تأثير استخدام أسمدة الزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوي في بعض المؤشرات الإنتاجية لنبات الحمص في ظروف محافظة حمص

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

الملخص:

نُفِذّ البحث تحت الظروف الحقلية في مركز البحوث العلمية الزراعية بمحافظة حمص – سورية، خلال الموسم الزراعي 2024. استُخدِمت تراكيز محددة من الأسمدة النانوية شملت: أكسيد الزنك النانوي (1 كغ/هكتار)، وشيلات الحديد النانوية (1 كغ/هكتار)، ومولبيدات الأمونيوم النانوية (50 مل/هكتار)، بهدف دراسة تأثيرها على بعض المؤشرات الإنتاجية لمحصول الحمص. أسفرت النتائج عن تفوق معنوي للمعاملات على الشاهد غير المُسمد، فازداد ارتفاع النبات بشكل ملحوظ تحت تأثير التسميد المنفرد بالزنك النانوي مُسجلاً أعلى قيمة (58 سم)، كما تحسنت كفاءة تكوين العقد الجذرية بشكل كبير تحت تأثير المعاملة الثنائية (الحديد + المولبيدنيوم)، حيث بلغ عددها (39 عقدة/ نبات)، وازداد عدد القرون والبذور تحت تأثير نفس المعاملة مسجلاً (82 قرون/ نبات) و(83 بذرة/ نبات) على التوالي، وارتفع وزن البذور معنوياً ليبلغ (51 غ/ نبات) تحت تأثير نفس المعاملة، وهو ما انعكس بدوره على الانتاجية الكلية، حيث سجلت أعلى قيمة (451 كغ/دونم).

الكلمات المفتاحية: الحديد النانوي، الزنك النانوي، المولبيدنيوم النانوي، المؤشرات الإنتاجية، الحمص.

1- طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص

2- أستاذ في قسم التربة واستصلاح الاراضي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص، سوريا

3- مدير بحوث في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، حمص، سوريا

The effect of using nano zinc, iron, and molybdenum fertilizers on some production indicators of chickpea plants under the conditions of Homs Governorate.

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 - Syria, during the 2024 agricultural season. Specific concentrations of nano-fertilizers were used, including: nano zinc oxide (1 kg/hectare), nano iron chelates (1 kg/hectare), and nano ammonium molybdate (50 ml/hectare), aiming to study their effect on some production indicators of the chickpea crop. The results revealed a significant superiority of the treatments over the unfertilized control. Plant height increased significantly under the influence of individual nano-zinc fertilization, recording the highest value (58 cm). Furthermore, the efficiency of root nodule formation improved significantly under the dual treatment (nano iron + molybdenum), reaching (39 nodules/plant). The number of pods and seeds increased

under the same treatment, recording (82 pods/plant) and (83 seeds/plant) respectively. Seed weight increased significantly, reaching (51 g/plant) under the same treatment, which in turn was reflected in the total productivity, where the highest value (451 kg/dunum) was recorded.

Keywords: Nano iron, Nano zinc, Nano molybdenum, Production indicators, Chickpea.

(1) Graduate Student (PhD), Department of Soil and Land Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering, Homs University

(2) Professor, Department of Soil and Land Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering, Homs University, Syria

(3) Director of Research at the General Commission for Scientific Agricultural Research, Homs, Syria

1- المقدمة والدراسة المرجعية:

تشهد الزراعة المعاصرة تحديّات جسيمة، أبرزها تغير المناخ والضغط المتصاعد على الموارد المائية والزراعية، الأمر الذي يستدعي تطوير حلول مبتكرة لتعزيز الإنتاجية وتحقيق الأمن الغذائي (Raliya *et al*., 2017)، في هذا الإطار برزت تقنية النانو كأحد الحلول الواعدة لإحداث نقلة نوعية في القطاع الزراعي، من خلال تصميم أسمدة ذكية تزيد من كفاءة امتصاص العناصر الغذائية وتحد من الفاقد الناتج عن الأساليب التقليدية منخفضة الكفاءة (Yadav *et al*., 2023).

يُعد محصول الحمص (*Cicer arietinum* L.) الذي يتبع العائلة البقولية Leguminoseae، محصولاً استراتيجياً ذا قيمة غذائية عالية، حيث يشكل مصدراً أساسياً للبروتين في البلدان النامية، بالإضافة إلى احتوائه على كربوهيدرات ومعادن وفيتامينات أساسية (Yegrem, 2021)، وقد احتل المرتبة الثانية من حيث المساحة المزروعة 15.3٪ والثالث في الإنتاج 15.4٪ عالمياً، مع زيادة ملحوظة في الاستهلاك بلغت 14.2٪ في المساحة و27.3٪ في الإنتاج منذ عام 2010 (Merga and Haji, 2019)، وعلى الرغم من مميزاته المتعددة كالقدرة على التكيف مع الظروف المناخية المتباينة، وانخفاض تكلفة زراعته، ودوره في تثبيت النيتروجين وتحسين خصوبة التربة (Pegoraro *et al*., 2018)، فإنه يشهد تدهوراً ملحوظاً نتيجة لنقص العناصر الصغرى في التربة، لا سيما الزنك (Zn) والحديد (Fe)، وهي من أكثر حالات نقص المغذيات انتشاراً على مستوى العالم (Cakmak, 2008 ;Godecke *et al*., 2019)، كما أنه يعاني من نقص حاد في الأبحاث التي تُعنى بدراسة تأثير العناصر المغذية الصغرى على نموه وإنتاجيته، علماً أن عدم توفر هذه العناصر بتركيزات كافية في التربة يؤدي إلى انخفاض كبير في المحصول (Sabaghnia and Janmohammadi, 2015)، وفي سورية يبرز الحمص الشتوي كمحصول بقولي مهم، حيث تشكل مساحته المزروعة حوالي 35% من إجمالي المساحة المزروعة بالحمص في سورية، وتنتشر زراعته في عدة محافظات كدرعا وحمص وحلب والسويداء (مهنا وحياص، 2006)، حيث بلغت مجموع المساحة المزروعة عام 2023 (51 الف هكتار) بإنتاجية (30 الف طن) وكانت المردودية (582 كغ/هكتار)، وفي محافظة حمص بلغت المساحة المزروعة (1946 هكتار) بإنتاجية (2160 طن) ومردودية (1110 كغ/هكتار) (المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية، 2023) ، ويعود تدني إنتاجية الحمص في سورية لعدم الاستخدام الصحيح للأسمدة وعدم استخدام أصناف ذات قدرة إنتاجية مرتفعة.

