Vol.3, No.4, Page 973- 989, 2025 https://doi.org/10.59628/jast.v3i4.1594 ISSN 2958-9568 JAST

مجلة جامعة صنعاء للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
Sana'a University Journal of Applied Sciences and Technology
https://journals.su.edu.ye/index.php/jast/

Effect of Nano-Iron and Commercial Fertilizers on Soil Properties and Growth of Carrot (Daucus carota L. var. sativa).

Laila Hefdah Allah Alansi*, Najeeb M. Al-Magrebi

Department of Soil, Water, and Environment, Faculty of Agriculture, Food and Environment, Sana'a University, Sana'a, Yemen.

***Corresponding author**: Lailaalansi37@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 30- August-2024
Accepted: 16- September- 2024
Published: 28 August 202٥

KEYWORDS

1. Iron
2. Nano-fertilizers
3. Soil properties
4. Carrot

ABSTRACT

Iron is an essential element in plant nutrition, playing a vital role in enhancing growth and productivity. Although alkaline soils may contain sufficient quantities of iron, its availability to plants is limited due to high soil pH, primarily caused by elevated levels of calcium carbonate. This condition leads to iron fixation and the manifestation of deficiency symptoms in plants. Traditional iron fertilizers have been used to address this issue; however, they often fail to deliver the desired improvements in soil fertility. In recent years, nano-fertilizers have emerged as a promising alternative for improving nutrient absorption and enhancing soil fertility. This study aimed to evaluate the effect of nano-iron fertilizer, extracted from lemon fruits, in comparison to commercial iron fertilizer on selected soil properties and carrot (Daucus carota L. var. sativa) growth. It also examined the influence of varying nano-fertilizer concentrations on soil nutrient content and chemical characteristics. The experiment was conducted in a greenhouse at the College of Agriculture, Food, and Environment, Sana'a University, during the autumn season of 2022–2023. A completely randomized block design (RCBD) with three replicates was used. Nano-iron was applied at four concentrations (0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 mg/L) via soil application and compared with commercial iron at 1.5 g/L, along with a control treatment (no iron added). Results indicated that the nano-iron fertilizer outperformed the commercial fertilizer in most of the measured parameters. The 2.0 mg/L nano-iron treatment yielded the highest values for total nitrogen (0.21%), available potassium (103.07 ppm), and manganese concentration (81.23 ppm), while reducing electrical conductivity (0.42 dS/m). It also led to improved plant height (19.28 cm), chlorophyll content (1.31 mg/g fresh weight), and vegetative dry weight (4.98 g/plant). Additionally, the 1.0 mg/L nano-iron treatment significantly increased available phosphorus (7.30 ppm) and reduced soil pH to 7.63. These findings demonstrate that nano-iron fertilizer derived from lemon fruits enhances soil fertility and nutrient availability more effectively than commercial iron, contributing to better carrot growth. Therefore, nano-fertilizers present a sustainable and efficient alternative for boosting crop productivity.

Vol.3, No.4, Page 973- 989, 2025 https://doi.org/10.59628/jast.v3i4.1594 ISSN 2958-9568 JAST

مجلة جامعة صنعاء للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
Sana'a University Journal of Applied Sciences and Technology
https://journals.su.edu.ye/index.php/jast/

SUN PUBLISHER

تأثير سماد الحديد النانوي والسماد التجاري على بعض خصائص التربة ونمو نبات الجزر (Daucus carota L. var. sativa)

ليلى حفظ الله جريد العنسي *، نجيب محمد حسين المغربي

[1]قسم الاراضي والمياه والبيئة، كلية الزراعة والأغذية و البيئة، جامعة صنعاء، صنعاء، اليمن .

المؤلف: Lailaalansi37@gmail.com

معلومات المقالة

تاريخ المقالة:

تاريخ التقديم: ١-مارس-٢٠٢٥

تاريخ القبول: ١٤- يونيو- ٢٠٢٥

تاريخ النشر: ٢٨- أغسطس -٢٠٢٥

الكلمات المفتاحية

١. الحديد
٢. الأسمدة النانوية
٣. خواص التربة
٤. الجزر

الملخص:

يُعدّ الحديد عنصرًا أساسيًا في تغذية النبات، حيث يساهم في تحسين نموه وإنتاجيته. وتُعاني الترب القاعدية من انخفاض تيسر عنصر الحديد رغم توفره بكميات كافية، وذلك نتيجة لارتفاع درجة تفاعل التربة (pH) الناجم عن زيادة نسبة كربونات الكالسيوم، مما يؤدي إلى تثبيت الحديد وظهور أعراض نقصه على النبات. وعلى الرغم من استخدام الأسمدة التقليدية المحتوية على الحديد، إلا أنها لم تحقق الكفاءة المطلوبة في تحسين خصوبة التربة. في السنوات الأخيرة، برزت الأسمدة النانوية كبديل واعد لتعزيز امتصاص العناصر الغذائية وتحسين خصوبة التربة. وهدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير سماد الحديد النانوي المحضّر باستخدام مستخلص ثمار الليمون، مقارنةً بالحديد التجاري، على بعض خصائص التربة ونمو نبات الجزر، بالإضافة إلى تحليل تأثير مستويات مختلفة من السماد النانوي على تركيز العناصر الغذائية في التربة وخصائصها الكيميائية. نُفّذت التجربة في البيت المحمي التابع لكلية الزراعة والأغذية والبيئة بجامعة صنعاء خلال الموسم الخريفي ٢٠٢٢–٢٠٢٣، باستخدام تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بثلاث مكررات. تم تطبيق الحديد النانوي بأربعة مستويات (٠.٥، ١، ١.٥، ٢ ملغم/لتر) بطريقة الإضافة الأرضية، ومقارنته بسماد الحديد التجاري بتركيز ١.٥ غم/لتر، بالإضافة إلى معاملة الشاهد (دون إضافة الحديد). أظهرت النتائج تفوّق السماد النانوي على السماد التجاري في معظم الصفات المدروسة، حيث حققت معاملة الحديد النانوي (٢ ملغم/لتر) أعلى القيم في تركيز النيتروجين الكلي (٠.٢١%)، والبوتاسيوم الميسر (١٠٣.٠٧ جزء في المليون)، مع انخفاض في التوصيل الكهربائي (٠.٤٢ ديسيمنز/متر)، وزيادة في تركيز المنغنيز (٨١.٢٣ جزء في المليون)، وارتفاع النبات (١٩.٢٨ سم)، ومحتوى الكلوروفيل (١.٣١ ملغم/جم وزن طري)، والوزن الجاف للمجموع الخضري (٤.٩٨ غرام/نبات). كما تميزت معاملة الحديد النانوي (١ ملغم/لتر) بزيادة تركيز الفسفور الميسر (٧.٣٠ جزء في المليون) وخفض درجة حموضة التربة(7.63) . تؤكد نتائج الدراسة أن السماد النانوي المحضّر من ثمار الليمون يعزز خصوبة التربة ويزيد من توافر العناصر الغذائية مقارنةً بالحديد التجاري، مما يساهم في تحسين نمو نبات الجزر. وعليه، تُظهر الأسمدة النانوية إمكانات كبيرة كبديل مستدام وفعّال لتعزيز إنتاجية المحاصيل.

