نسبة البروتين(%)
حماه2	محلي	145	2630	27.4
قبرصي	مدخل	159	5420	26.3

2.2. موقع تنفيذ البحث:

نُفذ البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص خلال الموسم 2023 – 2024. يقع المركز شمال مدينة حمص، على بُعد (7 كم تقريباً)، على خط طول (36.71) شرقاً وخط عرض (34.77) شمالاً، بارتفاع (488 م) عن سطح البحر، يتبع الموقع لمنطقة الاستقرار الأولى.

2.3. الظروف البيئية:

1. المعطيات المناخية: تم الحصول على البيانات المناخية من محطة الأرصاد الجوية بحمص.

جدول(2): كمية الأمطار الهاطلة ومتوسط درجات الحرارة الصغرى والكبرى لمتوسط أشهر الدراسة خلال موسم البحث

الشهر	الهطل المطري	متوسط درجة الحرارة لمتوسطات الأشهر	
		الصغرى	الكبرى
كانون الأول	66	4.7	13.67
كانون الثاني	134.1	7.11	13.76
شباط	44.5	6.01	15.36
آذار	33.5	7.48	17.99
نيسان	22	13.05	25.46
أيار	20.6	14.25	25.32
مجموع متوسط الأمطار خلال موسم البحث		320.7	

تشير المعطيات إلى أن إجمالي كمية الهطل المطري بلغ (320.7 مم) فقط، وهو ما يشكل عجزاً مائياً بنحو 27% عن المعدل العام (439) مم. ويلاحظ تركز العجز المائي خلال شهري

نيسان وأيار، وهما يمثلان فترتي عقد الثمار وامتلاء البذور، مما يضفي على الموسم صبغة "السنة الجافة" وأثره المحتمل في الاستجابة الإنتاجية والجزيئية للصنفين المدروسين.

2. تحليل التربة Soil analysis:

جُمعت عينات ترابية عشوائية مركبة من عمق (0–30 سم)، قبل الزراعة، وحُللت مخبرياً في مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص لتحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية.

جدول (3): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة موقع البحث.

قوام التربة	EC ds/m	PH	البوتاس ppm	الفوسفور ppm	النتروجين ppm	المادة العضوية %	توزع حجم جزيئات التربة		
							رمل %	سلت %	طين %
تربة طينية	0.29	7.5	342	26.7	75.5	1.41	26.5	12.7	60.8

أظهر التحليل أن تربة الموقع ذات قوام طيني، ذات محتوى منخفض من الأملاح (EC = 0.29 ds/m) تميل إلى القلوية الخفيفة التفاعل (PH = 7.5)، ، غنية بالفوسفور والبوتاس المتاح، ضعيفة المحتوى من المادة العضوية ومتوسطة المحتوى من النتروجين.

2.4. التصميم التجريبي والمعاملات:

نفذت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بنظام التجارب العاملية، وبواقع ثلاثة مكررات (إجمالي 30 وحدة تجريبية) شملت الدراسة تداخل عاملين أساسيين:

1- العامل الأول: الأصناف (A):

وضم الصنفين التاليين:

A1: الصنف حماه2

A2: الصنف قبرصي

2- العامل الثاني: الكثافات النباتية (D):

شمل خمس مستويات من الكثافة النباتية، تم التحكم بها عبر المسافات بين الجور، مع تثبيت المسافة بين الخطوط عند 50 سم:

D1: 33.3 نبات/م^2 (مسافة 6 سم بين الجور).

D2: 22.2 نبات/م^2 (مسافة 9 سم بين الجور).

D3: 16.7 نبات/م^2 (مسافة 12 سم بين الجور).

D4: 13.3 نبات/م^2 (مسافة 15 سم بين الجور).

D5: 11.1 نبات/م^2 (مسافة 18 سم بين الجور).

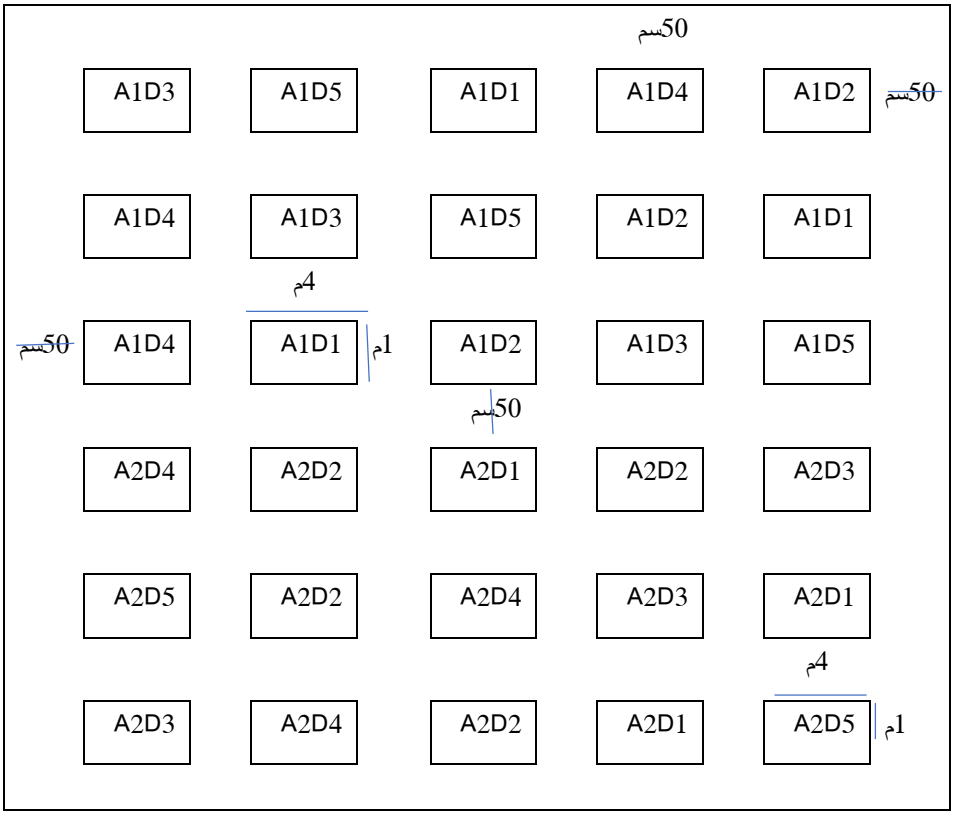
2.5. توزيع الوحدات التجريبية:

بلغت مساحة القطعة التجريبية 4 م^2، مكونة من خطين بطول 4م، والمسافة بينهما 50 سم. ولضمان دقة النتائج، وتجنب أثر الحافة، تم ترك مسافات فاصلة قدرها 50 سم بين القطع التجريبية والمكررات، كما خُصصت أحزمة عزل طرفية، واقتصر أخذ القياسات والعينات في وسط القطعة.

2.6. تحضير التربة للزراعة:

جُهزت التربة بحراثة أساسية عميقة لتفكيك القوام الطيني وتحسين التهوية، تبعتها عمليات التنعيم والتسوية لتأمين مهد مناسب للبذرة، تمت زراعة البذور يدوياً بتاريخ 2023/12/17؛ وفق المسافات المقررة لكل كثافة. اعتمد المحصول كلياً على مياه الأمطار (زراعة بعلية) دون إضافة أية أسمدة كيمائية، وذلك لتقييم الاستجابة الطبيعية للأصناف تحت ظروف الإجهاد التنافسي

والمائي. كما أُجريت عمليات التعشيب اليدوي دورياً لإزالة المنافسة النباتية، وضمان دقة النتائج المخبرية (FTIR) للبذور.



الشكل(1): مخطط توزيع الوحدات التجريبية وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD)

D1، D2، D3، D4، D5: كثافات نباتية (11.1- 13.3- 16.7- 22.2- 33.3 نبات/م^2 على التوالي)

A1، A2: الأصناف (حماه2، قبرصي على التوالي)

2.7. المؤشرات المدروسة (Studied Parameters):

تم أخذ القراءات الخاصة بصفات النمو والإنتاجية كمتوسط لعشرة نباتات اختيرت عشوائياً من المنطقة الوسطى لكل قطعة تجريبية لضمان استبعاد أثر الحافة.

أولاً: المؤشرات المورفولوجية:

1. **ارتفاع النبات (سم) Plant height:**

قيس من مستوى سطح التربة وحتى القمة النامية للنبات، عند مرحلة النضج الفيزيولوجي. ICARDA (2012)

2. **عدد الأفرع المثمرة على النبات الواحد (فرع/النبات) Number of Fruiting Branches:** عُدت الأفرع التي تحمل قروناً ناضجة على النبات الواحد، وحساب متوسطها. ICARDA (2012)

ثانياً: المؤشرات الإنتاجية:

1. **عدد البذور في القرن (بذرة/ القرن)Aumber of seeds per pod:**

قُسم إجمالي عدد بذور النبات على عدد قرونه، ثم حساب متوسطه. ICARDA (2012)

2. **وزن 100 بذرة (غ) Seed Weight – 100:**

وُزن 100 بذرة عشوائية من كل وحدة تجريبية ولعدة مكررات باستخدام ميزان حساس بدقة 0.01غ. ISTA (2013)

3. **الغلة البذرية (كغ/هـ) Seed yield:**

حُسب عن طريق الحصاد اليدوي لـ 1م^2 من كل قطعة تجريبية، وفرط قرونها يدوياً وجمع البذور وتنظيفها ووزنها، ومن ثم تحويل حساب الغلة على أساس كغ/هـ. وقد صححت الغلة البذرية إلى أساس الرطوبة القياسية (14%) وفق العادلة المعتمدة من Tihkanov & Nichola (1990) و(حياص ومهنا، 2007)

الغلة المصححة = الغلة الخام * (100 – رطوبة العينة)/ (100–14)

4. **دليل الحصاد Harvest index(%):** حُسب كنسبة مئوية من خلال المعادلة التالية:

دليل الحصاد= الغلة البذرية* 100/ (الغلة البذرية + الغلة البيولوجية) Donald (1962)

ثالثاً: البصمة الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR Analysis):

استخدمت تقنية التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء لتحويل فوريه (FTIR) لتحديد التغيرات في المجموعات الوظيفية (الأميدات والكربوهيدرات) للبذور الناتجة، وفق الآتي:

1. **تحضير العينات:** جُففت البذور وطحنت بدقة، ثم حُضرت على هيئة أقراص مضغوطة عبر مزج مسحوق البذور مع بروميد البوتاسيوم (KBr) بنسبة (1:150) استمر الطحن لمدة 10 دقائق لضمان التجانس، ثم ضُغط المزيج هيدروليكياً لمدة 5 دقائق، للحصول على أقراص شفافة جاهزة للقياس. Smith (2011)
2. **القياس الطيفي:** سُجلت أطياف الامتصاص باستخدام جهاز FTIR من (شركة SHIMADZU)الموجود في مختبرات شركة ميديكو للصناعات الدوائية (حمص). أجري المسح في المدى الترددي (للأرقام الموجية) المحصورة بين (450 – 4000 سم$^{-1}$)، لتتبع إزاحة القمم وشدة الحزم الناتجة عن التداخل بين الصنف والكثافة. Socrates (2001)

2.8. التحليل الاحصائي:

أخضعت كافة البيانات الناتجة لتحليل التباين (ANOVA) باستخدام البرنامج الاحصائي Genstat 20 وقورنت المتوسطات الحسابية للمعاملات باستخدام اختبار أقل فرق معنوي (L.S.D) عند مستوى دلالة 0.05 Steel & Torrie (1980).

3. النتائج والمناقشة:

3.1. تأثير الصنف والكثافة النباتية في ارتفاع النبات (سم) Plant Height:

أظهرت نتائج التحليل (جدول 4) وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) بين العوامل المدروسة، حيث تفوق الصنف حماه2 (A1) معنوياً بمتوسط ارتفاع (98.47 سم) على الصنف قبرصي (A2) الذي سجل (89.33 سم). ويُعزى ذلك إلى الاختلافات الوراثية بين الصنفين، إذ يمتلك الصنف حماه2 طرازاً مورفولوجياً يميل للنمو الرأسي والاستطالة بشكل أكبر. تتفق هذه النتيجة مع ما وجده (محمد وإبراهيم، 2015)، بينما تختلف مع دراسة (Yucel, 2013) التي لم تسجل فروقاً معنويةً بين الأصناف لهذه الصفة. أما فيما يخص الكثافة النباتية، فقد سلك ارتفاع النبات منحىً تصاعدياً مع زيادة الكثافة حتى الكثافة D2 (22.2) نبات/م^2 التي حققت أعلى متوسط للارتفاع (100 سم)، متفوقةً معنوياً على الكثافات المنخفضة (D4، D5). ويُفسر ذلك بزيادة التنافس الضوئي بين النباتات، مما يحفز استطالة السلاميات كاستجابة فسيولوجية للوصول إلى الإضاءة الكافية. وتتوافق هذه النتائج مع العفاص وخضر (2025)، خضر (2020)، بكور وعيوش (2016) و Bakry *et al.* (2011) ومن الملاحظ أن ذروة الاستطالة سُجلت عند الكثافة D2 (22.2 نبات/م^2) ولم تستمر في الزيادة المطردة عند الانتقال إلى الكثافة القصوى D1 (33.3 نبات/م^2)وفسر ذلك بأن الكثافة العالية قد أدت إلى وصول النبات إلى نقطة الإجهاد التنافسي الحرج حيث تفوق التنافس الشديد على الموارد الغذائية والمائية المحدودة (خاصة في ظروف الموسم الجافة) على الاستجابة للاستطالة الضوئية، مما حد من قدرة الخلايا على التمدد الطولي الإضافي. وسجل التداخل بين الصنف (A1) والكثافة (D2) أعلى قيمة للارتفاع (103.67 سم)، بينما سجل الصنف (A2) عند الكثافة (D5) أدنى قيمة (79.33 سم) ويشير ذلك إلى أن الصنف حماه2 كان الأكثر استجابة في استثمار موارده للنمو الرأسي تحت ضغط التنافس المتزايد، مما يعكس تداخل العوامل الوراثية مع الظروف البيئية في تحديد الطول النهائي للنبات.

نبات/م2	حماه2 (A1) (سم)	قبرصي (A2) (سم)	المتوسط (سم)
33.3 D1	103 a	95 bc	99 a
22.2 D2	103.67 a	96.33 b	100 a

16.7 D3	102.33 a	92 cd	97.17 a
13.3 D4	94.67 bc	84 ef	89.34 b
11.1 D5	88.67 de	79.33 f	84 c
المتوسط	98.47 a	89.33 b	**DV% = 2.7**
L.S.D 5%	**D= 2.99**	**A=1.9**	**D*A= 4.2**

جدول (4): تأثير الكثافة النباتية والصنف والتداخل بينهما في ارتفاع النبات (سم).

* تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى المعنوية (0.05)

3.2. تأثير الكثافة النباتية والصنف في عدد الأفرع المثمرة (فرع مثمر/النبات):

أظهرت نتائج التحليل (جدول 5) وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة عدد الأفرع المثمرة، تبعاً للعوامل المدروسة، حيث تفوق الصنف قبرصي (A2) معنوياً بمتوسط (5.13 فرع/النبات) على الصنف حماه2 (A1) الذي سجل (2.74 فرع/النبات)، وتُعزى هذه النتائج إلى التباين الوراثي في طبيعة النمو والكفاءة الفسيولوجية للصنف (A2) في تحويل الأفرع الخضرية إلى ثمرية منتجة. تتفق هذه النتيجة مع محمد وإبراهيم (2015) و Bakry *et al* (2011)، بينما تعارضت مع دراسة Yucel (2013) التي لم تسجل فروقاً معنويةً بين الأصناف لهذه الصفة. أما فيما يخص الكثافة النباتية، فقد أدت زيادتها إلى انخفاض تدريجي ومعنوي في عدد الأفرع المثمرة، حيث سجلت الكثافة المنخفضة D5 (11.1 نبات/م^2) أعلى متوسط (4.67 فرع/النبات)، بينما سجلت الكثافة العالية D2 (22.2 نبات/م^2) أدنى متوسط (2.84 فرع/النبات). ويُعزى ذلك إلى ظاهرة "التظليل المتبادل" في الكثافات العالية، مما يحد من نفاذ الإشعاع الشمسي للأجزاء السفلية من المظلة الخضرية، ويؤدي بالتالي إلى نقص الإمداد الكربوهيدراتي اللازم لتمايز ونمو الأفرع الجانبية وتطورها إلى أفرع مثمرة، وهو ما يتسق تماماً مع كلّاً من العفاص وخضر (2025) خضر (2020)، بكور وعيوش (2016)، محمد وإبراهيم (2015) Yucel (2013) Bakry *et al.* (2011) وأظهر التداخل بين الصنف والكثافة تبايناً معنوياً واضحاً، حيث حقق الصنف (A2) عند الكثافة المنخفضة D5 أعلى معدل تفريع (7 أفرع/النبات)، بينما سجل الصنف (A1) عند الكثافة العالية D2 أدنى معدل (1.67 فرع/النبات). ويلاحظ أن الصنف قبرصي (A2) كان أكثر مرونة وقدرة على استغلال المساحة الغذائية لزيادة عدد الأفرع

مقارنة بالصنف حماه2 (A1)، مما يعكس تفاعلاً إيجابياً بين قدرته الوراثية على التفريع وظروف المنافسة المنخفضة.

جدول (5): تأثير الكثافة النباتية والصنف والتداخل بينهما في عدد الأفرع المثمرة (فرع/النبات).

نبات/م2	حماه2 (A1) (فرع/النبات)	قبرصي(A2) (فرع/النبات)	المتوسط (فرع/النبات)
33.3 D1	2 e	4.33 bc	3.17 bc
22.2 D2	1.67 e	4 Dd	2.84 c
16.7 D3	2.67 de	4.67 bc	3.67 b
13.3 D4	3.67 cd	5.67 b	4.33 a
11.1 D5	3.67 cd	7 a	4.67 a
المتوسط	2.74 b	5.13 a	**CV%= 15.4**
L.S.D 5%	**A=0.69**	**D=1.1**	**A*D=1.55**

* تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى المعنوية (5%)

3.3. تأثير الصنف والكثافة النباتية في عدد البذور بالقرن (بذرة/القرن):

أظهرت نتائج التحليل في (جدول 6) وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة عدد البذور بالقرن تبعاً للعوامل المدروسة، حيث تفوق الصنف حماه2 (A1) معنوياً بمتوسط (3.93 بذرة/القرن) على الصنف قبرصي (A2) الذي سجل (2.26 بذرة/القرن). ويعزى ذلك إلى العوامل الوراثية، إذ يمتلك الصنف (A1) طرازاً وراثياً يمنحه قروناً أطول أو كفاءة أعلى في إخصاب البويضات وتطور الأجنة داخل القرن الواحد مقارنة بالصنف (A2). تتفق هذه النتائج مع دراسة كلاً محمد وإبراهيم (2015)، بينما تختلف معYucel (2013) الذي لم يلحظ تأثيراً معنوياً للأصناف في هذه الصفة. أما فيما يخص الكثافة النباتية، فقد لوحظ وجود علاقة عكسية مع عدد البذور، حيث أدت زيادة الكثافة من (D5 إلى D1) إلى انخفاض عدد البذور من (4.33 إلى 2 بذرة/القرن). ويعود ذلك إلى اشتداد التنافس على نواتج التمثيل الضوئي في الكثافات العالية، في حين تتوفر للنباتات في الكثافات المنخفضة مساحة نمو أكبر، وإضاءة أفضل، مما يقلل من حدوث إجهاد البذور داخل القرن ويزيد من كفاءة امتلاء البذور. تتفق هذه النتيجة مع التوجه العام الذي ذكره Yucel (2013)، بينما اختلفت مع بكور وعيوش (2016) الذين لاحظوا زيادة عدد

البذور بالقرن مع زيادة الكثافة النباتية. وحقق التداخل بين الصنف (A1) والكثافة المنخفضة (D5)أعلى متوسط (5.33 بذرة/ القرن)، بينما سجل الصنف (A2) عند الكثافة العالية (D1) أدنى متوسط (1.33 بذرة/ القرن). ويلاحظ أن الصنف حماه2 كان أكثر استجابة لتقليل الكثافة في تعظيم عدد بذور القرن الواحد، مما يشير إلى مرونته الوراثية في استثمار المساحة الغذائية المتاحة لزيادة كفاءة العقد وتطور البذور، خاصة في ظل ظروف الموسم الجاف التي تزيد من حدة التنافس على الموارد المائية المتاحة خلال مرحلة امتلاء البذور.

جدول(6): تأثير الكثافة النباتية والصنف والتداخل بينهما في عدد البذور بالقرن.

نبات/م2	حماه2 (A1) (بذرة/القرن)	قبرصي (A2) (بذرة/القرن)	المتوسط (بذرة/القرن)
33.3 D1	2.67 c	1.33 e	2 c
22.2 D2	3.33 bc	1.67 de	2.5 bc
16.7 D3	3.67 b	2.33 cd	3 b
13.3 D4	4.67 a	2.67 c	3.67 ab
11.1 D5	5.33 a	3.33 bc	4.33 a
المتوسط	3.93 a	2.26 b	CV% =18.6
L.S.D 5%	**A= 0.4**	**D= 0.7**	**A*D= 0.98**

*تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى المعنوية (5%)

3.4. تأثير الصنف والكثافة النباتية في وزن 100 بذرة:

أظهرت نتائج التحليل في (جدول 7) وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة وزن الـ 100 بذرة تبعاً للعوامل المدروسة، حيث تفوق الصنف قبرصي (A2) معنوياً بمتوسط (124.27 غ) على الصنف حماه2 (A1) الذي سجل (105.27 غ). ويعزى ذلك إلى التباين الوراثي بين الصنفين؛ إذ يمتلك الصنف قبرصي قدرة وراثية على تكوين بذور ذات حجم وكتلة أكبر. تختلف هذه النتيجة مع ما توصل إليه محمد وإبراهيم (2015) و Yucel (2013) اللذان لم يلحظا فروقاً معنويةً للأصناف في هذه الصفة. أما فيما يخص الكثافة النباتية، فقد أظهرت النتائج وجود علاقة عكسية واضحة مع وزن الـ 100 بذرة، حيث تفوقت الكثافة المنخفضة D5 (11.1 نبات/م^2) معنوياً بتسجيلها أعلى متوسط لوزن الـ 100 بذرة (130 غ)، بينما سجلت الكثافة العالية D1 (33.3 نبات/م^2) أدنى متوسط (107.33 غ)، ويفسر ذلك بزيادة المساحة الغذائية المتاحة للنبات الواحد مما يرفع من كفاءة التمثيل الضوئي ويقلل التنافس على العناصر الغذائية والماء. (خاصة في ظروف الجفاف التي سادت الموسم، وأدت إلى محدودية الموارد المائية اللازمة لعملية امتلاء البذور في الكثافات العالية). تتفق هذه النتيجة مع Yucel (2013)، بينما تعارضت مع محمد وإبراهيم (2015) و Bakry *et al.* (2011) بينما لم يلحظ بكور وعيوش (2016) تأثيراً معنوياً للكثافة في هذه الصفة. وحقق التداخل بين الصنف (A2) والكثافة المنخفضة (D5) أعلى قيمة لمتوسط وزن 100 بذرة (136.33 غ) بينما سجل الصنف (A1) عند الكثافة (D1) أدنى قيمة لمتوسط وزن الـ 100 بذرة (96.33 غ). ويلاحظ أن كلا الصنفين استجابا إيجابياً لتقليل الكثافة النباتية، إلا أن الصنف قبرصي كان أكثر وضوحاً في زيادة كتلة بذوره عند توفر مساحة غذائية أكبر، مما يعكس مرونة في استغلال الموارد المتاحة لتعظيم حجم المدخرات في البذور.

جدول (7): تأثير الكثافة النباتية والصنف والتداخل بينهما في وزن الـ 100 بذرة (غ)

نبات/م^2	حماه2 (A1) (غ)	قبرصي (A2) (غ)	المتوسط (غ)
33.3 D1	96.33 g	118.33 d	107.33 c
22.2 D2	98.67 fg	119.00 cd	108.84 c
16.7 D3	102.33 f	124.00 c	113.17 b
13.3 D4	111.00 e	125.00 b	118.00 b
11.1 D5	116.67 d	136.33 a	130.00 a
المتوسط	105.27 b	124.27a	**CV%=2.12**
L.S.D 5%	**A= 1.85**	**D=2.92**	**A*D= 4.14**

* تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى المعنوية (5%)

3.5. تأثير الكثافة النباتية في الغلة البذرية كغ/هـ Total Productivity:

أظهرت نتائج التحليل في (جدول 8) وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة الغلة البذرية تبعاً للعوامل المدروسة، حيث تفوق الصنف حماه2 (A1) معنوياً بمتوسط إنتاجية بلغ (2756.6 كغ/هـ) على الصنف قبرصي (A2) الذي سجل (2399.8 كغ/هـ). ويعزى هذا التفوق إلى التباين في التركيب الوراثي والقدرة التكيفية لصنف حماه2 مع الظروف البيئية السائدة (سنة جافة + الزراعة بعلية). وتتفق هذه النتيجة مع محمد وإبراهيم (2015) و Bakry *et al.* (2011) بينما لا تتفق مع Yucel (2013) الذي لم يلحظ فروقاً معنويةً بين الأصناف. أما فيما يخص الكثافة النباتية، فقد تفوقت الكثافة D2 (22.2 نبات/م^2) معنوياً على كافة الكثافات الأخرى محققة أعلى متوسط غلة بذرية (3783 كغ/هـ). ويُفسر ذلك بالوصول إلى حالة "التوازن المثالي، حيث يكون عدد النباتات في وحدة المساحة كافياً لضمان استغلال الموارد المتاحة دون أن يصل التنافس إلى حد يقلل من إنتاجية النبات الواحد بشكل حاد. وهذا لا يتفق مع العفاص وخضر (2025)، خضر (2020)، بكور وعيوش (2016)، محمد وإبراهيم (2015) و Bakry *et al.* (2011) الذين لاحظوا زيادة مطردة في المحصول بزيادة الكثافة النباتية حتى مستوياتها القصوى. وسجل التداخل بين الصنف (A1) والكثافة (D2) أعلى متوسط لغلة البذرية إلى (3933 كغ/هـ)، بينما سجل الصنف (A2) عند الكثافة المنخفضة (D5) أدنى متوسط للغلة البذرية إلى (1250)

كغ/هـ. ويلاحظ أن الصنف حماه2 أظهر مرونة عالية في الاستجابة للكثافة (22.2 نبات/م^2)، مما مكنه من تحقيق كفاءة إنتاجية مرتفعة رغم ظروف الإجهاد المائي، مما يؤكد أهمية المواءمة بين الطراز الوراثي للصنف والكثافة النباتية لتحقيق الاستقرار الإنتاجي في المناطق الجافة.

جدول (8): تأثير الكثافة النباتية والصنف والتداخل بينهما في الغلة البذرية (كغ/هـ).

نبات/م2	حماه2 (A1) (كغ/هـ)	قبرصي (A2) (كغ/هـ)	المتوسط (كغ/هـ)
33.3 D1	2967 bc	3550 ab	3258.5 b
22.2 D2	3933 a	3633 a	3783 a
16.7 D3	2617 cd	1883 ef	2250 c
13.3 D4	2533 d	1683 f	2108 c
11.1 D5	1733 f	1250 g	1419.5 d
المتوسط	2756.6 a	2399.8 b	**CV%=9.7**
L.S.D 5%	**A = 189.5**	**D= 299.7**	**A*D= 423.8**

* تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى المعنوية (5%)

3.6. تأثير الكثافة النباتية والصنف والتداخل بينهما في دليل الحصاد (%) Harvest Index:

أظهرت نتائج التحليل في (جدول 9) وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة وزن الـ 100 بذرة تبعاً لكلٍّ من الكثافة النباتية والتداخل في حين لم يسجل عامل الصنف أي تأثير معنوي في هذه الصفة، حيث سجل الصنف حماه2 (A1) متوسطاً قدره (25.12%)، والصنف قبرصي (A2) متوسطاً قدره (24.98%). وتشير هذه النتيجة إلى أن كلا الصنفين يمتلكان كفاءة فسيولوجية متقاربة في تحويل ونقل المادة الجافة من الأجزاء الخضرية (المصدر) إلى البذور (المصب). وتتفق هذه النتيجة مع Yucel (2013) الذي لم يلحظ فروقاً بين الأصناف ا في هذه الصفة. أما فيما يخص الكثافة النباتية، فقد تفوقت الكثافة العالية D1 (33.3 نبات/م^2) معنوياً بتسجيلها أعلى متوسط لدليل الحصاد (32.77%)، بينما سجلت الكثافة المنخفضة D5 (11.1 نبات/م^2) أقل قيمة لمتوسط (15.86%). ويعزى ذلك إلى أن الكثافات العالية تحفز النباتات على توجيه أغلب نواتج التمثيل الضوئي نحو تكوين البذور كآلية للبقاء تحت ظروف التنافس الشديد،

مما يرفع من كفاءة التحويل الإنتاجي. وفي المقابل يميل النبات في الكثافات المنخفضة إلى استهلاك طاقته في بناء نمو خضري وتفرع جانبي واسع، مما يقلل النسبة المئوية للمحصول الاقتصادي بالنسبة للكتلة الحيوية الكلية. تتفق هذه النتيجة مع التوجه الذي أورده Johnson *et al* (2020)، بينما تتعارض مع Bakry *et al*. (2011).