يعتبر الزنك عنصراً أساسياً لأكثر من 2500 بروتين ويدخل في تركيب ست فئات إنزيمية، فضلاً عن كونه حاسماً في انقسام الخلايا والتمثيل الضوئي وتخليق البروتين (Lacerda *et al*., 2018; Hacisalihoglu, 2020)، بينما يعد الحديد مكوناً رئيسياً للعديد من الإنزيمات والبروتينات الأساسية في عمليتي البناء الضوئي والتنفس (Schmidt et al., 2020). كما يبرز دور الموليبدينوم كمكون أساسي لإنزيمات رئيسية مثل النتروجيناز ونترات الريداكتيز (العيسى،2005)، والتي تُعتبر حجر الزاوية في عملية تثبيت النيتروجين واستقلابه داخل النبات (Rana *et al*., 2020; Mendel, 2013). على الرغم من أهمية هذه العناصر، فإن كفاءة استفادة النبات من أسمدتها التقليدية مثل كبريتات الزنك منخفضة جداً ولا تتجاوز 4–8٪، وذلك بسبب ظروف التربة المختلفة التي تحولها إلى أشكال غير قابلة للامتصاص(Hussain *et al*., 2015; Umar *et al*., 2021)، لذلك تبرز الأسمدة النانوية مثل جسيمات أكسيد الزنك النانوية (ZnO NPs) وأكسيد الحديد النانوية (Fe_2O_3/Fe_3O_4 NPs)، كبدائل واعدة بفضل خصائصها الفريدة مثل حجمها المتناهي الصغر ونسبة السطح إلى الحجم المرتفعة، مما يسهل اختراقها للأنسجة النباتية ويحسن من توافرها الحيوي ودخولها الى سلسلة الغذاء، ويمنحها كفاءة امتصاص عالية ونقل مُحسّن إلى الأجزاء الصالحة للأكل من النباتات مقارنة بالأشكال المعدنية التقليدية (Dhaliwal *et al*., 2021; Mazhar *et al*., 2023)، وقد أظهر الاستخدام المشترك لهذه العناصر في شكلها النانوي تأثيرات تآزرية معنوية في تحسين محصول وجودة الحبوب في محاصيل بقولية أخرى (Dhaliwal *et al*., 2022)، وفي هذا السياق أظهرت العديد من الدراسات التطبيقية فعالية هذه الأسمدة النانوية بشكل واضح، فقد أوضحت دراسة Raliya *et al* (2017) أن الجسيمات النانوية لأكاسيد المعادن لا تُحسن امتصاص العناصر الغذائية ذاتها فحسب، بل تعمل أيضاً كمحفزات استقلابية داخل النبات؛ حيث عززت جسيمات أكسيد الزنك النانوية (ZnO NPs) نشاط الإنزيمات المحللة للفوسفور في

جذور النبات، مما أدى إلى تحرير الفوسفور المثبت في التربة وزيادة كفاءة استخدام المغذيات، كما أظهرت دراسة Mahajan *et al*(2011) أن تطبيق تركيز 1 مغ/لتر من جسيمات ZnO NPsعلى الحمص أدى إلى زيادة ملحوظة في طول الساق بنسبة 6%، ووزن المجموع الخضري بنسبة 27%، وطول الجذر بنسبة 53%، ووزن الجذر بنسبة 37%. أشارت دراسة Burman *et al* (2013)إلى أن التطبيق الورقي بتركيز 1.5 جزء في المليون من جسيمات ZnO NPsأدى إلى زيادة الوزن الجاف للمجموع الخضري للحمص، من خلال تقليل الإجهاد التأكسدي والحفاظ على سلامة الأغشية الخلوية، وللتطبيقات المشتركة للأسمدة النانوية تأثير تآزري ملحوظ، حيث أظهرت دراسة Pawar *et al* (2024) أن المعاملة المشتركة لنقع البذور بالزنك والحديد النانوي مع الرش الورقي لنفس الجسيمات على نبات الحمص كانت الأكثر فاعلية، حيث حققت أعلى عدد من القرون، وأعلى إنتاجية، كما أوضحت دراسة (2021) Dhaliwal *et al*أن الرش الورقي بمزيج من جسيمات أكسيد الزنك وأكسيد الحديد الثلاثي النانوية (بنسبة 0.5 % لكل منهما) حقق أعلى محصول بذور وأعلى تركيز للزنك والحديد في بذور الحمص، وأشارت دراسة Taran *et al* (2014) إلى أن معاملة للبذور بمحلول غروي لجسيمات المولبيدنيوم النانوية عززت تكوين العقد الجذرية في نبات الحمص مقارنة بالشاهد الغير معامل.

ركزت معظم الدراسات السابقة على التطبيق الورقي – بشكل منفرد أو مشترك – للعناصر الغذائية (كالحديد والزنك..... الخ) لتحسين إنتاجية الحمص، إلا أنّ دراسة التأثير التكاملي لهذه العناصر –خاصة في صورتها النانوية– عند إضافتها إلى التربة، تبقى مجالاً بحثياً غير مطروق بالقدر الكافي، لا سيما في الظروف السورية، ومن هذا المنطلق تبرز أهمية هذه الدراسة التي تهدف إلى سد هذه الفجوة المعرفية من خلال تقييم منهجي لأثر التطبيق المشترك والمنفرد للتسميد النانوي إلى التربة على المؤشرات الإنتاجية للحمص، وكما تسعى إلى بلورة توصيات

عملية من شأنها الإسهام في رفع الإنتاجية لهذا المحصول الاستراتيجي، ودعم جهود تحقيق الأمن الغذائي.

2- هدف البحث:

دراسة تأثير التسميد بمركبات الزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوية في بعض المؤشرات الإنتاجية لمحصول الحمص الشتوي، وذلك في ظروف محافظة حمص.

3- مواد وطرائق البحث: تم تنفيذ البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية في حمص. يقع المركز شمال مدينة حمص على مسافة 5 كم، على خط طول 36.43، وخط عرض 34.42، ويبلغ ارتفاعه عن مستوى سطح البحر 482م، ويقع ضمن منطقة الاستقرار الأولى وبمعدل هطول مطري سنوي 439 مم، وكانت تربة التجربة حمراء طينية. درجة تفاعلها متعادلة. منخفضة الملوحة. فقيرة إلى متوسطة المحتوى من المادة العضوية، وذات محتوى مقبول من كربونات الكالسيوم، وفقيرة المحتوى من الزنك و الحديد والمولبيدنيوم جدول(1).

الجدول(1): بعض الخصائص الكيميائية لتربة الموقع المدروس من عمق (0-30 سم)

التحليل الميكانيكي			pH	الناقلية الكهربائية ملموز/ سم	المادة العضوية %	كربونات الكالسيوم %	الحديد مغ/كغ	الزنك مغ/كغ	المولبيدنيوم مغ/كغ
رمل %	سلت %	طين %	1:2.5						
32	21	47	7.20	0.38	1.55	12	3.6	1.1	0.07

تم زراعة الحمص *Cicer arietinum* L ، الصنف المحلي غاب 5 في كانون الثاني (2024). حُرثت أرض التجربة حراثتان متعامدتان بوساطة المحراث المطرحي القلاب بعمق 30 سم، ونُعمت التربة بعد إضافة الدفعة الأولى من السماد الآزوتي يوريا (46%) البالغة 20 كغ /

هـ والسماد الفوسفوري P_2O_5 (46%) 60 كغ / هـ والسماد البوتاسيK_2O (50%) 40 كغ/ هـ وذلك حسب التوصية السمادية من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، و من ثمّ تم تسوية التربة آلياً وفتح خطوط الزراعة، حيث قُسمت أرض التجربة إلى وحدات تجريبية بأبعاد 6x4=24م^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، ورويت القطع التجريبية بعد الزراعة مباشرة بالري السطحي بشرائح، وكانت المياه غير مالحة، وذات pH متعادلة إلى خفيفة الحموضة بين 6.78 إلى 7.2، وأذيبت العناصر السمادية النانوية (الزنك– الحديد– الموليبدنيوم) بكمية مناسبة من الماء ثمّ تم توزيعها بشكل متجانس على كافة القطع التجريبية.