المقدمة:

يمثل الحديد ما يقارب 5% من وزن القشرة الأرضية والجزء الأكبر منه يوجد في الصفائح البلورية لمختلف المعادن الأولية منها سيليكات المغنيسيا الحديدية مثل الالوفين والاوجيت، عند تجوية هذه المعادن تتكون اكاسيد المعادن وأشهرها الهيماتايت (α–Hematite Fe_2O_3)، المجهيماتايت–γ (Fe_2O_3) وهي أكثر اشكال الحديد استقرارا في الطبيعة [١]. يُعدّ الحديد رابع أكثر العناصر وفرة في القشرة الأرضية بعد الأكسجين والسيليكون والألمنيوم، ويتواجد في التربة بنسب متفاوتة، إذ تتراوح نسبة توفره بين ٠.٠٢% و١٠%. وتزداد تركيزاته عادةً في الطبقات السفلية من التربة، لا سيما في الترب الطينية. يعتمد ظهور أعراض نقص الحديد في النباتات على كمية الحديد المتاح (الميسر) في محلول التربة، إذ توجد هذه الكمية عادةً بمستويات منخفضة مقارنةً بإجمالي كمية الحديد الكلي الموجودة في التربة، سواء في صورته المعدنية مثل Fe^{2+} و Fe^{3+}و $Fe(OH)_2$و Fe $(OH)_2^+$)، أو في صورته العضوية المذابة ضمن المركبات المخلبية. ونظرًا لانخفاض ذوبانية أسمدة الحديد، إضافة إلى أن كفاءة استخدامها لا تتجاوز نحو ٥%، يُضطر المزارعون إلى تعويض هذا النقص من خلال الإضافة المتكررة لأسمدة الحديد خلال الموسم الزراعي الواحد [2]. بسبب ارتفاع مستوى الرقم الهيدروجيني (pH) في معظم أنواع التربة اليمنية، انخفضت جاهزية عنصر الحديد فيها، مما استدعى اللجوء إلى استخدام كميات كبيرة من أسمدة الحديد المستوردة. وقد بلغت الكميات المصرح بدخولها إلى اليمن في عام ٢٠٢٤ نحو ١١,٧٤٦.١ طنًا من الأسمدة الصلبة و١٨,١٤٨ لترًا من الأسمدة السائلة، الأمر الذي يمثل عبئًا ماليًا كبيرًا على المزارعين، ويشكّل ضغطًا اقتصاديًا على الدولة [٣]. تعاني تربة المناطق الجافة وشبه الجافة، ومنها التربة اليمنية، من انخفاض تيسّر عنصر الحديد وتثبيته في صورة غير قابلة للامتصاص، مما يؤدي إلى ظهور أعراض نقصه على النباتات. ويمكن إرجاع انخفاض تيسّره إلى عدة عوامل، أبرزها ارتفاع درجة تفاعل التربة (pH) واحتواؤها على كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم. وتجدر الإشارة إلى أن حوالي ٣٠% من حالات نقص الحديد تُسجَّل في الترب الكلسية أو في الترب التي تحتوي على مستويات مرتفعة من الفسفور، نتيجة ترسّب الحديد في صورة فوسفات الحديد غير الذائبة [٤]. وقد أُجريت العديد من الدراسات حول الطرق التي تساهم في تحسين امتصاص العناصر الصغرى، ومنها عنصر الحديد، في الترب الكلسية. ومن أبرز هذه الطرق: إضافة الأسمدة العضوية، لما لها من دور فعّال في تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، مما ينعكس إيجابًا على زيادة تيسر الحديد وامتصاصه من قِبل النبات، وبالتالي تحسين استفادته منه [٥].

يساعد استخدام التقنيات الحديثة في صناعة الأسمدة على تجاوز مشكلات الأسمدة التقليدية، ويُسهم في رفع كفاءة استخدامها بشكل ملحوظ. ومن أبرز هذه التقنيات تقنية النانو، التي تعتمد على تخليق جسيمات دقيقة ذات أبعاد تتراوح بين ١ و١٠٠ نانومتر. وتمتاز هذه الجسيمات بخصائص فيزيائية وكيميائية تختلف عن المواد الأصلية التي تُكوّنها، وذلك بفضل هندسة جزيئات المعدن بأشكال وأحجام متنوعة، مما يعزز من فعاليتها في نقل العناصر الغذائية وتحسين امتصاصها من قبل النبات [٦]. في الآونة الأخيرة، ازداد الاهتمام بإنتاج المواد المعدنية النانوية نظرًا لتنوع استخداماتها، وأبرزها في مجالي الزراعة والبيئة [٧]. تعود أهمية المواد النانوية بشكل رئيسي إلى ارتفاع نسبة سطحها إلى حجمها، نتيجة لصغر حجمها المتناهٍ، مما يزيد من مساحة التماس بينها وبين الأجسام الأخرى، ويعزز تفاعلها وفعاليتها في التطبيقات المختلفة [٨]، كما أن المواد النانوية تُمتص بسرعة عالية، ويساهم إنتاجها أيضًا في تقليل استهلاك الموارد الطبيعية والطاقة، مما يؤدي بدوره إلى تقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن مصانع الأسمدة التقليدية، والتي تُسهم في التغيرات المناخية الحادة. يُعدُّ أكسيد الحديد النانوي من الأكاسيد المعدنية ذات الأهمية الكبيرة نظرًا لتعدد تطبيقاته في التقنيات المتقدمة، حيث يُستخدم على نطاق واسع في العديد من المجالات الطبية والحيوية، ومنها استخدامه كسماد في المجال الزراعي. وتتطلب جميع هذه التطبيقات أن تكون جسيمات أكسيد الحديد النانوية ($NPs\ Fe_2O_3$) ذات أبعاد دقيقة وصغيرة جدًا، حيث يتراوح حجمها ضمن مدى ضيق بين ١ و١٠٠ نانومتر[6].

نظرًا للأهمية الكبيرة التي يلعبها عنصر الحديد في نمو النباتات وصحة التربة، وبالنظر إلى التحديات التي تواجهها التربة اليمنية فيما يتعلق بتيسّر هذا العنصر الحيوي، أصبح البحث عن حلول مبتكرة وفعالة ضرورة ملحة لضمان تحقيق إنتاجية زراعية مستدامة. يُعد الحديد عنصرًا أساسيًا في عمليات التمثيل الضوئي وتكوين الكلوروفيل، كما يسهم في تنشيط العديد من الإنزيمات الضرورية لنمو النباتات. ومع ذلك، تعاني العديد من أنواع التربة في اليمن من نقص تيسّر الحديد، سواء بسبب ارتفاع درجة القلوية أو التفاعلات الكيميائية التي تحد من قدرة الجذور على امتصاصه. في هذا السياق، برزت تقنية النانو كحل واعد لتحسين كفاءة امتصاص المغذيات من قبل النباتات، حيث تتيح جزيئات النانو التحكم الدقيق في إطلاق المغذيات وزيادة تيسّرها، مما يقلل من الفاقد المرتبط باستخدام الأسمدة التقليدية، ويخفض التكاليف الاقتصادية، ويحد من الآثار البيئية السلبية الناجمة عن الاستخدام المفرط للأسمدة المعدنية. بناءً عليه، يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استخدام سماد الحديد النانوي مقارنة بالسماد التجاري التقليدي على بعض خصائص التربة، بالإضافة إلى تقييم تأثيره على نمو وإنتاجية نبات الجزر (Daucus carota) كما يسعى البحث إلى تقييم مدى فعالية الأسمدة

النانوية في تحسين امتصاص الحديد وتحفيز نمو النبات، مما يسهم في اقتراح حلول زراعية مستدامة تعزز من كفاءة استخدام الموارد الطبيعية وتدعم الأمن الغذائي في اليمن.