وحقق التداخل بين الصنف (A2) والكثافة العالية (D1) أعلى قيمة لدليل الحصاد (34.75%) تلاه الصنف (A1) عند الكثافة (D2) بقيمة (32.06%). وفي المقابل، سجل كلا الصنفين أدنى القيم عند الكثافة (D5)، حيث بلغت (15.96% و15.79%) على التوالي، مما يؤكد أن الاستجابة لكفاءة توزيع المادة الجافة في هذه الأصناف كانت محكومة بالدرجة الأولى بالظروف البيئية والمساحة المتاحة للنمو أكثر من كونها محكومة بالتباين الوراثي بين الصنفين.

جدول (9): تأثير الكثافة النباتية والصنف والتداخل في دليل الحصاد (%).

نبات/م^2	حماه2 (A1) (%)	قبرصي (A2) (%)	المتوسط (%)
33.3 D1	30.79 a	34.75 a	32.77 a
22.2 D2	32.06 a	26.33 b	29.19 b
16.7 D3	20.47 c	20.81c	20.64 d
13.3 D4	26.40 b	23.99 bc	25.19 c
11.1 D5	15.96 d	15.79 d	15.87e
المتوسط	25.12 a	24.98 a	**CV% = 12.4**
L.S.D 5%	**D= 3.68**	**A= 2.33**	**A*D=5.21**

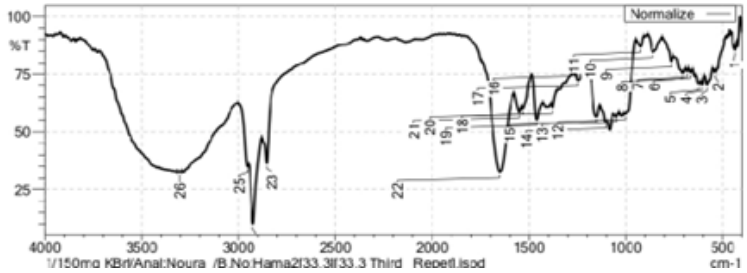
* تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى المعنوية (5%)

3.7. البصمة الطيفية FTIR:

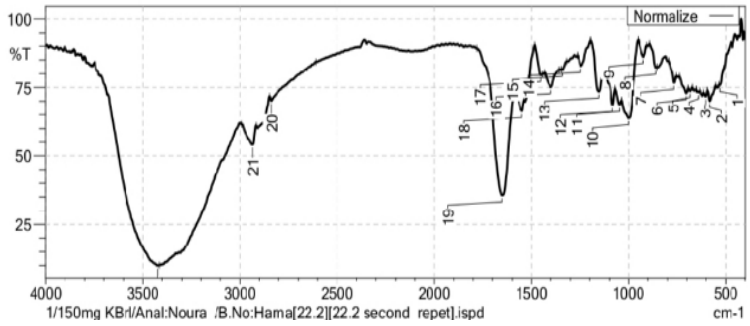
3.7.1. البصمة الطيفية للصنف حماه2 (A1) عند الكثافة 33.3 نبات/م^2 (D1):

أظهرت نتائج البصمة الطيفية (FTIR) لبذور الفول الناتجة عن الكثافة العالية D1 (33.3 نبات/م^2) وجود تغيرات جوهرية في البنية الجزيئية والمجموعات الوظيفية مقارنة بمخطط الكثافة

المثلى D2 (22.2 نبات/م^2)، حيث سجلت البصمة الطيفية إزاحات نوعية حقيقية في حزم (1452 إلى 1458)، و(2933 إلى 2926) أبرزها انزياح قمة الروابط الهيدروجينية من (3358 إلى 3304 سم$^{-1}$)؛ ويعزى ذلك إلى زيادة التنافس التي تدفع النبات لإنتاج بذور ذات روابط أكثر تماسكاً وتراصاً جزيئياً، وهو ما يتفق مع Sturchio *et al.* (2012) في رصد تغير مستويات الروابط الهيدروجينية كبصمة طيفية للإجهاد. كما ظهر حزم جديدة (1103، 1209، 1377 سم$^{-1}$) وحزم الدهون (2854، 2954 سم$^{-1}$) مما يشير إلى تحفيز بناء الأحماض الدهنية كآلية تخزينية دفاعية يلجأ إليها النبات في ظروف الإجهاد، وهذا يتفق مع ما ذكره Khalil *et al.* (2017) حول قدرة FTIR على كشف التباين في طول السلاسل الدهنية استجابة للظروف البيئية.



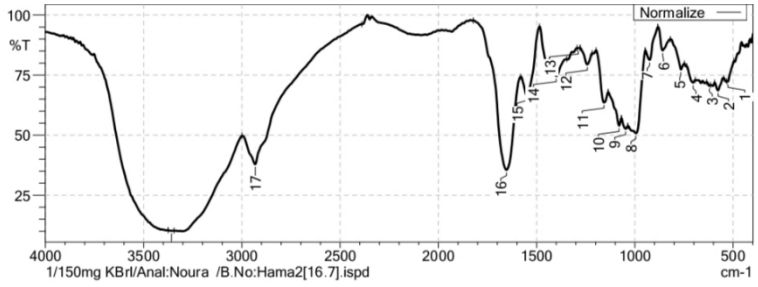
الشكل (2): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (33.3 نبات/م^2) الصنف حماه2



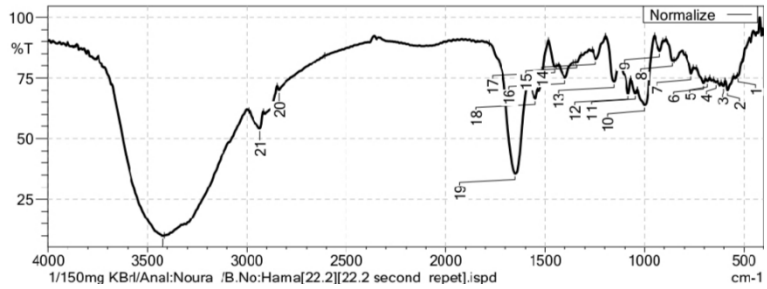
الشكل (3): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (22.2 نبات/م^2) الصنف حماه2

3.7.2. البصمة الطيفية للصنف حماه2 (A1) عند الكثافة 16.7 نبات/م^2 (D3):

أظهرت مقارنة البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة D3 (16.7 نبات/م^2) مع البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية الشاهد D2 (22.2 نبات/م^2) استقراراً هيكلياً عالياً في المكونات الجزيئية للبذور، كما تم رصد ظهور حزمة جديدة عند الرقم الموجي (1288 سم$^{-1}$) المرتبطة باهتزازات الانحناء لسلاسل الكربون (CH_2)، مما يدل على إعادة ترتيب طفيف في الألياف النباتية. وهذا ينسجم مع فرضية الاستقرار الهيكلي للبروتينات والمكونات الأساسية لكل من الدراسات التالية Schweitzer–Stenner,(2018) Rodriquez Espinosa (2006) حول قدرة تقنية (FTIR) على إعادة الترتيب الجزيئي للألياف عند وصول النبات إلى حالة التوازن الفسيولوجي، مما يعكس مرونة جزيئية ناتجة عن تحسن ظروف النمو المتاحة مقارنة بالكثافات العالية، وتراجع حدة التنافس، مما سمح ببناء هيكلي أكثر استقراراً وتوازناً للمكونات الحيوية داخل البذرة.



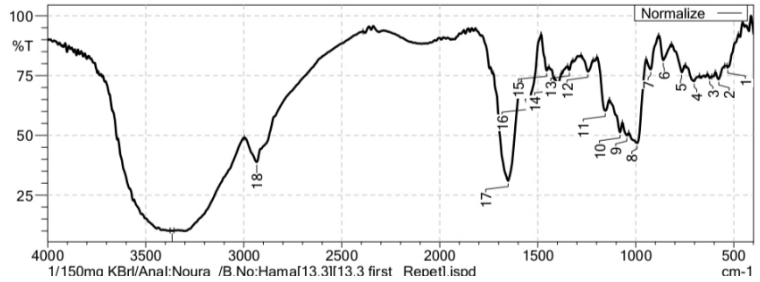
الشكل (4): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (16.7 نبات/م^2) للصنف حماه2



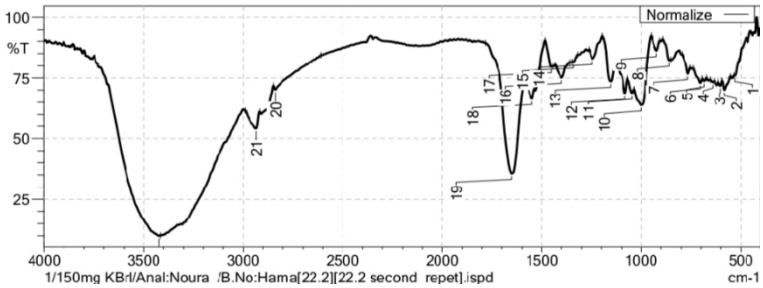
الشكل (3): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (22.2 نبات/م^2) للصنف حماه2

3.7.3. البصمة الطيفية للصنف حماه2 (A1) عند الكثافة 13.3 نبات/م^2 (D4):

أظهرت مقارنة مخطط التحليل الطيفي (FTIR) للكثافة النباتية D4 (13.3 نبات/م^2) مع البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية الشاهد D2 (22.2 نبات/م^2) انزياحاً معنوياً في منطقة (Amide II) وصل إلى (1544 سم$^{-1}$)، وارتفاعاً طفيفاً في تردد (O–H) نحو التردد الأعلى (3365 سم$^{-1}$)، مما يدل على بداية تحرر الروابط الجزيئية نتيجة انخفاض الكثافة النباتية، مما يقلل من الجذب البيني. ويتفق ذلك مع Rodriquez Espinosa (2018) Mecozzi *et al.* (2011) في أن تغيرات نطاقات (Amide) والروابط الهيدروجينية تعكس تقليل الجذب البيني وتحرر الروابط الجزيئية، مما يؤدي إلى بناء بروتيني أكثر تماسكاً واستقراراً نتيجة انخفاض حدة التنافس.



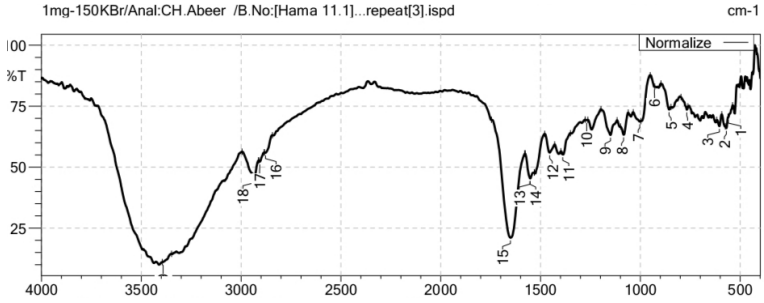
الشكل (5): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (13.3 نبات/م^2) للصنف حماه2



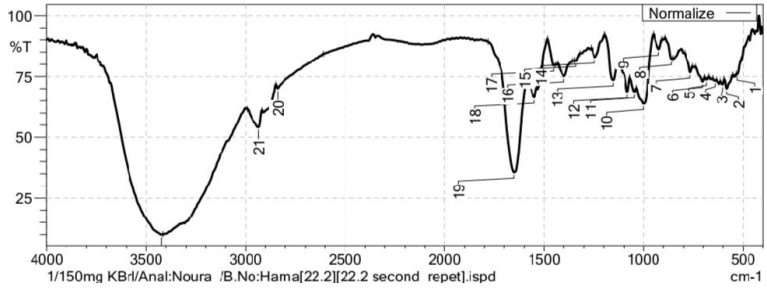
الشكل (3): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (22.2 نبات/م^2) للصنف حماه2

3.7.4. البصمة الطيفية للصنف حماه2 (A1) عند الكثافة 11.1 نبات/م^2 (D5):

أظهرت مقارنة مخطط التحليل الطيفي (FTIR) للكثافة النباتية D5 (11.1 نبات/م^2) مع البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية الشاهد D2 (22.2 نبات/م^2) فروقاً واضحةً بانزياح حاد قمة الروابط الهيدروجينية (O–H) نحو التردد الأعلى (3390 سم$^{-1}$) مع ظهور حزم جديدة (1002، 1269، 1388 سم$^{-1}$)، مما يثبت أن الوفرة الغذائية في الكثافات المنخفضة تسمح للنبات ببناء روابط أكثر حريةً وتنوعاً طيفياً. وهو ما يؤكده Johnson *et al.* (2020) بأن الوفرة الغذائية وقلة التنافس يسمحان للنبات ببناء سلاسل هيدروكربونية (C–O–H) وروابط أكثر حريةً وتنوعاً طيفياً، بالإضافة إلى الكشف عن مجموعات وظيفية كانت محجوبة في الكثافات العالية، مما يثبت اكتمال النضج الكيميائي للبذرة في هذه المعاملة.



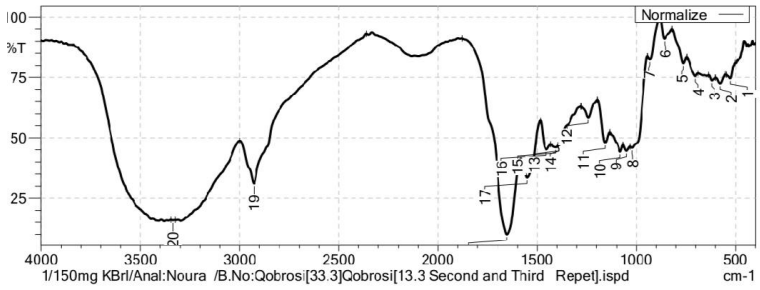
الشكل (6): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (11.1 نبات/م^2) للصنف حماه2



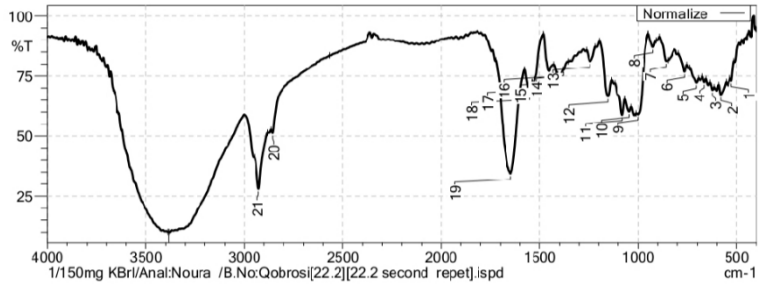
الشكل (3): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (22.2 نبات/م^2) للصنف حماه2

3.7.5. البصمة الطيفية للصنف قبرصي (A2) عند الكثافة 33.3 نبات/م^2 (D1):

أظهرت مقارنة البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية D1 (33.3 نبات/م^2) مع البصمة الطيفية (FTIR) الكثافة النباتية الشاهد D2 (22.2 نبات/م^2) انزياحاً كبيراً في منطقة الروابط الكربوهيدراتية من (1001 إلى 1022 سم$^{-1}$)، وانزياحاً للبروتين (Amide I) حيث وصل إلى (1653 سم$^{-1}$)، وانخفاضاً في الروابط الهيدروجينية (–OH) وصل إلى (3336 سم$^{-1}$) مما يدل على أن التنافس العالي يؤثر بشكل مباشر على جودة النشاء والروابط الببتيدية في البذرة الناتجة عن هذه الكثافة. ويتفق هذا Ambigaipalan et al. (2018) Rodriquez Espinosa (2011) في أن حدة التنافس على الموارد تؤدي إلى اضطراب في آلية انتظام جزيئات النشاء وضعف في استقرار الروابط الببتيدية، مما ينعكس كحالة من الإجهاد الهيكلي داخل البذرة الناتجة عن هذه الكثافة.



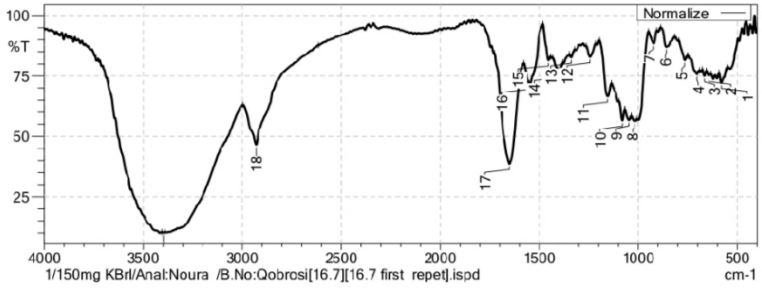
الشكل (7): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (33.3 نبات/م^2) للصنف قبرصي



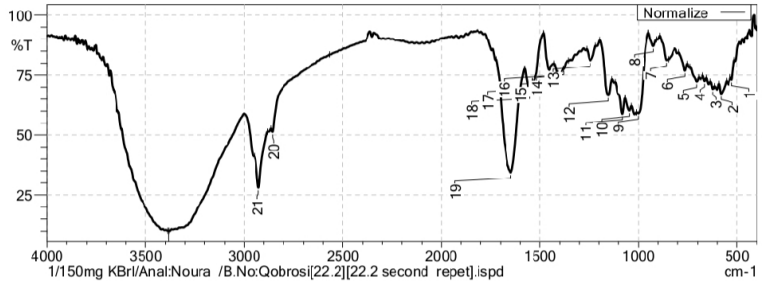
الشكل (8): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (22.2 نبات/م^2) للصنف قبرصي

3.7.6. البصمة الطيفية للصنف قبرصي (A2) عند الكثافة 16.7 نبات/م^2 (D3):

أظهرت مقارنة البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية D3 (16.7 نبات/م^2) مع البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية الشاهد D2 (22.2 نبات/م^2) انزياحاً في منطقة الروابط الهيدروجينية (OH−) وصل إلى (3398 سم$^{-1}$)، مما يعكس مرونة جزيئية عالية واستجابة سريعة لزيادة المساحة المتاحة للنبات. ويتفق هذا مع Rodriquez Espinosa (2018) Sturchio *et al.* (2012) حول المرونة الجزيئية، حيث يعكس هذا السلوك الطيفي قدرة النبات على بناء هيكل جزيئي أكثر انفتاحاً واستجابة للعمليات الحيوية، مما يدل على أن الصنف قبرصي يمتلك حساسية عالية لتحسين الظروف البيئية تظهر بوضوح في بنية روابطه الهيدروجينية.



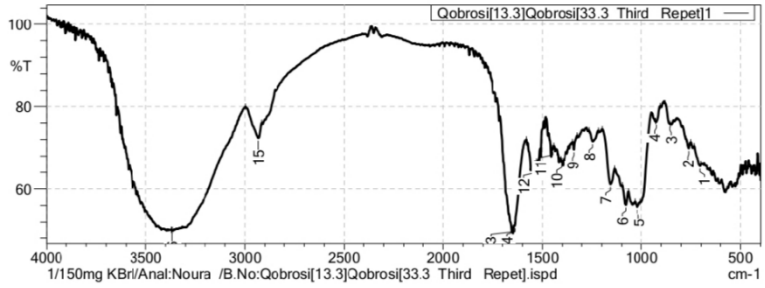
الشكل (9): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (16.7 نبات/م^2) للصنف قبرصي



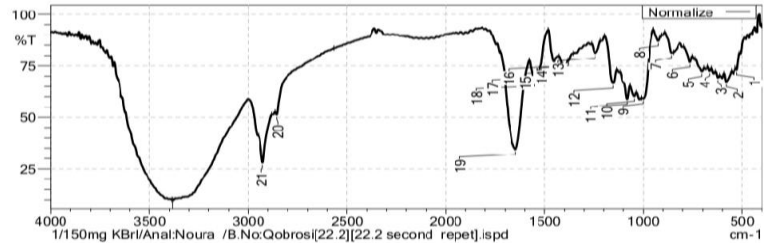
الشكل (8): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (22.2 نبات/م^2) للصنف قبرصي

3.7.7. البصمة الطيفية للصنف قبرصي (A2) عند الكثافة 13.3 نبات/م^2(D4):

أظهرت مقارنة البصمة الطيفية FTIR للكثافة D4 (13.3 نبات/م^2) مع البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية الشاهد D2 (22.2 نبات/م^2) انخفاضاً في تردد (Amide I) إلى (1637 سم$^{-1}$)، وانزياحاً للكربوهيدرات حيث وصل إلى (1022 سم$^{-1}$) وذلك نتيجة تحول في البنية الثانوية للبروتين نحو طيات صفائح بيتا (β–Sheets) الأكثر ثباتاً نتيجة تغير الظروف الفسيولوجية للنبات. وهو ما يتفق مع دراسة Rodriquez Espinosa (2018) في أن انخفاض تردد حزم الـ (Amide) يعد مؤشراً حاسماً على إعادة الترتيب الهيكلي للبروتينات نحو تشكيلات أكثر تماسكاً. وهذا يبرهن على القدرة العالية للصنف قبرصي في الكثافات المنخفضة على إنتاج بذور ذات جودة هيكلية متفوقة، وذات استقرار جزيئي عالٍ، مما ينعكس إيجاباً على الخصائص الوظيفية والنوعية للبذور الناتجة.



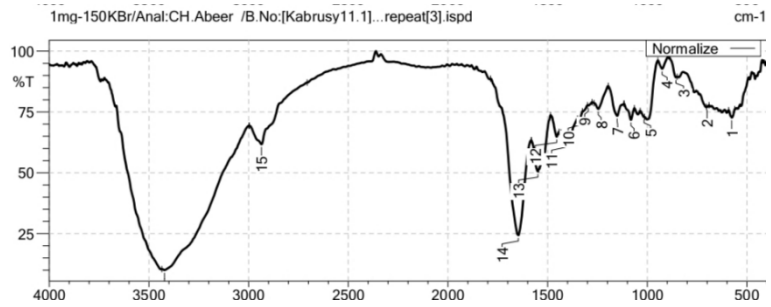
الشكل (10): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (13.3 نبات/م^2) للصنف قبرصي



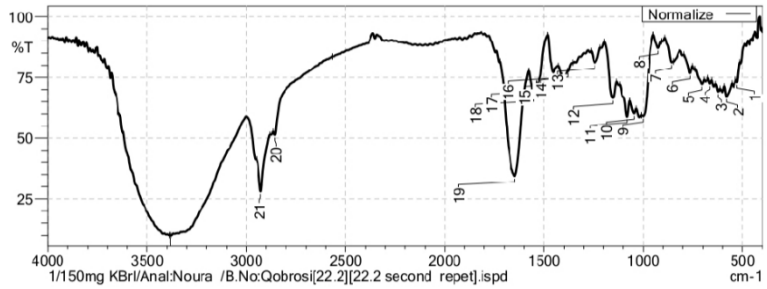
الشكل (8): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (22.2 نبات/م^2) للصنف قبرصي

3.7.8. البصمة الطيفية للصنف قبرصي (A2) عند الكثافة 11.1 نبات/م^2 (D5):

أظهرت مقارنة البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية D5 (11.1 نبات/م^2) مع البصمة الطيفية (FTIR) للكثافة النباتية الشاهد D2 (22.2 نبات/م^2) انزياحاً طيفياً عالياً في الدراسة عند (3421 سم$^{-1}$) مترافقةً مع ظهور حزم جديدة (1296، 1344، 1411 سم$^{-1}$)، وتتفق هذه النتائج مع رؤية Johnson *et al.* (2020) في قدرة تقنية (FTIR) على العمل كبصمة طيفية قادرة على الكشف عن مجموعات وظيفية للألياف والمكونات الهيكلية كانت محجوبة طيفياً في الكثافات العالية نتيجة ضغط التراص الجزيئي. كما أن وفرة الروابط الهيدروجينية الحرة عند هذا التردد العالي تؤكد أن انعدام التنافس سمح بإنتاج بذور غنية بالروابط الحرة ومكونات كيميائية أكثر تنوعاً واكتمالاً من الناحية الهيكلية، مما يعكس وصول الصنف قبرصي إلى أقصى طاقته في بناء المدخرات الغذائية بانتظام جزيئي فائق تحت ظروف الوفرة الغذائية والمكانية.



الشكل (11): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (11.1 نبات/م^2) للصنف قبرصي



الشكل (8): مخطط التحليل الطيفي FTIR للكثافة النباتية (22.2 نبات/م^2) للصنف قبرصي

3.7.9. المناقشة التكاملية: الربط بين المظاهر المورفولوجية والإنتاجية والبنية الجزيئية:

أظهرت النتائج تبايناً معنوياً في استجابة صنفي الفول (حماه2 وقبرصي) للكثافات النباتية المختلفة، حيث انعكس هذا التباين الحقلي بشكل دقيق على البصمة الطيفية للجزيئات الحيوية داخل البذرة. ويمكن تفسير هذا التكامل وفق المحاور الآتية:

1. **ارتفاع النبات والكفاءة الهيكلية:** ارتبط هذا النمو المتوازن في الارتفاع عند الكثافات المتوسطة بثبات قمة البروتين عند الرقم الموجي (1651 سم$^{-1}$). ويشير هذا الاستقرار الطيفي في منطقة (Amide I) إلى كفاءة النبات في بناء سلاسل ببتيدية منتظمة من نوع (α–helix) تدعم الهيكل البنائي للنبات، وتؤكد دراسة Rodriquez Espinosa (2018) أن الاستقرار في هذه الحزمة يعكس جودة البروتين الهيكلي والإدخاري الناتجة عن نمو خضري متزن، وقدرة تقنية (FTIR) على رصد انتظام الطي البروتيني بدقة.
2. **التفرع المثمر، ووزن الـ 100 بذرة:** اقترن الوزن العالي للبذرة وتعدد الأفرع في صنف قبرصي (A2) بالإزاحة الموجبة (Blue shift) في منطقة الهيدروكسيل (–OH) نحو (3421 سم$^{-1}$)، إن زيادة حجم البذرة وتعدد الأفرع في ظروف الكثافة المنخفضة أدت إلى تراكم نشوي سريع قلل من تراص الروابط الهيدروجينية البينية. وهو ما تصفه دراسة Rodriquez

Espinosa (2018) بالمرونة الجزيئية، حيث ترتبط ضخامة البذور بزيادة في الروابط الحرة، وضعف في التفاعلات الجزيئية داخل المصفوفة، مما يفسر التذبذب الطيفي لقمم الصنف (A2) رغم ضخامة بذوره.

3. **عدد البذور بالقرن والغلة البذرية:** توافق التفوق الإنتاجي للصنف حماه2 (A1) مع قوة الروابط في منطقة الكربوهيدرات (1103 سم$^{-1}$)، حيث يعكس هذا التردد الطيفي درجة عالية من ترتيب جزيئات النشاء. ويؤكد Ambigaipalan *et al.* (2011) أن البنى النشوية الأكثر تبلوراً واستقراراً، تسمح بتخزين أكفأ للمواد التمثيلية داخل البذور، مما منح الصنف (A1) تفوقاً في الغلة الكلية واستقراراً جزيئياً في روابط النشا رغم صغر حجم بذوره نسبياً مقارنة بالصنف (A2).
4. **دليل الحصاد وكفاءة التحويل:** ارتبط ارتفاع دليل الحصاد بالتذبذب الملاحظ في قمم البروتين (1637 – 1653 سم$^{-1}$)؛ إذ يشير ذلك إلى أن التحول المكثف للمادة الجافة نحو البذور في الصنف قبرصي (A2) تحت ضغط الكثافة النباتية تم على حساب استقرار طي البروتينات. وتدعم رؤية Johnson *et al.* (2020) هذا الاستنتاج بأن الكثافات العالية تؤدي إلى إجهاد جزيئي يظهر على شكل انزياحات طيفية حادة، مما يجعل البصمة الطيفية أداة حساسة لرصد كفاءة تحويل المادة الجافة، ومدى استقرار المكونات الحيوية الناتجة.

الاستنتاجات والمقترحات:

4.1. الاستنتاجات:

من خلال الدراسة المتكاملة للأداء الحقلي والبنية الجزيئية لبذور صنفي الفول (حماه2 وقبرصي)، يمكن استخلاص ما يلي:

1. أدى رفع الكثافة النباتية إلى مستوياتها القصوى (33.3 نبات/م^2) إلى زيادة معنوية في ارتفاع النبات نتيجة التنافس الضوئي، قابله انخفاض في عدد الأفرع المثمرة، بينما حققت الكثافة المنخفضة (11.1 نبات/م^2) استجابة تعويضية في عدد الأفرع ووزن 100 بذرة.

2. حققت الكثافة (22.2 نبات/م^2) التوازن الأمثل بين نمو النبات الفردي وإنتاجية الوحدة المساحية، حيث سجلت أعلى غلة بذرية للصنفين (3933 – 3633 كغ/هـ على التوالي).
3. أظهر الصنف حماه2 تفوق معنوياً في الغلة البذرية على الصنف قبرصي، بينما تفوق الصنف قبرصي معنوياً على الصنف حماه2 في مكونات الغلة (عدد الأفرع المثمرة، وزن 100 بذرة). مما يشير إلى أن الصنف حماه2 صنف ذو كفاءة إنتاجية عالية، بينما الصنف قبرصي يميل لزيادة التفرعات الجانبية، وزيادة حجم البذور.
4. أثبت التحليل الطيفي (FTIR) وجود استقرار هيكلي وتوازن في المجموعات الوظيفية لـ Amide (البروتين) والكربوهيدرات عند الكثافة المثلى (22.2 نبات/م^2)، مما يؤكد إلى أن هذه الكثافة تضمن وصول النبات إلى حالة اتزان حيوي تعزز تخزين المواد الغذائية بكفاءة جزيئية عالية.