، وأجريت كافة عمليات الخدمة (تفريد – تعشيب – ري – تسميد – مكافحة....) في مواعيدها وحسب الحاجة. تم الحصاد والانتهاء من التجربة في شهر أيار لعام 2024.

حُضرت أسمدة الحديد والزنك النانوي بالطريقة الفيزيائية عن طريق الطحن من أسمدة شيلات الحديدي EDDHA (13%) وأوكسيد الزنك ZnO (80%) في مطاحن خاصة بمخابر هيئة الطاقة الذرية السورية والغربلة عن طريق مناخل من رتبة النانوية 10^{-9}م وذلك حسب (Suryanarayana,2001)، أما الموليبدنيوم النانوي تم تحضيره باستخدام جسيمات الموليبدينوم النانوية بطريقة الاختزال الكيميائي في سوائل أيونية وذلك بالهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، بالاعتماد على الطريقة المطورة من قبل Ayi *et al* (2015) حيث تم استخدام موليبدات الأمونيوم $(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$ (54%) كمصدر للموليبدينوم، وبورهيدريد

الصوديوم ($NaBH_4$) كمادة مختزلة، في وسط من السائل الأيوني [im][ESEm] عند درجة حرارة 180°م.

تم اضافة أسمدة أكسيد الزنك وشيلات الحديد بمعدل 1 كغ/هـ لكل منهما، وأضيف سماد مولبيدات الأمونيوم بمعدل 50 مل/هـ، وكان لكل معاملة ثلاثة مكررات. تم إضافة الأسمدة على مرحلتين، الأولى: بعد شهر من الزراعة، والثانية: قبل مرحلة الإزهار، حيث تم إذابة العناصر السمادية (الزنك– الحديد – المولبيدنيوم) بكمية مناسبة من الماء ثمّ تم توزيعها بشكل متجانس على القطع التجريبية كافة، ثمّ متابعة الري السطحي بالطريقة المعتادة. والجدول (2) يبيّن معاملات البحث.

جدول (2): معاملات البحث

المعاملة السمادية	كمية الإضافة الأرضية	رمز المعاملة
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 (0.5 Kg/h)+ Mo(25 ml/h)	Zn+Mo (N)
سماد الحديد مع سماد المولبيدنيوم	Fe(0.5 Kg/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	Zn (0.33 Kg/h)+ Fe(0.33 Kg/h)+ Mo(16.6 ml/h)	Zn+Mo+Fe(N)

والموليبدنيوم معاً		

صُممت التجربة حسب القطاعات العشوائية الكاملة وفق ترتيب القطع المنشقة، وب3 مكررات للمعاملة الواحدة، مساحة القطعة التجريبية 6 م2، وتم تحليل نتائج البحث باستعمال برنامج SPSS v20 وذلك لحساب أقل فرق معنوي بين المتوسطات L.S.D عند مستوى 5%. أجري التحليل الميكانيكي للتربة بطريقة الهيدروميتر حسب (الجردي، 1992)، وحدد القوام بالاعتماد على المثلث الأمريكي للقوام .بالاعتماد على الخطوات الموضحة في دليل (راين وآخرون، 2003). أجريت التحاليل الكيميائية حسب (عودة وشمشم، 2008)، إذ تم تقدير ال pH التربة باستخدام جهاز pH meter في معلق تربة ماء 1:2.5 (Maclean,1982)، وقُدرت الناقلية الكهربائية EC بواسطة جهاز الناقلية الكهربائية conductivity-meter في مستخلص مائي للتربة 5:1 (Baruah,1997)، وقُدرت الكربونات الكلية بالطريقة الحجمية (Richards,1954)، وقدرت المادة العضوية بطريقة الأكسدة الرطبة بواسطة ديكرومات البوتاسيوم في وسط شديد الحموضة (Walkley and Black,1934).

تم اختيار خمسة نباتات من الخطين الوسطين لكل قطعة تجريبية وحسب المعاملات المدروسة لدراسة الصفات التالية في مرحلة النضج التام: ارتفاع النبات (سم) وقُدر بمسطرة مدرجة، بقياس طول الساق الرئيس اعتباراً من نقطة اتصال الساق الرئيسية بالأرض حتى أعلى قمة نامية بالنبات (Tekhanov,1979)، وعدد العقد الجذرية بأخذ من كل قطعة تجريبية خمس نباتات وتم قلع الجذور وعدّ العقد المتوضعة عليها، وعدد القرون في النبات و ذلك بعدّ جميع القرون على النباتات التي تم اخيارها ثم تم أخذ متوسط عدد القرون على النبات الواحد، وعدد البذور في النبات حُدد بتفريط جميع القرون على كل نبات تم اختيارها ومن ثم عدّها وذلك قبل

حصاد النباتات، ووزن البذور في النبات(غ) تم تحديده بتفريط جميع القرون على كل نبات تم اختيارها ومن ثم وزنها، والإنتاجية (كغ/هـ) قُدرت بالطريقة الحسابية وذلك بعد الحصول على وزن البذور على كل نبات.

4- النتائج والمناقشة :

4-1- ارتفاع النبات :

أدى استخدام الأسمدة النانوية للزنك والحديد والموليبدينوم إلى زيادة معنوية في ارتفاع نبات الحمص عند غالبية المعاملات مقارنة بالشاهد جدول (3)؛ حيث تفوقت المعاملة المنفردة للزنك النانوي Zn(N) وحققت أعلى قيمة لارتفاع النبات بلغت 58 سم، وبزيادة معنوية نسبتها 18.4% مقارنة بالشاهد الذي بلغ ارتفاع النبات فيه 49 سم، ويرجع هذا التفوق إلى الدور الفيزيولوجي الأساسي للزنك في تنظيم هرمون النمو (الأوكسين) وتحفيز استطالة الخلايا (Broadley *et al*., 2007)، وهو ما أكدته نتائج دراسات سابقة (Burman *et al*., 2013; Kaningini *et al*., 2024) من أن تطبيق الزنك النانوي على الحمص يحفز النمو الخضري ويزيد الكتلة الحيوية بشكل ملحوظ، كما سجلت المعاملة المنفردة للموليبدينوم النانوي Mo(N) ارتفاعاً بلغ 56 سم بزيادة معنوية نسبتها 14.3% عن الشاهد، ويمكن أن يعزى هذا التحسن إلى دور المولبيدنيوم الحيوي في تعزيز كفاءة استقلاب النيتروجين، حيث يدخل في تركيب Nitrogenase المسؤول عن تثبيت النيتروجين الجوي في البقوليات، و Nitrate reductase الضروري لاختزال النترات وتمثيلها داخل النبات (Mendel, 2013;Taran *et al*., 2014)، مما يدعم بدوره تكوين البروتينات والأحماض الأمينية المحفزة للنمو الخضري، في حين لم تُظهر معاملة الحديد النانوي Fe(N) إلّا ارتفاعاً مقداره 51 سم دون فرق معنوي عن الشاهد، وأما في المعاملات الثنائية فقد تفوقت معاملة Fe+Mo(N) بارتفاع بلغ 55 سم وبزيادة معنوية نسبتها 12.2% عن الشاهد، وذلك لدور الحديد المحوري في تركيب الكلوروفيل وتحسين