٢. مواد وطرق العمل:

تحضير سماد الحديد النانوي Fe_2O_3 باستخدام مستخلص الليمون

تم استخدام مستخلص ثمار نبات الليمون (Citrus) المُحضَّر مسبقًا، نظرًا لغناه بحمض الستريك، الذي يتفاعل مع نترات الحديد الثلاثي ($Fe(NO_3)_3$) لتكوين دقائق أكسيد الحديد النانوية، والتي يمكن استخدامها كسماد. وقد تم تحضير هذه الدقائق باستخدام طريقة السول–جل ذات الاحتراق الذاتي (Sol–Gel Auto–Combustion Method) [٩] وتُعد هذه الطريقة سهلة وآمنة، وتتميز بقدرتها على إنتاج كميات وفيرة من جسيمات أكسيد الحديد النانوية ذات الأبعاد المتجانسة. كما تُتيح إمكانية استخدامها لأغراض تجارية، ومنها إنتاج الأسمدة النانوية بتكلفة منخفضة نسبيًا [١٠].

المواد المستخدمة في تحضير السماد النانوي

تم تحضير جسيمات أكسيد الحديد النانوية باستخدام نترات الحديد الثلاثية ($Fe(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$) بنسبة نقاء ٩٩.٥% (Fluka) كمصدر أساسي للحديد، بالإضافة إلى استخدام الأمونيا السائلة (NH_4OH) بنسبة نقاء ٩٩.٥% كعامل منظم لدرجة الحموضة (pH) أثناء التفاعل. كما تم استخدام مستخلص عصير الليمون اليمني، الغني بحمض الستريك ($C_6H_8O_7$)، ليعمل كمادة مختزلة ومثبتة، بهدف تقليل تكتل الجسيمات النانوية والحفاظ على استقرارها البنيوي.

تحضير مستخلص الليمون

تم جمع ثمار الليمون الطازجة وغسلها جيدًا بالماء المقطر، ثم تقطيعها وعصرها للحصول على مستخلص العصير. بعد ذلك، تم ترشيح المستخلص باستخدام أوراق ترشيح لإزالة الشوائب الصلبة، ثم جُمع العصير المُرشَّح في دورق زجاجي نظيف مُغسل مسبقًا بالماء المقطر. وبهذا أصبح المستخلص جاهزًا لاستخدامه في تحضير السماد النانوي.

طريقة العمل:

تم أخذ ٣٠ مل من مستخلص عصير الليمون المصفّى ووُضع في دورق زجاجي بسعة ١٠٠ مل، ثم أُضيف إليه ١٠ جم من نترات الحديد الثلاثية ($Fe(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$). سُخن الخليط باستخدام محرك مغناطيسي لتذويب نترات الحديد بشكل جيد، ثم أُضيفت قطرات من الأمونيا السائلة (NH_4OH) تدريجيًا حتى تم ضبط الرقم الهيدروجيني (pH) ليصبح ٧. بعد ذلك، تم رفع درجة حرارة الخليط إلى ٩٠ درجة مئوية حتى تحوّل إلى محلول لزج(Gel) ، ثم استمرت عملية التسخين حتى ١٢٠ درجة مئوية ليتم الحصول على الجل الجاف .(Xerogel) أُضيف

مستخلص الليمون مرة أخرى كمصدر وقود لتعزيز عملية الاشتعال الذاتي. تُرك المسحوق الجاف الأحمر الطوبي الناتج ليبرد، ثم جُمع وطُحن في هاون خزفي يدوي. أُدخل المسحوق المحضّر إلى بوتقة خزفية ووضِع في فرن عند درجة حرارة ٦٠٠ درجة مئوية لمدة ساعتين. بعد التبريد، جُمع المسحوق النهائي وطُحن مرة أخرى، ثم أُجريت عليه اختبارات حيود الأشعة السينية (XRD) للتحقق من أن حجم الجسيمات المحضّرة يقع ضمن النطاق النانوي (٠–١٠٠ نانومتر) [١١]، كما هو موضح في الصورة رقم (١).

صورة (١) سماد الحديد النانوي المحضر

تم قياس نسبة الحديد في السماد النانوي المُحضَّر بعد المعالجة الحرارية باستخدام جهاز الامتصاص الذري (Atomic Absorption Spectroscopy)، حيث بلغت نسبة الحديد ٣٣.٧٥%. وقد أُجري هذا البحث بهدف دراسة تأثير إضافة سماد الحديد النانوي المُنتج في معمل قسم الأراضي والمياه والبيئة، كلية الزراعة والأغذية والبيئة – جامعة صنعاء، باستخدام مستخلص ثمار الليمون المتوفرة محليًا في البيئة اليمنية.

شملت الدراسة إجراء القياسات والتحاليل الفيزيائية والكيميائية لتشخيص مكونات السماد والتحقق من وصول الجسيمات إلى الحجم النانوي المطلوب (٠–١٠٠ نانومتر)، بالإضافة إلى تقييم تأثير مستويات مختلفة من السماد النانوي ومقارنتها مع السماد التجاري المتوفر في الأسواق، من حيث تأثيرها على بعض خواص التربة ونمو نبات الجزر (Daucus carota L.). تم تنفيذ تجربة أصص باستخدام تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بثلاث مكررات، حيث تم اختبار أربعة مستويات من سماد الحديد النانوي المحضر بتركيزات (٠.٥، ١، ١.٥، ٢ ملغرام/لتر)، ورُمز لها بالرموز N2 ، N3، N4، N5 على التوالي. كما تم استخدام المستوى الموصى به من سماد الحديد التجاري) سيكوسترين ١٣٨ (Fe بتركيز ١.٥ غرام/لتر ورُمز له بـN1 ، بالإضافة إلى معاملة الشاهد التي لم يضف لها سماد حديد، ورُمز لها بـ.N0 تمت إضافة جميع المعاملات مع ماء الري بطريقة الإضافة الأرضية. وبلغ عدد التراكيز المستخدمة في التجربة ستة تراكيز، وُزعت عشوائيًا على الوحدات التجريبية، ليصبح إجمالي عدد الوحدات ١٨ وحدة تجريبية. كما هو موضح في الصورة (٢).