4.2. **المقترحات:**

يوصي الباحث بزراعة صنفي حماه2 بكثافة 22.2 نبات/م^2 تحت الظروف البعلية في المنطقة الوسطى في حال الرغبة في الحصول على أعلى غلة بذرية، مع اعتماد تقنية الـ FTIR كأداة سريعة لتقييم جودة البذور.

المراجع:

1. بكور، فيصل وعيوش، روعة (2016). تأثير الكثافة النباتية في الغلة البذرية ومكوناتها لصنف الفول القبرصي، *مجلة جامعة البعث*. *38*(48), 76-82.
2. حياص، بشار ومهنا، أحمد (2007). *إنتاج محاصيل الحبوب والبقول*. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة البعث.
3. خضر، وفاء (2020). تأثير الرش بمعلق خميرة الخبز والكثافة النباتية في بعض صفات النمو ومكونات المحصول في الفول العادي (*Vicia faba* L.). *المجلة السورية للبحوث الزراعية*، *7*(2)، 178-192.
4. العفاص، نجوى وخضر، وفاء (2025). تأثير الرش الورقي بتراكيز مختلفة من مستخلص الأعشاب البحرية والكثافة النباتية في بعض صفات نمو وغلة الفول *Vicia faba* L.، *المجلة السورية للبحوث الزراعية*، *12*(5)، 188-200.
5. محمد، يوسف وإبراهيم، علي (2015). تأثير الكثافة النباتية على بعض الخصائص الإنتاجية لصنفين من الفول العادي (*Vicia faba* L) تحت ظروف الساحل السوري. *مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سلسلة العلوم البيولوجية*، *37*(6)، 253-268.

6. Ambigaipalan, P., Hoover, R., Donner, E., Liu, Q., Jaiswal, S., Chibbar, R., …& Seetharaman, K. (2011). Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. *Food Research international. 44(9)*, 2962-2974. https://doi.org/10.1016/j. foodres.2011.07.006.
7. Bakry, B. A., Elewa, T. A., El Karamany, M. F., Zeidan, M. S. and Tawfik, M. M. (2011). Effect of raw spacing on yield and its components of some Faba bean varieties under newly reclaimed sandy soil condition. *World journal of Agricultural Sciences 7*(1): 68-72.
8. Donald, C. M. (1962). In search of yield. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science, 28*(3), 171-178
9. Huthily, K. H., Al-Shoaily, A. K. N., & Alfairs, M. A. (2020). Response of broad bean (Vicia faba L.) to different depths of tillage and spraying with yeast extract. *Research on crops, 21(1)*, 59-64.
10. ICARDA. (2012). *Key descriptor for faba bean* (*Vicia faba* L.). International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. (ICARDA), Beirut, Lebanon, Pp. 1-24.
11. ISTA. (2013). International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland, Chapter 10: Determination of Seed Weight,. Pp. 10.1-10.8
12. Johnson, J., Collins, T., Skylas, D., Quail, K., Blanchard, C., & Naiker, M. (2020). Profiling the varietal antioxidative content and marochemical composition in Australian faba beans (*Vicia faba L.*). *Legume Science, e28*. https://doi.org/10.1002/leg3.28.
13. Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernandez, J. A., Vagen, I. M., Rewald, B., Alsina, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M. & Bodner, G. (2018). Faba bean cultivation-reveling novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in plant Science, 9*, 1115. https: //doi.org/10.3389/fpls.2018.01115.
14. Khalil, M., salih, M.A., & Mustafa, A. A. (2017). Study of fatty acid composition, physicochemical properties and thermal stability of broad

beans (*Vicia Faba* L.) seed oil. *Agriculture and Biology journal of North America, 8*, 141-146. https://doi.org/10.5251/abjna.2017.8.4.141.146.

15. Mecozzi, M., Pietroletti, M., & Tornambe, A. (2011). Molecular and Structural characteristics in toxic algae cultures of Ostreopsis ovata and Ostreopsis spp. Evidence by FTIR and FTNIR spectroscopy, *Spectrochimica Acta. A,78*,1572-1580
16. Rodriguez Espinosa, M. E. (2018). Effect of genotypes, Tannin level and processing methods on the physicochemical, nutritional and structural characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) grown in western Canada. *Canada: MSc Thesis University of Saskatchewan, Saskatoon*.
17. Schweitzer-Stenner, R. (2006). Advances in vibrational spectroscopy as a sensitive probe of peptide and protein structure. *A critical review, Vib. Spec., 42*, 98-117.
18. Smith, B. C. (2011). *Fundamentals of Fourier Transform infrared Spectroscopy*. 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, Pp. 45-120.
19. Socrates, G. (2001). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies*: *Tables and Charts*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, Pp. 157-224.
20. Steel, R.G. D., & Torrie, J. H. (1980). Principles and Proceddures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd Edition, Mc Graw-Hill, New York, Pp. 137-171.
21. Sturchio, E., Napolitano, P., Beni, C., & Mecozzi, M. (2012). Evaluation of arsenic effects in Vicia faba by FTIR and FTNIR spectroscopy. *Global NEST journal, 14(1)*, 86-92.
22. Tihkanov, A., & Nichola, B. (1990). Standard methods for seed yield adjustment in grain legumes. *Journal of Agronomic Measurements, 15*(3), 112-119.

23. Yucel D. O. (2013). Optimal intra-raw spacing for production of local Faba bean (*Vicia faba* L. Major) cultivars in the Mediterranean conditions**.** *Pak. j. bot., 45(6),*1933-1938.

"Response of Two Faba Bean (*Vicia faba* L.) Varieties to Plant Density: Productive and Spectral Analsis"

Maya Nasr(1) Lina AL - Nadaf(2) Ahmed Mhana(3

(1) MSc, Department of , Factulty of Crops, Agriculture Engineering, Homs Unversity. Homs, Syria
(2) Associated Doctor, Department of Crops, Factulty of Agriculture Engineering, Homs Unversity. Homs, Syria
(3) Professor in the Department of Crops, Factulty of Agriculture Engineering, Homs Unversity. Homs, Syria

Abstract

This research was conducted during the 2023 – 2024 growing Season at the Agricultural Scientific Research Center in Homs. The study aimed to evaluate the yield performance of two faba bean varieties (Hama2 and Cypriot). under five plant density levels (33.3, 22.2, 16.7, 13.3, 11.1 Plants/m^2).

The experiment followed a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replicates. The study assessed morphological traits (Plant hight, number of fruiting branches), yield components (number of seeds per pod, seed yield, harvest index), and utilized Forier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy to monitor changes in functional groups and molecular bands of the resulting seeds. Data were statistically analyzed using Genstat 20 at a significance level of (0.05).

The results revealed significant differences; between varieties, densities, and thier interaction. The density of (22.2 plants/m^2) achieved the optimal balance between individual plant growth and total seed yield, recording the highest yields for both varieties (3933 and 3633 Kg/ha, respectively). Hama2 outperformed in total seed yield, while the Cypriot variety excelled in yield components (number of branches and 100-seed weight).

At the molecular level, FTIR fingerprinting showed structural stability and balance in Amide and Carbohydrate bands at the optimal density (22.2 plant/m^2). In

Contrast, the highest density (33.3 plant/m^2) led to sharp spectral shifts (Red shift) in (OH-) bonds and the Amide I region, reflecting structural strees. Lower densities exhibited molecular release (Blue shift), indicating complete chemical maturity of the seeds. The study recommends cultivating both varieties at a density of (22.2 plant/m2) in similar rainfed areas and adopting FTIR technology as a rapid and accurate diagnostic tool for assessing the qualitative of legume crops.

***Key Words*:** Faba bean (*Vicia faba* L.), Plant density, FTIR, seed yield.

أثر الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في تحسين الإنتاجية والوعي البيئي في الساحل السوري

م. روز اسماعيل[1] أ.د غسان يعقوب[2]، د. محمد محمود[3]

الملخص

هدف هذا البحث إلى تقييم أثر الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في تحسين الإنتاجية والوعي البيئي للمزارعين في الساحل السوري لعام 2025، وقد تم الاعتماد على استمارة استبيان تقليدية جُمعت البيانات الأولية فيها عن طريق المقابلة الشخصية لعينة عشوائية قوامها (377) مزارعاً موزعين في منطقة الدراسة، وحُللت البيانات إحصائياً باستخدام برنامج SPSS، مع توظيف كل من التحليل الوصفي القائم على التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات والانحراف المعياري، والتحليل الكمي الذي تضمن معامل الارتباط والانحدار الخطي.

أظهرت النتائج أن هناك خبرة جيدة لدى المزارعين، ومع ذلك كشفت الدراسة عن ضعف شديد في مؤشرات الاستثمار البشري (التدريب، الحوافز، والاستشارات الفنية) بالإضافة إلى انخفاض حاد في المشاركة في البرامج التدريبية، كما أظهرت وعياً بيئياً عالياً جداً لدى المزارعين بضرورة الحفاظ على الموارد، لكن كانت الممارسة الفعلية متوسطة بسبب نقص البدائل والتمويل.

[1] طالبة دراسات عليا (دكتوراه)، قسم الاقتصاد الزراعي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، سورية.
Rosehasan1987@gmail.com

[2] أستاذ، قسم الاقتصاد الزراعي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، سورية.

[3] أستاذ مساعد، قسم الاقتصاد والتخطيط، كلية الاقتصاد، جامعة اللاذقية، سورية.

خَلُصت الدراسة من خلال التحليل الإحصائي إلى وجود علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية بين الاستثمار البشري والإنتاجية والوعي البيئي، وأوصت بضرورة ربط البرامج التدريبية بسياسات ائتمانية ميسرة، وتفعيل دور البرامج التدريبية لضمان تحقيق تنمية ريفية مستدامة.

الكلمات المفتاحية: الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي، الإنتاجية ، الوعي البيئي، الساحل السوري، تحليل الانحدار.

The Impact of Investment in Agricultural Human Capital on Improving Productivity and Environmental Awareness in the Syrian Coast

En. Rose Ismail[1], Prof. Dr. Ghassan Yaqoub[2], Dr. mohammed mahmoud[3]

Abstract

This study aims to evaluate the impact of investment in agricultural human capital on improving productivity and environmental awareness among farmers in the Syrian coast for the year 2025. Primary data were gathered using a field survey questionnaire administered through personal interviews with a simple random sample of 377 farmers distributed across the study area. The collected data were analyzed statistically using SPSS, employing descriptive analysis (frequencies, percentages, means, and standard deviations) and quantitative inferential analysis (Pearson correlation and simple linear regression). The findings revealed that while farmers possess good agricultural experience, there is a severe deficiency in agricultural human capital indicators, particularly in training, incentives, and continuous technical consultations, along with a sharp decline in participation in training programs.

[1]Postgraduate student (PhD), Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University, Syria. Rosehasan1987@gmail.com
[2] Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University, Syria.
[3] Assistant Professor , Department of Economics and Planning, Faculty of Economics, Lattakia University, Syria.

The results also indicated a high level of theoretical environmental awareness regarding resource conservation; however, actual field practices remained moderate due to shortages in alternatives and financing. The statistical analysis concluded that there is a statistically significant positive correlation between investment in agricultural human capital and both agricultural productivity and environmental awareness. The study recommends linking agricultural training programs with accessible credit policies and enhancing the regulatory and training role of local institutions to ensure sustainable rural development.

Keywords: Investment in Agricultural Human Capital, Productivity, Environmental Awareness, Syrian Coast, Regression Analysis.

1-المقدمة

يعد نمو الإنتاج الزراعي من أكثر الوسائل فاعليةً لتعزيز الحدّ من الفقر، إلا أن إحدى القضايا الرئيسة التي تواجه الدول النامية تتمثل في ضعف رأس المال البشري، ولا سيما في القطاع الزراعي، إذ تكون العمالة غالباً محدودة المهارات وغير موزعة بكفاءة ويعد رأس المال البشري محركاً أساسياً للتنمية الاقتصادية، إذ يُسهم تراكم المعرفة والمهارات في زيادة الإنتاجية الزراعية وتحسين مستويات الدخل، فضلاً عن دوره في الحدّ من الفقر وتعزيز التحولات في الهيكل الاقتصادي (Souza *et al.*, 2019).

اتفق العديد من الباحثين في العصر الحديث على أن الإنسان يمثل محور عملية التنمية وقائدها، فهو المسؤول عن تطوير مستوى استخدام الموارد المادية، ومن هنا تبرز أهمية تكوين رأس المال البشري في ظل متطلبات التنمية الاقتصادية والاجتماعية، كونه يشكّل الأساس الذي تقوم عليه مختلف جوانب التنمية، ويؤثر بصورة مباشرة في كفاءة استثمار الموارد الأخرى (يوسف، 2015).

يرتبط مفهوم الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي بتنمية القدرات والمهارات التقنية لدى المزارعين، من خلال برامج التدريب المهني وورش العمل الميدانية، إضافةً إلى الدعم المعرفي

والتقني الذي تقدّمه الجهات المختصة والمؤسسات المعنية، وتشير بيانات البنك الدولي إلى أن كل دولار يُستثمر في تدريب العاملين في القطاع الزراعي يمكن أن يسهم في رفع إنتاجيتهم بنحو 15–20% خلال فترة زمنية تمتد إلى ثلاث سنوات، كما يُسهم في تقليل الهدر وتحسين كفاءة إدارة الموارد (World Bank, 2024) .

تتعدد تعريفات رأس المال البشري وتختلف باختلاف الأطر أو المجالات، ويُعد تعريف منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية من أكثر التعريفات اعتماداً، إذ يُعرّف بأنه "مجموعة المعارف والمهارات والكفاءات والسمات التي يمتلكها الأفراد التي تُسهم في تحقيق الرفاه الاقتصادي والاجتماعي"، كما يتبنى البنك الدولي مفهوماً قريباً، إذ يرى أن رأس المال البشري يتمثل في المعارف والمهارات والقدرات الصحية التي تتراكم لدى الأفراد، وتمكّنهم من أن يكونوا عناصر منتجة في المجتمع (البنك الدولي، 2016).

أظهرت العديد من الدراسات التطبيقية أن رأس المال البشري يُعد عاملاً حاسماً في تحسين الإنتاجية الزراعية، إذ بيّنت دراسة لـ Pedro *et al.* (2022) وجود تأثير إيجابي للاستثمار في رأس المال البشري في الإنتاجية، مع تفاوت هذا التأثير تبعاً لاختلاف الظروف الزراعية ومستوى الكثافة الإنتاجية، كما يكون أثره أكثر وضوحاً في المناطق التي تعاني نقصاً في العمالة الماهرة.

ووجد Long *et al* . (2026) أن الدورات التدريبية الموجهة للمزارعين تعد الأداة الأكثر فعالية في تسريع تراكم رأس المال البشري الزراعي، كما أن التدريب لا يرفع الوعي النظري فحسب، بل يغير السلوك التطبيقي للمزارعين في الاستخدام الأمثل للموارد والتكنولوجيا الحديثة، مما يؤدي إلى رفع الإنتاجية الزراعية في المناطق الريفية.

وبيّن Addai *et al.* (2024) أن أن التدريب الزراعي المستمر يؤدي إلى رفع كفاءة رأس المال البشري للمزارعين وتطوير مهاراتهم الإدارية والميدانية. وأكدت النتائج وجود أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية قوية بين مستوى التدريب الذي يتلقاه المزارع وبين زيادة قدرته على تطبيق ممارسات الوعي البيئي (مثل الاستخدام المرشد للأسمدة والمبيدات، وإدارة التربة والمياه)، مما ساهم بشكل مباشر في تحسين مستويات الإنتاجية الزراعية واستدامتها الميدانية.

انطلاقاً مما سبق يتضح أن الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي يمثل أحد الركائز الأساسية لتحقيق التنمية المستدامة، لما له من دور في تحسين الإنتاجية وتعزيز كفاءة استخدام الموارد الطبيعية، كما أن الدمج بين التدريب التقني والتأهيل المعرفي والتقييم المستمر للأداء يُسهم في تحقيق تنمية زراعية أكثر كفاءة واستدامة، ويعزز قدرة المجتمعات الريفية على التكيف مع التحديات الاقتصادية والبيئية.

2- مشكلة البحث

على الرغم من الأهمية المتزايدة لرأس المال البشري الزراعي بوصفه أحد المحركات الأساسية للتنمية الريفية المستدامة، إلا أن القطاع الزراعي في الساحل السوري لا يزال يعاني من فجوة واضحة بين مستوى الموارد البشرية المتاحة ومتطلبات التنمية الاقتصادية والبيئية الحديثة، إذ تُعدّ برامج التدريب والتأهيل التقني الموجهة للمزارعين محدودة وغير كافية، كما أن مستوى المشاركة فيها منخفض، إضافةً إلى ضعف الحوافز وغياب منظومة فعّالة للاستشارات الفنية، وهذا القصور قد يحدّ من قدرة المزارعين على تبني التقنيات الزراعية الحديثة، ويؤثر سلباً في إنتاجيتهم ومستوى وعيهم البيئي، مما ينعكس على تحقيق التنمية الزراعية المستدامة في المنطقة.

وانطلاقاً من ذلك تتمثل مشكلة البحث في قياس أثر الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي – بما يشمله من تدريب وتأهيل ودعم فني– في كل من الإنتاجية الزراعية والوعي البيئي لدى المزارعين في الساحل السوري، وذلك بهدف تحديد طبيعة العلاقة بين هذه المتغيرات، وتقديم إطار تحليلي يُسهم في تفسيرها.

3- أهمية البحث وأهدافه

تتجلى أهمية البحث في إبراز الدور المحوري الذي يؤديه رأس المال البشري بوصفه محركاً رئيساً لعملية التنمية وقائداً لها، ولا سيما في منطقة الساحل السوري التي يعتمد اقتصادها بدرجة

كبيرة على النشاط الزراعي كمصدر أساسي للدخل، وفي هذا الإطار يُسهم الاستثمار المتوازن الذي يجمع بين التدريب التقني والتأهيل الرقمي في رفع إنتاجية المحاصيل وتعزيز كفاءة استخدام الموارد، بما يدعم قدرة المجتمعات الريفية على الصمود ويعزز مسارات التنمية المستدامة، كما يُسهم هذا التوجه في ترسيخ التزام المزارعين بمعايير الاستدامة، ولا سيما في ظل التحديات الاقتصادية والبيئية المتزايدة، إذ يغدو الاستثمار في تنمية مهارات المزارعين وقدراتهم التقنية ضرورة ملحّة لضمان رفع الإنتاجية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد الطبيعية.

وبناء" على ما سبق يسعى البحث إلى تحقيق الأهداف الرئيسية الآتية:

1. التعرف على الخصائص الديموغرافية للمزارعين في الساحل السوري، ومدى مشاركتهم في البرامج التدريبية.
2. دراسة تحليلية للاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في الساحل السوري، وأثره في الإنتاجية والوعي البيئي.

4- مواد البحث وطرائق (منهجية البحث)

4-1- مكان وزمان البحث:

تم اعتماد منطقة الساحل السوري لتكون منطقة الدراسة خلال عام 2025؛ نظراً للأهمية الاستراتيجية للقطاع الزراعي فيها، والحاجة الملحة لدراسة واقع رأس المال البشري هناك ومدى انعكاس الاستثمار فيه على تحسين مستويات دخل المزارعين وتحقيق التنمية المستدامة، فضلاً عن تركيز التجمعات الزراعية والتعاونيات التي تتيح بيئة خصبة لجمع البيانات الميدانية الدقيقة.

4-2- مجتمع البحث:

يتكون مجتمع البحث من جميع المزارعين والعاملين في القطاع الزراعي ضمن منطقة الدراسة، والذين يشكلون الركيزة الأساسية للنشاط الزراعي والإنتاجي في المنطقة.

4-3- نوع وحجم العينة:

- تم استخدام أسلوب العينة الطبقية العشوائية لتمثيل مجتمع البحث. وقد تم تحديد حجم العينة وفق معادلة (Richard Jaeger)، حيث بلغ حجم العينة النهائي (377) بعد استبعاد بعض الاستمارات نظراً لعدم استكمال الإجابات (Jaeger, 1984).

صيغة معدّلة عن صيغة ريتشارد جيجر لمجتمع ذي حجم كبير (غير معروف)

$$n = P\,(1-P) \times \left(\frac{Z}{d}\right)^2$$

حيث:

n: حجم العينة.

P: احتمالية مطابقة العينة للمجتمع الإحصائي، أو القيمة الاحتمالية لتوفر الخاصية (حظوظ اختيار مفردة من ضمن المجتمع لتكون أحد مفردات العينة من أجل دراستها)، وتتراوح قيمتها بين 0 و 1، وعندما تكون قيمتها غير محددة تأخذ القيمة المتوسطة (0.50) لتثبيت الشروط.

Z: الدرجة المعيارية المقابلة لمستوى ثقة (95%) وتساوي (1.96).

d: قيمة الخطأ المسموح به وتساوي (0.05).

وهذه العينة موزعة وفق الجدول الآتي.

الطبقة	التكرار	%
مزارعون صغار	151	40
مزارعون كبار	38	10
عمال زراعيون	94	25
مهندس او مرشد زراعي	57	15
مدراء إداريين في تعاونيات	37	10
المجموع	377	100

الجدول(1). توزع أفراد العينة تبعاً لمتغير الطبقة الوظيفية.

المصدر: عينة البحث، 2025

4-4- مصادر البيانات:

تم الاعتماد في جمع البيانات اللازمة لتحقيق أهداف البحث على مصدرين رئيسيين:

- **البيانات الثانوية:** اعتمد على مراجعة الدراسات السابقة والتقارير الدولية الصادرة عن المنظمات ذات الصلة مثل البنك الدولي (World Bank).
- **البيانات الأولية:** جمعت البيانات الأولية من خلال استبانة مصممة وفق محاور الدراسة (الاستثمار البشري، الإنتاجية، الوعي البيئي)، وتم توزيعها على المزارعين في منطقة الدراسة لتحليل واقع الاستثمار البشري وتأثيره في الإنتاجية والوعي البيئي، كما تم معالجة البيانات باستخدام البرنامج الإحصائي (**SPSS**).

5-4- التحليل الإحصائي (الأسلوب البحثي):

تم الاعتماد في تحليل البيانات الأولية للبحث على أسلوب التحليل الوصفي الذي تضمن حساب التكرارات والمتوسطات والانحراف المعياري والنسب المئوية ، كذلك على أسلوب التحليل الكمي الذي شمل معامل الارتباط والانحدار البسيط، وذلك باستخدام برنامج التحليل الإحصائي SPS.

5-6- فرضيات البحث

الفرضية الأولى

- **الفرض العدمي** H_0 (Null hypothesis): **لا**يوجد تأثير معنوي لمعدل الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في الانتاجية في الساحل السوري.
- **الفرض البديل** H_1 (Alternative hypothesis): يوجد تأثير معنوي لمعدل الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في الانتاجية في الساحل السوري.

الفرضية الثانية

الفرض العدمي H_0 (Null hypothesis): لا يوجد تأثير معنوي لمعدل الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في الوعي البيئي.

- **الفرض البديل** H_1 (Alternative hypothesis): يوجد تأثير معنوي لمعدل الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في الوعي البيئي.

6- النتائج والمناقشة

تم حساب الثبات والموثوقية للاستبانة، ومن ثم تم حساب قيمة معامل الارتباط بين كل فقرة والقيمة الكلية للمحور لحساب الاتساق الداخلي، كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2): معامل ألفا كرونباخ لقياس ثبات أداة الدراسة.

المحور	عدد الفقرات في كل محور	قيمة معامل الثبات
معدل الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي	12	0.832
الانتاجية	12	0.714
الوعي البيئي	12	0.840
القيمة الكلية للمقياس	----	0.891

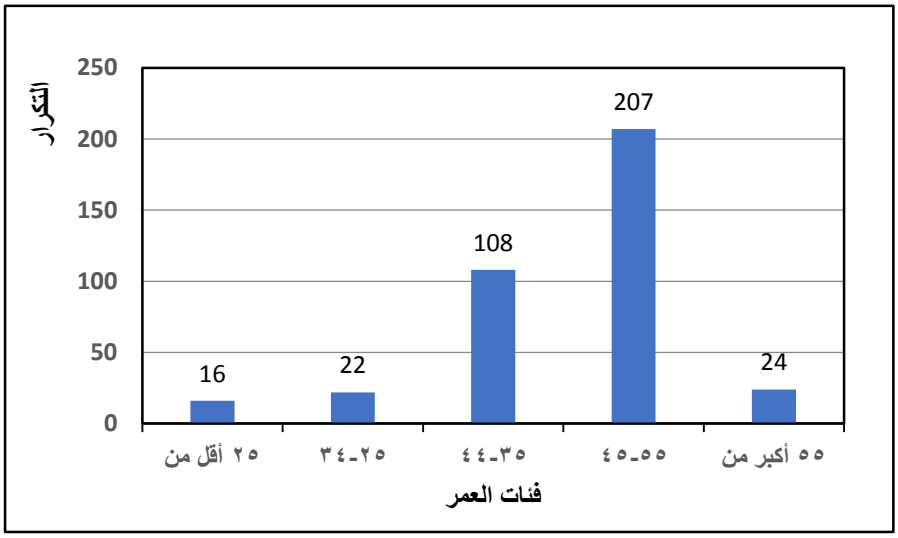
المصدر: عينة البحث، 2025

يُلاحظ من الجدول (1) أن جميع قيم الفا كرونباخ لمحاور الدراسة جاءت مرتفعة إذ تراوحت بين 0.714 و0.840، وهي تتجاوز الحد الأدنى المقبول (0.70)، كما بلغت القيمة الكلية لثبات الاستبيان ككل (0.891)، وهي درجة ثبات ممتازة تعكس اتساقاً داخلياً عالياً جداً بين فقرات الأداة، وتؤكد هذه النتائج ان الاستبيان يتمتع بدرجة عالية من الموثوقية وصلاحيته للتطبيق الميداني على عينة للدراسة في الساحل السوري، والاعتماد على نتائجه في استخراج المؤشرات الإحصائية اللاحقة.

6-1- التحليل الوصفي لخصائص العينة

6-1-1- العمر

تم دراسة توزع العينة حسب متغير العمر، كما هو موضح في الشكل (1):



الشكل(1): توزع أفراد العينة تبعاً لمتغير العمر.

يُلاحظ من الشكل (1) أن الفئة العمرية المسيطرة على العمل الزراعي في منطقة الدراسة هي فئة (45–55 سنة)، إذ شكلت النسبة الأكبر بواقع 54.9%، وتليها الفئة العمرية (35–44 سنة) بنسبة 28.7%، وتركز أكثر من 83% من العينة في الفئة العمرية ما بين (35–55 سنة)، مما يشير إلى أن قوة العمل الزراعية في الساحل السوري هي عمالة خبيرة ومستقرة مهنياً، كما يُلاحظ انخفاض حاد في تمثيل الفئات الشابة، إذ لم تتجاوز نسبة المزارعين الذين تقل أعمارهم عن 25 سنة 4.3%، والفئة (25–34 سنة) 5.9%، وهذا يعكس تحدياً ديموغرافياً يتمثل في تراجع جاذبية القطاع الزراعي للأجيال الشابة، مما قد يؤثر مستقبلاً على استدامة المورد البشري الزراعي

6-1-2- الخبرة الزراعية

تم توزيع عينة البحث وفقاً لسنوات الخبرة كماهي موضحة بالجدول الاتي:

الجدول(3): توزع أفراد العينة تبعاً لمتغير الخبرة الزراعية.

عدد سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية%
أقل من 5	43	11.4
10-5	140	37.1
15-11	162	42.9
20-16	32	8.6
المجموع	377	100

المصدر: عينة البحث، 2025

يُلاحظ من الجدول (3) أن الفئة التي تمتلك خبرة (11-15) سنة تشكل النسبة الأكبر 42.9%، تليها الفئة من (10-5) بنسبة 37.1%، وهذا يعني أن حوالي 80% من عينة الدراسة هم من الذين عاصروا تحولات القطاع الزراعي في الساحل السوري لفترات طويلة، أما نسبة المزارعين ذوي الخبرة القليلة (أقل من 5 سنوات) لم تتجاوز 11.4% الأمر الذي قد يؤدي إلى تراجعاً في تبني التقنيات الحديثة التي تتطلب مهارات تكنولوجية تختلف عن الخبرة الموروثة.

6-1-3- حجم الحيازة الزراعية

تم توزع أفراد العينة حسب حجم الحيازة الزراعية كما هي موضحة بالجدول الآتي:

الجدول(4): توزع أفراد العينة تبعاً لمتغير حجم الحيازة الزراعية.