كفاءة عملية التمثيل الضوئي(Dey *et al*., 2018; Moinuddin *et al*., 2017) ، وبدعم من دور الموليبدينوم في تعزيز استخدام النيتروجين (Mendel, 2013)، كما سجلت المعاملة الثنائية Zn+Mo(N) ارتفاعاً معنوياً بلغ 54 سم بزيادة 10.2% عن الشاهد، وذلك نتيجة التكامل بين آلية الزنك في استطالة الخلايا وتفعيل الموليبدينوم للتمثيل الغذائي للنيتروجين، في حين سجلت معاملة الزنك مع الحديد النانوي Zn+Fe(N) ارتفاعاً بلغ 52 سم دون فرق معنوي عن الشاهد، وبالنسبة للمعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) ، فقد سجلت ارتفاعاً بلغ 53 سم بزيادة معنوية 8.2% عن الشاهد، مما يعكس وجود تفاعلات تآزرية بين هذه العناصر، وبشكل عام تفوقت الأشكال النانوية معنوياً في زيادة ارتفاع النبات عند غالبية المعاملات، وذلك لقدرتها على اختراق الأنسجة النباتية بكفاءة عالية، وإطلاق المغذيات بشكل منتظم، ونقلها عبر الأنظمة الوعائية بفعالية (Raliya et al., 2017)، مما يضمن تفعيلاً أقوى للإنزيمات المرتبطة بالنمو.

4-2- العقد الجذرية:

أظهرت النتائج المُدرجة في الجدول (3) تأثيراً واضحاً للتسميد النانوي بالعناصر (الزنك- الحديد- الموليبدنيوم) على مؤشر عدد العقد الجذرية في نبات الحمص، حيث تفوّقت معنوياً المعاملة المنفردة للموليبدنيوم النانوي Mo(N) على جميع المعاملات المنفردة، وسجلت 36 عقدة / نبات بزيادة نسبتها 63.6% عن الشاهد الذي سجل 22 عقدة / نبات، وهذا يتفق مع نتيجة Taran *et al* (2013)، وجاءت المعاملة المنفردة للزنك النانوي Zn(N) في المرتبة التالية ببلوغها عدد عقد 31 عقدة/ نبات بزيادة معنوية 40.9% مقارنة بالشاهد، وهذه النتيجة تتفق مع ما أكدته دراسة (Raliya *et al*., 2016) من أن استخدام الزنك النانوي أدى إلى زيادة عدد العقد الجذرية بنسبة 58.9%، بينما سجلت المعاملة المنفردة للحديد النانوي Fe(N)

عدد عقد بلغ 25 عقدة/ نبات بزيادة ظاهرية عن الشاهد، أما فيما يخص المعاملات المشتركة فقد برزت المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) لتسجل أعلى عدد للعقد بلغ 39 عقدة/ نبات، محققة زيادة معنوية نسبتها 77.3% مقارنة بالشاهد، وجاءت المعاملة الثنائية Zn+Mo(N) في مرتبة مماثلة دون فرق معنوي مع المعاملة السابقة، حيث سجلت 35 عقدة/ نبات بزيادة معنوية 59.1% عن الشاهد، فيما سجلت المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) عدد عقد بلغ 32 عقدة/ نبات بزيادة معنوية نسبتها 45.5%، بينما لم تُظهر المعاملة الثنائية Zn+Fe(N) فرقاً معنوياً عن الشاهد حيث سجلت 27 عقدة/ نبات، ويعزى هذا التفوق الواضح للمعاملات المحتوية على الموليبدينوم النانوي - خاصة في الصيغ الثنائية – إلى أن الاستخدام المشترك للزنك والموليبدينوم يدعم بشكل تآزري عملية تكوين العقد؛ فبينما يعمل الزنك النانوي على تحفيز نمو الجذور وزيادة مساحتها السطحية (Raliya *et al.*, 2016)، مما يوفر مواقعاً أكثر لا ستعمار بكتيريا العقد الجذرية، فإن الموليبدينوم يدعم بشكل مباشر نشاط إنزيم النيتروجيناز الضروري لتثبيت النيتروجين، وأما التفوق الملحوظ للمعاملة الثنائية Fe+Mo(N) فيعود إلى الدور التكاملي بين العناصر، حيث يتآزر الحديد مع الموليبدينوم بشكل مباشر في النيتروجيناز نفسه، حيث يدخل الحديد في تركيب مجموعات الحديد–كبريت (Fe- S clusters) التي تُشكل الموقع الفعال للإنزيم (العيسى، 2007)، بينما يشكل الموليبدينوم الجزء المركزي في العامل المساعد (Moco)الضروري لاختزال النيتروجين الجوي (Mendel, 2013)، وقد ارتبط النشاط الفيزيولوجي للعقد الجذرية بلونها الذي يُعتبر مؤشراً حيوياً على تركيز صبغة الليغهيموغلوبين المنظمة لعملية تثبيت النيتروجين، إذ اتصفت المعاملات الأعلى كفاءة Fe+Mo(N) و Zn+Mo(N) بلون وردي (أحمر)، مما يشير إلى نشاط تثبيت نيتروجين عالٍ وكفاءة في عملية التكافل، وفي المقابل اتسمت العقد في معاملة الشاهد بلون بني فاتح أو شاحب، وهو مؤشر على ضعف النشاط التكافلي أو انعدامه، وأما العقد في المعاملات الأخرى فقد تراوحت

ألوانها بين البنّي المتوسط والغامق، مما قد يعكس درجات متفاوتة من مستوى النشاط، وبشكل عام تؤكد النتائج أن الموليبدينوم النانوي كان المحرك الرئيسي لتحفيز تكوين العقد الجذرية ووظيفتها مع وجود تأثير تآزري واضح عند دمجه مع الحديد أو الزنك، مما يدل على أهمية التوازن في تطبيق هذه العناصر لتحقيق أقصى استفادة من التكافل البكتيري وتثبيت النيتروجين.