صوره (٢) تجربة زراعه نبات الجزر

٢-١ تنفيذ التجربة

أُجريت التجربة في أصص بلاستيكية بسعة ١٢ كغم، حيث وُضع في كل أصيص ١٠ كغم من التربة التي تم جمعها من المزرعة التعليمية التابعة لكلية الزراعة. نُفذت التجربة في أحد مشاتل كلية الزراعة – جامعة صنعاء، خلال الموسم الزراعي الخريفي ٢٠٢٢–٢٠٢٣م، باستخدام ١٨ أصيصًا. تمت زراعة بذور الجزر (الصنف نانتس – إنتاج شركة بيجو) في التربة المنخولة والمخلوطة بالسماد العضوي (البيتموس)، بمعدل عشر بذور لكل أصيص، وذلك بتاريخ ١٩ نوفمبر ٢٠٢١. وقد رُويت الأصص مباشرة بريًا سطحيًا خفيفًا لترطيب البذور، وتكررت عملية الري كلما دعت الحاجة. وبعد نحو شهر من الزراعة، وبعد وصول النباتات إلى مرحلة أربع أوراق حقيقية، تم خفّ النباتات إلى خمس نباتات في كل أصيص. أضيف السماد الفوسفاتي) سوبر فوسفات الكالسيوم الثلاثي بنسبة ٢٠ (P %لجميع المعاملات قبل الزراعة، دفعة واحدة، بجرعة تعادل التوصية السمادية البالغة ١٧٠ كغم/هكتار. كما أُضيف السماد النيتروجيني على شكل كبريتات الأمونيوم (21% N) لجميع المعاملات، بجرعة ١٣٠ كغم/هكتار على دفعتين. وأُضيف السماد البوتاسي على شكل كبريتات البوتاسيوم (50% K) بجرعة ١٦٠ كغم/هكتار، أيضًا على دفعتين، وذلك بخلطه مع التربة قبل الزراعة [١٢]. تم أخذ عينة عشوائية من التربة قبل تعبئتها في الأصص، ونُخِلت باستخدام منخل بفتحات قطرها ٢ ملم، ثم أُرسلت لتحليل خصائصها الفيزيائية والكيميائية في مختبر قسم الأراضي والمياه والبيئة – كلية الزراعة والأغذية والبيئة – جامعة صنعاء.

٢-٢ التحاليل والقياسات

تم تحليل خصائص التربة الكيميائية قبل الزراعة (الجدول ١)، وكذلك بعد الحصاد لكل معاملة، وذلك بهدف تقييم التغيرات في خواص التربة الناتجة عن

جدول (١) الصفات الكيميائية والفيزيائية للتربة قبل الزراعة

الصفات الكيميائية				الصفات الفيزيائية			
الصفة	وحدة القياس	القيمة	طريقة التقدير	الصفة	وحدة القياس	القيمة	طريقه التقدير
pH	-	8	pH meter	الكثافة الظاهرية	غم/ سم^3	1.35	الأسطوانة ذات الحجم المعلوم
EC	m/ ds	0.6	EC-meter	الرمل	%	20	
النتروجين الكلي	%	0.56	Kjeldahl				الهيدروميت
الفسفور الجاهز	ملغم / كغم تربة	20	Olsen	السلت	%	26	
البوتاسيوم الجاهز		189	خلات الأمونيوم				
الحديد	ملغم/ كغم تربة	4.5	DTPA	الطين	%	54	
الزنك		2.4					
المنجنيز		3.7		النسجة	clay		
كربونات الكالسيوم	%	١٢	الترسيب والمعايرة				

استخدام مستويات مختلفة من سماد الحديد النانوي. وقد تم إجراء التحاليل الكيميائية وفقًا للطرق العلمية القياسية المعتمدة والمبينة في "دليل تحليل التربة والماء والنبات للمناطق الجافة وشبه الجافة[13]

3 – التحليل الاحصائي:

تم تحليل البيانات إحصائيًا بعد تبويبها وترتيبها وفقًا لاختبار تحليل التباين (Analysis of Variance – ANOVA) باستخدام برنامج التحليل الإحصائي SPSS. كما قُورنت متوسطات المعاملات باختبار أقل فرق معنوي معدل (Revised Least Significant Difference – RLSD) عند مستوى دلالة إحصائية ٠.٠٥ [١٤].

٤ – النتائج والمناقشات

٤–١ تأثير إضافة سماد الحديد النانوي والتجاري على بعض خواص التربة الكيميائية

٤–١–١ درجة تفاعل التربة (PH)

وجد من نتائج التحليل الإحصائي (جدول ٢) أن إضافة سماد الحديد النانوي إلى التربة له تأثير إيجابي في خفض درجة تفاعل التربة. حيث تفوقت المعاملة N3 بتركيز ١ ملغرام/لتر في خفض درجة التفاعل إلى ٧.٦٣، مع نسبة انخفاض بلغت ١.٣١% و١.٨٤% على التوالي مقارنة بمعاملة السماد التجاري N1 بتركيز ١.٥ ملغرام/لتر التي أعطت قيمة ٧.٧٣، ومعاملة الشاهد التي سجلت أعلى قيمة بلغت ٧.٧٧.

ويُعزى ذلك إلى التركيب الكيميائي لسماد الحديد النانوي الذي يحتوي على حمض الستريك، مما ساهم في خفض درجة تفاعل التربة وزيادة جاهزية العناصر الغذائية للنبات. كما أوضحت نتائج الجدول ٢، عدم وجود فروق معنوية بين معاملات سماد الحديد النانويN3، N4، وN5، والتي أعطت جميعها نفس المتوسط بلغ ٧.٦٣. ويرجع السبب في ذلك إلى طبيعة النسجة والخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة (جدول ١)، بالإضافة إلى نوع السماد المضاف وتركيزه المحدد في الدراسة. كما قد يكون السبب في احتواء السماد النانوي على حمض الستريك الذي أدى إلى خفض درجة تفاعل التربة، وهو ما أكده Abdulmalik [١٥] في دراسته حول تأثير حمض الستريك وقشور الليمون في تحسين خواص التربة.

ولم يسجل أي اختلاف معنوي بين السماد التجاري ومعاملة المقارنة، كما لم يكن الفرق معنويًا بين معاملة السماد التجاري N1 التي أعطت ٧.٧٣، ومعاملة السماد النانوي N2 بتركيز ٠.٥ ملغرام/لتر التي أعطت متوسطًا بلغ ٧.٦٧. كما لم يكن هناك فرق معنوي بين المعاملة N2 مقارنة بمعاملات الأسمدة النانوية الثلاثة الأخرى.

٤-١-٢التوصيل الكهربائي EC

تشير نتائج التحليل الإحصائي في جدول (٢) إلى وجود فروق معنوية في درجة التوصيل الكهربائي لمحلول التربة. إذ أدى زيادة مستويات إضافة الحديد النانوي إلى انخفاض ملوحة التربة. حيث سجلت المعاملة N5 أقل متوسط بلغ ٠.٤٢ ديسيمنز/متر، تلتها المعاملة N4 بمتوسط ٠.٤٩ ديسيمنز/متر، ثم المعاملةN3 ، تلتها المعاملةN2 ، بنسبة انخفاض بلغت ١٦.٦٧%، ٢.١%، و٢% على التوالي، مع فروق معنوية مقارنة بمعاملة السماد التجاري N1 ومعاملة الشاهد التي أعطت متوسطات بلغت ٠.٤٩ و٠.٤٦ ديسيمنز/متر على التوالي. ولم تُسجل فروق معنوية بين المعاملتين N1 وN4. وقد يُعزى السبب في ذلك إلى أن إضافة السماد النانوي تحسن من خصائص التربة، حيث يقلل من الكثافة الظاهرية ويزيد من مساميتها، مما يعزز قابلية التربة على غسل الأملاح [١٦].