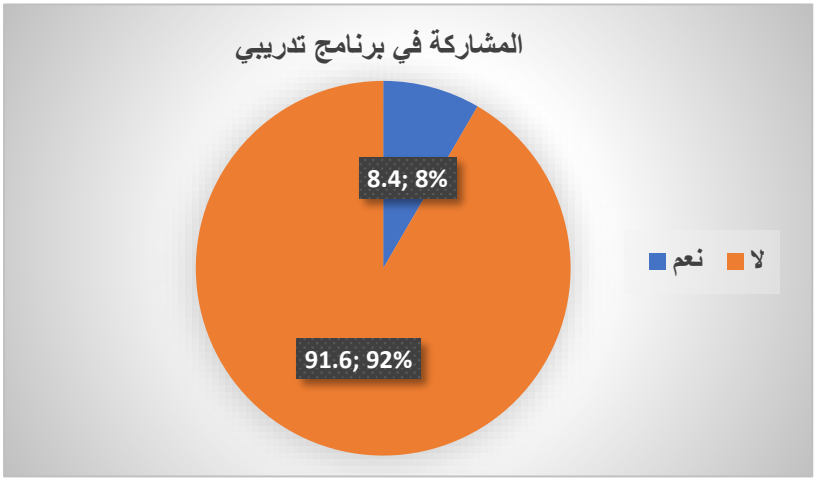
الحجم (هكتار)	التكرار	النسبة المئوية %
أقل من 2	255	67.7
5-2	106	28.2
10-6	10	2.6
11 فأكثر	6	1.5
المجموع	377	100

المصدر: عينة البحث، 2025

يُلاحظ من الجدول (4) أن الغالبية العظمى من المزارعين يمتلكون حيازات صغيرة إذ بلغت نسبة من يملكون أقل من 2 هكتار نحو 67.7%، تليها فئة (2–5 هكتار) بنسبة 28.2%، في حين تنخفض بشكل حاد نسبة الحيازات المتوسطة والكبيرة (أكثر من 5 هكتارات) لتشكل مجتمعة أقل من 5% من إجمالي العينة، وتعكس هذه النتائج هيمنة نمط الحيازات الصغيرة والمجزأة في منطقة الدراسة، وهو ما يُعد سمة شائعة في الزراعة التقليدية في الدول النامية.

6-1-4- المشاركة في برنامج تدريبي

تم توزع أفراد العينة حسب متغير المشاركة في برنامج تدريبي كما هي موضحة بالشكل الآتي:



الشكل(2): توزع أفراد العينة تبعاً لمتغير المشاركة في برنامج تدريبي.

يُلاحظ من الشكل (2) أن نسبة المزارعين الذين شاركوا في برنامج تدريبي خلال عام مضى منخفضة جداً، إذ بلغت 8.4% فقط، مقابل 91.6% لم يشاركوا في أي برنامج تدريبي وتعكس هذه النتائج وجود ضعف حاد في مستوى الاستثمار في تنمية رأس المال البشري الزراعي

رغم الأهمية الكبيرة للتدريب في تحسين الإنتاجية وتبني التقنيات الحديثة، كما تشير هذه النسبة المتدنية إلى وجود معوقات حقيقية تحدّ من مشاركة المزارعين في مثل هذه البرامج.

6-2- الاستثمار في رأس المال البشري

تم دراسة واقع الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في الساحل السوري باستخدام مقياس ليكرت الخماسي، ويتبين من الجدول (5) أن الثغرة في عملية الاستثمار تكمن في الحصول على الاستثمارات الفنية بمتوسط (22.5)، وهي قيمة منخفضة جداً، كذلك الحصول على الحوافز الملموسة التي تشجع المزارع على التطوير، وهذه النتيجة متوافقة مع ما توصل إليه Al-Shammari (2021) الذي أكد أن البرامج التدريبية المقدمة غير ملائمة لاحتياجات المزارعين الحقيقية، وأن المزارعين يعانون من نقص في المتابعة الفنية، على الرغم من أنها عنصر حاسم في تحويل المعرفة النظرية إلى تطبيق عملي.

الجدول (5): تحليل عبارات محور الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي وفق مقياس ليكرت الخماسي

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية (%)	الشدة
توفر دورات تدريب مهني	2.17	0.514	42.8	منخفضة
تقدم حوافز للمتدربين	1.20	0.406	24.0	منخفضة جداً
متابعة دورية للمتدربين	1.91	0.284	38.2	منخفضة جداً
المشاركة في تصميم وتنفيذ برامج التنمية	1.94	0.583	43.5	منخفضة
دعم تدريب العاملين	2.34	0.873	46.8	منخفضة
تنظيم حملات توعية حول أهمية الاستثمار في الموارد البشرية	2.03	0.169	40.6	منخفضة
الحصول على استشارات فنية	1.26	0.505	25.2	منخفضة جداً
فرص حقيقة للترقية بناء على الدورات التدريبية	1.74	0.443	34.8	منخفضة جداً

تضم البرامج جانباً من الدعم النفسي والاجتماعي للعمال	2.14	0.494	42.8	منخفضة
تعاون المؤسسات الاكاديمية مع المزارعين في ورش ميدانية	2.91	0.373	58.2	متوسطة
تتاح منح دراسية او دعم لحضور الندوات	2.14	0.494	42.8	منخفضة
أعتبر جودة البرامج التدريبية ملائمة لاحتياجاتي الميدانية	1.94	0.236	38.8	منخفضة جداً
المتوسط العام للمحور	**2.04**	**0.284**	**40.8**	**منخفضة**

المصدر: عينة البحث، 2025

5-3- الإنتاجية

تم دراسة واقع الإنتاجية في الساحل السوري، وتحليل إجابات أفراد العينة حول هذا المؤشر إذ يُلاحظ من الجدول (6) أن تدوير المحاصيل والاستفادة من الخبرات المحلية كانت أعلى متوسط وهذا يشير الى أن الزراعة في الساحل السوري تعتمد بشكل كبير على الممارسات التقليدية الموروثة كما أن ضعف الجودة والمعايير العلمية الضعيفة يوضح وجود فجوة بين البحث العلمي والممارسات الميدانية، وهذا ما يربط بصورة مباشرة بضرورة الاستثمار والتدريب للموارد البشرية، وقد توزعت إجابات عينة الدراسة كما هو موضح في الجدول(6).

الجدول (6): تحليل عبارات محور الإنتاجية وفق مقياس ليكرت الخماسي

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية (%)	الشدة
أحقق انتاجية عالية مقارنة بغيري في المنطقة	2.91	0.373	58.2	متوسطة
أستخدم تقنيات حديثة	2.20	0.473	44.0	منخفضة
أقوم بتدوير المحاصيل	2.97	0.169	59.4	متوسطة

أحصل على دعم فني من الجهات المختصة	2.71	0.519	41.6	منخفضة
حققت زيادة في الارباح بعد استخدام التقنيات الحديثة	2.20	0.473	44.0	منخفضة
أملك قنوات تسويق	1.62	0.443	44.3	منخفضة
اشارك في برامج تدريبة لزيادة معرفتي	2.71	0.519	54.2	متوسطة
أتبع معايير الجودة	1.51	0.887	30.2	منخفضة جداً
أخطط لزراعة محاصيل تتناسب مع المناخ	2.26	0.443	45.2	منخفضة
أستفيد من الخبرات المحلية	2.97	0.169	59.4	متوسطة
أتابع التطورات العلمية	2.06	0.236	41.2	منخفضة
أقوم بتقييم دوري لانتاجيتي	2.97	0.169	59.4	متوسطة
المتوسط العام للمحور	**2.52**	**0.197**	**50.4**	**متوسطة**

المصدر: عينة البحث، 2025

6-4- الوعي والممارسات البيئية

يُظهر تحليل نتائج محور الوعي البيئي أن إدراك أهمية الحفاظ على الموارد الطبيعية جاء في المرتبة الأولى من حيث المتوسط الحسابي، مما يعكس مستوى مرتفعاً من الوعي البيئي لدى مزارعي الساحل السوري، وفي المقابل سجلت عبارة استخدام المبيدات الصديقة للبيئة أدنى متوسط وهو ما يشير إلى وجود فجوة بين مستوى الوعي البيئي والتطبيق العملي للممارسات الزراعية المستدامة، ويمكن تفسير ذلك بضعف توافر البدائل الملائمة أو محدودية الإمكانات المالية لدى المزارعين، الأمر الذي يحدّ من قدرتهم على تبني هذه الممارسات، رغم إدراكهم لأهميتها، وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه تقرير FAO (2022) من ارتفاع مستوى الوعي البيئي مقابل محدودية التطبيق في البيئات الزراعية المشابهة

الجدول (7): تحليل عبارات محور الوعي والممارسات البيئية وفق مقياس ليكرت الخماسي

العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية (%)	الشدة
أدرك اهمية الحفاظ على الموارد الطبيعية	4.17	0.453	83.4	عالية جداً
أستخدم ممارسات زراعية تقلل من التلوث	3.00	0.246	60.0	متوسطة
أقوم بتدوير المحاصيل للحفاظ على التربة	3.94	0.236	78.8	عالية
أشارك في برامج توعية للمزارعين	3.94	0.236	78.8	عالية
أستخدم مبيدات صديقة للبيئة	3.00	0.000	60.0	متوسطة
أقلل من استخدام المياه باستخدام تقنيات الري الحديثة	3.89	0.471	77.8	عالية
أقوم بادارة النفايات الزراعي	3.86	0.494	77.2	عالية
أدعم السياسات التي تعزز الزراعة المستدامة	3.18	0.459	63.6	متوسطة
أشجع الاخرين على تبني ممارسات زراعية بيئية	3.71	0.458	74.2	عالية
أتابع المستجدات في مجال الزراعة	3.91	0.284	78.2	عالية
ألاحظ تغيرات المناخ على مزرعتي	3.71	0.458	74.2	عالية
أخطط لتقليل البصمة الالكترونية في مزرعتي	3.91	0.284	78.2	عالية
المتوسط العام للمحور	**3.69**	**0.227**	**73.8**	**عالية**

المصدر: عينة البحث، 2025

6-5- اختبار الفرضيات وتحليل أثر الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي على الإنتاجية والوعي البيئي للمزارعين

تم دراسة العلاقة بين الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في الإنتاجية والوعي البيئي، ويُلاحظ من الجدول(8) وجود علاقة ارتباط موجبة ذات دلالة إحصائية بين الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي وكل من الإنتاجية والوعي البيئي، إذ بلغ معامل الارتباط (R = 0.597) للإنتاجية عند مستوى دلالة (0.000)، كما يشير معامل التحديد إلى أن الاستثمار في المورد البشري يفسر نسبة معتبرة من الإنتاجية، إذ يفسر 35.7% من التباين فيها، مع وجود عوامل أخرى غير مدرجة تفسر بقية التباين، مع وجود أثر معنوي (B = 0.414)، كما بلغ معامل الارتباط (0.557) للوعي البيئي عند مستوى دلالة (0.001) وهو أقل من (0.05)، مما يدل على معنوية العلاقة إحصائياً، كما يشير معامل التحديد إلى أن الاستثمار يفسر 31% من التغيرات في السلوك البيئي.

وبناءً على ما سبق يتم رفض الفرضيات العدمية وقبول الفرضيات البديلة التي تفيد بوجود أثر معنوي للاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في كل من الإنتاجية والوعي البيئي، كما توضح هذه النتائج أن الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي لا يقتصر أثره في الجانب الاقتصادي (الإنتاجية) فحسب، بل يمتد ليشمل البعد البيئي، من خلال تعزيز تبني الممارسات الزراعية الصديقة للبيئة، وتنسجم هذه النتائج مع ما تم التوصل إليه في الجداول السابقة، إذ ظهر انخفاض في مستوى الاستثمار البشري، ويقابله مستوى متوسط من الإنتاجية، مما يشير إلى أن تعزيز الاستثمار البشري يمكن أن يشكل مدخلاً أساسياً لتحسين كلا البعدين بشكل متكامل.

الجدول (8) نتائج معاملات الارتباط والانحدار الخطي لأثر الاستثمار رأس المال البشري الزراعي والمتغيرات التابعة

المتغير التابع	معامل الارتباط R	معامل التحديد R^2	قيمة F	Sig **0.05**	معامل الأثر B
الإنتاجية	0.597	35.7	18.32	0.000	0.414
الوعي البيئي	0.557	31.0	14.19	0.001	0.445

المصدر: عينة البحث، 2025

7- الاستنتاجات

1. انخفاض مستوى الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي في منطقة الساحل السوري، لا سيما في مجالات التدريب، والحوافز، والاستشارات الفنية، مما يعكس قصوراً في السياسات الداعمة لتنمية رأس المال البشري في القطاع الزراعي في هذه المنطقة الحيوية.
2. انخفاض نسبة مشاركة مزارعي منطقة الدراسة في البرامج التدريبية المتاحة مما يحد من فرص التأهيل والتطوير المهني للمزارعين، الأمر الذي يسهم في إضعاف قدرتهم على تبني التقنيات الزراعية الحديثة.
3. ارتفاع مستوى الوعي البيئي لدى مزارعي الساحل السوري، إلا أن هذا الوعي لا يترجم بشكل كافٍ إلى ممارسات عملية مستدامة، وهو ما يعكس وجود فجوة بين الإدراك البيئي والتطبيق الفعلي للممارسات الصديقة للبيئة في حقولهم.
4. وجود علاقة ارتباط موجبة ذات دلالة إحصائية بين الاستثمار في رأس المال البشري الزراعي وبين تحسين كفاءة الإنتاجية و مستوى الوعي البيئي في الساحل السوري.
5. وجود فجوة هيكلية بين مخرجات الاستثمار في الموارد البشرية والبيئة المؤسسية والاقتصادية المحيطة، مما يحدّ من تحقيق الأثر الكامل لهذا الاستثمار في التنمية الزراعية المستدامة للمنطقة.

8- التوصيات

1. تعزيز برامج التدريب الزراعي في منطقة الدراسة من خلال تصميم وتنفيذ برامج تدريبية تطبيقية متكاماة كالمدارس الحقلية التي تتلاءم مع الاحتياجات الفعلية للمزارعين، مع التركيز على نقل التقنيات الحديثة والممارسات الزراعية المستدامة.

2. ربط التدريب بالحوافز الاقتصادية، عبر التنسيق بين المصارف الزراعية والمراكز الارشادية لربط منح القروض او الحصول على مستلزمات الإنتاج المدعومة باجتياز الدورات التدريبية ، بما يسهم في رفع مستوى الإقبال عليها وتحقيق أثر ملموس.
3. تحويل الوعي البيئي إلى ممارسات تطبيقية من خلال إطلاق حملات توعية ميدانية تترافق مع توفير مستلزمات الإنتاج الصديقة للبيئة، ودعم استخدامها، وربطها بسياسات تحفيزية وتشريعات داعمة للزراعة المستدامة.
4. تبني سياسات متكاملة للتنمية الريفية من خلال صياغة استراتيجية تشترك فيها المراكز الأكاديمية البحثية والجهات التنفيذية، تأخذ بعين الاعتبار الترابط بين الاستثمار البشري، والتمويل، والتكنولوجيا، والبنية المؤسساتية، لضمان تحقيق أثر مستدام وشامل في القطاع الزراعي في الساحل السوري.

9- المراجع

1. مسعداوي، يوسف. (2015). دور الاستثمار في التعليم في تنمية رأس المال البشري: دراسة تقييمية لحالة الجزائر. مجلة الاقتصاد الجديد، 1(12): 233-250.
2. Addai, B. N., Nguezet, P. M., & Alene, A. D. (2024). The role of agricultural extension services and training in enhancing human capital and sustainable farming practices. Journal of Cleaner Production, 435.
3. Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). Environmental awareness and sustainable practices among coastal farmers. FAO Publications.
4. Jaeger, R. M. (1984). Statistics: A spectator sport. SAGE Publications.
5. Long, W., Wan, L., & Zheng, J. (2026). The impact of training on agricultural human capital accumulation among farmers in rural areas

of China. PLOS One, 21(1), e0340885. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0340885

6. OECD. (2001). The well-being of nations: The role of human and social capital. OECD Publishing.
7. Pedro Henrique Batista de Barros, Gustavo Henrique Leite de Castro & Naercio Menezes-Filho. (2022). " The human capital effect on productivity and agricultural frontier expansion in Brazil " http://www.usp.br/nereus/wp-content/uploads/TD-NEREUS-06-2022.pdf
8. Souza, P. M. D., Fornazier, A., Souza, H. M. D., & Ponciano, N. J. (2019). Diferençasregionais de tecnologia na agricultura familiar no Brasil. Revista de Economia e Sociologia Rural, 57, 594-617.
9. World Bank. (2016). "World Development Report 2016: Digital Dividends" Washington, DC: World Bank.
10. World Bank. (2024). "Syria Economic Monitor, Spring 2024: Growth Contraction Deepens and the Welfare of Syrian Households Deteriorates." *The World Bank*. URL: https://www.worldbank.org/en/country/syria/publication/syria-economic-monitor-spring-2024

تأثير معدل البذار والتسميد بعنصر الفوسفور في بعض الصفات الإنتاجية لنبات الكمون

لؤي صالح سلمان[1] عزة بشير خلوف[2]

الملخص:

نُفذ البحث خلال الموسم الزراعي 2024 – 2025 على نبات الكمون (*Cuminum cyminum* L.)المزروع في منطقة الأعور في محافظة حمص بهدف دراسة تأثير ثلاثة معدلات بذار (20، 25 و 30 كغ/ هكتار) وثلاثة معدلات من التسميد الفوسفوري (0، 75 و100كغ/هكتار) بصورة سوبر فوسفات ثلاثي P_2O_5 (46%) والتفاعلات المتبادلة بينها. زُرعت تجربة عاملية وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بثلاث مكررات لكل معاملة.

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي ($P\leq0.05$) تأثيراً معنوياً لمعدلات البذار والتسميد الفوسفوري والتفاعلات المتبادلة بينها في جميع الصفات المدروسة، فبالنسبة لمعاملات معدل البذار تفوق المعدل (30كغ/ هكتار) في متوسط صفة ارتفاع النبات، وتفوق المعدل (20 كغ/ هكتار) في متوسط صفة عدد الأفرع الرئيسة، الوزن الرطب للنبات، الوزن الجاف للنبات ووزن الثمار على النبات، تلاه المعدل (25كغ/ هكتار) في نتائج الصفات السابقة الأمر الذي ساهم في تفوقه معنوياً في متوسط صفة الغلّة الثمرية. كما حقق معدلي التسميد الفوسفوري (75 و 100كغ/ هكتار) تفوقاً معنوياً في بعض الصفات المدروسة دون وجود فروق معنوية بينهم بالمقارنة مع الشاهد، أما بالنسبة لتفاعل المعاملتين معاً تفوقت المعاملة (25كغ/ هكتار معدل بذار ×100كغ/ هكتار فوسفور) و (25 كغ/ هكتار معدل بذار×75 كغ/ هكتار فوسفور)

دون وجود فروق معنوية بينهما في صفة الغلة الثمرية نتيجة لتحقيقه معادلة التوازن بين عدد النباتات في وحدة المساحة وإمكانية حصول النبات على متطلبات النمو وفعالية التركيز السمادي المطبق.

الكلمات المفتاحية: الكمون ، معدل البذار ، فوسفور ، الصفات الإنتاجية ، الغلّة الثمرية.

(1) طالب ماجستير، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص.

(2) دكتور/ أستاذ مساعد، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص.

Effect of Seeding Rate and Phosphorus Fertilization on Some Productive Traits of Cumin Plant

Loai Saleh Slman (1) **Ezzat Basheer Khallouf (2)**

Abstract

The research was carried out during the growing seasons 2024-2025 on cumin plant (*Cuminum cyminum* L.) grown in the Al-Awar area of Homs Governorate with the aim of studying the effect of three seeding rates (20, 25, and 30 kg/ha) and three phosphorus fertilization rates (0, 75, and 100 kg/ha) in the form of triple superphosphate P_2O_5 (46%) and their interactions were applied. A factorial experiment was implanted according to a randomized complete block design (RCBD) with three replicates per treatment. Statistical analysis results ($P \leq 0.05$) showed significant effect of the treatments of seeding rates and phosphorus fertilization and their mutual interactions on all studied traits.

For seeding rate treatments, the rate (30 kg/ha) treatment excelled in average plant height, and the rate (20 kg/ha) was significantly superior in number of main branches, total wet weight per plant ,total dry weight per plant and weight of the fruit on the plant, the rate (25 kg/ha) followed in the results of the previous traits. This was contributed in a significant superiority in the average fruits yield. The two phosphorus fertilization rates (75 and 100 kg/ha) a significant superior

in some the studied traits without any significantly differences between them compared to the control. As for the interaction of the two treatments together, the treatment (25 kg/ha seeding rate × 100 kg/ha phosphorus) and (25 kg/ha seeding rate × 75 kg/ha phosphorus) was significantly superior without any significant differences between them in the fruit yield trait, as a result of achieving the balance equation between the number of plants per unit area and the plant's ability to obtain growth requirements and the effectiveness of the applied fertilizer concentration.

Keywords: Cumin, Seeding rate, Phosphorus, Productive Traits, Fruit yield.

(1) Master's Student, Dept. of Field Crops, College of Agriculture Engineering, Homs University.
(2) Associate professor, Dept. of Field Crops, College of Agriculture Engineering, Homs University.

أولاً- المقدمة والدراسة المرجعية:

تحتل النباتات الطبية والعطرية مكانة كبيرة في الإنتاج الزراعي والصناعي حول العالم، وتشكل المصدر الرئيسي لإنتاج المركبات الكيميائية التي تعد نواة التشكيل الكيميائي لبعض المواد الدوائية الهامة (مشنطط وقطاع، 2009).

يُعد نبات الكمون *Cuminum cymium* L. من نباتات العائلة الخيمية Apiaceae الهامة، وتشكل منطقة شرق المتوسط ومصر وتركستان المواطن الرئيسة لنشوئه ومنها انتشر إلى بقية أرجاء العالم (Tuncturk and Tuncturt, 2006). كما يعتبر من أهم التوابل التي تستخدم على نطاق واسع في الطهي كمكسبات للطعم (Koohsari *et al.*, 2020; Peter, 2001). يستخدم مغلي ثمار النبات في

علاج الالتهابات الصدرية وخافضاً للحرارة، ويعد مهدئاً في حالات الاضطرابات الهضمية ومعالجاً لحموضة المعدة (أكساد، 2012).

تنتشر زراعة الكمون في سورية في المناطق الوسطى والشمالية والشرقية بعلاً بشكل رئيس (طرابيشي وآخرون، 2005)، حيث بلغت المساحات المزروعة الإجمالية في عام 2022 (45029 هكتاراً)، وبلغ الإنتاج من الثمار (18493 طناً) (المجموعة الإحصائية السنوية، 2022).

يشكل معدل البذار أحد العوامل المحددة لإنتاجية المحصول وجودة بذاره، ويختلف المعدل المطبق باختلاف نوع المحصول، حجم بذوره ونسبة نقاوتها وعمرها، طريقة وموعد الزراعة، الظروف البيئية ونوع التربة (Tuncturk *et al*., 2005; Sadeghi, 1991).

إذ تؤثر الكثافة النباتية في توافر متطلبات النمو الأساسية المحددة لنمو وتطور النبات من المساحة الغذائية، الرطوبة، الإضاءة والهواء، وعند الكثافات المثلى يجب أن يكون التنافس بين النباتات على هذه العوامل في حدوده الدنيا للحصول على أفضل غلة في وحدة المساحة (Momoh and Zhou, 2001).

بينت نتائج Shakeri وآخرون (2015) في دراسة أجريت في إيران حول تأثير ثلاثة معدلات بذار (15، 30 و45 كغ/ هكتار) وأربعة مواعيد زراعة (9 كانون أول، 8 كانون ثاني، 8 شباط و9 آذار) في الغلة الثمرية و الحيوية لمحصول الكمون، تفوق معدل البذار 30 و15 كغ/ هكتار في صفة الغلة الثمرية حيث بلغت (289.67 و275.37 كغ/ هكتار على التوالي) بالمقارنة مع المعدل 45 كغ/ هكتار (264.67 كغ/ هكتار).

كما أوضحت نتائج Erden وآخرون (2013) في إيران حول تأثير أربعة معدلات بذار (5، 10، 15 و20 كغ/هكتار) ومسافتي زراعة بين السطور (15 و30 سم) في مكونات الغلة الثمرية والزيتية لمحصول الكمون، تفوق معدل البذار 10 كغ/ هكتار عند المسافة الزراعية 15 سم في الغلة الثمرية لمتوسط الموسميين (1014.4 كغ/ هكتار)، بينما لم تظهر فروق معنوية في متوسط الغلة الزيتية عند كل من معدلات البذار (5، 10 و15 كغ/هكتار) عند المسافة 15 سم حيث حققوا أعلى قيمة عددية لمتوسط الموسميين (29.1، 29 و28.6 لتر/هكتار)، بينما تفوق معدل البذار 10 كغ/هكتار عند المسافة 30

سم في عدد الأفرع الرئيسة وعدد النورات الزهرية في النبات (13.18 فرع/نبات و 27.72 نورة/نبات على التوالي).

بيّن Mollafilabi وآخرون (2009) في إيران تفوق معدل البذار 14 كغ/هكتار عند المعدل السمادي 50 كغ/هكتار معنوياً في الصفتين الغلة الثمرية والزيتية حيث بلغوا 1016 كغ/هكتار و36.07 كغ/هكتار على التوالي. عند دراسة حول تأثير أربعة معدلات بذار (8، 14، 20 و26 كغ/هكتار) وأربعة معدلات من التسميد الآزوتي (0، 50، 100 و150 كغ/هكتار) في الغلة الثمرية والزيتية لمحصول الكمون.

تعد الترب السورية عموماً من الترب الفقيرة بعنصر الفوسفور نتيجة لقلة الصخور الفوسفاتية المنتشرة في البيئة، ولبطء عمليات التحلل والتحرر المختلفة لهذا العنصر في حال وجدت هذه الصخور، لذلك يلجأ المزارعون لتحسين محتوى التربة من هذا العنصر عن طريق الإضافات السمادية بمختلف أنواعها (العضوية، كيميائية، الحيوية والخضراء) (الشاطر، 2008).

يشكل عنصر الفوسفور أحد العناصر الضرورية في نمو وتطور النبات لأنه يعمل على تطور البنية الجذرية له ويحسن من كفاءته التمثيلية من خلال تركيب مركبات الطاقة، ويساهم بصورة مباشرة في تعزيز مرحلة الإزهار الأمر الذي ينعكس على مردودية وحدة المساحة من الإنتاج البذري (Bairagi, 2014; Purbey and Sen, 2005).

أجريت دراسة في العراق (2025) حول تأثير ثلاثة معدلات من السماد الفوسفاتي (0، 50 و100 كغ/هكتار) باستخدام سماد سوبر فوسفات ثلاثي (46%) في نمو وانتاجية محصول الكمون، أظهرت نتائج التحليل الإحصائي تفوقاً معنوياً لمعدل 100 كغ/ هكتار عموماً في معظم الصفات المدروسة من ارتفاع النبات، عدد الأفرع الكلية في النبات، عدد النورات الزهرية في النبات، وزن 1000 ثمرة، وزن الثمار في النبات حيث بلغوا (26.61سم، 7.11 فرع/ نبات، 75.64 نورة/ نبات، 7.47 غ و1.66 غ على التوالي)

بالمقارنة مع الشاهد دون تسميد (22.12 سم، 4.69 فرع/ نبات، 60.13 نورة/ نبات، 5.61 غ و1.17 غ على التوالي). (Al-Mafrajee *et al.*, 2025).

كما بينت نتائج دراسة في العراق (2015) حول تأثير ثلاثة معدلات من السماد الفوسفاتي (0، 100 و150 كغ/هكتار) باستخدام سماد سوبر فوسفات ثلاثي (20%) في معدل نمو وغلة محصول الكمون وبوجود ثلاثة تراكيز من التسميد الورقي بعنصر الحديد (0، 50 و150 ملغ/لتر)، وجود تفوق معنوياً لمعدل 150 كغ/هكتار من السماد الفوسفاتي عموماً في معظم الصفات المدروسة من ارتفاع النبات، عدد الأفرع الكلية في النبات، عدد النورات الزهرية في النبات، وزن 1000 ثمرة، نسبة البروتين في الثمار ونسبة الزيت الطيار حيث بلغوا (26.89 سم، 7.13 فرع/نبات، 76.07 نورة/نبات، 7.44 غ، 19.97% و2.85% على التوالي) بالمقارنة مع الشاهد (22 سم، 4.67 فرع/نبات، 60.20 نورة/نبات، 5.60 غ، 16.16% و2.68% على التوالي) (الحلبوسي، 2015).

حققت نتائج دراسة أجريت في اثيوبيا (2013) تفوقاً معنوياً لمعدل التسميد الفوسفوري 75 كغ/هكتار في مؤشرات ارتفاع النبات ، عدد الأفرع من الدرجة الثانية والثالثة في النبات، عدد النورات الزهرية في النبات، عدد الثمار في النبات، وزن 1000 ثمرة، الغلة الثمرية والزيتية عند تقييم تأثير أربعة معدلات من التسميد الفوسفوري P_2O_5 (0، 25، 50 و75 كغ/هكتار)، وأربعة معدلات من التسميد الآزوتي (0، 50، 100 و150 كغ/هكتار)، حيث بلغت القراءات (59 سم، 63.4 فرع ثانوي/نبات، 77.03 فرع ثالثي/نبات، 105 نورة/ نبات، 144.13 ثمرة/نبات، 0.98غ، 867 كغ/هكتار و30 ليتر/هكتار على التوالي) بالمقارنة مع الشاهد دون تسميد (Girma and Taddesse, 2013).