جدول (3): تأثير التسميد بالزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوي على: ارتفاع النبات– عدد العقد الجذرية

المؤشر الإنتاجي / المعاملات	ارتفاع النبات	العقد الجذرية
	سم	عقدة/ نبات
c	49^{ed}	22^{d}
Zn(N)	58^{a}	31^{b}
Fe(N)	51^{de}	25^{d}
Mo(N)	56^{ab}	36^{ab}
Zn+Fe(N)	52^{cde}	27^{cd}
Zn+Mo(N)	54^{bcd}	35^{ab}
Fe+Mo(N)	55^{abc}	39^{a}
Zn+Fe+Mo(N)	53^{bd}	32^{bc}
LSD_N 0.05	3.77	5.68

* تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على قيم LSD

4-3 - عدد القرون والبذور:

أسفر التطبيق النانوي للعناصر (الزنك- الحديد- المولبيدنيوم) عن استجابة إيجابية في صفتي عدد القرون والبذور لنبات الحمص جدول (4)، إذ انتهت أعلى قيم لعدد القرون إلى المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) التي بلغت 82 قرن/ نبات، محققة زيادة معنوية نسبتها 121.6% مقارنة بالشاهد الذي سجل 37 قرن/ نبات، كما سجلت نفس المعاملة عدداً للبذور بلغ 83 بذرة/ نبات بزيادة معنوية نسبتها 88.6% عن الشاهد الذي حقّق 44 بذرة/ نبات، وجاءت المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) في مرتبة مماثلة دون فرق معنوي مع المعاملة السابقة، حيث أحرزت عدد قرون 79 قرن/ نبات و عدد بذور بلغ 78 بذرة/ نبات بزيادة معنوية 113.5% و 77.3% مقارنة بالشاهد على التوالي. أما فيما يخص المعاملات المنفردة، فقد حقّقت معاملة المولبيدنيوم النانوي Mo(N) عدد قرون بلغ 73 قرن/ نبات، وعدد بذور 81 بذرة/ نبات، وبارتفاع معنوي نسبته 97.3% و 84.1% عن الشاهد على الترتيب، فيما تميّزت معاملة الزنك النانوي المنفردة Zn(N) بحصولها على أعلى عدد للبذور بين جميع المعاملات المنفردة وبلغت 88 بذرة/ نبات، وتفوقت معنوياً على الشاهد بنسبة 100%، إلى جانب تحقيقها تحسّن بأعداد القرون بلغ 71 قرن/ نبات بزيادة معنوية نسبتها 91.9% عن الشاهد، وفي المقابل أحرزت معاملة الحديد المنفردة Fe(N) قيماً أقل نسبياً كانت 61 قرن/ نبات و 67 بذرة/ نبات، وبزيادة معنوية نسبتها 64.9% و 52.3% مقارنة بالشاهد على التوالي، وتتفق هذه النتائج مع دراسة Morovat *et al*(2019) الذي لاحظ زيادة في عدد القرون عند اضافة الزنك والحديد النانوي. أما المعاملات الثنائية Zn+Fe(N) و Zn+Mo(N) فقد بلغ تحت تأثيرها عدد القرون والبذور (52، 47 قرن/ نبات) و (57، 54 بذرة/ نبات) على التوالي، مما يمثل زيادة معنوية عن الشاهد بنسب (40.5، 27)% و (29.5، 22.7)% على الترتيب، وهذه النتيجة تتوافق مع ما أكدته دراسات Pawar *et al* (2024) و Morovat *et al*(2019) من أن التطبيق النانوي للزنك

والحديد حقق زيادة في عدد قرون وبذور نبات الحمص، وعلى الرغم من أن هذه الزيادة كانت معنوية إحصائياً عند المعاملتين الثنائيتين، إلا أنها كانت الأقل بين جميع المعاملات النانوية، مما يشير إلى عدم تحقيق تآزر مثالي عند الجمع بين الزنك والحديد أو الزنك والمولبيدنيوم في هذه التركيبة والجرعة النانوية المحددة. يمكن تفسير هذا التفوق الواضح للمعاملات المحتوية على المولبيدنيوم النانوي خاصة عند دمجه مع الحديد، من خلال آلياته الحيوية المتخصصة في دعم عمليات تكوين القرون والبذور، حيث يعمل المولبيدنيوم كعامل مساعد حيوي لإنزيم نترات الريداكتيز (Mendel, 2013)، الضروري لتوفير النيتروجين العضوي اللازم لتخليق البروتينات والأحماض النووية خلال المراحل الحرجة لتكوين براعم الزهور، وعلاوة على ذلك يدخل الموليبدينوم كعامل مساعد في تنشيط إنزيمات استقلاب البيورينات مثل Xanthine Dehydrogenase التي توفر اللبنات الأساسية لـ DNA و RNA (Mendel, 2013)، مما يدعم الانقسام الخلوي النشط في المبايض وأنسجة حبوب اللقاح، كما يتآزر الحديد مع المولبيدنيوم بشكل خاص في دعم عملية التمثيل الضوئي من خلال دور الحديد المحوري في تركيب الكلوروفيل وسلسلة نقل الإلكترون (Schmidt *et al*., 2020)، مما يضمن توفير الطاقة (ATP) والمواد البنائية (الكربوهيدرات) اللازمة لتكوين القرون وملئِها، وأما الزنك يساهم في زيادة عدد قرون وبذور الحمص عبر آليات متعددة؛ فهو ينظم هرمون الأوكسين المحفز لتكوين الأزهار، ويدعم حيوية وخصوبة حبوب اللقاح، مما يرفع من كفاءة عملية التلقيح والإخصاب، وهو ما يُفسّر تفوق المعاملة المنفردة للزنك في تحقيق أعلى عدد للبذور بين المعاملات، كما يتوسع تأثير الزنك ليشمل تعزيز نقل الكربوهيدرات(المواد الغذائية) من الأوراق إلى القرون والبذور النامية، وذلك من خلال تنشيط الإنزيمات المسؤولة عن تعبئتها مبكراً، مما يضمن استمرارية نمو البذور وامتلاءها ويحد من ظاهرة توقف تطورها داخل القرون (Broadley *et al*., 2007; Pawar *et al*., 2024; Shewangizaw, 2017).

بشكل عام أسهم التطبيق المتوازن لهذه العناصر في صيغتها النانوية، وخاصة في المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) في توفير بيئة فيزيولوجية داعمة لزيادة العدد النهائي لقرون وبذور نبات الحمص، حيث عززت الخصائص النانوية في بلوغ هذه الكفاءة من خلال ضمانها توصيلاً أمثل للمغذيات إلى مواقع الفعل الفيزيولوجي داخل الأنسجة النباتية، كما أسهمت آليات التحرر المُتحكم به والمستمر في تلبية الاحتياجات الغذائية للنبات خلال المراحل الحرجة للتكاثر وتكوين القرون وملء البذور (Raliya *et al*., 2017).