٤-٢ تأثير إضافة سماد الحديد النانوي والتجاري على تركيز بعض العناصر الكبرى في التربة

٤-٢-١ النيتروجين الكلي

تبين نتائج التحليل الإحصائي في جدول (٢) أن إضافة سماد الحديد النانوي إلى التربة أثرت بشكل معنوي في زيادة تركيز النيتروجين الكلي فيها. حيث أعطت معالجة سماد الحديد النانوي N5 أعلى متوسط بلغ ٠.٢١%، مقارنة بمعاملة الشاهد N0 التي أعطت ٠.٢٠%، ومعاملة السماد التجاري التي سجلت متوسطًا بلغ ٠.١٨%، بنسب زيادة بلغت ٥% و١٦.٦٧% على التوالي. في حين أدى إضافة السماد التجاري N1 والسماد النانوي N2 إلى حدوث انخفاض معنوي في محتوى التربة من النيتروجين الكلي مقارنة بمعاملة الشاهد. ويُعزى ذلك إلى زيادة نمو النبات وامتصاصه للنيتروجين، وهو ما

جدول (٢) تأثير إضافة سماد الحديد النانوي والتجاري في بعض خواص التربة الكيميائية

المعاملات	التراكيز المضافة	تركيز العنصر جزء بالمليون			PH	EC ds/m
		N%	جزء بالمليونP	جزء بالمليون K		
N0	الشاهد	0.20b	4.87 c	77.80 c	7.77a	0.46 d
N1	1.5غرام/ لتر	0.18 c	6.07 b	95.67 b	7.73 a	0.49 c
N2	0.5 ملغرام/ لتر	0.17 d	5.27 c	92.79 b	7.67 ab	0.51 a
N3	1ملغرام/ لتر	0.18 c	7.30 a	100.61 ab	7.63b	0.50 b
N4	1.5ملغرام/ لتر	0.20 b	6.37 b	101.43 a	7.63 b	0.49 c
N5	2ملغرام/ لتر	0.21 a	5.75 b	103.07 a	7.63 b	0.42 e
المتوسط		0.19	5.94	95.23	7.68	0.48
LSD 0.05		0.012	0.86	3.01	0.064	0.072

يتفق مع نتائج Rameshaiah, et al. [١٧] التي أثبتت أن معالجة النبات بالأسمدة النانوية ساعدت في زيادة امتصاص العناصر المغذية من التربة، وزادت من نشاط الإنزيمات، ورفعت الإنتاج بنسبة ٥٤%. والسبب الأساسي لتفوق المعاملة N5 في زيادة النيتروجين الكلي يعود إلى انخفاض درجة الحموضة (pH) إلى ٧.٦٣ وانخفاض التوصيل الكهربائي إلى ٠.٤٢ ديسيمنز/متر عند نفس المعاملة، مما ساهم في تحفيز وفرة النيتروجين بكميات أفضل مقارنة ببقية المعاملات الأخرى. كما أن الحديد قام بتحفيز تحرر النيتروجين، الذي يعد العنصر الأساسي في المغذيات، من مركباته العضوية عبر عملية النترجة، وزيادة نشاط الكائنات الحية الدقيقة [١٨].

٤-٢-٢ الفسفور الميسر

تشير نتائج جدول (٢) إلى أن زيادة مستويات إضافة تركيز السماد النانوي إلى التربة أدت إلى زيادة محتوى التربة من الفسفور الميسر مقارنة بمعاملة الشاهد. وقد تفوقت معاملة السماد النانوي N3 في إعطاء أعلى تركيز بمتوسط بلغ ٧.٣٠ جزء في المليون، تلتها المعاملة N4 بمتوسط ٦.٣٧ جزء في المليون، مقارنة بمعاملة السماد التجاري التي أعطت ٦.٠٧ جزء في المليون، ومعاملة الشاهد N0 التي سجلت أقل متوسط بلغ ٤.٨٧ جزء في المليون. ويُعزى السبب في ذلك إلى أن زيادة عنصر الحديد في التربة قد يعيق امتصاص الفسفور من قبل النبات حسب مقياس مولدر. كما سجلت المعاملة N5 قيمة أقل من المعاملتين N3 و N4، وهو دليل على زيادة امتصاص

النبات لعنصر الفسفور بزيادة الحديد، وذلك نتيجة لانخفاض درجة تفاعل التربة (pH) إلى ٧.٦٣، والتوصيل الكهربائي إلى ٠.٥٠ ديسيمنز/متر عند نفس المعاملة. فضلاً عن تحرر النيتروجين الذي ساهم في تحفيز جاهزية عنصر الفسفور للامتصاص من قبل النبات [١٩].

٤-٢-٣ البوتاسيوم الميسر

أشارت نتائج التحليل الإحصائي في جدول (٢) إلى وجود فروق معنوية في محتوى التربة من البوتاسيوم الجاهز مع زيادة مستويات إضافة سماد الحديد النانوي. إذ تفوقت المعاملة N5 بإعطاء أعلى متوسط بلغ ١٠٣.٠٧ جزءًا في المليون، مقارنة بمعاملة الشاهد N0 ومعاملة السماد التجاري N1 التي أعطت أقل متوسط بلغ ٧٧.٨٠ و٩٥.٦٧ جزءًا في المليون على التوالي، وبنسبة زيادة بلغت ٣٢.٤٨% و٧.٧٤% على التوالي. ولم تكن الفروق معنوية بين المعاملات N5 و N4وN3التي أعطت متوسطات بلغت ١٠٣.٠٧ و١٠١.٤٣ و١٠٠.٦١ جزءًا في المليون على التوالي. كما أعطت معاملة السماد التجاري N1 متوسطًا بلغ ٩٥.٦٧ جزءًا في المليون، ولم يكن لها فرق معنوي مع معاملة السماد النانوي N2 التي أعطت ٩٢.٧٩ جزءًا في المليون. ويرجع السبب في ذلك إلى تفوق السماد النانوي في المعاملة N5 في زيادة النسبة المئوية للنيتروجين الكلي، مما انعكس على زيادة متوسط تركيز البوتاسيوم أيضًا، كونهما من العناصر الكبرى المرتبطة معًا. ويتفق هذا مع ما توصل إليه Hamza [٢٠] الذي أكد زيادة نسبة البوتاسيوم في نبات القمح مع زيادة كمية النيتروجين المضافة إلى التربة.