ثانياً– مبررات البحث:

يعد نبات الكمون (*Cuminum cyminum* L.) واحداً من المحاصيل العطرية الهامة في سورية نظراً لأهميته الاقتصادية والطبية، لذلك كان لابدّ من السعي إلى زيادة إنتاج هذا المحصول، وتحديد معدل البذار الأمثل ضمن مسافات زراعية مضبوطة يستطيع عندها النبات إظهار كامل طاقته الإنتاجية.

إضافةً لفقر الترب السورية بعنصر الفوسفور بشكله المتاح للنبات عموماً، ولأهميته في معظم التفاعلات الحيوية داخل النبات، تمثلت فكرة البحث في دراسة تأثير معدل البذار والتسميد بعنصر الفوسفور في مكونات الغلّة الثمرية والزيتية لمحصول الكمون، لأهمية هذا النبات في منطقة الدراسة كونه من المحاصيل الأساسية المزروعة فيها.

ثالثاً- هدف البحث:

- تقييم استجابة نبات الكمون لمعدلات بذار مختلفة وتحديد المعدل الأمثل.
- تحديد التركيز الأفضل للتسميد بعنصر الفوسفور استناداً لبعض الصفات الكمية.
- تحديد أفضل القيم للتفاعل بين معدلات البذار والتسميد للحصول على أفضل إنتاجية.

رابعاً- مواد البحث وطرائقه:

1- المادة النباتية Plant material:

نُفِذت الدراسة على نبات الكمون (*Cuminum cyminum* L.) الذي تم الحصول على ثماره من منطقة زراعته في ريف حمص الشرقي.

2- موقع تنفيذ التجربة Research site:

نُفِذت التجربة في قرية الأعور التابعة لمحافظة حمص خلال الموسم الزراعي (2024-2025)، والجدولين (1) و (2) تبين الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة منطقة الزراعة ومتوسط المعطيات المناخية في منطقة الدراسة خلال الموسم الزراعي.

جدول (1): الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة في منطقة الزراعة

عجينة مشبعة	التركيب الميكانيكي (%)			100 غرام تربة		ملغ. كغ$^{-1}$		
pH	رمل	سلت	طين	كربونات الكالسيوم (%)	مادة عضوية (%)	N آزوت	P فوسفور	K بوتاسيوم
8.23	44	24	32	7.83	1.78	18.46	4.8	182.6

المصدر : مخبر تحليل التربة – مركز البحوث العلمية الزراعية/ فرع حمص.

يبين الجدول رقم (1) بأن تربة منطقة الزراعة لومية طينية خفيفة، ذات حموضة قاعدية، متوسطة المحتوى من المادة العضوية، وذات محتوى متوسط من الآزوت والبوتاسيوم لكنها فقيرة بعنصر الفوسفور.

جدول (2): متوسط المعطيات المناخية خلال الموسم الزراعي في منطقة الزراعة

الموسم الزراعي 2024– 2025				
الشهر	معدل الهطول المطري (ملم)	متوسط درجة حرارة الهواء العليا (مْ)	متوسط درجة الحرارة الدنيا (مْ)	متوسط معدل الرطوبة النسبية (%)
كانون الأول 2024	54.5	15.81	3.23	70.31
كانون الثاني 2025	1	14.58	2.87	68.22
شباط 2025	37.4	13.06	1.52	67.84
آذار 2025	17.4	21.26	7.55	62.45
نيسان 2025	13.8	25.57	9.17	59.77
آيار 2025	1.2	30.48	13.71	51.23
حزيران 2025	0	30.03	17.03	44.61
مجموع الهطول المطري (ملم)		المتوسط العام		

125.3	21.54	9.3	60.63

المصدر : مديرية الأرصاد الجوية بحمص.

3 – المعاملات المدروسة Studied treatments:

A– العامل الأول: معدل البذار تضمن ثلاث معاملات وفق ثلاثة معدلات هي: (S1:20 كغ/ هكتار، S2: 25 كغ/ هكتار، S3: 30 كغ/ هكتار).

B– العامل الثاني: التسميد بعنصر الفوسفور بصورة سوبر فوسفات ثلاثي P_2O_5 بطيء الذوبان حيث تم إضافة كامل الكمية مع الزراعة وفق المعدلات الآتية: (P0: معاملة بدون تسميد (شاهد) ، P1: معاملة تسميد بمعدل 75 كغ/ هكتار ، P2: معاملة تسميد بمعدل 100 كغ/ هكتار).

4– طريقة الزراعة Planting method:

تم تحضير الأرض للزراعة من خلال تنفيذ فلاحتين متعامدتين بالمحراث القلاب المطرحي على عمق 35 سم بهدف تفكيك الطبقة السطحية والتخلص من الأعشاب الضارة، مع إجراء عملية تمشيط الأرض بهدف تنعيم التربة، ومن ثم قسمت الأرض إلى مساكب بأبعاد 2×2 $م^2$، مع ممرات خدمة بين المساكب بعرض 1م، ونطاق حماية بين القطاعات 1 م، وطبقت جميع المعاملات المدروسة وفق ثلاثة مكررات لكل معاملة، ثم زرعت الثمار بطريقة النثر ضمن السطر في السطور حسب المعدلات المطلوبة.

تم مراعاة تنفيذ عملية العزيق حسب درجة ظهور الأعشاب لاسيما في المراحل الأولى من حياة النبات وعملية الري حسب حاجة النبات والظروف الجوية السائد، حصدت النباتات من السطور الوسطى عند ظهور علامات النضج التام، ثم حزمت ضمن باقات وتركت لمدة 4-5 أيام حتى تجف، مع أخذ وتسجيل المؤشرات المدروسة.

5- الصفات المدروسة Investigated traits:

تمت دراسة الصفات الآتية من خلال عينة عشوائية مؤلفة من 10 نباتات من كل مكرر في مرحلة النضج التام، حيث تم أخذها من السطور الوسطى للقطعة التجريبية:

ارتفاع النبات (سم)، عدد الأفرع الرئيّسة على النبات (فرع/ نبات)، الوزن الرطب للنبات (غ)، الوزن الجاف للنبات (غ)، وزن الثمار على النبات (غ) والغلّة الثمرية (كغ/ هكتار).

6- تصميم التجربة والتحليل الإحصائي Experimental design and statistical analysis:

نفذت تجربة عاملية وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD)، وتم تحليل البيانات بعد جمعها وتبويبها إحصائياً باستخدام برنامج التحليل الإحصائيGenStat Release 20 لحساب قيم أقل فرق معنوي (L.S.D) عند مستوى معنوية 5% ، وقيم معامل التباين (CV%) لكل صفة مدروسة.

خامساً- النتائج والمناقشة:

1- ارتفاع النبات:

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي المبينة في الجدول رقم (3) وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط ارتفاع النبات بين أغلب المعاملات والتفاعلات المتبادلة بينها.

معاملة معدل البذار (S)	معاملة التسميد الفوسفوري (P)			المتوسط
	0 كغ/هكتار (شاهد)	75 كغ/هكتار	100 كغ/هكتار	
20 كغ/ هكتار	11.50^{f}	15.45^{d}	16.89^{c}	14.61^{c}
25 كغ/ هكتار	12.12^{f}	19.12^{b}	20.19^{b}	17.14^{b}
30 كغ/ هكتار	13.86^{e}	21.72^{a}	22.11^{a}	19.23^{a}
المتوسط	12.49^{b}	18.76^{a}	19.73^{a}	16.99
L.S.D (0.05)	S	P	P × S	
	1.04	1.04	1.38	

%CV	4.7

جدول (3): تأثير معدل البذار والتسميد الفوسفوري في متوسط صفة ارتفاع نبات الكمون (سم)

حيث تفوق المعدل 30 كغ/ هكتار فبلغ (19.23 سم) ، بالمقارنة مع المعدل 20 كغ/ هكتار (14.61 سم) الذي كان الأدنى معنوياً، أما بالنسبة لمعاملة التسميد الفوسفوري كان متوسط ارتفاع النبات الأعلى معنوياً عند معدلي التسميد (100 و75 كغ/ هكتار) فبلغا (19.73 و 18.76سم على التوالي) دون وجود فروق معنوية بينهم بالمقارنة مع الشاهد دون تسميد (12.49 سم).

أما بالنسبة لتفاعل المعاملتين كان متوسط ارتفاع النبات الأعلى معنوياً عند المعاملة (30 كغ/ هكتار معدل بذار × 100 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغ (22.11 سم) تلتها المعاملة (30 كغ/ هكتار معدل بذار × 75 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغ (21.72 سم) دون وجود فروق معنوية بينهما، بينما حققت المعاملة (20 كغ/ هكتار معدل بذار × 0 كغ/ هكتار فوسفور) أدنى قيمة معنوية عددية حيث بلغ ارتفاع النبات (11.50 سم).

يعزى تفوق معدل البذار المرتفع (30 كغ/ هكتار) في صفة ارتفاع نبات الكمون نتيجة لزيادة عدد النباتات في وحدة المساحة الأمر الذي أدى إلى قلة المساحة المخصصة للنبات الواحد وزيادة شدة التنافس على متطلبات النمو المكانية والأرضية والجوية الأمر الذي دفع النبات لاستمرار النمو الطولي للحصول على كمية أكبر من الأشعة الشمسية (Momoh and Zhou, 2001). كما ساهم إضافة عنصر الفوسفور كأحد العناصر الكبرى الضرورية لنمو وتطور النبات في امداده بالطاقة الضرورية لتركيب ATP و NADPH (NellMonika, 2009; Blevian, 2001) فعزز بذلك تنبيه البرعم الطرفي للنبات واستمرار النمو الطولي خلال كافة مراحل نموه الخضري كون السماد المضاف بطيء الذوبان.

2- عدد الأفرع الرئيسة على النبات (فرع/ نبات) :

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي المبينة في الجدول رقم (4) وجود فروق معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط عدد الأفرع الرئيسة بين أغلب المعاملات والتفاعلات المتبادلة بينها.

جدول (4): تأثير معدل البذار والتسميد الفوسفوري في متوسط صفة عدد الأفرع الرئيسة لنبات الكمون (فرع/ نبات)

معاملة معدل البذار (S)	معاملة التسميد الفوسفوري (P)			المتوسط
	0 كغ/هكتار (شاهد)	75 كغ/هكتار	100 كغ/هكتار	
20 كغ/ هكتار	2.58^{cd}	4.75^{a}	4.87^{a}	4.07^{a}
25 كغ/ هكتار	2.48^{cd}	3.93^{b}	4.32^{ab}	3.58^{b}
30 كغ/ هكتار	2.06^{d}	2.81^{c}	3.04^{c}	2.64^{c}
المتوسط	2.37^{b}	3.83^{a}	4.08^{a}	3.43
L.S.D (0.05)	S	P	P × S	
	0.26	0.26	0.62	
%CV	2.9			

بالنسبة لمعاملة معدل البذار كان متوسط عدد الأفرع الرئيسة الأعلى معنوياً عند المعاملة 20 كغ/ هكتار فبلغ (4.07 فرع/ نبات)، بالمقارنة مع المعدل 30 كغ/ هكتار (2.64 فرع/ نبات) الذي كان الأدنى معنوياً، أما بالنسبة لمعاملة التسميد الفوسفوري كان متوسط عدد الأفرع الرئيسة الأعلى معنوياً عند معدلي التسميد (100 و75 كغ/ هكتار) فبلغ (4.08 و3.83 فرع/ نبات على التوالي) دون وجود فروق معنوية بينهما، بالمقارنة مع الشاهد دون تسميد (2.37 فرع/ نبات) الذي كان الأدنى معنوياً.

أما بالنسبة لتفاعل المعاملتين كان متوسط عدد الأفرع الرئيسة الأعلى معنوياً عند المعاملات (20 كغ/ هكتار معدل بذار× 100 كغ/ هكتار فوسفور) و (20 كغ/ هكتار معدل بذار× 75 كغ/ هكتار فوسفور) و(25 كغ/ هكتار معدل بذار× 100 كغ/ هكتار فوسفور) حيث بلغ (4.87، 4.75 و4.32 فرع/ نبات على التوالي) دون وجود فروق معنوية بينهم، بينما حققت المعاملة (30 كغ/هكتار

معدل بذار× 0 كغ/ هكتار فوسفور) أدنى قيمة معنوية عددية حيث بلغ متوسط عدد الأفرع الرئيسة في النبات (2.06 فرع/ نبات).

يعزى تفوق معدل البذار المنخفض (20 كغ/ هكتار) في زيادة عدد الأفرع الرئيسة المتشكلة على النبات لزيادة المساحة المخصصة للنبات الواحد الأمر الذي ساهم بزيادة حصول النبات على احتياجاته الغذائية والضوئية مما انعكس على تنبيه البراعم الجانبية (Momoh and Zhou, 2001). كما ساهم إضافة عنصر الفوسفور بصورة سوبر فوسفات ثلاثي بطيء الذوبان على تأمين هذا العنصر خلال مراحل نمو النبات الخضرية وخاصة أن التربة فقيرة المحتوى به حسب جدول تحليل التربة رقم (1) مما ساهم في رفع كفاءة عملية التمثيل الضوئي لدخوله في تركيب مركبات الطاقة الأمر الذي أدى إلى تحفيز النبات بصورة أكبر لإنتاج هرموناته ومنها السايتوكينيات المسؤولة بصورة مباشرة عن تنبيه البراعم الجانبية لتشكل الأفرع (NellMonika, 2009; Blevian, 2001)

3- الوزن الرطب الكلي للنبات :

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي المبينة في الجدول رقم (5) وجود فروق معنوية ($P\leq0.05$) في صفة الوزن الرطب للنبات بين أغلب المعاملات والتفاعلات المتبادلة بينها.

جدول (5): تأثير معدل البذار والتسميد الفوسفوري في متوسط صفة الوزن الرطب لنبات الكمون (غ)

معاملة معدل البذار (S)	معاملة التسميد الفوسفوري (P)			المتوسط
	0 كغ/هكتار (شاهد)	75 كغ/هكتار	100 كغ/هكتار	
20 كغ/ هكتار	5.12^{e}	9.73^{a}	9.91^{a}	8.25^{a}
25 كغ/ هكتار	5.03^{e}	8.17^{b}	8.85^{b}	7.34^{b}
30 كغ/ هكتار	4.42^{f}	6.64^{d}	6.97^{d}	6.01^{c}
المتوسط	4.86^{b}	8.18^{a}	8.58^{a}	7.20

P × S	P	S	L.S.D (0.05)
0.79	0.48	0.48	
3.8			%CV

بالنسبة لمعاملة معدل البذار كان متوسط الوزن الرطب للنبات الأعلى معنوياً عند المعاملة 20 كغ/ هكتار فبلغ (8.25 غ) بالمقارنة مع المعدل 30 كغ/ هكتار (6.01 غ) الذي كان الأدنى معنوياً، أما بالنسبة لمعاملة التسميد الفوسفوري كان متوسط الوزن الرطب للنبات الأعلى معنوياً عند معدلي التسميد (100 و75 كغ/ هكتار) فبلغ (8.58غ و 8.18 غ على التوالي) دون جود فروق معنوية بينهما، بالمقارنة مع الشاهد دون تسميد (4.86 غ) والذي كان الأدنى معنوياً.

أما بالنسبة لتفاعل المعاملتين فكان متوسط الوزن الرطب للنبات الأعلى معنوياً عند المعاملة (20 كغ/ هكتار معدل بذار× 100 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغ (9.91 غ) وتلتها المعاملة (20 كغ/ هكتار معدل بذار× 75 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغ (9.73 غ) دون وجود فروق معنوية بينهما، بينما حققت المعاملة (30 كغ/ هكتار معدل بذار× 0 كغ/ هكتار فوسفور) أدنى قيمة معنوية حيث بلغ الوزن الرطب للنبات (4.42 غ).

4- الوزن الجاف الكلي للنبات (غ):

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي المبينة في الجدول رقم (6) وجود فروق ($P \leq 0.05$) معنوية في صفة الوزن الجاف للنبات بين أغلب المعاملات والتفاعلات المتبادلة بينها.

جدول (6): تأثير معدل البذار والتسميد الفوسفوري في متوسط صفة الوزن الجاف لنبات الكمون (غ)

معاملة معدل البذار (S)	معاملة التسميد الفوسفوري (P)			المتوسط
	0 كغ/هكتار (شاهد)	75 كغ/هكتار	100 كغ/هكتار	
20 كغ/ هكتار	2.79^{e}	5.32^{a}	5.43^{a}	4.51^{a}
25 كغ/ هكتار	2.71^{e}	4.57^{c}	4.92^{b}	4.07^{b}
30 كغ/ هكتار	2.38^{f}	3.69^{d}	3.95^{d}	3.34^{c}
المتوسط	2.63^{b}	4.52^{a}	4.77^{a}	3.97
L.S.D (0.05)	S	P	P × S	
	0.27	0.27	0.39	
%CV	3.0			

بالنسبة لمعاملة معدل البذار كان متوسط الوزن الجاف للنبات الأعلى معنوياً عند المعاملة 20 كغ/ هكتار فبلغ (4.51 غ) بالمقارنة مع المعدل 30 كغ/ هكتار (3.34 غ) الذي كان الأدنى معنوياً، أما بالنسبة لمعاملة التسميد الفوسفوري كان متوسط الوزن الجاف للنبات الأعلى معنوياً عند معدلي التسميد (100 و75 كغ/ هكتار) فبلغ (4.77غ و 4.52 غ على التوالي) دون جود فروق معنوية بينهما، بالمقارنة مع الشاهد دون تسميد (2.63 غ) والذي كان الأدنى معنوياً.

أما بالنسبة لتفاعل المعاملتين كان متوسط الوزن الجاف للنبات الأعلى معنوياً عند معاملة (20 كغ/ هكتار معدل البذار× 100 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغ (5.43 غ) وتلتها المعاملة (20 كغ/ هكتار معدل بذار× 75 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغ (5.32 غ) دون وجود فروق معنوية بينهما، وحققت المعاملة (30 كغ/ هكتار معدل بذار× 0 كغ/ هكتار فوسفور) أدنى قيمة معنوية حيث بلغ الوزن الجاف للنبات (2.38 غ).

يمكن تفوق معدل البذار المنخفض (20 كغ/ هكتار) مع وجود التسميد الفوسفوري بمعدل 10 و 75 كغ/ هكتار في صفتي الوزن الرطب والجاف لنبات الكمون لتفوقهم في عدد الأفرع الرئيسة في النبات الأمر الذي انعكس في زيادة حجم الكتلة الخضرية للنبات والذي سيؤدي بالضرورة على تعزيز عملية التمثيل الضوئي وتراكم أكبر للمادة الجافة من جزيئات البروتين والببتيد وتخزينها في مختلف أجزاء النبات، وبالتالي زيادة في الوزن المتحصل عليه.

5- وزن الثمار على النبات (غ):

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي المبينة في الجدول رقم (7) وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة وزن الثمار في النبات بين أغلب المعاملات والتفاعلات المتبادلة بينها.

جدول (7): تأثير معدل البذار والتسميد الفوسفوري في متوسط صفة وزن الثمار في نبات الكمون (غ)

معاملة معدل البذار (S)	معاملة التسميد الفوسفوري (P)			المتوسط
	0 كغ/هكتار (شاهد)	75 كغ/هكتار	100 كغ/هكتار	
20 كغ/ هكتار	1.05^{f}	2.09^{a}	2.16^{a}	1.77^{a}
25 كغ/ هكتار	1.01^{f}	1.78^{c}	1.93^{b}	1.57^{b}
30 كغ/ هكتار	0.85^{g}	1.39^{e}	1.52^{d}	1.26^{c}
المتوسط	0.97^{c}	1.76^{b}	1.87^{a}	1.53
L.S.D (0.05)	S	P	P × S	
	0.05	0.05	0.08	
%CV	3.1			

بالنسبة لمعاملة معدل البذار كان متوسط وزن الثمار في النبات الأعلى معنوياً عند المعاملة 20 كغ/ هكتار فبلغ (1.77 غ) بالمقارنة مع المعدل 30 كغ/ هكتار (1.26 غ) الذي كان الأدنى معنوياً، أما بالنسبة لمعاملة التسميد الفوسفوري كان متوسط وزن الثمار في النبات الأعلى معنوياً عند المعدل 100 كغ/ هكتار فبلغ (1.87 غ)، بالمقارنة مع الشاهد دون تسميد (0.97 غ) الذي كان الأدنى معنوياً.

أما بالنسبة لتفاعل المعاملتين كان متوسط وزن الثمار في النبات الأعلى معنوياً عند المعاملة (20 كغ/ هكتار معدل بذار× 100 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغ (2.16 غ) وعند المعاملة (20 كغ/ هكتار معدل بذار×75 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغ (2.09 غ) دون وجود فروق معنوية بينهما، بينما حققت المعاملة (30 كغ/ هكتار معدل بذار× 0 كغ/ هكتار فوسفور) أدنى قيمة معنوية حيث بلغ وزن الثمار في النبات (0.85 غ).

يمكن تفسير تفوق معدل البذار المنخفض (20 كغ/ هكتار) مع التسميد الفوسفوري 100 و75 كغ/ هكتار في صفة وزن الثمار المتشكلة على النبات الواحد نتيجة لتفوق هذه المعاملات في معظم صفات مكونات الغلة السابقة الأمر الذي انعكس بصورة مباشرة في توزيع المادة الجافة المتراكمة بصورة أكبر إلى الجزء الاقتصادي من النبات وهو الثمار، بالإضافة لقلة الرطوبة الجوية وتلائم درجات الحرارة خلال فترة إزهار النبات (شهر نيسان) حسب جدول المعطيات المناخية (2) مما انعكس في زيادة فرصة العقد وتشكل عدد أكبر من الثمار على النبات.

6- الغلّة الثمرية (كغ/ هكتار):

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي المبينة في الجدول رقم (8) وجود فروق معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط الغلة الثمرية لمحصول الكمون بين أغلب المعاملات والتفاعلات المتبادلة بينها.

جدول (8): تأثير معدل البذار والتسميد الفوسفوري في متوسط صفة الغلة الثمرية لمحصول الكمون (كغ/ هكتار)

معاملة معدل البذار (S)	معاملة التسميد الفوسفوري (P)			المتوسط
	0 كغ/هكتار (شاهد)	75 كغ/هكتار	100 كغ/هكتار	
20 كغ/ هكتار	180.4^{g}	376.3^{e}	402.3^{d}	319.7^{c}
25 كغ/ هكتار	206.7^{f}	506.3^{ab}	513.9^{a}	408.9^{a}
30 كغ/ هكتار	199.3^{f}	490.6^{c}	503.6^{b}	397.8^{b}
المتوسط	195.4^{c}	457.7^{b}	473.3^{a}	375.46
L.S.D (0.05)	S	P	P × S	

	5.18	5.18	8.97
%CV	1.4		

بالنسبة لمعاملة معدل البذار كان متوسط الغلة الثمرية الأعلى معنوياً عند المعاملة 25 كغ/ هكتار فبلغ (408.9 كغ/ هكتار) بالمقارنة مع المعدل 20 كغ/ هكتار (319.7 كغ/ هكتار) الذي كان الأدنى معنوياً، أما بالنسبة لمعاملة التسميد الفوسفوري كان متوسط الغلة الثمرية الأعلى معنوياً عند المعدل 100 كغ/ هكتار فبلغ (473.3 كغ/ هكتار)، بالمقارنة مع الشاهد دون تسميد (195.4 كغ/ هكتار) الذي كان الأدنى معنوياً.

أما بالنسبة لتفاعل المعاملتين كان متوسط الغلة الثمرية الأعلى معنوياً عند المعاملة (25 كغ/ هكتار معدل بذار× 100 كغ/ هكتار فوسفور) فبلغت (513.9 كغ/ هكتار) وتلتها المعاملة (25 كغ/ هكتار معدل بذار× 75 كغ/ هكتار فوسفور)فبلغت (506.3 كغ/ هكتار) دون وجود فروق معنوية بينهما، بينما حققت المعاملة (20 كغ/ هكتار معدل بذار× 0 كغ/ هكتار فوسفور) أدنى قيمة معنوية حيث بلغت الغلة الثمرية (180.4 كغ/ هكتار).

يعزى تفوق معدل البذار المتوسط 25 كغ/ هكتار عند معدلي التسميد الفوسفوري 100 و75 كغ/ هكتار في صفة الغلة الثمرية لتحقيقه معادلة التوازن بين عدد النباتات في وحدة المساحة وإمكانية حصول النبات على متطلبات نموه الأرضية والجوية والمكانية بصورة جيدة مع تأمين حاجة النبات من عنصر الفوسفور بمعدل جيد الأمر الذي ساهم في تحسين مؤشرات النمو المورفولوجية والإنتاجية.

سابعاً- الاستنتاجات:

1- أثرت معدلات البذار بشكل واضح في مختلف مكونات غلة محصول الكمون، فحقق المعدل (30 كغ/ هكتار) تفوقاً معنوياً في صفة ارتفاع النبات بينما حقق المعدل (20 كغ/ هكتار) أعلى تفوق معنوي في صفات عدد الأفرع الرئيسة، الوزن الرطب للنبات، الوزن الجاف للنبات ووزن الثمار في النبات وقاربه

المعدل (25 كغ/ هكتار) في الصفات السابقة والذي انعكس فيما بعد بتفوقه المعنوي في صفة الغلة الثمرية لزيادة عدد النباتات في وحدة المساحة.

2- عزز التسميد بعنصر الفوسفور مؤشرات النمو والإنتاجية لنباتات الكمون المزروعة وتقاربت نتائج المعدلين 75 و100 كغ/ هكتار في بعض الصفات المدروسة بالمقارنة مع الشاهد مع غياب الفروق المعنوية بينهما في صفة(ارتفاع النبات،وعدد الأفرع،الوزن الرطب الكلي للنبات ، الوزن الجاف الكلي للنبات).

3- بالنسبة لتفاعل المعاملتين تفوقت كل من المعامتين (25 كغ/ هكتار معدل بذار× 100 كغ/ هكتار فوسفور) و (25 كغ/ هكتار معدل بذار ×75 كغ/ هكتار فوسفور) في صفات الغلة الثمرية دون وجود فروق معنوية بينهما.

ثامناً: المقترحات:

يقترح في ظروف شرق مدينة حمص (قرية الأعور) زراعة محصول الكمون عند معدل بذار 25 كغ/هكتار مع إضافة سماد فوسفوري بمعدل 75 كغ/ هكتار للحصول على أعلى غلة ثمريه في وحدة المساحة.

ثامناً- المراجع:

A. المراجع العربية:

- **أكساد (المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة). (2012).** أطلس النباتات الطبية والعطرية في الوطن العربي، دمشق، سورية، 630 ص.

- **الحلبوسي، أسامة حسين مهيدي. (2015).** تأثير التسميد الفوسفاتي والتغذية الورقية بالحديد في صفات النمو والحاصل والمادة الفعالة لنبات الكمون (*Cuminum cyminum* L.). مجلة الأنبار للعلوم الزراعية، مجلد 13(1): 242- 253 ص.
- **الشاطر، محمد سعيد. (2008).** خصوبة وتسميد التربة (الجزء النظري)، منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة الزراعية، سورية.
- **المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية. (2022).** الجمهورية العربية السورية، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، مديرية الإحصاء الزراعي.
- **طرابيشي، زكوان و غريبو، غريبو و عرب، سائد و العساني، محمد و نجاري، نشأت. (2005).** إنتاج المحاصيل الحقلية (الجزء النظري)، منشورات جامعة حلب، كلية الزراعة، سورية، 376 ص.
- **مشنطط، أحمد هيثم وقطاع، أحمد. (2009).** النباتات الطبية والعطرية (الجزء النظري)، منشورات جامعة البعث ، كلية الزراعة، سورية، 277 ص.

B. المراجع الأجنبية:

- **Al-Mafrajee, W. M., Almtarfi, H. I. and AL-Duhami, A. Sh. (2025).** Spraying with organic fertilizer Appetizer and phosphate fertilization, and their effect on some growth characteristics and yield of cumin *Cuminum cyminum L.*, and the accumulation of some active substances. *Blug. J. Agric. Sci., 31*(6), 1070-1078.
- **Bairagi, S.K. (2014).** Effect of different doses of phosphorus and row spacing on the yield and quality of fenugreek (*Trigonellafoenum-graecum* L.) seed. Asian J. Hort, 9(2); 338- 341.
- **Blevian, D.G. (2001).** Increasing the magnesium concentration of tall fescue leaves with phosphorus and boron fertilization. Plant Food Control. Missouri Agricultural Experiment Station, MU College of Agriculture, Food and Natural Resources.

- **Erden, K., A. Ozel, U. Demirel and l. Kosar. (2013).** Changes in yield, yield components and essential oil composition of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under different seed amount and inter row spacing. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 19; 194-201.

- **Girma, A. and Taddesse, M. (2013).** Yield Components, Agronomic and Essential Oil Yields of White Cumin as Affected by varying doses of Nitrogen and Phosphorus. International Journal of Agronomy and Plant Production, Vol 4 (11); 3096-3102.