4-4- وزن البذور:

أظهرت النتائج المُدرجة في الجدول (4) استجابة معنوية واضحة للمعاملات النانوية للزنك والحديد والمولبيدنيوم في تحسين وزن بذور نبات الحمص، حيث تفوقت المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) معنوياً على جميع المعاملات النانوية، وسجلت أعلى وزن للبذور بلغ 51 غ/ نبات، محققة زيادة معنوية نسبتها 96.2% عن الشاهد الذي كان 26 غ/ نبات، وجاءت المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) في مرتبة مماثلة دون وجود فرق معنوي إحصائياً مع المعاملة السابقة، حيث حققّت وزن بذور 49 غ/ نبات بارتفاع معنوية نسبته 88.5% مقارنة بالشاهد، وفي المعاملات المنفردة تميّزت معاملة الزنك النانوي Zn(N) بتحقيق وزن بذور بلغ 47 غ/ نبات بزيادة معنوية نسبتها 80.8% عن الشاهد، وهذا يتفق مع نتائج Kaningini *et al* (2024)، فيما أحرزت معاملة المولبيدنيوم المنفردة Mo(N) وزن بذور بلغ 46 غ/نبات بارتفاع معنوي نسبته 76.9% مقارنة بالشاهد، أما معاملة الحديد المنفردة Fe(N) فقد وصل وزن بذورها لـ 41غ/ نبات بنسبة زيادة معنوية 57.7% عن الشاهد، وفي المقابل حققّت المعاملات الثنائية Zn+Fe(N) و Zn+Mo(N) أدنى الأوزان بين المعاملات النانوية حيث بلغت (37، 35 غ/ نبات) على التوالي دون وجود فرق معنوي بينهما، مما يمثل ارتفاع معنوي

عن الشاهد بنسب (42.3، 34.6)%. يمكن تفسير التفوق المعنوي لهذه المعاملات في زيادة وزن البذور من خلال تركيزها على آلية ملء الحبوب على وجه التحديد، حيث حققت المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) أعلى وزن للبذور بين المعاملات النانوية وكان هذا امتداداً منطقياً لتفوقها في زيادة عدد القرون والبذور كما هو موضح سابقاً، وهذا يؤشر إلى تحقيق توازن فيزيولوجي مثالي تحت هذه المعاملة، حيث أن زيادة عدد البذور صاحبها زيادة متكافئة في قدرة النبات على توفير المواد الغذائية، حيث عمل الحديد من خلال دوره المحوري في البناء الضوئي على ضمان كفاءة الأوراق في زيادة إنتاجها للمواد الكربوهيدراتية، مما وفر تدفقاً مستمراً من السكريات إلى الحبوب النامية، وبالتوازي عمل المولبيدنيوم لتحويل تلك السكريات الواصلة إلى بروتينات يتم تخزينها داخل البذور من خلال تنشيطه لإنزيمات استقلاب النيتروجين(كالنترات ريداكتيز) (Schmidt *et al*., 2020; Mendel, 2013)، بينما عمل الزنك على تنشيط الإنزيمات المسؤولة عن استقلاب الكربوهيدرات وتحويل السكريات إلى نشاء وبروتينات داخل البذرة (Broadley *et al*., 2007;Raliya *et al*., 2016)، وفي حين أن تدني وزن البذور في بعض المعاملات الثنائية الأخرى مثل Zn+Fe(N) و Zn+Mo(N) مقارنة ببقية المعاملات النانوية قد يعزى إلى عدم تحقيق التوازن الذي لاحظناه بين الحديد والمولبيدنيوم، حيث أن النشاط العالي للشكل النانوي قد يزيد من حدة التنافس بين الأيونات أو يؤدي إلى خلل في توزيع المغذيات، مما يحد من كفاءة عملية ملء الحبوب.

جدول (4): تأثير التسميد بالزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوي على (عدد القرون– عدد البذور– وزن البذور)

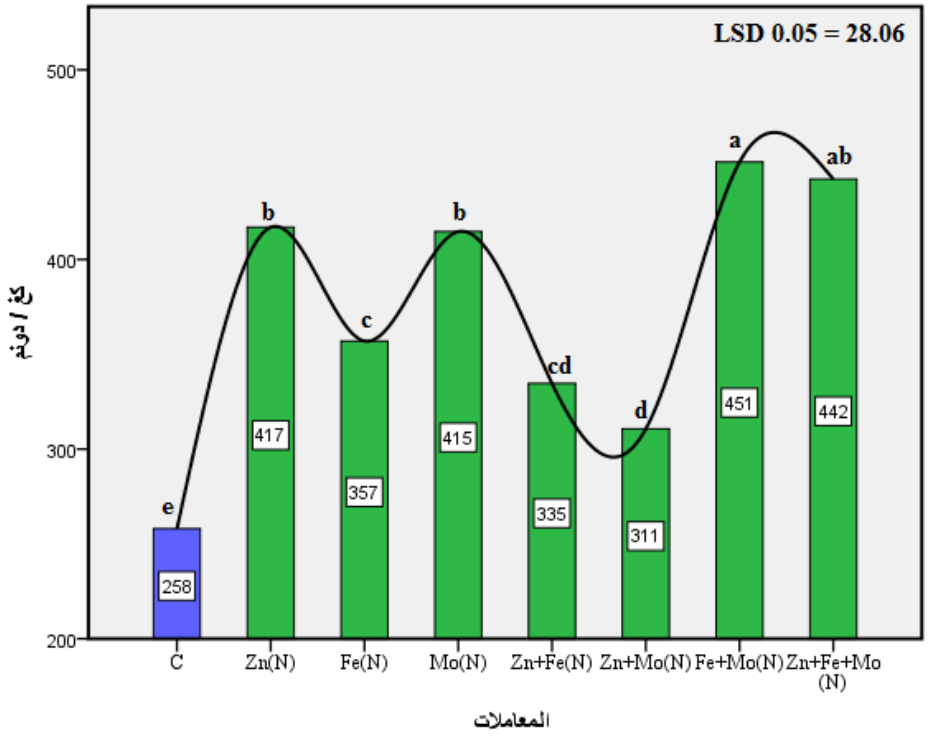
المؤشر الإنتاجي / المعاملات	عدد القرون	عدد البذور	وزن البذور
	قرن/ نبات	بذرة/ نبات	غ/نبات
c	37^{f}	44^{e}	26^{e}
Zn(N)	71^{c}	88^{a}	47^{b}
Fe(N)	61^{d}	67^{c}	41^{c}
Mo(N)	73^{bc}	81^{b}	46^{b}
Zn+Fe(N)	52^{e}	57^{d}	37^{d}
Zn+Mo(N)	47^{e}	54^{d}	35^{d}
Fe+Mo(N)	82^{a}	83^{ab}	51^{a}
Zn+Fe+Mo(N)	79^{ab}	78^{b}	49^{ab}
LSD 0.05	7.15	5.96	3.53

* تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على قيم LSD

4-1-5- الإنتاجية :