٤-٣ تأثير إضافة سماد الحديد النانوي والتجاري على تركيز بعض العناصر الصغرى في التربة

٤-٣-١ الحديد الجاهز

تبين نتائج التحليل الإحصائي في جدول (٣) وجود فروق معنوية في محتوى التربة من الحديد الميسر عند إضافة سماد الحديد النانوي مقارنة بمعاملة السماد التجاريN1 ، التي سجلت أعلى متوسط لتركيز الحديد في التربة بلغ ٣٥.٦٥ جزءًا في المليون، بينما سجلت المعاملة N5 أقل قيمة بلغت ٣٠.٠٨ جزءًا في المليون. ولم تُلاحظ فروق معنوية بين المعاملةN2 ، ومعاملة السماد التجاريN1 ، ومعاملة الشاهد التي سجلت متوسطًا بلغ ٣١.٠٥ جزءًا في المليون. وقد تفوقت المعاملة N2 على المعاملاتN3 ، N4، و N5التي أعطت متوسطات بلغت ٣١.٢٠، ٣٠.٢١، و٣٠.٠٨ جزءًا في المليون على التوالي. ويُعزى السبب في تناقص تركيز الحديد في التربة إلى زيادة امتصاص النبات له نتيجة تيسره وسهولة امتصاصه، وهو ما أكده Rameshaiah, et al. [١٧] الذي أثبت أن إضافة الأسمدة النانوية تزيد من معدل امتصاص النبات للعناصر من التربة إضافة إلى ذلك، قد يرجع السبب إلى استقرار السماد التجاري في التربة واحتوائه على الحديد ثنائي التكافؤ،

الذي يتمتع بثباتية عالية في التحرر ضمن نطاق درجة الحموضة (pH) بين ٣ و١١. كما لوحظ انخفاض طفيف في صفتي درجة الحموضة (٧.٧٣) والتوصيل الكهربائي (٠.٤٩ ديسيمنز/متر) عند المعاملةN5 ، مما يمثل وسطًا بيئيًا جيدًا للحديد. فضلاً عن ذلك، يتميز السماد النانوي بفعالية عالية في تزويد التربة بالحديد، مما يزيد من معدل التمثيل الضوئي، ويحسن حالة نمو النبات الخضري، ويعزز امتصاصه للعنصر، وهو ما ينعكس لاحقًا على النمو الثمري الجيد، وما تحويه الثمرة من مغذيات ضرورية، منها عنصر الحديد [٢١]. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Rameshaiah, et al. [١٧] الذي أشار إلى أن إضافة الأسمدة النانوية تزيد من معدل امتصاص النبات للعناصر الكيميائية المختلفة.

٤-٣-٢ الزنك الجاهز

تشير بيانات التحليل الإحصائي في الجدول (٣) إلى أن إضافة سماد الحديد النانوي أدت إلى انخفاض متوسط تركيز عنصر الزنك في التربة مع زيادة مستويات الإضافة، حيث سجلت المعاملة N5 أقل قيمة بلغت ٤.١٨ جزء في المليون، تلتها المعاملات N4، N3، N2بمتوسطات بلغت ٤.٢٤، ٤.٤٠، و٤.٤٩ جزء في المليون على التوالي، مقارنةً بمعاملة السماد التجاري N1 التي سجلت أعلى قيمة بلغت ٦.١٢ جزء في المليون، ومعاملة الشاهد N0 التي أعطت متوسطًا بلغ ٥.٥٨ جزء في المليون. كما وُجد أنه لا توجد فروق معنوية بين المعاملة N1 ومعاملة N0والمعاملة N2. ولعل السبب في ذلك يعود إلى أن السماد التجاري يمتاز باحتوائه على مجموعات فعالة مثل الكربوكسيل أو الكيتون أو الهيدروكسيل أو الفينول، والتي تساهم في ربط العناصر متعددة التكافؤ في التربة وتشكيل مركبات مخلبية ذات طاقة ارتباط عالية بالعناصر. كما أن الانخفاض الطفيف في صفتي الأس الهيدروجيني (٧.٧٣) والتوصيل الكهربائي (٠.٤٩ ديسيسمنز/متر) عند نفس المعاملة ساهم في توفير الزنك في محلول التربة. فضلًا عن ذلك، فإن الأسمدة النانوية قد تعمل أحيانًا ببطء في تحفيز امتصاص العناصر الأخرى، ولا سيما تلك التي تكون متماثلة التكافؤ، مما يساعد لاحقًا في تسهيل امتصاصها وتوفرها للنبات، وهو ما ينعكس إيجابًا على جاهزيتها [٢٢]. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Rameshaiah, et al [17]، الذي أشار إلى أن إضافة الأسمدة النانوية يزيد من معدل امتصاص النبات للعناصر الكيميائية المختلفة.

٤-٣-٣ المنجنيز الجاهز

أظهر التحليل الإحصائي في الجدول (٣) أن إضافة سماد الحديد النانوي أثرت معنويًا في زيادة محتوى التربة من عنصر المنغنيز. وقد تفوقت المعاملة N5 بإعطاء أعلى متوسط بلغ ٨١.٢٣ جزءًا في المليون، مقارنةً بمعاملة السماد التجاري N1 التي سجلت متوسطًا بلغ ٧٨.٢ جزءًا في المليون، ومعاملة الشاهد N0 التي أعطت متوسطًا بلغ ٧٥.٠٢ جزءًا في المليون، بزيادة بلغت ٣.٨٤% و٨.٢٦% على التوالي.

جدول (٣) تأثير إضافة سماد الحديد النانوي والتجاري في تركيز العناصر الصغرى (جزء بالمليون)

المعاملات	التراكيز المضافة	تركيز العناصر (جزء بالمليون)		
		جزء بالمليونFe	جزء بالمليونZn	جزء بالمليونMn
N0	الشاهد	31.05 ab	5.58 a	75.02 d
N1	1.5 غرام/ لتر	35.65 a	6.12 a	78.23 c
N2	0.5 ملغرام/ لتر	33.17 a	4.49 ab	80.17 b
N3	1ملغرام/ لتر	31.20 b	4.40 b	80.82 a
N4	1.5ملغرام/ لتر	30.21 b	4.24 b	81.05 a
N5	2ملغرام/ لتر	30.08 b	4.18 b	81.23 a
المتوسط		31.89	4.84	79.42
LSD 0.05		4.17	0.54	0.51

ولم يكن هناك فرق معنوي بين معاملات السماد النانوي N3 و N4فيما بينهما، حيث أعطتا متوسطين بلغا ٨١.٠٥ و٨٠.٨٢ جزءًا في المليون على التوالي، لكن بفارق معنوي عند المقارنة مع معاملة السماد التجاري N1 ومعاملة الشاهد.N0 أما معاملة N2 فقد أعطت متوسطًا بلغ ٨٠.١٧ جزءًا في المليون، بفارق معنوي مقارنةً بمعاملة السماد التجاري N1 ومعاملة الشاهدN0 ، وبزيادة معنوية بلغت ٢.٤٨% و٦.٨٧% على التوالي. كما وُجد اختلاف معنوي بين المعاملة N1 والمعاملة N0 في هذه الصفة. وقد يُعزى السبب في زيادة تركيز عنصر المنغنيز إلى ارتفاع تركيز الحديد المضاف، نتيجة التضاد بين العنصرين حسب مقياس مولدر، حيث إن زيادة الحديد تقلل من امتصاص المنغنيز. وربما يُعزى السبب أيضًا إلى انخفاض الأس الهيدروجيني (٧.٦٣) والتوصيل الكهربائي (٠.٤٢ ديسيمنز/متر) عند المعاملة N5، مما ساعد في تيسير عنصر المنغنيز في التربة. كما أن تفوق عنصري النيتروجين والبوتاسيوم في الجدول (٢) لنفس المعاملات قد ساهم في تحفيز جاهزية المنغنيز.