- **Koohsari, S., M. A. Sheikholeslami, S. Parvardeh, S. Ghafghazi, S. Samadi, Y. K. Poul, R. Pouriran and S. Amiri. (2020).** Antinociceptive and antineuropathic effects of cuminaldehyde, the major constituent of Cuminum cyminum seeds: Possible mechanisms of action. Journal of Ethnopharmacology,255 -278p.

- **Mollafilabi, A., M. Hosseini, H. Shoorideh. and A. Javaheri. (2010).** Influence of seed rate and nitrogen fertilizer on yield, yield components and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Acta Hortic. 853, 139-148.

- **Momoh, E. J. J. and W. Zhou. (2001).** Growth and yield responses to plant density and stage of transplanting in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy and Crop Science, 186; 253-259.

- **Nell, M., V. Marlies, V. Horst, S. Siegri, Z. Karin, F. Chlodwig and N. Johannes (2009).** Effect of phosphorus uptake on growth and secondary metabolites of garden sage *(Salvia officinalis* L.*).* J. Sci. Food. Agric, 89; 1090 – 1096.

- **Peter, K. V. (2001).** Handbook of herbs and spices. Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington, Cambridge, England, Vol. 1; p. 319.

- **Purbey, S.K. and Sen, N.L. (2005).** Response of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) to bio-inoculants and plant bio-regulators. Indian J. Hort, 62(4); 416-418.

- **Sadeghi, B. (1991).** Rates of nitrogen and irrigation on Cumin Production. I.R.O.S.T, Khorasan center.

- **Shakeri, H., S. G. Moosavi. and M. J. Seghatoleslami.(2015).** Cumin yield and some traits as affected by sowing date and seeding level. International Journal of Biosciences. 6(2); 403-410 p.

- **Tuncturk, M., Z. Ekin and D. Turkozu. (2005).** Response of black cumin (*Negella sativa*) to different seed rates growth and yield components and oil components and essential oil content. Journal of Agronomy, 4(3); 216-219.

- **Tuncturk, Ruveyde and Tuncturk, Murat. (2006).** Effects of different phosphorus levels on the yield and quality components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2(6); 336-340 .

مقارنة تأثير التسميد بالزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوي والعادي في بعض الخصائص الكيميائية لتربة مزروعة بالحمص الشتوي

م. يامن الحسن[1] ا.د. عبد الله العيسى [2] د. محمود الحمدان [3]

الملخص:

نُفذت تجربة حقلية في مركز البحوث العلمية الزراعية بمحافظة حمص، خلال موسمي الزراعة (2024 و2025)م بهدف مقارنة تأثير التسميد بالعناصر الصغرى (الزنك، والحديد، والمولبيدنيوم) في صورها النانوية والعادية (التقليدية) في بعض الخصائص الكيميائية للتربة المزروعة بمحصول الحمص الشتوي. صُمِّمت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، بخمس عشرة معاملة وثلاثة مكررات. شملت التسميد المنفرد لكل من الزنك (1 كغ/هـ نانوياً و5 كغ/هـ تقليدياً)، والحديد (1 كغ/هـ نانوياً و5 كغ/هـ تقليدياً)، والمولبيدنيوم (50 مل/هـ نانوياً و200 مل/هـ تقليدياً)، بالإضافة إلى معاملات مشتركة ثنائية Zn+Mo(N)، Zn+Mo(M)، Zn+Fe(N)، Zn+Fe(M)، Fe+Mo(N)، Fe+Mo(M) وثلاثية Zn+Fe+Mo(N)، Zn+Fe+Mo(M) بنصف وثلث الكميات. أظهرت النتائج فروقاً معنوية في معظم المؤشرات المدروسة؛ حيث سجلت المعاملات المحتوية على الحديد خاصة Fe(N) و Fe+Mo(N) و Zn+Fe(M) انخفاضاً معنوياً في درجة حموضة التربة (pH) مقارنة بالشاهد، وفي المقابل لم تُحدث المعاملات تغيرات معنوية في الناقلية الكهربائية ($EC5_5$) ومحتوى كربونات الكالسيوم، كما انخفضت المادة العضوية معنوياً في المعاملات النانوية

المحتوية على الحديد Fe(N) وFe+Mo(N)، أما فيما يخص محتوى التربة من العناصر الصغرى المتاحة المدروسة؛ فقد تفوقت معنوياً كل من المعاملة العادية Zn(M) في إتاحة الزنك (3.5 مغ/كغ)، والمعاملة التقليدية Fe(M) في إتاحة الحديد (5.25 مغ/كغ)، والمعاملة التقليدية Mo(M) في إتاحة المولبيدنيوم (0.125 مغ/كغ)، بينما أظهرت المعاملات النانوية المنفردة كفاءة تحويل أعلى رغم الكميات الأقل. تؤكد الدراسة أن الأسمدة النانوية للحديد والزنك والمولبيدنيوم تمثل بدائل واعدة لتحسين الخصائص الكيميائية للتربة وزيادة إتاحة العناصر الصغرى في الأراضي ذات المحتوى المتوسط للعالي من الكربونات.

الكلمات المفتاحية: تسميد نانوي، تسميد تقليدي، خصائص كيميائية للتربة، عناصر صغرى، زنك، حديد، مولبيدنيوم، حمص شتوي.

1- طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة، جامعة حمص
2- أستاذ في قسم التربة واستصلاح الاراضي، كلية الزراعة، جامعة حمص، سوريا
3- باحث في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، حمص، سوريا

Comparison of the Effect of Nano and Conventional Fertilization with Zinc, Iron, and Molybdenum on Some Chemical Properties of Soil Cultivated with Winter Chickpea

Yamen Al-Hasan [1] Prof. Dr. Abdulla Alissa [2] Dr. Mahmoud Al-Hamdan[3]

Abstract:

The research was conducted under field conditions at the Agricultural Scientific Research Center in Homs Governorate, during the two growing seasons of 2024 and 2025, with the aim of comparing the effect of fertilization with micronutrients (zinc, iron, and molybdenum) in their nano and conventional forms on some chemical properties of soil cultivated with winter chickpea. The experiment was designed according to a randomized complete block design (RCBD) with fifteen treatments and three replications. The treatments included single fertilization of zinc (1 kg/ha nano and 5 kg/ha conventional), iron (1 kg/ha nano and 5 kg/ha conventional), and molybdenum (50 ml/ha nano and 200 ml/ha conventional), in addition to binary combined treatments (Zn+Mo(N), Zn+Mo(M), Zn+Fe(N), Zn+Fe(M), Fe+Mo(N), Fe+Mo(M)) and ternary treatments (Zn+Fe+Mo(N), Zn+Fe+Mo(M)) at half and one-third of the single rates. The results showed significant differences in most of the studied indicators; treatments containing iron, especially Fe(N), Fe+Mo(N) and Zn+Fe(M), recorded a significant decrease in soil pH compared to the control. In contrast, the treatments did not cause significant changes in electrical conductivity (EC) or calcium carbonate content. Soil organic matter also decreased significantly in the nano

treatments containing iron (Fe(N) and Fe+Mo(N)). Regarding the content of available micronutrients in the soil, the conventional treatment Zn(M) was significantly superior in zinc availability (3.5 mg/kg), the conventional treatment Fe(M) in iron availability (5.25 mg/kg), and the conventional treatment Mo(M) in molybdenum availability (0.125 mg/kg). Meanwhile, the single nano treatments showed a higher conversion efficiency despite the lower amounts applied. The study confirms that nano-fertilizers of iron, zinc and molybdenum represent promising alternatives for improving soil chemical properties and increasing the availability of micronutrients in calcareous soils of medium to high carbonate content.

Keywords: Nano-fertilization, Conventional fertilization, Soil chemical properties, Micronutrients, Zinc, Iron, Molybdenum, Winter chickpea.

(1) Graduate Student (PhD), Department of Soil and Land Reclamation, College of Agriculture, Homs University

(2) Professor, Department of Soil and Land Reclamation, College of Agriculture, Homs University, Syria

(3) Researcher at the General Authority for Scientific Agricultural Research, Homs, Syria

1- المقدمة:

تُعد خصوبة التربة وكيميائيتها حجر الزاوية في الإنتاج الزراعي المستدام، حيث تتحكم في توافر العناصر الغذائية للنبات وقدرة التربة على دعم النمو، ومع ذلك أدى الاستخدام المكثف والمستمر للأسمدة الكيماوية الكبرى (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) إلى استنزاف مخزون التربة بالعناصر المغذية الصغرى، مما تسبب في نقصها الواسع في العديد من الأراضي الزراعية حول العالم، وخاصة في الأراضي الكلسية والقلوية (Havlin *et al*, 2017; Alloway, 2008)، ويُعد الحمص (*Cicer arietinum* L.) من المحاصيل البقولية شديدة الحساسية لنقص عناصر الحديد (Fe) والزنك (Zn)، حيث يؤدي نقصها إلى تدهور النمو وانخفاض الإنتاجية والقيمة الغذائية.(Cakmak, 2008; Ahlawat *et al*, 2007) ، وعلى الرغم من أهمية هذه العناصر الصغرى، فإن الأشكال المعدنية التقليدية (العادية) المستخدمة في توفيرها غالباً ما تعاني من انخفاض كفاءة الاستخدام (Hussain *et al*, 2015) ، ويعود السبب الرئيس إلى أن هذه العناصر عند إضافتها للتربة في صورتها التقليدية، تتعرض بسرعة لعمليات التثبيت (fixation) الفيزيوكيميائية؛ حيث تمتز على أسطح غرويات الطين والمادة العضوية، أو تترسب على شكل كربونات (خاصة في الأراضي الكلسية)، أو فوسفات، أو أكاسيد وهيدروكسيدات غير ذائبة (Havlin *et al*, 2017; Alloway, 2008)، وقد أشار Mortvedt and Gilkes, (1993) إلى أن كبريتات الزنك التقليدية سريعة الذوبان ولكنها تتحول بسرعة إلى أشكال غير متاحة في الترب الكلسية، كما أوضحت دراسة (Lucena, 2006) أن فعالية شيلات الحديد تعتمد بشكل كبير على ثباتية المخلب في التربة، والتي قد تختلف باختلاف درجة الـ pH ومحتوى التربة من الكالسيوم، وتجدر الإشارة إلى أن ارتفاع درجة حموضة التربة (pH) في الأراضي الكلسية يقلل بشكل كبير من ذوبانية الحديد والزنك، مما يحد

من توافرهما للنبات والميكروبات، ويُعد المولبيدنيوم (Mo) استثناءً في هذا السياق، حيث يزداد توافره في التربة مع ارتفاع pH، بينما ينخفض في الأوساط الحمضية (Sims, 2000؛ عودة وشمشم، 2008) ، وهذا التفاوت في سلوك العناصر الصغرى في التربة الكلسية يجعل إدارتها تسميدياً أكثر تعقيداً، ويدفع نحو البحث عن صيغ سمادية أكثر كفاءة.

في ظل هذه المعوقات، برزت تقانة النانو كحل واعد يهدف إلى رفع كفاءة استخدام العناصر الغذائية وتقليل الفاقد البيئي (Liu and Lal, 2015; DeRosa *et al*., 2010)، حيث تعتمد فعالية الأسمدة النانوية على المبدأ الأساسي المتمثل في الزيادة الكبيرة في نسبة المساحة السطحية إلى الحجم عند تصنيع المواد على مقياس النانو (أقل من 100 نانومتر)، مما يعزز بشكل مباشر قابلية الذوبان، كما يتيح إمكانية تصميم أنظمة إطلاق متحكم أو مستدام للمغذيات (Pradhan and Mailapalli, 2017; Ghormade *et al*., 2011) ، وقد أظهرت العديد من الدراسات تحسناً ملحوظاً في توافر العناصر الصغرى عند استخدام صورها النانوية مقارنة بنظيراتها العادية بالنسبة لعنصر الزنك، وجد (Sheoran *et al*, 2021) أن استخدام أكسيد الزنك النانوي (ZnO NPs) حسّن كفاءة امتصاص النبات للزنك وقلل من رشحه من التربة، كما أشار (Dimkpa *et al*, 2015) إلى أن الجسيمات النانوية للزنك حسّنت إنتاج بوليمرات خارج خلوية زادت من قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة، أما بالنسبة للحديد، فقد بيّنت دراسات (Sharipova *et al*, 2020; He *et al*, 2016) أن جسيمات الحديد النانوية زادت من ذوبانية الحديد وتوافره في الترب القلوية، كما ساهمت في تحفيز بعض العمليات الحيوية المرتبطة بدورة العناصر، وفي سياق المولبيدنيوم، أظهرت دراسة (Taran *et al*, 2014) أن معاملة بذور الحمص بمعلق غروي من جسيمات المولبيدنيوم النانوية أدت إلى تحسين النشاط الميكروبي في منطقة الجذور، بينما أكدت دراسة (Ayi *et al*, 2015) أن الجسيمات النانوية للمولبيدنيوم المحضرة كيميائياً تمتاز بمساحة سطحية عالية تعزز ذوبانيتها،

ومع ذلك حذّرت دراسات أخرى من أن تأثيرات الأسمدة النانوية تعتمد بشكل كبير على الجرعة، وحجم الجسيمات، وخصائص التربة، وقد تؤدي بعض التركيزات العالية إلى تأثيرات سلبية على الكائنات الحية الدقيقة أو تغيرات غير مرغوبة في كيمياء التربة (Kalwani *et al*, 2022; Rajput *et al*, 2018)، رغم هذه النتائج الواعدة، لا تزال هناك فجوة بحثية واضحة فيما يخص التأثير المباشر للأسمدة النانوية للزنك والحديد والمولبيدنيوم – منفردةً أو مشتركةً - على بعض الخصائص الكيميائية للتربة (مثل: pH، المادة العضوية، كربونات الكالسيوم، وتوافر هذه العناصر أنفسها) في نظم زراعية حقلية تحت ظروف محلية محددة، وبخاصة في محصول الحمص الشتوي الذي يتحمل الجفاف نسبياً وينتشر في المناطق شبه الجافة (Pegoraro *et al*, 2018)، وتأتي أهمية هذه الدراسة نظراً لندرة الدراسات التي قارنت بين الصورتين النانوية والعادية لهذه العناصر في التربة ذات المحتوى المتوسط إلى العالي من الكربونات الكلية المزروعة بالحمص.

2- **هدف البحث:** مقارنة تأثير التسميد بالزنك والحديد والمولبيدنيوم في صورها النانوية والعادية، منفردة أو مجتمعة، في بعض الخصائص الكيميائية للتربة المزروعة بمحصول الحمص الشتوي وذلك خلال موسمين زراعيين متتاليين 2024-2025، وتحديد المعاملات الأكثر فعالية في تحسين توافر هذه العناصر، بما يسهم في تطوير برامج تسميدية دقيقة ومستدامة لهذا المحصول في الأراضي شبه الجافة ذات المحتوى المتوسط إلى العالي من الكربونات.

3- مواد وطرائق البحث: نُفِّذ البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية الواقع على بعد 5 كم شمال مدينة حمص (إحداثيات: 34.42° شمالاً، 36.43° شرقاً، وارتفاع 482 م فوق مستوى سطح البحر). يقع المركز ضمن المنطقة الأولى للاستقرار المطري، بمتوسط هطول سنوي يبلغ 439 ملم وذلك حسب بيانات محطة الأرصاد الجوية في حمص لعام (2023-

2024)، تميزت تربة موقع التجربة بأنها تربة حمراء طينية متعادلة التفاعل، غير مالحة، محتواها كاف من المادة العضوية، ومتوسطة المحتوى من الكربونات الكلية، وفقيرة في عناصر الزنك والحديد والمولبيدنيوم (جدول 1).

الجدول(1): تحليل بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة الموقع المدروس المأخوذة من عمق (0-30 سم)

الخاصية	2024	2025
رمل %	32	27
سلت %	21	22
طين%	47	51
pH 1:2.5	7.20	7.35
EC_{5_5} dS/ m	0.38	0.43
المادة العضوية %	1.55	1.27
كربونات الكالسيوم %	12	14
الزنك المتاح مغ/ كغ	1.1	1
الحديد المتاح مغ/ كغ	3.6	3.2
المولبيدنيوم المتاح مغ/ كغ	0.07	0.05
الآزوت الكلي %	0.18	0.13
الفوسفور المتاح مغ/ كغ	7	9
البوتاسيوم المتاح مغ/ كغ	211	195

تمت زراعة بذور الحمص المحلي صنف "غاب 5" (*Cicer arietinum* L.) في الموسم الأول في 7 من شهر كانون الثاني 2024 م، وتم الحصاد في 16 من شهر أيار 2024 م، كما

تمت زراعة الموسم الثاني في 10 من شهر كانون الثاني 2025 م، وتم الحصاد في 21 من شهر أيار 2025 م، وتجدر الإشارة إلى أن التجربة الحقلية نُفذت في موسمين زراعيين متتاليين (2024، و2025) في مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص، وتم اختيار قطعة أرض أخرى ضمن موقع التجربة نفسه لتطبيق معاملات الموسم الثاني، وليس القطعة ذاتها التي استُخدمت في الموسم الأول، وقد أخذ بالحسبان أن تكون القطعة الجديدة قريبة في خصائصها العامة مع سابقتها، وأضيفت الأسمدة الأرضية الأساسية N, P, K وفق التوصية السمادية المعتمدة خلال تجهيز الأرض قبل الزراعة، و تم تسوية التربة آلياً وفتح خطوط الزراعة، حيث قُسمت أرض التجربة إلى وحدات تجريبية بأبعاد 6x4=24 م^2 بحيث ضمت كل وحدة تجريبية خمسة خطوط بطول 6 م ومسافة بين الخط والآخر 50 سم وبين النبات والأخر 10 سم، وتُركت مسافة 2 م بين القطع التجريبية والمعاملات كممرات خدمة، وكان معدل البذار 90 كغ/هـ، حيث تم وضع البذار يدوياً ضمن حفر بمعدل 1–2 بذرة على مسافة 5–10 بين البذرة والأخرى، ثم فُرّدت النباتات إلى نبات واحد في كل جورة وذلك بعد أسبوعين من الزراعة وطُبق الري التكميلي عند الحاجة مع تجنب الإجهاد المائي، وتم تقديم كافة عمليات الخدمة (تفريد – تعشيب – ري – تسميد – مكافحة....) في مواعيدها وحسب الحاجة.

نظراً لأن محصول الحمص (*Cicer arietinum* L.) المُستَخدم في هذه الدراسة هو محصول شتوي بعلي، فإنه يعتمد اعتماداً رئيساً على مياه الأمطار الموسمية، ولذلك لم يتم اتّباع جدول ري محدد مسبقاً، بل طُبق الري التكميلي عند الحاجة فقط، بالاعتماد على المشاهدة الحقلية الميدانية والكشف الحسي (اللمس) لتقدير محتوى الرطوبة في التربة، وعند انحباس الأمطار وامتداد فترات الجفاف لفترات طويلة، حيث تم أخذ عينات من التربة لتحديد محتواها الرطوبي بدقة، والري عند محتوى رطوبي 80% من السعة الحقلية وإيصال كمية المياه الري إلى 100% من السعة الحقلية، مع الحرص على تجنب فترات الإجهاد المائي الحرج، خاصة خلال

مرحلتي التزهير والعقد، حيث نفذت في هذه التجربة وفي الموسم الثاني فقط 3 ريات إضافية: الأولى بعد شهر من الزراعة، والثانية قبل الإزهار، والثالثة عند مرحلة العقد وذلك نظراً لقلة وتأخر هطول الأمطار، إذ بلغ 158 مم في الموسم الثاني 2025 مقابل 433 مم في الموسم الأول 2024، وذلك خلال موسم نمو محصول الحمص الشتوي المستخدم في هذه التجربة من شهر كانون الثاني لشهر أيار(محطة الأرصاد الجوية السورية، 2025)، وكانت مياه الري غير مالحة وذات درجة حموضة متعادلة إلى حمضية خفيفة، تتراوح بين 6.78 و7.2، بمقدار 400 لتر/ قطعة تجريبية واحدة (بمساحة 24 م^2).

تم الحصول على أسمدة الزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوي من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية في حمص، حيث تم تحضير أسمدة الحديد والزنك النانوي بشكل فيزيائي عن طريق الطحن من أسمدة شيلات الحديدي EDDHA (13%) وأوكسيد الزنك ZnO (80%) في مطاحن خاصة بمخابر هيئة الطاقة الذرية السورية تلاها الغربلة عبر مناخل نانوية ذات فتحات بقطر $\leq$ 100 نانومتر، مما يضمن أن غالبية الجسيمات تقع ضمن المدى الحجمي المطلوب للتطبيقات النانوية (Suryanarayana, 2001)، أما المولبيدنيوم النانوي فحُضّر بطريقة الاختزال الكيميائي في سوائل أيونية، بالاعتماد على الطريقة المطورة من قبل (Ayi *et al*, 2015)، حيث تم استخدام موليبدات الأمونيوم بتركيز $(NH_4)_6Mo_7O_{24}4H_2O$ (54%) كمصدر للموليبدينوم، وبورهيدريد الصوديوم ($NaBH_4$) كمادة مختزلة، في وسط من السائل الأيوني [Emim][ES] عند درجة حرارة 180°م.

استُخدمت الأسمدة التقليدية (العادية) التالية: كبريتات زنك (22%) من شركة الرافدين، وشيلات الحديد (13%) من شركة Max Grow ، ومولبيدات الأمونيوم (54%) من شركة Srichem. طُبقت المعاملات السمادية المفردة بمعدلات: 5 كغ/هـ لكبريتات الزنك، 5 كغ/هـ

لشيلات الحديد، و200 مل/هـ لمولبيدات الأمونيوم، واعتُمدت هذه الجرعات استناداً للتوصية السمادية الحقلية المُثلى المعتمدة من مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص لمحصول الحمص الشتوي، والتي تتفق مع ما ورد في الدراسات العامة لمحاصيل البقول في الأراضي الكلسية (Alloway, 2008; Havlin *et al*., 2017)، وفي المقابل خُفّضت الجرعات النانوية للعناصر المدروسة (1 كغ/ هـ للزنك والحديد بشكل منفرد، و50 مل/ هـ للمولبيدنيوم بشكل منفرد) إلى ما يعادل خمس أو ربع الجرعات التقليدية، وذلك تماشياً مع المبدأ الأساسي لتقانة الأسمدة النانوية، الذي يبيّن إمكانية خفض كميات العنصر المضافة إلى 1/5− 1/10 من الجرعة التقليدية مع الاحتفاظ بكفاءة امتصاص عالية (DeRosa *et al*., 2010; Liu and Lal, 2015)، وقد أُخذ في الحسبان عند اعتماد نسبة 1:5 للحديد والزنك، و1:4 للمولبيدنيوم، أن الإضافة تمت أرضياً وليس ورقياً، وبما أن فعالية الأسمدة النانوية في التربة تعتمد على تحررها المنظم والمستدام، فإن تركيز الأيونات المتحررة منها في المحلول الأرضي يكون اقل دفعةً واحدة مقارنة بالذوبان الفوري للأسمدة التقليدية، وهذا يتطلب جرعة أرضية ابتدائية لا تقل عن 1:5 لضمان توفرها المستمر طوال الموسم، أما بالنسبة للمولبيدنيوم تحديداً، فالجرعة الحقلية التقليدية الموصى بها صغيرة أصلاً 200 مل/ هـ نظراً لمحدودية احتياج النبات لهذا العنصر، وكان خفضها إلى ما دون 50 مل/ هـ سيُنتج كمية سائلة أدنى من حد التطبيق العملي المتجانس على القطع التجريبية، لذلك اعتمدت 50 مل/ هـ كجرعة دنيا دقيقة وقابلة للتوزيع الحقلي المتساوي، مع بقائها ضمن إطار المقارنة الاقتصادية للصيغة النانوية، ولم يُقصد من هذه النسب فرض ثابت عددي، بل اختُبرت الجرعة التقليدية الكاملة في مقابل جرعة نانوية مُختزلة اقتصادياً لتقييم كفاءة الصيغة النانوية. أُضيفت المعاملات على مرحلتين: الأولى بعد شهر من الزراعة، والثانية قبيل مرحلة الإزهار. حُضِرَت المحاليل بإذابة العناصر النانوية والعادية (الزنك والحديد والموليبدينوم) في كمية مناسبة من الماء، ووزِّعت بشكل متجانس على

جميع الوحدات التجريبية، ثم اتبعت بعملية ري سطحي اعتيادية، كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2): معاملات البحث المدروسة

الشكل المضاف	المعاملة السمادية	كمية الإضافة الأرضية	رمز المعاملة
الشكل النانوي	شاهد بدون إضافة	–	C
	سماد الزنك	Zn (1 Kg/h)	Zn(N)
	سماد الحديد	Fe(1 Kg/h)	Fe(N)
	سماد المولبيدنيوم	Mo(50 ml/h)	Mo(N)
	سماد الزنك مع سماد المولبيدنيوم	Zn(0.5Kg/h)+Mo(25ml/h)	Zn+Mo(N)
	سماد الحديد مع سماد المولبيدنيوم	Fe(0.5Kg/h) +Mo(25 ml/h)	Fe+Mo(N)
	سماد الزنك مع سماد الحديد	Zn (0.5 Kg/h)+ Fe(0.5 Kg/h)	Zn+Fe(N)
	سماد الزنك والحديد والمولبيدنيوم معاً	Zn (0.33 Kg/h)+ Fe(0.33 Kg/h)+ Mo(16.6 ml/h)	Zn+Mo+Fe (N)
الشكل العادي	سماد الزنك	Zn (5 Kg/h)	Zn(M)
	سماد الحديد	Fe(5 Kg/h)	Fe(M)
	سماد المولبيدنيوم	Mo(200 ml/h)	Mo(M)
	سماد الزنك مع سماد	Zn (2.5 Kg/h)+ Mo (100	Zn+Mo(M)

	المولبيدنيوم	ml/h)	
	سماد الحديد مع سماد المولبيدنيوم	Fe(2.5 Kg/h) + Mo(100 ml/h)	Fe+Mo(M)
	سماد الزنك مع سماد الحديد	Zn (2.5 Kg/h)+ Fe(2.5 Kg/h)	Zn+Fe(M)
	سماد الزنك والحديد والمولبيدنيوم معاً	Zn (1.66 Kg/h)+ Fe(1.66 Kg/h)+ Mo(66.6 ml/h)	Zn+Mo+Fe (M)

تم تصميم التجربة حسب القطاعات العشوائية الكاملة، وبثلاث مكررات للمعاملة الواحدة، مساحة القطعة التجريبية 24 م2، وتم تحليل نتائج البحث باستعمال برنامج SPSS v20 وذلك لحساب أقل فرق معنوي بين متوسطات معاملات التجربة كافة L.S.D عند مستوى 5% ، وأيضاً تم حساب $LSD_{N\ 0.05}$ ما بين متوسطات المعاملات النانوية والشاهد، و $LSD_{M\ 0.05}$ ما بين متوسطات المعاملات العادية والشاهد.

3-1- التحاليل المنفذة على التربة:

أجريت التحاليل الكيميائية وفقاً للطرق القياسية (عودة وشمشم، 2008)، فُقدِرَ الرقم الهيدروجيني pH التربة باستخدام جهاز pH meter في معلق تربة: ماء بنسبة 1:2.5 (Maclean,1982)، وقُدِّرت الناقلية الكهربائية EC_5 باستخدام جهاز قياس الناقلية الكهربائية conductivity-meter في مستخلص مائي للتربة 1:5 (Baruah,1997)، وقُدّرت الكربونات الكلية بالمعايرة الحجمية (طريقة القياس بالمعايرة) (RichardS,1954)، كما قُدّرت المادة العضوية بطريقة الأكسدة الرطبة باستخدام ثنائي كرومات البوتاسيوم في وسط حمضي (Walkley and Black,1934)، وتم تحديد محتوى التربة من العناصر الصغرى (الزنك

والحديد والموليبدينوم) بطريقة مطيافية الامتصاص الذري (Atomic Absorption SpEC5trometry) بعد هضم العينات وفق الإجراء القياسي (Page *et al*., 1982).

4- النتائج والمناقشة:

4-1- درجة تفاعل التربة pH و الناقلية الكهربائية للتربة EC_5 :

تبيّن عند دراسة تأثير إضافة الزنك والحديد والموليبدنيوم النانوي على درجة تفاعل التربة pH الجدول (3) انخفاض pH التربة بشكل معنوي في بعض المعاملات النانوية مقارنة مع الشاهد حسب الموسمين الأول والثاني.