كشف التحليل الإحصائي لبيانات شكل (1) عن وجود زيادة معنوية في إنتاجية محصول الحمص نتيجة التسميد النانوي بـ الزنك والحديد والمولبيدنيوم في كافة المعاملات، ولكن بنسب متفاوتة تبعاً لنوع العنصر وتركيب المعاملة، وقد تصدرت المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) قائمة المعاملات النانوية، إذ بلغت إنتاجيتها 451 كغ/ دونم، محققة زيادة معنوية نسبتها 74.8% عن الشاهد الذي بلغت إنتاجيته 258 كغ/دونم، ولم نلاحظ وجود فرق معنوي بينها وبين المعاملة الثلاثية Zn+Fe+Mo(N) التي سجلت إنتاجية بلغت 442 كغ/دونم بزيادة معنوية 70.9% مقارنة عن الشاهد، وتُمثّل هذه القيم الإنتاجية المرتفعة الحصيلة النهائية للتحسن الشامل في جميع المؤشرات الإنتاجية التي تم رصدها سابقاً – من تحسين كفاءة العقد الجذرية وصولاً إلى وزن البذور– (جدول 3–4)، وهذا يتفق مع ما أكدته دراسة (Dhaliwal *et al*., 2022) على أهمية التآزر بين العناصر الصغرى في رفع إنتاجية البقوليات، ويلاحظ أن تشابه إنتاجية المعاملتين Fe+Mo(N) و Zn+Fe+Mo(N) يشير إلى أنّ التأثير الأساسيّ يعود للتآزر بين الحديد والمولبيدنيوم، في حين لم تُحدث إضافة الزنك تحسناً إضافياً ملحوظاً، وفي سياق متصل، حققّت باقي المعاملات النانوية زيادات أقل، فقد سجلت معاملة Zn+Fe(N) إنتاجية قدرها 335 كغ/دونم بزيادة معنوية نسبتها 29.8%، بينما بلغت إنتاجية معاملة Zn+Mo(N) 311 كغ/دونم بارتفاع معنوي نسبته 20.5% مقارنة عن الشاهد، ويمكن تفسير تدني كفاءة هذه المعاملات الثنائية على الأرجح بحدوث تنافس بين أيونات الزنك والحديد على مواقع الامتصاص في جذور النبات (Rehman *et al*., 2025 ;Kochian, 1993)، حيث تفاقم هذا التأثير بسبب النشاط العالي للجسيمات النانوية (Singh *et al*., 2017)، من ناحية أخرى أظهرت المعاملات النانوية المنفردة لكل من الزنك Zn(N) والموليبدينوم Mo(N) كفاءة عالية دون فرق معنوي بينهما، حيث سجلتا إنتاجية بلغت (417 ، 415 كغ/دونم) بزيادة معنوية نسبتها (61.6% ، 60.8%) عن الشاهد على الترتيب، فيما اكتفت معاملة الحديد المنفردة

Fe(N)بتسجيل إنتاجية 357 كغ/دونم بارتفاع معنوي نسبته 38.4% عن الشاهد، ويمكن عزو هذا التفوق إلى الأدوار المتكاملة لهذه العناصر التي بيناها سابقاً، وقد عززت كفاءة الشكل النانوي من هذه الفعالية، حيث يتمتع بمساحة سطحية أكبر تسمح بامتصاص أعلى وتوصيل أسهل داخل أنسجة النبات مقارنة بالأشكال التقليدية (Raliya *et al.*, 2017).



شكل (1): تأثير التسميد بالزنك والحديد والمولبيدنيوم النانوي على إنتاجية الحمص

* تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على قيم LSD

5- الاستنتاجات والمقترحات: أدى الاستخدام المنفرد والمشترك لأوكسيد الزنك النانوي وشيلات الحديد النانوية بكمية 1 كغ/هـ لكل منهما ومولبيدات الامونيوم النانوي بكمية 50 مل/هـ على نبات الحمص المزروع في الظروف البيئية لمحافظة حمص إلى التوصل للاستنتاجات التالية فيما يخص المؤشرات الإنتاجية لهذ النبات:

1- أظهر الاستخدام المنفرد للزنك النانوي Zn(N) تفوقاً معنوياً في تعزيز النمو الخضري والبذري، حيث حقق أعلى قيم لارتفاع النبات (58 سم) وأعداد البذور (88 بذرة/نبات) مقارنة بالشاهد.

2- تفوقت المعاملة الثنائية Fe+Mo(N) في تحسين مؤشرات الإنتاجية، حيث سجّلت أعلى قيم في عدد القرون (82 قرن/ نبات)، ووزن البذور (51 غ/ نبات)، والإنتاجية الكلية (451 كغ/ دونم).

3- أظهرت جميع المعاملات المحتوية على المولبيدينوم النانوي كفاءة عالية في تحفيز تكوين العقد الجذرية، متفوقةً بشكل معنوي على الشاهد، مع تفوق واضح لكل من المعاملة المنفردة Mo(N) والمعاملة الثنائية Fe+Mo(N) بتسجيلهما (36، 39 عقدة/نبات) على الترتيب.

4- أسهمت الأشكال النانوية في زيادة وزن البذور، لا سيما تحت تأثير المعاملات المحتوية على المولبيدنيوم النانوي.

5- استناداً إلى النتائج، سجلت المعاملات الثنائية للزنك والحديد النانوي والزنك والمولبيدنيوم النانوي أداءً متواضعاً أمام معاملة الحديد والمولبيدنيوم النانوي، مما يشير إلى وجود خلل في التوازن الغذائي أو حدوث منافسة على مواقع الامتصاص في الجذور.

بناء على ما سبق يقترح في منطقة الدراسة اعتماد المعاملة الثنائية (شيلات الحديد+ مولبيدات الأمونيوم النانوية) بكمية 0.5 كغ/هـ + 25 مل/هـ لزيادة الإنتاجية الكلية، كما نقترح دراسة التأثير طويل الأمد للتطبيقات النانوية على خصوبة التربة والبيئة.

المصادر والمراجع

1- المراجع العربية:

1. **حياص، بشار؛ مهنا، أحمد ، (2006).** إنتاج محاصيل الحبوب والبقول. منشورات جامعة حمص- كلية الهندسة الزراعية، حمص، سوريا.
2. **الجردي، أحمد. (1992).** فيزياء الأراضي – الجزء العملي. قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة، جامعة حلب.
3. **عودة، محمود؛ وشمشم سمير.(2008).** خصوبة التربة وتغذية النبات. منشورات جامعة حمص – كلية الهندسة الزراعية.
4. **العيسى، عبد الله (2005).** علم الأحياء الدقيقة. منشورات جامعة حمص- كلية الهندسة الزراعية.
5. **العيسى، عبد الله (2007).** ميكروبيولوجيا التربة. منشورات جامعة البعث- كلية الهندسة الزراعية.

6. **راين، جون.اسطفان، جورج . والرشيد، عبد . (2003)** .دليل مخبري لتحليل التربة والنبات، المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة ، الإصدار الأول بالغة العربية، حلب ، سورية، ص134 .123-

7. **المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية (2023)**. دائرة الإحصاء، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي. دمشق، سورية.