٤-٤ تأثير إضافة سماد الحديد النانوي والتجاري على بعض خواص النمو الخضري لنبات الجزر

٤-٤-١ ارتفاع النبات

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي في الجدول (٤) وجود تأثير معنوي لزيادة مستويات الإضافة من سماد

الحديد النانوي في زيادة الطول الخضري للنبات، حيث سجلت المعاملة N5 أعلى متوسط بلغ ١٩.٢٨ سم، مقارنةً بمعاملة الشاهد N0 التي أعطت أقل متوسط بلغ ١٥.٦٠ سم، ومعاملة السماد التجاري N1 التي سجلت متوسطًا بلغ ١٧.٠٢ سم، وبنسب زيادة بلغت ٢٣.٥٩% و١٣.٢٨% على التوالي. ولم يكن الفرق معنويًا بين المعاملة N5 والمعاملتين N4 وN3، اللتين أعطتا متوسطين بلغا ١٨.٨٣ و١٨.٢٥ سم على التوالي. كما لم يُلاحظ أي فرق معنوي بين معاملة السماد التجاري N1 ومعاملة الشاهد N0 في هذه الصفة. وقد تفوقت معاملتا السماد النانوي N2 و N3على معاملة الشاهد، حيث بلغ متوسط الطول الخضري ١٧.٥٤ و١٨.٢٥ سم على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Aqeel Najm Aboud Al-Muhammadi [٢٣]، الذي أثبت فعالية السماد النانوي المحتوي على عنصر الحديد في تسريع عملية امتصاص الحديد، مما شجع على تكوين الكلوروفيل، الذي يشكل نحو ٨٠% من صبغة الكلوروفيل الكلية، وبالتالي زيادة معدل التمثيل الضوئي، الأمر الذي يُحسّن الحالة العامة للنمو الخضري، ومنها صفة ارتفاع النبات .كما تتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه Al-Hajri [٢٤] في دراسته حول تأثير طريقة الإضافة لمستويات مختلفة من الحديد المعدني والنانوي المخلّبي في بعض المؤشرات الفسيولوجية والكيموحيوية والتشريحية لنبات Moringa oleifera Lam.، حيث وُجد تأثير معنوي في زيادة ارتفاع النبات عند معالجته بسماد الحديد النانوي مقارنة بالسماد المعدني.

٤-٤-٢ الوزن الجاف

أشار التحليل الإحصائي في الجدول (٤) إلى وجود فروق معنوية في صفة الوزن الجاف للمجموع الخضري، وذلك بنفس الاتجاه الذي سلكته صفة الوزن الطري. إذ تفوقت المعاملة N5 بأعلى متوسط بلغ ٤.٩٨ غرام/نبات، بنسبة زيادة بلغت ٤٥.١٩% مقارنةً بمعاملة الشاهد N0 التي سجلت أقل متوسط بلغ ٣.٤٣ غرام/نبات، ومعاملة السماد التجاري N1 التي سجلت متوسطًا بلغ ٤.١٦ غرام/نبات بنسبة زيادة قدرها ٧.٦٩%. وقد يُعزى هذا التفوق إلى أن المركبات النانوية توفر مساحة سطحية أكبر تسهم في تعزيز العمليات الفسيولوجية داخل النبات، وأهمها زيادة معدل البناء الضوئي، مما يؤدي إلى تحفيز النمو العام للنبات، وبالتالي ارتفاع معدل إنتاج الكربوهيدرات ونسبة المادة الجافة في النبات [٢٥]. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Al Rkabe, et al. [٢٦] في دراسته حول تأثير إضافة سماد الحديد النانوي والمعدني على نمو نبات الفول، حيث أظهرت النتائج زيادة معنوية في معدل الوزن الجاف للمجموع الخضري، بالإضافة إلى تحسن نسبة الوزن الجاف

للمجموع الجذري إلى الوزن الجاف للمجموع الخضري مقارنةً بالنباتات غير المعاملة (الشاهد).

٤-٤-٣ الكلوروفيل

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي في الجدول (٤) وجود زيادة في تركيز الكلوروفيل في الجزء الخضري للنبات مع ارتفاع مستويات السماد المضاف. حيث أعطت المعاملة N5 أعلى متوسط بلغ ١.٣١ ملغرام/غرام وزن طري، بفارق معنوي مقارنةً بمعاملة الشاهد N0 التي سجلت أقل متوسط بلغ ٠.٨٢ ملغرام/غرام وزن طري، ومعاملة السماد التجاري N1 التي سجلت متوسطًا بلغ ١.٠٦ ملغرام/غرام وزن طري. وقد بلغت نسبة الزيادة المعنوية ٥٩.٧٦% و٢٩.٢٧% مقارنةً بمعاملتي الشاهد والسماد التجاري على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه Al-Antary, et al. [٢٧]، الذي أكد أن إضافة الحديد تسهم في زيادة محتوى الجزء الخضري من صبغة الكلوروفيل.

جدول (٤) تأثير إضافة سماد الحديد النانوي والتجاري على بعض خواص النمو الخضري لنبات الجزر

المعاملات	التراكيز المضافة	صفات النمو الخضري		
		ارتفاع النبات (سم)	الوزن الجاف غم/ نبات	الكلوروفيل ملغرام /غرام وزن طري
N0	الشاهد	15.60 b	3.43 b	0.82 d
N1	١.٥ غرام/ لتر	17.02 ab	4.16 ab	1.06 c
N2	٠.٥ ملغرام/ لتر	17.54 ab	4.34 a	1.14 b
N3	١ ملغرام/ لتر	18.25 a	4.77 a	1.29 a
N4	١.٥ ملغرام/ لتر	18.83 a	4.88 a	1.30 a
N5	٢ ملغرام/ لتر	19.28 a	4.98 a	1.31 a
المتوسط		17.75	4.43	0.94
LSD 0.05		1.84	1.12	0.03

٥-الاستنتاجات والتوصيات

تم إجراء دراسة تجريبية لتقييم تأثير إضافة سماد الحديد النانوي المنتج معمليا، ومقارنته بالسماد التجاري المستورد، على بعض خصائص التربة ونمو نبات الجزر. حيث تم تصنيع سماد الحديد النانوي باستخدام مواد خام متوفرة في البيئة المحلية، عبر توظيف تقنية النانو تكنولوجيا الحديثة. أظهرت نتائج الدراسة تفوق سماد الحديد النانوي المنتج على السماد التجاري المستورد في معظم الصفات المدروسة، سواءً على مستوى تحسين خصائص التربة أو تعزيز نمو نبات الجزر. وهذا التفوق يعكس قدرة السماد النانوي على تحسين امتصاص الحديد والعناصر الغذائية الأخرى بكفاءة أعلى، مما ينعكس إيجابياً على نمو النبات وإنتاجيته. وبناءً على هذه النتائج، توصي الدراسة بإجراء المزيد من الأبحاث والتجارب التطبيقية على محاصيل زراعية مختلفة، وفي ظروف حقلية متنوعة تغطي مناطق جغرافية متعددة. ويهدف ذلك إلى تعميق الفهم العلمي حول تأثيرات السماد النانوي، وتوسيع نطاق استخداماته في المجال الزراعي بشكل مستدام، بما يسهم في تحقيق زيادة الإنتاج وتحسين جودة المحاصيل، مع تقليل الاعتماد على الأسمدة التقليدية ذات التأثير البيئي السلبي.