الجدول (3): تأثير استخدام التسميد النانوي والعادي للزنك والحديد والموليبدنيوم في قيم pH وEC_5

EC_5 (dS/m)			pH (1:2.5)			الصفة الخصوبية
المتوسط	2025	2024	المتوسط	2025	2024	الموسم / المعاملات
0.38^{a}	0.40	0.36	7.23^{a}	7.32	7.13	c
0.43^{a}	0.45	0.40	7.22^{ab}	7.33	7.11	Zn(N)
0.43^{a}	0.46	0.39	7.10^{e}	7.16	7.04	Fe(N)
0.40^{a}	0.42	0.37	7.11^{de}	7.19	7.02	Mo(N)
0.43^{a}	0.46	0.40	7.19^{abc}	7.26	7.11	Zn+Fe(N)

0.42^{a}	0.44	0.39	7.19^{abc}	7.28	7.10	Zn+Mo(N)
0.42^{a}	0.45	0.38	7.05^{f}	7.09	7.01	Fe+Mo(N)
0.46^{a}	0.48	0.43	7.16^{c}	7.22	7.09	Zn+Fe+Mo(N)
0.067	0.088	0.071	0.051	0.065	0.059	$LSD_{N\ 0.05}$
0.45^{a}	0.47	0.42	7.20^{abc}	7.27	7.12	Zn(M)
0.41^{a}	0.44	0.38	7.16^{c}	7.26	7.06	Fe(M)
0.43^{a}	0.45	0.41	7.19^{abc}	7.28	7.10	Mo(M)
0.43^{a}	0.44	0.42	7.10^{e}	7.18	7.01	Zn+Fe(M)
0.45^{a}	0.47	0.43	7.21^{ab}	7.31	7.11	Zn+Mo(M)
0.43^{a}	0.45	0.40	7.21^{ab}	7.29	7.12	Fe+Mo(M)
0.47^{a}	0.49	0.44	7.15^{cd}	7.24	7.05	Zn+Fe+Mo(M)
0.093	0.12	0.10	0.050	0.058	0.062	$LSD_{M\ 0.05}$
0.059	0.075	0.064	0.049	0.060	0.058	$LSD_{\ 0.05}$

* يدل الترتيب الأبجدي للحروف على المعنوية بين المعاملات وعندما تتشابه حروف لا يوجد معنوية

حيث سجلت معاملة Fe+Mo(N) أقل قيمة لـ pH ما بين المعاملات المدروسة في الموسمين الأول والثاني (7.01، 7.09) على الترتيب، ومتفوقةً معنوياً على الشاهد الذي بلغ (7.13، 7.32)، كما انخفضت قيم pH معنوياً في معاملة Fe(N) المنفردة لتبلغ (7.04، 7.16)، وفي معاملة Mo(N) المنفردة لتبلغ (7.02، 7.19) مقارنة بالشاهد في الموسمين

الأول والثاني على الترتيب، وفي المقابل لم تختلف معاملة Zn(N) المنفردة معنوياً عن الشاهد، مسجلةً قيم لمؤشر pH للتربة (7.11، 7.33) عند كلا الموسمين، أما بالنسبة للمعاملات المشتركة الأخرى، فلم يلاحظ فروق معنوية بين الشاهد والمعاملتين Zn+Fe(N) وZn+Mo(N). في حين أظهرت المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) انخفاضاً معنوياً في pH التربة عن الشاهد إذ بلغت (7.09، 7.22) في الموسمين الأول والثاني على التوالي، وفيما يخص بالنسبة للمعاملات العادية للعناصر (الزنك، والحديد، والمولبيدنيوم) الجدول(3)؛ فقد أظهرت النتائج تبايناً في تأثيرها على pH التربة، حيث تفوقت معنوياً معاملة Zn+Fe(M) في خفض pH التربة مقارنة بالشاهد مسجلةً أقل القيم بين المعاملات العادية المدروسة، إذ بلغت (7.01، 7.18) في كلا الموسمين الأول والثاني على الترتيب، تلتها في الانخفاض المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(M) محققة قيم pH (7.05، 7.24) وبانخفاض معنوي عن الشاهد، أما عند استخدام المعاملات المنفردة العادية فقد لوحظ انخفاض معنوي في درجة pH التربة عند المعاملة المنفردة للحديد Fe(M) مقارنة بالشاهد حيث بلغت (7.06، 7.26) عند كلا الموسمين على التوالي، في حين لم تختلف معنوياً عن الشاهد كل من المعاملتين المنفردتين Zn(M) و Mo(M)، أما فيما يخص المعاملات المشتركة الثنائية الأخرى Zn+Mo(M) و Fe+Mo(M) أيضاً لم يلحظ وجود فروق معنوية إحصائية مع الشاهد وفق الموسمين الأول والثاني.

يمكن تفسير الانخفاض المعنوي في قيم pH التربة في المعاملات النانوية المحتوية على الحديد (مثل: Fe(N) و Fe+Mo(N)) أو العادية (التقليدية) (مثل: Fe(M) و Zn+Fe(M)) بالاستناد إلى كيمياء التحلل المائي لأيونات الحديد، فعند تحرر أيونات الحديد من مصادرها المختلفة (سواء نانوية أو عادية) في التربة، فإنها – خاصة في الصورة الثلاثية Fe^{3+} السائدة في الظروف المؤكسدة – تخضع لتفاعلات حلمهة قوية تُنتج أيونات H^{+} ، وذلك لانخفاض ثابت

حلمهتها ($pK_a \approx 2.2 < ½\ pK_w$) ، مما يؤدي إلى خفض pH التربة – حيث أن pK_a هو اللوغاريتم السالب لثابت الحلمهة، و pK_w هو اللوغاريتم السالب لحاصل ضرب أيونات الماء (ويساوي 14 عند 25°C). (Stumm and Morgan, 1996; Havlin *et al*., 2017)

في المقابل، فإن عدم وجود انخفاض معنوي في معاملات الزنك النانوي والعادي المنفرد يُعزى إلى ضعف ميل أيونات Zn^{2+} للتحلل المائي ($pK_a \approx 9.0$)، وسرعة امتزازها على غرويات التربة وكربونات الكالسيوم (Alloway, 2008; Stumm and Morgan, 1996)، وتجدر الإشارة إلى أن هذا الانخفاض في pH قد يكون مدعوماً أيضاً بتنشيط غير مباشر لعمليات بيولوجية في التربة تؤدي إلى إفراز أحماض عضوية، خاصة مع وجود المولبيدنيوم الذي قد يعزز هذه التفاعلات أو يؤثر في النشاط البيولوجي دون أن يكون له حلمهة ذاتية.

عند المقارنة بين نمطي التسميد (النانوي والعادي) حسب متوسط الموسمين في درجة تفاعل التربة pH، يتبين أن الصيغ النانوية كانت أكثر فعالية في خفض pH التربة مقارنة بنظيراتها العادية، خاصة في المعاملات التي جمعت الحديد والمولبيدنيوم، فالمعاملة النانوية Fe+Mo(N) سجلت أقل قيمة لـ pH بمقدار 7.05، متفوقةً معنوياً على نظيرتها العادية Fe+Mo(M) التي بلغت 7.21، ويعود هذا التفوق إلى قدرة الجسيمات النانوية على التحرر المنظم والمستدام للعناصر (Pradhan and Mailapalli, 2017)، مما يضمن بقاء أيونات الحديد في المحلول الأرضي لفترات أطول، وبالتالي استمرار تفاعلات الحلمهة المنتجة لأيونات H^+ بشكل تدريجي ومستمر، متفوقة بذلك على التحرر السريع ولكن قصير الأمد للمصادر العادية (التقليدية) في المقابل، كانت المعاملة العادية Zn+Fe(M) الأكثر فعالية في خفض pH بين المعاملات العادية إذ بلغ pH التربة عند هذه المعاملة 7.10 متفوقةً على نظيرتها النانوية Zn+Fe(N) التي بلغت 7.19، ويعزى ذلك إلى التحرر السريع والمباشر للعناصر من المصادر العادية (التقليدية) (شيلات الحديد وكبريتات الزنك) مما يوفر ربما دفعة فورية عالية التركيز من أيونات

الحديد في المحلول الأرضي، وبالتالي يحدث تحلل مائي يخفض pH بشكل أسرع في المدى القصير، أما في الصيغة النانوية(Zn+Fe(N ، فإن التحرر المنظم والمستدام قد يكون أقل فعالية بسبب التنافس بين أيونات الزنك والحديد على مواقع الامتزاز على أسطح غرويات التربة وكربونات الكالسيوم، مما يحد من تركيز الحديد الفعال في المحلول ويقلل من فرص حدوث الحلمهة (Alloway, 2008; Havlin *et al*., 2017).

أظهرت النتائج في الجدول(3) تأثيراً غير معنوي لكافة معاملات التسميد النانوي والعادية لعناصر الزنك والحديد والمولبيدنيوم على الناقلية الكهربائية للتربة (EC_5)؛ ففي المعاملات النانوية سجلت المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) أعلى قيمة لـ EC_5 في كلا الموسمين (0.43، 0.48 dS/m) على الترتيب، متفوقةً بشكل غير معنوي على الشاهد الذي بلغ (0.36، 0.40 dS/m)، كما ارتفعت بشكل غير معنوي مقارنة بالشاهد قيم EC_5 في المعاملات المنفردة لكل من Zn(N) (0.40، 0.45 dS/m)، ومعاملة Fe(N) (0.39، 0.46 dS/m) في كلا الموسمين الأول والثاني على الترتيب، أما فيما يخص المعاملات الثنائية Zn+Fe(N) و Zn+Mo(N)، وFe+Mo(N)، فقد سجل زيادة غير معنوية في قيم EC_5 مقارنة بالشاهد تراوحت في الموسم الأول ما بين 0.38 لـ 0.40 dS/m ، وما بين 0.44 لـ 0.46 dS/m في الموسم الثاني. في المقابل، سجلت المعاملة المنفردة للمولبيدنيوم Mo(N) أقل قيمة لـ EC_5 بين المعاملات النانوية إذ بلغت (0.37، 0.42 dS/m) وفق الموسمين الأول والثاني على التوالي ولم تختلف معنوياً عن الشاهد، أما عند اضافة أسمدة الحديد والزنك والمولبيدنيوم بشكل غير نانوي الجدول (3)، فقد أحرزت المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(M) أعلى قيمة لـ EC_5 في كلا الموسمين (0.44، 0.49 dS/m) على الترتيب، وقد تفوقت بشكل غير معنوي على الشاهد الذي بلغ (0.36، 0.40 dS/m)، كما ارتفعت بشكل غير معنوي مقارنة بالشاهد قيم EC_5 في معاملة Zn+Mo(M) إذ بلغت (0.43، 0.47 dS/m) ، وفي المعاملات الثنائية الأخرى

Zn+Fe(M) و Fe+Mo(M) لم يلحظ وجود فروق معنوية بينها وبين الشاهد، أما بالنسبة للمعاملات المنفردة، فقد تبين وجود زيادة غير معنوية عن الشاهد في قيم EC_5 عند المعاملات Zn(M), Fe(M), Mo(M) وفي كلا الموسمين الأول والثاني.

يُعزى عدم وجود فروق معنوية في قيم EC_5 بين جميع المعاملات والشاهد إلى أن الكميات القليلة المضافة من العناصر الصغرى، غير كافية لإحداث تغيير يُذكر في الملوحة الكلية للتربة (Havlin *et al*., 2017)، علاوة على سرعة امتزاز الأيونات المتحررة (مثل: Zn^{+2}, Fe^{+3}, Fe^{+2} MoO_4^{-2}) على أسطح غرويات التربة، مما يخرجها من المحلول الحر (Stumm and Morgan, 1996)، والقدرة التنظيمية العالية للتربة بفعل كربونات الكالسيوم، والتي تحافظ على القوة الأيونية ضمن نطاق ضيق (Essington, 2015) وبالتالي، فإن آليات الامتزاز والتبادل الأيوني تسهم في منع تراكم الأيونات، في حين أن الزيادات غير المعنوية في قيم EC_5 يمكن أن تعود إلى النشاط الميكروبي المصحوب بإفراز أحماض عضوية و أيونات، وليس إلى تراكم الأملاح المضافة مباشرة، وبشكل عام لم تؤدِ المعاملات المدروسة إلى أي تراكم ملحي، مما يؤكد صلاحيتها للاستخدام دون تأثير سلبي على كيمياء التربة.

عند المقارنة ببين الصيغ النانوية والعادية حسب متوسط الموسمين، فلم تظهر فروق معنوية واضحة بين النمطين، حيث تراوحت القيم في كليهما بين 0.38 و0.47 dS/m، وسجلت أعلى القيم 0.46 dS/m في كل من المعاملة النانوية الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) و 0.47 dS/m في المعاملة العادية الثلاثية Zn+Fe+Mo(M) ويشير هذا التقارب إلى أن كلا النمطين لم يسببا زيادة في ملوحة التربة.

5-2-2- المادة العضوية وكربونات الكالسيوم :

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي لتأثير التسميد النانوي بالزنك والحديد والمولبيدنيوم في المادة العضوية للتربة والموضحة في الجدول (4) انخفاض قيمها بشكل معنوي في بعض المعاملات النانوية مقارنة بالشاهد حسب الموسمين الأول والثاني.

الجدول (4) : تأثير التسميد النانوي والعادي للزنك والحديد والمولبيدنيوم في محتوى التربة من المادة العضوية وكربونات الكالسيوم.

الصفة الخصوبية	المادة العضوية %			كربونات الكالسيوم %		
الموسم / المعاملات	2024	2025	المتوسط	2024	2025	المتوسط
c	1.50	1.24	1.37^{abc}	11.40	13.82	12.61^{ab}
Zn(N)	1.52	1.25	1.39^{a}	11.51	13.88	12.70^{a}
Fe(N)	1.40	1.15	1.28^{ef}	11.17	13.65	12.41^{ab}
Mo(N)	1.42	1.18	1.30^{de}	11.26	13.76	12.51^{ab}
Zn+Fe(N)	1.49	1.26	1.38^{ab}	11.22	13.70	12.46^{ab}
Zn+Mo(N)	1.48	1.23	1.36^{abcd}	11.47	13.85	12.66^{a}
Fe+Mo(N)	1.34	1.11	1.23^{f}	11.02	13.51	12.27^{b}
Zn+Fe+Mo(N)	1.44	1.20	1.32^{bde}	11.10	13.62	12.36^{ab}
LSDN 0.05	0.082	0.076	0.068	0.41	0.33	0.35
Zn(M)	1.49	1.24	1.37^{abc}	11.24	13.62	12.43^{ab}
Fe(M)	1.47	1.21	1.34^{abcde}	11.36	13.80	12.58^{ab}
Mo(M)	1.45	1.20	1.33^{abcde}	11.31	13.76	12.54^{ab}
Zn+Fe(M)	1.43	1.19	1.31^{cde}	11.05	13.55	12.30^{b}

12.35^{ab}	13.58	11.12	1.37^{abc}	1.25	1.48	**Zn+Mo(M)**
12.50^{ab}	13.72	11.27	1.34^{abcde}	1.22	1.46	**Fe+Mo(M)**
12.39^{ab}	13.60	11.17	1.37^{abc}	1.23	1.50	**Zn+Fe+Mo(M)**
0.41	0.38	0.46	0.068	0.075	0.094	**LSDM 0.05**
0.35	0.34	0.42	0.066	0.075	0.086	**LSD 0.05**

*الترتيب الأبجدي للحروف على المعنوية بين المعاملات وعندما تتشابه حروف لا يوجد معنوية

حيث سجلت معاملة Fe+Mo(N) أقل قيمة للمادة العضوية في الموسمين الأول والثاني (1.34، 1.11)% على الترتيب، إذ انخفضت معنوياً مقارنة مع الشاهد الذي بلغ (1.50، 1.24)% عند كلا الموسمين، تلتها انخفاضاً المعاملة المنفردة Fe(N) مع عدم وجود فرق معنوي بينها وبين المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) ، لكن المعاملة المنفردة Fe(N) انخفضت بشكل معنوي مقارنةً بالشاهد لتبلغ (1.40، 1.15)% حسب الموسمين الأول والثاني على التوالي، وفي المعاملة المنفردة Mo(N) انخفض محتوى التربة من المادة العضوية وبلغ (1.42، 1.18)% دون وجود فرق معنوي مع الشاهد في الموسمين الأول والثاني على الترتيب، ولم يلحظ وجود فروق معنوية عن الشاهد وفق الموسمين الأول والثاني بالنسبة لمعاملة Zn(N).

أما عند استخدام المعاملات المشتركة Zn+Fe(N) و Zn+Mo(N) و Zn+Fe+Mo(N)، فلم يسجل وجود فروق معنوية فيما بينها من جانب أو بينها وبين الشاهد في محتوى التربة من المادة العضوية من جانب آخر، حيث تراوحت قيمها في الموسم الأول (1.49، 1.48، 1.44)% على التوالي، وفي الموسم الثاني وصلت إلى (1.26، 1.23، 1.20)% على الترتيب.

من جهة أخرى، وعند الانتقال لتأثير استخدام التسميد العادي لـ (الزنك، والحديد، والمولبيدنيوم) الجدول (4)، فقد أظهرت النتائج عدم وجود فروق معنوية في جميع المعاملات مقارنة بالشاهد،

حيث تراوحت قيم المادة العضوية في المعاملات العادية المنفردة والمشتركة بين (1.43–1.50)% في الموسم الأول و (1.19–1.25)% في الموسم الثاني؛ ففي المعاملات المنفردة، سجلت المعاملات Fe(M) و Mo(M)، و Zn(M)، تغيرات غير معنوية مقارنة بالشاهد لمحتوى التربة من المادة العضوية في الموسم الأول (1.47، 1.45، 1.49)% على الترتيب، وفي الموسم الثاني بلغت القيم (1.21، 1.20، 1.24)% على التوالي وهي أيضاً غير مختلفة معنوياً فيما بينها، كما لم يكن بين المعاملات المشتركة الثنائية والثلاثية Zn+Fe(M) وZn+Mo(M) وFe+Mo(M) و Zn+Fe+Mo(M) اختلافات معنوية مع الشاهد أو فيما بينها؛ حيث بلغ محتوى التربة من المادة العضوية في الموسم الأول حسب المعاملات المشتركة السابقة (1.43، 1.48، 1.46، 1.50)% على الترتيب، وفي الموسم الثاني (1.19، 1.25، 1.22، 1.23)%.

يمكن تفسير الانخفاض المعنوي في محتوى المادة العضوية في المعاملات النانوية المحتوية على الحديد (مثل Fe+Mo(N) و Fe(N)) من خلال آليات تحفيز كيميائي سطحي، إذ أنّ جسيمات الحديد النانوية، بمساحتها السطحية النوعية العالية، توفر مواقع نشطة تحفز تفاعلات أكسدة المركبات العضوية المعقدة في التربة، مما يسرع من تمعدنها (Hochella Jr *et al*, 2008; Garrido-Ramírez *et al*, 2010) ، وفي المقابل، فإن عدم تحقيق أي من المعاملات التقليدية (العادية) أو المعاملات المحتوية على الزنك (نانوي أو عادية) لانخفاض معنوي يُعزى إلى انخفاض الكفاءة التحفيزية للمصادر التقليدية الحديد والمولبيدنيوم لأكسدة المركبات العضوية، وضعف قدرة الزنك (بصورتيه النانوية والتقليدية) أصلاً على تحفيز هذه الأكسدة، بالإضافة إلى سرعة تثبيت أيونات هذه العناصر على أسطح غرويات التربة وكربونات الكالسيوم عبر الامتزاز الكيميائي والتبادل الأيوني، مما يحد من تركيزها الفعال في المحلول ويمنعها من المشاركة في تفاعلات التحلل (Hussain *et al*., 2015; Havlin *et al*.,

(Alloway, 2008 ;2017، وتجدر الإشارة إلى أن هذا الانخفاض في المادة العضوية قد يكون مدعوماً أيضاً بنشاط بيولوجي في التربة يسهم في تمعدنها، خاصة في المعاملات المحتوية على الحديد والمولبيدنيوم.

عند المقارنة بين تأثير نمطي التسميد (النانوي والعادي) حسب متوسط الموسمين في محتوى التربة من المادة العضوية الجدول (4)، يتبين أن الصيغ النانوية كانت أكثر فعالية في خفض قيمها مقارنة بنظيراتها العادية في معظم المعاملات، خاصة في المعاملة التي جمعت الحديد والمولبيدنيوم؛ فالمعاملة النانوية Fe+Mo(N) سجلت أقل قيمة للمادة العضوية 1.23% منخفضة معنوياً مقارنة مع نظيرتها العادية Fe+Mo(M) التي بلغت 1.34%، كما انخفضت محتوى التربة من المادة العضوية في المعاملة النانوية Fe(N) إلى 1.28%، على الرغم من أن هذا الانخفاض كان أكثر من نظيرتها العادية – كما في المعاملة Fe(M) – إلا أنه بقي غير معنوي 1.34%، كما انخفض محتوى المادة العضوية في تربة المعاملة Mo(N) بشكل غير معنوي مقارنة مع نظيرتها العادية Mo(M)، ويعود هذا الانخفاض في محتوى التربة من المادة العضوية للصيغ النانوية إلى قدرة الجسيمات النانوية على التحرر المنظم والمستدام للعناصر، (Pradhan and Mailapalli, 2017)، مما يضمن بقاء الحديد في المحلول الأرضي لفترات أطول ويزيد من تفاعلاته الكيميائية مع المادة العضوية، كما تقاربت القيم في معاملات الزنك بين النمطين (النانوي والعادي) مع عدم وجود فروق معنوية فيما بينها، فيما انخفض بشكل معنوي محتوى التربة من المادة العضوية عند استخدام معاملة Zn+Fe(M) إذ بلغ 1.31% مقارنة مع نظيرتها النانوية Zn+Fe(N) التي بلغت 1.38%، يُعزى ذلك إلى التحرر السريع والمباشر للحديد من مصدره العادي (شيلات الحديد) مما يوفر تركيزاً فورياً عالياً يحفز تفاعلات أكسدة المادة العضوية (Lucena, 2006)، بينما في الصيغة النانوية Zn+Fe(N) قد يؤدي

التنافس بين أيونات الزنك والحديد على مواقع الامتزاز في التربة إلى تقليل فعالية الحديد في هذه التفاعلات (Havlin *et al.*, 2017).

بيّنت التحاليل الإحصائية عند دراسة تأثير إضافة الزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوي في محتوى التربة من كربونات الكالسيوم الموضحة في الجدول (4) عدم وجود فروق معنوية بين جميع المعاملات النانوية مقارنة بالشاهد في كلا الموسمين الأول والثاني، فبالرغم من تسجيل معاملة Fe+Mo(N) أقل قيمة لكربونات الكالسيوم بين المعاملات النانوية المدروسة في الموسمين الأول والثاني (11.02، 13.51)% على الترتيب، إلا أنّ هذا الانخفاض كان غير معنوي مقارنة مع الشاهد الذي بلغ (11.40، 13.82)%، كما انخفضت قيم كربونات الكالسيوم بشكل غير معنوي في معاملة Fe(N) المنفردة لتبلغ (11.17، 13.65)% مقارنة بالشاهد وفق كلا الموسمين، كما لم تختلف معنوياً كل من معاملتي Mo(N) و Zn(N) المنفردتان مع الشاهد ليبلغا في الموسم الأول (11.26، 11.51)% على الترتيب، وفي الموسم الثاني (13.76، 13.88)% على التوالي، وأما فيما يخص المعاملات المشتركة الثنائية معاملتي Zn+Fe(N) و Zn+Mo(N) فلم نلاحظ فروق معنوية فيما بينها إذ بلغ محتوى كربونات الكالسيوم في التربة في الموسم الأول (11.22، 11.47)% على الترتيب، وفي الموسم الثاني (13.70، 13.85)%على التوالي دون فرق معنوي مع الشاهد، و كذلك انخفض محتوى التربة من كربونات الكالسيوم بشكل غير معنوي مقارنة بالشاهد في المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N)، إذ بلغت قيمها (11.10، 13.62)% حسب الموسمين الأول والثاني على الترتيب.

أما بالنسبة للمعاملات العادية للعناصر (الزنك، والحديد، والمولبيدنيوم) الجدول(4)، فقد أظهرت النتائج أيضاً عدم وجود فروق معنوية بين جميع المعاملات والشاهد في كلا الموسمين؛ ففي المعاملات المنفردة، بلغت قيم كربونات الكالسيوم لمعاملات Zn(M)، و Fe(M) ، و

Mo(M) (11.24، 11.36، 11.31)% على الترتيب في الموسم الأول، و(13.62، 13.80، 13.76)% في الموسم الثاني على التوالي، وجميع المعاملات المنفردة السابقة كانت غير معنوية مقارنة مع الشاهد أو فيما بينها، أما بالنسبة للمعاملات المشتركة الثنائية، فقد انخفض محتوى التربة من كربونات الكالسيوم بشكل غير معنوي مقارنة بالشاهد عند المعاملتين Zn+Fe(M) و Zn+Mo(M) و Fe+Mo(M)، إذ بلغت القيم في الموسم الأول (11.05، 11.12، 11.27)% على التوالي، وفي الموسم الثاني (13.55، 13.58، 13.72)% على الترتيب، في حين سجلت المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(M)، انخفاضاً غير معنوياً في محتوى التربة من كربونات الكالسيوم مقارنة بالشاهد، حيث بلغت (11.17، 13.60)% وفق الموسمين الأول والثاني على التوالي.

عند المقارنة بين التسميد النانوي والعادي لعناصر (الزنك، والحديد، والموليبدنيوم) حسب متوسط الموسمين الجدول (4)، يلاحظ وجود تقارب في القيم بشكل كبير، حيث لم تظهر فروق معنوية بين أي من المعاملات النانوية ونظيرتها العادية، فعلى سبيل المثال: بلغت قيمة كربونات الكالسيوم للمعاملة النانوية Fe+Mo(N) 12.27% وانخفضت بشكل غير معنوي مقارنة مع نظيرتها العادية Fe+Mo(M) التي بلغت 12.5%، كذلك انخفض بشكل غير معنوي محتوى التربة من كربونات الكالسيوم عند المعاملتين النانويتين المنفردتين Fe(N) و Mo(N) مقارنة مع نظيراتها العادية Fe(M)، و Mo(M)، كذلك لم نلاحظ فروق معنوية ما بين المعاملة الثنائية النانوية Zn+Fe(N) ونظيرتها العادية Zn+Fe(M)، هذا التقارب يؤكد أن كلا النمطين (النانوي والعادي) كان لهما تأثير متشابه وغير معنوي على محتوى التربة من كربونات الكالسيوم خلال فترة الدراسة.

يمكن أن يعزى هذا التأثير غير المعنوي في محتوى التربة من كربونات الكالسيوم بين جميع المعاملات والشاهد، إلى محدودية كمية الحموضة المتولدة قياساً إلى المخزون الكلي من

الكربونات، فتفاعل إذابة كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) يتطلب استهلاك أيونات H^+، وحتى في المعاملات التي سجلت انخفاضاً معنوياً في pH (مثل: Fe+Mo(N)) ، تبقى البروتونات الناتجة عن حلمهة أيونات الحديد قليلة جداً ولا تكفي لإحداث تغيير يُذكر في المحتوى الكلي للكربونات، وذلك بفعل السعة التنظيمية العالية (Buffering Capacity) للتربة ذات المحتوى المتوسط للمرتفع من الكربونات، والتي تمتص أي تغيرات بسيطة في حموضة المحلول الأرضي، وتحافظ على ثبات المحتوى الكربوني (Havlin *et al*, 2017; Stumm and Morgan, 1996)، وقد يكون للأحماض العضوية الضعيفة الناتجة عن النشاط البيولوجي في التربة دور محدود جداً في إذابة سطحية للكربونات، لكنه غير كافٍ لإحداث فروق معنوية على مستوى التحليل الكلي (العيسى، 2007).

5-2-3- الزنك والحديد والمولبيدنيوم المتاحة :

يتبيّن من نتائج الجدول (5) وجود تأثير معنوي للتسميد النانوي والعادي بالزنك والحديد والمولبيدنيوم في محتوى التربة من العناصر الصغرى المتاحة (الزنك، والحديد، والمولبيدنيوم)، إذ ازداد معنوياً تركيز هذه العناصر لدى معظم المعاملات مقارنة بالشاهد، مع تفاوت واضح في حجم هذه الزيادة تبعاً لنوع العنصر والتداخلات فيما بينها.