2- المراجع الأجنبية:

1. 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*(1), Article 372716. https://doi.org/10.1155/2015/372716
2. Baruah, T.C., & Barthakur, H.P. (1997). *A text book of soil analysis*. Vikas Publishing House PVT LTD.
3. Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, *173*(4), 677–702. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x
4. Burman, U., Saini, M., & Kumar, P. (2013). Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological & Environmental Chemistry*, *95*(4), 605–612. https://doi.org/10.1080/02772248.2013.783504
5. Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, *302*(1), 1–17.
6. Dey, J. K., Das, S., & Mawlonglnt, L. G. (2018). Nanotechnology and its importance in micronutrient fertilization. *Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(7), 2306–2314.
7. Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Kaur, J., Verma, V., Kaur, M., Singh, P., Brestic, M., Gaber, A., & Hossain, A. (2022). Interactive effects of molybdenum, zinc and iron on the grain yield, quality, and nodulation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)

Walp.) in North-Western India. *Molecules, 27*(11), 3622. https://doi.org/10.3390/molecules27113622

8. Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Verma, V., Behera, S. K., Singh, P., Alotaibi, S. S., Gaber, A., & Hossain, A. (2021). Comparative efficiency of mineral, chelated and nano forms of zinc and iron for improvement of zinc and iron in chickpea (*Cicer arietinum* L.) through biofortification. *Agronomy, 11*(12), 2436. https://doi.org/10.3390/agronomy11122436
9. Godecke, T., Stein, A. J., & Qaim, M. (2019). The global burden of chronic and hidden hunger: Trends and determinants. *Global Food Security, 17*, 21–29.
10. Hacisalihoglu, G. (2020). Zinc: The last nutrient in the alphabet and shedding light on Zn efficiency for the future of crop production under suboptimal Zn. *Plants, 9*(11), 1471. https://doi.org/10.3390/plants9111471
11. Kaningini, A. G., Motihalamme, T., More, G. K., Azizi, S., Mohale, K. C., & Maaza, M. (2024). Evaluation of the antimicrobial activity and chickpea growth stimulation effects of green synthesized zinc oxide nanoparticles. *Plant Stress, 12*, 100442. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100442
12. Kochian, L. V. (1993). Zinc absorption from hydroponic solutions by plant roots. In A. D. Robson (Ed.), *Zinc in soils and plants* (pp. 45–57). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_4
13. Lacerda, J. S., Martinez, H. E., Pedrosa, A. W., Clemente, J. M., Santos, R. H., Oliveira, G. L., & Jifon, J. L. (2018). Importance of zinc for Arabica coffee and its effects on the chemical composition of raw grain and beverage quality. *Crop Science, 58*(3), 1360–1370. https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0373
14. 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.
15. Mahajan, P., Dhoke, S. K., Khanna, A. S., & Tarafdar, J. C. (2011). Effect of nano-ZnO on growth of mung bean (*Vigna*

radiata) and chickpea (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. *Applied Biological Research, 13*(1), 54–61.

16. Mazhar, Z., Akhtar, J., Alhodaid, A., Naz, T., Zafar, M. I., Iqbal, M. M., Fatima, H., & Naz, I. (2023). Efficacy of ZnO nanoparticles in Zn fortification and partitioning of wheat and rice grains under salt stress. *Scientific Reports, 13*(1), 2022. https://doi.org/10.1038/s41598-022-26039-8
17. Mendel, R. R. (2013). The molybdenum cofactor. *Journal of Biological Chemistry, 288*(19), 13165–13172. https://doi.org/10.1074/jbc.R113.455311
18. Merga, B., & Haji, J. (2019). Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture, 5*(1), 1615718. https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1615718
19. Moinuddin, G., Jash, S., Sarkar, A., & Dasgupta, S. (2017). Response of potato (Solanum tuberosum L.) to foliar application of macro and micronutrients in the red and lateritic zone of West Bengal. *Journal of Crop and Weed, 13*(3), 185–188.
20. Pawar, G. S., Pawar, A. V., Thanekar, D. D., & Rodge, S. M. (2024). Response of nano fertilizers of zinc and ferrous on growth and yield attributes of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Advanced Biochemistry Research, 8*(5), 290–293. https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i5d.1085
21. 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 Agrotecnologia, 42*(5), 474–483. https://doi.org/10.1590/1413-70542018425017518
22. Raliya, R., Saharan, V., Dimkpa, C., & Biswas, P. (2017). Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: Current state and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65*(5), 648–665. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02178
23. Raliya, R., Tarafdar, J. C., & Biswas, P. (2016). Enhancing the mobilization of native phosphorous in mung bean rhizosphere using ZnO nanoparticles synthesized by soil fungi. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, 64(16), 3111–3118. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05224

24. Rana, M. S., Bhantana, P., Imran, M., Saleem, M. H., Moussa, M. G., Khan, Z., ... & El Sabagh, A. (2020). Molybdenum potential vital role in plants metabolism for optimizing the growth and development. *Annals of Environmental Science and Toxicology, 4*(1), 32–44.
25. Rehman, R., Latif, M. M., Khan, M. A., & Ahmed, Z. (2025). Agronomic biofortification of crops with zinc: A comprehensive overview. In M. Govindaraj, V. Govindan, & N. Palacios (Eds.), *Breeding zinc crops for better human health* (pp. 153–179). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84342-6_8
26. Richard, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 60.
27. Sabaghnia, N., & Janmohammadi, M. (2015). Analysis of the impact of nano-zinc, nano-iron, and nano-manganese fertilizers on chickpea under rain-fed conditions. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, sectio C – Biologia, 70*(2), 1–12.
28. Schmidt, W., Thomine, S., & Buckhout, T. J. (2020). Iron nutrition and interactions in plants. *Frontiers in Plant Science, 10*, 1670. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01670
29. Singh, A., Singh, N. B., Afzal, S., Singh, T., & Hussain, I. (2017). Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. *Journal of Materials Science, 52*(21), 12331–12347. https://doi.org/10.1007/s10853-017-1544-1
30. Suryanarayana, C. (2001). Mechanical alloying and milling. *Progress in Materials Science, 46*(1–2), 1–184. https://doi.org/10.1016/S0079-6425(99)00010-9
31. Taran, N. Y., Gonchar, O. M., Lopatko, K. G., Batsmanova, L. M., Patyka, M. V., & Volkogon, M. V. (2014). The effect 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

32. Tikhanov A.B(1979). Brotefoarozeia Recyroocbercaioshai Cictema Obrabotke Botshfe f cteb uejni Odessa, *Zemledelia*, 262p.
33. Umar, W., Hameed, M. K., Aziz, T., Maqsood, M. A., Bilal, H. M., & Rasheed, N. (2021). Synthesis, characterization and application of ZnO nanoparticles for improved growth and Zn biofortification in maize. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *67*(9), 1164–1176. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1782893
34. Valenciano, J., Boto, J., & Marcelo, V. (2011). Chickpea (Cicer arietinum L.) response to zinc, boron and molybdenum application under field conditions. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *39*(4), 217–229. https://doi.org/10.1080/01140671.2011.577079
35. 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.
36. Yadav, A., Yadav, K., & Abd-Elsalam, K. A. (2023). Nanofertilizers: Types, delivery and advantages in agricultural sustainability. *Agrochemicals*, *2*(2), 296–336. https://doi.org/10.3390/agrochemicals2020019
37. Yegrem, L. (2021). Nutritional composition, antinutritional factors, and utilization trends of Ethiopian chickpea (Cicer arietinum L.). *International Journal of Food Science*, *2021*, 5570753. https://doi.org/10.1155/2021/5570753