المراجع:

[١] N. Pariona, A. I. Martinez, H. Hdz-García, L. A. Cruz, and A. J. S. j. o. b. s. Hernandez-Valdes, "Effects of hematite and ferrihydrite nanoparticles on germination and growth of maize seedlings," vol. 24, no. 7, pp. 1547-1554, 2017.

[٢] N. Ali and H .J. T. I. J. o. A. S. Al-Juthery, "The application of nanotechnology for micronutrient in agricultureal production," vol. 48, no. 4, p. 984, 2017.

[٣] G. A. f. Q. C. o. P. Requirements, "Annual Achievement Report," 2024.

[٤] N. E.-D. S. Ali "Fertilizer Technologies,", *Ministry of Higher Education and Scientific Research. University, Baghdad. University House Press for Printing, Publishing and Translation.*(٢٠١٦)،

[٥] H. A.-D. Al-Shater Muhammad Saeed, and Muhammad Al-Balkhi, "The effect of organic fertilizers on the basic fertility properties of the soil and its productivity of Swiss chard crop. Damascus University,,," *Journal of Agricultural Sciences,* vol. vol. 27, pp. pp. 15-28, 2011.

[٦] P. Visweswara Rao and S. J. C. d. m. Hua Gan, "Recent advances in nanotechnology-based diagnosis and treatments of diabetes," vol. 16, no. 5, pp. 371-375, 2015.

[٧] P. Singh *et al.*, "Nanotechnology and its impact on insects in agriculture," pp. 353-378, 2018.

[٨] G. Gahlawat, S. Shikha, B. S. Chaddha, S. R. Chaudhuri ،S. Mayilraj, and A. R. J. M. C. F. Choudhury, "Microbial glycolipoprotein-capped silver nanoparticles as emerging antibacterial agents against cholera," vol. 15, pp. 1-14, 2016.

[٩] O. A. Salman, " Preparation and characterization of iron oxide nanoparticles using Iraqi lemon plant extractIssue ." *Journal of the College of Basic Education,* vol. Volume 24 no. 100, 2018.

[١٠] Andris, " Sol-gel auto-combustion synthesis of spinel-type ferrite-- nanomaterials.," pp. 128–141, 2012.

[١١] L. H. A. Alansi and N .M. A.-M. J. D. A. S. J. Al-Magrebi, "Bio-Preparation of Iron Nano Fertilizers from Lemon Fruit Affected some of the Characters of Carrot plants (Daucus carota L.)," vol. 16, no. 2, pp. 179-194, 2024.

[١٢] م. ع. ا. عثمان، "الدليل الزراعي للمرتفعات الوسطى،" اليمن، ١٩٩٨.

[١٣] ICARDA, "Soil, Water and Plant Analysis Manual," *International Center for Research in Arid and Semi-Arid Areas,* 2003.

[١٤] R. G. D. Steel and J. H. Torrie, "Principles and procedures of statistics," 1960.

[١٥] I. H. S. A.-Z. a. O. H. Abdulmalik, "The effect of using citric acid and Omani lemon peels on soil fertility and reclamation," 2024.

[١٦] M. F. H. Al-Musa, "The effect of tillage systems and the addition of improvers on some soil properties, growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.)

and performance indicators of the mechanized unit in clayey soils,". *University of Basra*, 2013.

[١٧] G. Rameshaiah, J. Pallavi, and S. J. I. J. E. R. G. S. Shabnam, "Nano fertilizers and nano sensors–an attempt for developing smart agriculture "،vol. 3, no. 1, pp. 314-320, 2015.

[١٨] A. Qureshi, D. Singh, S. J. I. J. o. C. M. Dwivedi, and A. Sciences, "Nano-fertilizers: a novel way for enhancing nutrient use efficiency and crop productivity," vol. 7, no. 2, pp. 3325-3335, 2018.

[١٩] B. Hao, Q .Xue, B. W. Bean, W. L. Rooney, J. D. J. B. Becker, and Bioenergy, "Biomass production, water and nitrogen use efficiency in photoperiod-sensitive sorghum in the Texas High Plains," vol. 62, pp. 108-116, 2014.

[٢٠] A. M. A. K. Hamza, "THE EFFECT OF FLAIR APPLICATION of POTASSIUM AND BORON ON LEAVES CONTENT (GNP) AND MAIZE YIELD PARAMETERS," vol. 9, no. 4, 2017.

[٢١] O. Strasser, K. Köhl, V. J. P. Römheld, and Soil, "Overestimation of apoplastic Fe in roots of soil grown plants," vol. 210, pp. 179-189, 1999.

[٢٢] K. S. Subramanian, A. Manikandan, M. Thirunavukkarasu, C. S. J. N. i. f. Rahale, and agriculture, "Nano-fertilizers for balanced crop nutrition," pp. 69-80, 2015.

[٢٣] Y. A. L. Y. Aqeel Najm Aboud Al-Muhammadi, "The effect of spraying with nano-chelated iron, biofertilizer and phosphorus on some growth and yield characteristics of fenugreek (Trigonella foenum-graecum L)," *Journal of Educational and Scientific Studies*, vol. 2(12), , 1-20, 2020.

[٢٤] J. K. O. Al-Hajri, "The effect of the addition method of different levels of metallic and nano-chelated iron on some physiological, biochemical and anatomical indicators of Moringa oleifera," *College of Education for Pure Sciences University of Karbala* ، .(٢٠٢١)

[٢٥] G. Tanou, V. Ziogas, and A. J. F. i. p .s. Molassiotis, "Foliar nutrition, biostimulants and prime-like dynamics in fruit tree physiology: new insights on an old topic," vol. 8, p. 75, 2017.

[٢٦] M. S. Z. Al Rkabe, D. A. J. B. Jameel, and C. Archives, "Response of Broad bean (Vicia faba L.) to foliare sprey of nano and normal iron and magnesium fertilizers and interaction between them (yield and active substances)," vol. 19, no. 1, 2019.

[٢٧] T. Al-Antary, A. Kahlel, A. Ghidan, and H. M. J. F. E. B. Asoufi, "Effects of nanotechnology liquid fertilizers on fruit set and pods of broad bean (Vicia faba L.)," vol. 29, no. 6, pp. 4794-4798, 2020.