الجدول (5): تأثير استخدام التسميد النانوي والعادي للزنك والحديد والموليبدنيوم على الزنك المتاح والحديد المتاح والموليبدنيوم المتاح

الصفة الخصوبية	الزنك المتاح مغ/ كغ			الحديد المتاح مغ/ كغ			الموليبدنيوم المتاح مغ/ كغ		
الموسم / المعاملات	2024	2025	المتوسط	2024	2025	المتوسط	2024	2025	المتوسط
c	0.8	0.6	0.7^{h}	3.1	2.6	2.85^{g}	0.06	0.04	0.05^{de}
Zn(N)	2.5	2.2	2.35^{b}	3.2	2.8	3.0^{f}	0.05	0.04	0.045^{e}
Fe(N)	0.9	0.8	0.85^{fg}	4.2	3.6	3.9^{c}	0.06	0.04	0.05^{de}
Mo(N)	0.8	0.7	0.75^{gh}	3.2	2.7	2.95^{fg}	0.09	0.07	0.08^{bc}
Zn+Fe(N)	1.4	1.2	1.3^{de}	3.4	3.1	3.25^{e}	0.05	0.04	0.045^{e}
Zn+Mo(N)	1.3	1.1	1.2^{e}	3.1	2.7	2.9^{fg}	0.07	0.05	0.06^{cde}
Fe+Mo(N)	0.9	0.8	0.85^{fg}	3.3	3.1	3.2^{e}	0.07	0.06	0.065^{cde}
Zn+Fe+Mo(N)	1	0.9	0.95^{f}	3.2	2.8	3.0^{f}	0.06	0.04	0.05^{de}
$LSD_{N\ 0.05}$	0.129	0.136	0.114	0.175	0.163	0.132	0.037	0.034	0.025
Zn(M)	3.7	3.3	3.5^{a}	3.1	2.7	2.9^{fg}	0.05	0.04	0.045^{e}
Fe(M)	1	0.7	0.85^{fg}	5.6	4.9	5.25^{a}	0.05	0.04	0.045^{e}
Mo(M)	0.9	0.7	0.8^{gh}	3.1	2.6	2.85^{g}	0.14	0.11	0.125^{a}
Zn+Fe(M)	2.1	1.7	1.90^{c}	4.4	3.8	4.1^{b}	0.06	0.05	0.055^{c}

de									
0.095^{b}	0.09	0.10	3.15^{e}	3	3.3	1.95^{c}	1.9	2	**Zn+Mo(M)**
0.10^{a}	0.09	0.11	4.05^{b}	3.9	4.2	0.85^{fg}	0.8	0.9	**Fe+Mo(M)**
0.075^{b} cd	0.07	0.08	3.7^{d}	3.5	3.9	1.35^{d}	1.2	1.5	**Zn+Fe+Mo (M)**
0.028	0.03 7	0.03 1	0.13	0.164	0.172	0.088	0.117	0.108	**$LSD_{M\ 0.05}$**
0.025	0.03 3	0.03 4	0.129	0.15	0.16	0.101	0.125	0.115	**$LSD_{0.05}$**

* يدل الترتيب الأبجدي للحروف على المعنوية بين المعاملات وعندما تتشابه حروف لا يوجد معنوية

الزنك المتاح:

حققت المعاملة المنفردة بالزنك النانوي Zn(N) أعلى زيادة معنوية بين المعاملات النانوية، إذ بلغ محتوى التربة من الزنك المتاح (2.5، 2.2) مغ/كغ في الموسمين الأول والثاني على الترتيب، متفوقةً معنوياً على الشاهد الذي سجل (0.8، 0.6) مغ/كغ في كلا الموسمين، كما سجلت المعاملتان الثنائية Zn+Mo(N) و Zn+Fe(N) زيادة معنوية مقارنة مع الشاهد، إذ بلغت في الموسم الأول (1.3، 1.4) مغ/كغ وفي الموسم الثاني (1.3، 1.1) مغ/كغ على التوالي، أما المعاملات النانوية الأخرى Fe(N) ، Mo(N)، Fe+Mo(N)، Zn+Fe+Mo(N) فلم تختلف معنوياً عن الشاهد، ويلاحظ أن الزيادة في تركيز الزنك بالتربة

تناقص بانخفاض الكمية المضافة منه في المعاملات المشتركة الثنائية والثلاثية مقارنة مع الإضافة المنفردة للزنك.

بالمقابل عند دراسة تأثير إضافة العناصر المدروسة العادية (التقليدية) في محتوى التربة من الزنك المتاح، لوحظ تفوق معنوي للمعاملة المنفردة بالزنك العادي Zn(M) على جميع المعاملات المدروسة (النانوية والعادية) مسجلةً في الموسمين الأول والثاني (3.7، 3.3) مغ/كغ على التوالي، تلتها المعاملة الثنائية Zn+Fe(M) التي بلغت في الموسمين (2.1، 1.7) مغ/كغ على التوالي، ثمّ المعاملة Zn+Mo(M) التي سجلت (2.0، 1.9) مغ/كغ على الترتيب، وكل هذه المعاملات حققت فروقاً معنوية مقارنة بالشاهد.

تعكس الزيادة الكبيرة في محتوى التربة من الزنك المتاح عند المعاملة المنفردة للزنك العادي Zn(M) قابلية كبريتات الزنك العالية للذوبان في الماء، مما يؤدي إلى تحرر سريع لأيونات الزنك في المحلول الأرضي (Mortvedt and Gilkes, 1993)، وفي المقابل يمكن تفسير زيادة محتوى التربة من الزنك المتاح في المعاملة المنفردة بالزنك النانوي Zn(N) بالرغم من قلة الكمية المضافة مقارنةً بمصدر الزنك العادي، من خلال الخصائص الفيزيوكيميائية للجسيمات النانوية؛ إذ تزداد مساحة سطحه النوعية بشكل كبير، مما يزيد من معدل ذوبانه وسرعة تحرر أيونات Zn^{2+} في المحلول الأرضي مقارنة بالجسيمات الكبيرة (Liu and Lal, 2015; DeRosa *et al*, 2010)، وهذا التحرر الأولي السريع نسبياً للجسيمات النانوية يرفع التركيز اللحظي للزنك المتاح رغم صغر الكتلة الكلية المضافة، إضافة إلى ذلك، فإن صغر حجم الجسيمات يمنحها قدرة أعلى على الحركة والانتشار في مسام التربة الدقيقة، فتصل إلى مناطق لا تصلها الجسيمات العادية الكبيرة بسهولة، مما قد يقلل من فرص تثبيتها على سطح الغرويات أو ترسيبها على شكل مركبات غير ذائبة، خاصة في الأراضي ذات المحتوى المتوسط إلى العالي من الكربونات كما في هذه التجربة حيث تكون قابلية ذوبان الزنك منخفضة أصلاً

(Havlin *et al*, 2017)، علاوة على ذلك، تظهر بعض التركيبات النانوية سلوكاً أشبه بالتحرر المنظم والمستدام، مما يضمن بقاء الزنك متاحاً على مدى زمني أطول ويحد من فقده بعمليات الامتزاز أو الترسيب الفوسفاتي التي تحدث عادة عند إضافة كميات كبيرة دفعة واحدة من الأسمدة التقليدية (Pradhan and Mailapalli, 2017; Kottegoda *et al*, 2011) ، أما المعاملات العادية الأخرى الخالية من مصدر مباشر للزنك Fe(M) ، وMo(M)، و Fe+Mo(M)، و Zn+Fe+Mo(M) فلم تحقق زيادات معنوية في الزنك المتاح، حيث تراوحت قيمها بين (0.9− 1.5) مغ/كغ في الموسم الأول و (0.7− 1.2) مغ/كغ في الثاني، وذلك لغياب الإضافة المباشرة للزنك في المعاملات السابقة، ومن جانب آخر يمكن أن يعزى انخفاض قيم الزنك المتاح في المعاملات النانوية المشتركة الثنائية والثلاثية مقارنة بالمعاملة المنفردة Zn(N) إلى أن الكمية المضافة من الزنك في تلك المعاملات كانت نصف وثلث الكمية في المعاملة المنفردة (0.5 كغ/هـ في الثنائية و 0.33 كغ/هـ بالثلاثية مقابل 1 كغ/هـ بالمنفردة)، مما يُفسر منطقياً انخفاض التركيز الناتج، بالإضافة إلى احتمالية حدوث تنافس على مواقع الارتباط سواء على مستوى أسطح غرويات التربة أو على مستوى مواقع النقل في أغشية الخلايا الجذرية (Havlin *et al.*, 2017).

الحديد المتاح:

عند دراسة تأثير استخدام التسميد النانوي للعناصر (الزنك، والحديد، والمولبيدنيوم) بشكل منفرد أو بشكل ثنائي أو ثلاثي، في محتوى التربة من الحديد المتاح، فقد تفوقت المعاملة المنفردة بالحديد النانوي Fe(N) معنوياً على الشاهد مسجلةً في الموسمين الأول والثاني على التوالي (4.2، 3.6) مغ/كغ مقارنة بالشاهد الذي بلغ (3.1، 2.6) مغ/كغ للموسم الأول والثاني على التوالي ، تلتها المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) التي سجلت في الموسم الأول والثاني على التوالي (3.3، 3.1) مغ/كغ، ثم المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) التي كانت في الموسم

الأول والثاني على التوالي (3.2، 2.8) مغ/كغ وكلاهما (أي الثنائية والثلاثية) حققتا زيادة معنوية مقارنة بالشاهد، بينما لم يسجل وجود اختلافات معنوية بين المعاملات Zn(N)،وMo(N)، وZn+Fe(N)، وZn+Mo(N) وبين الشاهد؛ حيث تراوحت قيم الحديد المتاح في هذه المعاملات السابقة، في الموسم الأول بين (3.4-3.1) مغ/كغ وفي الموسم الثاني (2.7−3.1) مغ/كغ.

من جهة أخرى، وفيما يخص محتوى الحديد المتاح في التربة تحت تأثير التسميد العادي (التقليدي) للزنك والحديد والمولبيدنيوم، فقد حققت المعاملة المنفردة بالحديد العادي (التقليدي) Fe(M)أعلى القيم ما بين معاملات التجربة كافة (نانوية وعادية) في الموسمين الأول والثاني (5.6، 4.9) مغ/كغ على التوالي، وبفارق معنوي كبير عن الشاهد، تلتها المعاملة الثنائية Zn+Fe(M) التي سجلت (4.4، 3.8) مغ/كغ على التوالي بالنسبة للموسمين الأول والثاني، ثم Fe+Mo(M) التي بلغت (4.2، 3.9) مغ/كغ على الترتيب عند كلا الموسمين، وكلاهما حققتا زيادة معنوية مقارنة بالشاهد وبقية المعاملات، باستثناء معاملة Fe(M) التي تفوقت معنوياً عليهما، بينما كانت الزيادة في المعاملة Zn+Fe+Mo(M) معنوية أيضاً إذ بلغت قيمتها (1.5، 1.2) مغ/كغ بالنسبة للموسمين الأول والثاني على الترتيب، ولكن بدرجة أقل من بقية المعاملات [Fe(M)، و Zn+Fe(M) ، و Fe+Mo(M)].

يمكن تفسير التفوق المعنوي لمعاملة Fe(M) بأن الحديد أضيف في صورة مخلّبة (شيلات) تمنع تثبيته وترسّبه، وتحافظ عليه في صورة ميسرة للامتصاص (Lucena, 2006)، وفي المقابل فإن التفوق المعنوي للمعاملة المنفردة بالحديد النانوي Fe(N) (رغم قلة الكمية المضافة مقارنة بنظيرتها غير النانوية في بعض الحالات) يُعزى إلى أن استخدام شيلات الحديد النانوية يوفر ميزة إضافية تتمثل في بقاء الحديد مرتبطاً بالمخلب العضوي مما يحميه من الترسيب (Lucena, 2006)، كما أن تحضيرها على مقياس النانو يزيد من مساحة سطحها

الفعالة، مما يحسّن من قابلية انتشارها ووصولها إلى مواقع الامتصاص في التربة (Sharipova *et al*, 2020; Ghormade *et al*, 2011)، غير أن انخفاض قيم الحديد المتاح في المعاملات المشتركة سواء النانوية أو العادية مقارنة مع المعاملة المنفردة للحديد النانوي والعادي بالرغم من أن الكمية المضافة من الحديد في هذه المعاملات كانت نصف وثلث الكمية في المعاملة المنفردة، وبالإضافة إلى العامل الكمي فإن وجود عناصر أخرى مثل الزنك قد يؤدي إلى منافسة على مواقع الارتباط أو تفاعلات تبادلية تؤثر على استقرارية هذه الشيلات وتحرر الحديد منها (Lucena, 2006; Havlin *et al*, 2017)، من جهة أخرى، يمكن أن تؤدي نفس خاصية زيادة مساحة السطح لجسيمات شيلات الحديد النانوية–والتي تمنحها قدرة أعلى على الانتشار– إلى زيادة تفاعلها مع المواد العضوية في التربة، مما قد يؤدي إلى تكوين معقدات عضوية– معدنية تحافظ على الحديد في صورة ميسرة وتمنع تحوله إلى أشكال غير قابلة للذوبان (Pitambara *et al*, 2019; Cui *et al*, 2017).

المولبيدنيوم المتاح:

بيّنت نتائج التحليل الإحصائي أن المعاملة المنفردة بالمولبيدنيوم النانوي Mo(N) كانت الأكثر تأثيراً بين المعاملات النانوية في زيادة المحتوى من المولبيدنيوم المتاح، حيث زادت المعاملة Mo(N) تركيز المولبيدنيوم المتاح في الموسمين الأول والثاني إلى (0.09، 0.07) مغ/كغ على التوالي، مقابل (0.06، 0.04) مغ/كغ على التوالي للشاهد، بزيادة معنوية عنه، بينما لم تحقق باقي المعاملات النانوية Zn(N)، Fe(N)، Zn+Fe(N)، Zn+Mo(N)، Fe+Mo(N) ، Zn+Fe+Mo(N) فروقاً معنوية عن الشاهد، حيث تراوحت قيم المولبيدنيوم المتاح في الموسمين بين (0.05–0.07) مغ/كغ و(0.04–0.05) مغ/كغ على التوالي. يمكن إرجاع هذا التفوق في إتاحة المولبيدنيوم في التربة بالمعاملة Mo(N) إلى أن الجسيمات النانوية للمولبيدنيوم المحضرة بطريقة الاختزال الكيميائي تمتاز بمساحة سطحية

عالية، مما يعزز من ذوبانيتها وتحرر أيونات المولبيدات في المحلول الأرضي (Ayi *et al*, 2015)، كما أن النشاط السطحي المرتفع لهذه الجسيمات يزيد من تفاعلها مع الأحماض العضوية التي تفرزها الجذور أو الميكروبات، فتتشكل معقدات عضوية تحافظ على المولبيدنيوم في الصورة المتاحة وتحميه من التثبيت على كربونات الكالسيوم (Schwarz *et al*, 2009; Mendel, 2013).

أما فيما يخص تأثير التسميد العادي (التقليدي) لعناصر الزنك والحديد والمولبيدنيوم على محتوى التربة من المولبيدنيوم المتاح؛ فقد كانت معاملة المولبيدنيوم العادي (التقليدي) المنفرد Mo(M) الأكثر معنوية بين المعاملات المدروسة حيث سجلت في الموسمين الأول والثاني (0.14، 0.11) مغ/كغ على الترتيب، تلتها المعاملة الثنائية Fe+Mo(M) التي بلغت (0.11، 0.09) مغ/كغ على التوالي عند كلا الموسمين، ثم Zn+Mo(M) التي سجلت (0.10، 0.09) مغ/كغ على الترتيب عند الموسمين الأول والثاني، وكلها سجلت فروق معنوية مقارنة بالشاهد، ولكن دون فروق معنوية فيما بينها، ويعود ذلك إلى أن أملاح المولبيدات المستخدمة (مولبيدات الأمونيوم) عالية الذوبان في الماء، مما يؤدي إلى زيادة سريعة في تركيز أيونات المولبيدات MoO_4^{2-} في المحلول الأرضي (Havlin *et al*., 2017)، إلا أن سرعة تحررها قد تجعلها عرضة للامتزاز أو التفاعل مع كربونات الكالسيوم لتكوين رواسب قليلة الذوبان مع مرور الوقت (Stumm and Morgan, 1996; Havlin *et al*, 2017)، وهو ما قد يفسر انخفاض قيمها في المعاملات المشتركة مقارنة بالمنفردة.

عند المقارنة بين نمطي التسميد النانوي والعادي (التقليدي) حسب تأثيره على محتوى التربة من الزنك والحديد والمولبيدنيوم المتاحين وفق متوسط الموسمين الجدول(5)، يتبين أن محتوى التربة من الزنك المتاح كان أعلى في المعاملات العادية خاصة Zn(M) و Zn+Fe(M) و Zn+Mo(M) مقارنة بنظيراتها النانوية، حيث تفوقت معنوياً المعاملات Zn(M) و

Zn+Fe(M) و Zn+Mo(M) على نظيراتها النانوية Zn(N) و Zn+Fe(N) و Zn+Mo(N) وبنسب (48.9، 46.2، 62.5)% على الترتيب، ويعكس هذا الفرق قابلية الذوبان الفورية للأملاح العادية (كبريتات الزنك) مقابل التحرر البطيء والمستدام للجسيمات النانوية، حيث توفر المعاملة الأخيرة إتاحة أقل في المدى القصير ولكنها قد تدوم لفترة أطول (Pradhan and Mailapalli, 2017)ومع ذلك، فإن كفاءة التحويل (كمية الزنك المتاح مقارنة بالكمية المضافة) تكون أعلى في المعاملات النانوية؛ إذ أن الكمية المضافة من الزنك النانوي أقل بعدة مرات من العادي (التقليدي)، لكنها استطاعت رفع تركيز الزنك المتاح إلى 2.35 مغ/كغ، وهو ما يمثل كفاءة عالية تفوق العادي (التقليدي)، وهذا يعود إلى الخصائص النانوية المذكورة آنفاً: مساحة السطح الهائلة، وسرعة الذوبان العالية، وقلة الفقد بالترسيب (Nair *et al*, 2010; Thul *et al*, 2013)، وفي المقابل كان الحديد المتاح أعلى في المعاملات العادية أيضاً، حيث ازداد محتوى التربة من الحديد المتاح زيادة معنوية عند المعاملات العادية Fe(M) و Zn+Fe(M) و Fe+Mo(M) بشكل أكبر مقارنة مع نظيراتها النانوية Fe(N) و Zn+Fe(N) و Fe+Mo(N) وبنسب (34.6، 32.2، 26.6)%، و يمكن تفسير ذلك بأن الشكل المخلبي للحديد في الأسمدة العادية مثل: Fe-EDTA يتمتع بثباتية عالية تحافظ على الحديد في المحلول الأرضي (Lucena, 2006)، بينما قد تؤدي عملية إضافة الشكل النانوي للشيلات إلى تغيير في خصائصها الفيزيائية مما قد يؤثر على معدل تحرر الحديد أو ثباتية المركب المخلبي، كما أن زيادة مساحة السطح قد تزيد من سرعة التحلل أو التفاعل مع مكونات التربة (Ghormade *et al*, 2011)، مما يقلل من مدى فعالية المخلب، ومع ذلك، فإن تحضير الشيلات على مقياس النانو قد يمنحها قدرة أفضل على الانتشار والوصول إلى مواقع الامتصاص الدقيقة في التربة، مما يجعلها مصدراً فعالاً للحديد على المدى الطويل. أما بالنسبة للمولبيدنيوم المتاح، فقد تفوقت معنوياً المعاملات العادية في

زيادة محتوى التربة من المولبيدنيوم المتاح Mo(M) و Fe+Mo(M) و Zn+Mo(M) على نظيراتها النانوية Mo(N) و Fe+Mo(N) و Zn+Mo(N) وبنسب (64، 65، 63.2)% على الترتيب، ويُعزى هذا إلى أن المصادر العادية (مولبيدات الأمونيوم) عالية الذوبان وتحرر أيونات المولبيدات بسرعة، في حين أن الجسيمات النانوية قد تكون أقل ذوباناً أو تخضع لامتزاز أسرع على سطح التربة بسبب صغر حجمها الكبير ونشاطها السطحي، مما يقلل من تركيزها اللحظي في المحلول (Ayi *et al*., 2015)، إلا أن الجسيمات النانوية للمولبيدنيوم قد تكون أكثر مقاومة لعوامل التثبيت طويلة الأمد، مثل تفاعلها مع كربونات الكالسيوم، نظراً لتحررها المنظم والمستمر (Pradhan and Mailapalli, 2017)، مما يجعلها خياراً مناسباً في الأراضي الجيرية لضمان بقاء المولبيدنيوم متاحاً طوال موسم النمو (Mendel, 2013; Sims, 2000)، خاصة وأن الكمية المضافة من المولبيدنيوم النانوي أقل بأربع مرات من العادي (التقليدي).

5- الاستنتاجات:

1. أظهرت المعاملات المحتوية على الحديد (خاصة Fe(N) و Fe+Mo(N) و Zn+Fe(M))انخفاضاً معنوياً في درجة حموضة التربة مقارنة بالشاهد.
2. لم تسجل أي من المعاملات النانوية أو التقليدية تغيرات معنوية في قيم EC_5 و محتوى التربة من كربونات الكالسيوم.
3. انخفض محتوى المادة العضوية معنوياً في المعاملات النانوية المحتوية على الحديد Fe(N)و Fe+Mo(N) .
4. تفوقت المعاملات التقليدية المنفردة Zn(M) ، Fe(M)، Mo(M) في رفع تركيز الزنك والحديد والمولبيدنيوم المتاح على التوالي، بينما أشارت النسب المحسوبة إلى كفاءة تحويل

أعلى محتملة (كمية العنصر المتاح مقارنة بالكمية المضافة) للنظائر النانوية رغم انخفاض الجرعات، مما يعكس فعاليتها الاقتصادية والبيئية.

6- المقترحات:

- يُوصى باستخدام أسمدة الحديد النانوية (خاصة Fe(N) و Fe+Mo(N)) نظراً لدورها في خفض pH التربة، وزيادة إتاحة الحديد، مع مراقبة تأثيرها على تمعدن المادة العضوية.
- يُوصى باستخدام كبريتات الزنك التقليدية Zn(M) بجرعة 5 كغ/هـ للحصول على إتاحة فورية وعالية للزنك في التربة، خاصة عند الحاجة إلى تصحيح النقص بسرعة، وفي حال توفر الأسمدة النانوية، يمكن استخدام الزنك النانوي Zn(N) بجرعة أقل (1 كغ/هـ) حيث أظهر كفاءة تحويل أعلى واستدامة أطول في الإتاحة، مما يقلل من الفاقد والجرعات المطلوبة.
- إجراء دراسات طويلة الأمد لرصد مصير الجسيمات النانوية في التربة، وتأثيراتها التراكمية على التوازن الكيميائي للتربة.

7- المراجع العلمية:

عودة، محمود؛ وسمير شمشم. (2008). *خصوبة التربة وتغذية النبات*. منشورات جامعة حمص - كلية الهندسة الزراعية.

العيسى، عبد الله (2007). *ميكروبيولوجيا التربة*. منشورات جامعة حمص- كلية الهندسة الزراعية.

محطة الأرصاد الجوية في سوريا. (2025).المعطيات المناخية للموسم الزراعي 2025 في منطقة البحث. حمص، سوريا.

Ahlawat, I. P. S., Gangaiah, B., & Ashraf, Z. A. (2007). Nutrient management in chickpea. In S. S. Yadav, R. Redden, W. Chen, & B. Sharma (EdS.), *Chickpea breeding and management* (pp. 213–232). CAB International.

Alloway, B. J. (2008). *Zinc in soils and crop nutrition* (2nd ed.). International Zinc Association (IZA) and International Fertilizer Industry Association (IFA).

Ayi, A. A., Anyama, C. A., & Khare, V. (2015). On the synthesis of molybdenum nanoparticles under reducing conditions in ionic liquidS. *Journal of Materials, 2015,* Article 372716. https://doi.org/10.1155/2015/372716

Baruah, T. C., & Barthakur, H. P. (1997). *A text book of soil analysis*. Vikas Publishing House.

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil, 302*(1), 1–17. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3

Cui, H., Yi, Q., Yang, X., Wang, X., Wu, H., & Zhou, J. (2017). EffEC5ts of hydroxyapatite on leaching of cadmium and phosphorus and their availability under simulated acid rain. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 5*(4), 3773–3779. https://doi.org/10.1016/j.jEC5e.2017.07.026

DeRosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., & Sultan, Y. (2010). NanotEC5hnology in fertilizers. *Nature NanotEC5hnology, 5*(2), 91. https://doi.org/10.1038/nnano.2010.2

Dimkpa, C. O., McLean, J. E., Britt, D. W., & Anderson, A. J. (2015). Nano-CuO and interaction with nano-ZnO or soil bacterium provide evidence for the interference of nanoparticles in metal nutrition of plants.

EC5otoxicology, 24(1), 119–129. https://doi.org/10.1007/s10646-014-1364-x

Essington, M. E. (2015). *Soil and water chemistry: An integrative approach* (2nd ed.). CRC Press.

Garrido-Ramírez, E. G., Theng, B. K. G., & Mora, M. L. (2010). Clays and oxide minerals as catalysts and nanocatalysts in Fenton-like reactions – A review. *Applied Clay Science, 47*(3-4), 182–192. https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.11.044

Ghormade, V., Deshpande, M. V., & Paknikar, K. M. (2011). PerspEC5tives for nano-biotEC5hnology enabled protEC5tion and nutrition of plants. *BiotEC5hnology Advances, 29*(6), 792–803. https://doi.org/10.1016/j.biotEC5hadv.2011.06.007

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2017). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (8th ed.). Pearson India Education Services.

He, S., Feng, Y., Ni, J., Sun, Y., Xue, L., Feng, Y., Yu, Y., Lin, X., & Yang, L. (2016). Different responses of soil microbial metabolic activity to silver and iron oxide nanoparticles. *Chemosphere, 147*, 195–202. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.055

Hussain, A., Arshad, M., Zahir, Z. A., & Asghar, M. (2015). ProspEC5ts of zinc solubilizing bacteria for enhancing growth of maize. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 52*(4), 915–922.

Hochella, M. F., Jr., Lower, S. K., Maurice, P. A., Penn, R. L., Sahai, N., Sparks, D. L., & Twining, B. S. (2008). Nanominerals, mineral nanoparticles, and Earth systems. *Science, 319*(5870), 1631–1635. https://doi.org/10.1126/science.1141134

Kalwani, M., Chakdar, H., Srivastava, A., Pabbi, S., & Shukla, P. (2022). EffEC5ts of nanofertilizers on soil and plant-associated microbial communities: Emerging trendS and perspEC5tives. *Chemosphere*, *287*, 132107. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132107

Kottegoda, N., Munaweera, I., Madusanka, N., & Karunaratne, V. (2011). A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Current Science*, *101*(1), 73–78.

Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, *514*, 131–139. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104

Lucena, J. J. (2006). Synthetic iron chelates to corrEC5t iron deficiency in plants. In L. L. Barton & J. Abadía (EdS.), *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms* (pp. 103–128). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-4743-6_5

Maclean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. In A. L. Page (Ed.), *MethodS of soil analysis, part 2: Chemical and microbiological properties* (2nd ed., pp. 199–244). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.

Mendel, R. R. (2013). The molybdenum cofactor. *Journal of Biological Chemistry*, *288*(19), 13165–13172. https://doi.org/10.1074/jbc.R113.455311

Mortvedt, J. J., & Gilkes, R. J. (1993). Zinc fertilizers. In A. D. Robson (Ed.), *Zinc in soils and plants* (pp. 33–44). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_3

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., & Kumar, D. S. (2010). Nanoparticle material delivery to plants. *Plant Science, 179*(3), 154–163. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.012

Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (EdS.). (1982). *MethodS of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties* (2nd ed.). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.

Pegoraro, R. F., Almeida Neta, M., Costa, C., Sampaio, R. A., Fernandes, L. A., & Neves Rodrigues, M. (2018). Chickpea production and soil chemical attributes after phosphorus and molybdenum fertilization. *Ciência e AgrotEC5nologia, 42*(5), 474–483. https://doi.org/10.1590/1413-70542018425017518

Pitambara, Archana, & Shukla, Y. M. (2019). Nanofertilizers: A rEC5ent approach in crop production. In *NanotEC5hnology for agriculture: Crop production & protEC5tion* (pp. 25–58). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9370-0_2

Pradhan, S., & Mailapalli, D. R. (2017). Interaction of engineered nanoparticles with the agri-environment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65*(38), 8279–8294. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02528

Rajput, V. D., Minkina, T., Sushkova, S., Tsitsuashvili, V., Mandzhieva, S., Gorovtsov, A., Nevidomskaya, D., & Gromakova, N. (2018). EffEC5t of nanoparticles on crops and soil microbial communities. *Journal of Soils and Sediments, 18*(6), 2179–2187.

RichardS, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 60.

Schwarz, G., Mendel, R. R., & Ribbe, M. W. (2009). Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. *Nature, 460*(7257), 839–847. https://doi.org/10.1038/nature08302

Sharipova, A., Psakhie, S., Gotman, I., & Gutmanas, E. (2020). Smart nanocomposites based on Fe–Ag and Fe–Cu nanopowders for biodegradable high-strength implants with slow drug release. *Physical MesomEC5hanics*, *23*(2), 128–134. https://doi.org/10.1134/S102995992002007X

Sheoran, P., Grewal, S., Kumari, S., & Goel, S. (2021). Enhancement of growth and yield, leaching reduction in Triticum aestivum using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. *Biocatalysis and Agricultural BiotEC5hnology*, *32*, 101938. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101938

Sims, T. (2000). Soil fertility evaluation. In M. E. Sumner (Ed.), *Handbook of soil science* (pp. D113–D153). CRC Press.

Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Suryanarayana, C. (2001). MEC5hanical alloying and milling. *Progress in Materials Science*, 46(1–2), 1–184. https://doi.org/10.1016/S0079-6425(99)00010-9

Taran, N. Y., Gonchar, O. M., Lopatko, K. G., Batsmanova, L. M., Patyka, M. V., & Volkogon, M. V. (2014). The effEC5t of colloidal solution of molybdenum nanoparticles on the microbial composition in rhizosphere of Cicer arietinum L. *Nanoscale Research Letters, 9*(1), 289. https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-289

Thul, S. T., Sarangi, B. K., & Pandey, R. A. (2013). NanotEC5hnology in agroEC5osystem: Implications on plant productivity and its soil environment. *Expert Opinion on Environmental Biology, 2*(1), 3-7.

Walkley, A., & 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.