جامعة ميسان

كلية العلوم

قسم علوم الحياة

# دراسة تاثير رش بذور الحلبة *Trigonella foenum-graceum* بتراكيز مختلفة*من* ايون اوكسيد الحديديك النانوي

بحث مقدم إلى كلية العلوم / قسم علوم الحياة
كجزء من متطلبات نيل درجة بكالوريوس علوم في علوم الحياة

من قبِل الطالبة:

**حوراء علي حنون**

**إشراف : أ.م. د.علي عبد الرحمن فاضل**

١٤٤٦ 2025

قال تعالى :

(وَعَلَمَكَ مَا لَمْ تَكُنْ تَعْلَمُ وَكَانَ فَضْلُ اللهِ عَلَيْكَ عَظِيماً)

(النساء: 113)

# الاهداء

حمدًا لله.. منَ وهبني نور العقل، وسكب في قلبي شغف العلم، فكان فضلة أول

خطوة في هذه الرحلة، وآخر توفيقٍ يجُسّد النجاح.

إلى والديَ.. الحلُم الذي تحقق، والصبر الذي لم يكلَّ،أهدي هذا الجهد الذي لن

يكون إلا قطرةً في بحر ديوني لهما. فما كُنتُ لأصل لولا دعواتُ قلبيهما،

ودفءُ أياديهما التي رفعتني حين تعثَّرت.

وأخيراً.. إلى نفسي التي تعثرتْ مراراً لكنها لم تقل "يكفي"، فشكرًا لها على

كل سهرةٍ حوّلها نورُ الفجر إلى أمل، وكل خطوةٍ ظنتّ أنها الأخيرة.. ثم مضت

## الشكر والتقدير

الحمد لله ربَّ, العالمين، الذي منَ علينا بنعمةِ العلم, والعقل،, والصلاةُ والسلام على سيدِنا محمدٍ خير, مُعلِمِ للبشريةُ.

أما بعد،

فإنني أتوجَه بخالص, الشكر, والعرفان, لكلَّ, من ساهمَ في إنجاز, هذا العمل:,

لمشرفي الفاضل، الذي تفضلَّ ٰ بتوجيهي وإرشادي بصبرٍ وحكمةٍ، فكانَ خيرَ

مُعلِمٍ وأفضل ٰ مُرشدٍ في رحلتي البحثية.,

لأساتذةِ القسم, الأجلاء،, الذين سخروا خبراتهِم وعلمهَم لترسيخ, المعرفةِ وتوسيع,

الآفاق،, فكانوا نبراساً للعلم, والإخلاص,,

لأسرتي الكريمة،, صخرتي الصامدةِ ودعائهم الذي لا ينقطعُ، فبفضلْ, تشجيعهِم

ودعمهِم وصلتُ إلى ما أنا عليه اليوم. ٰ

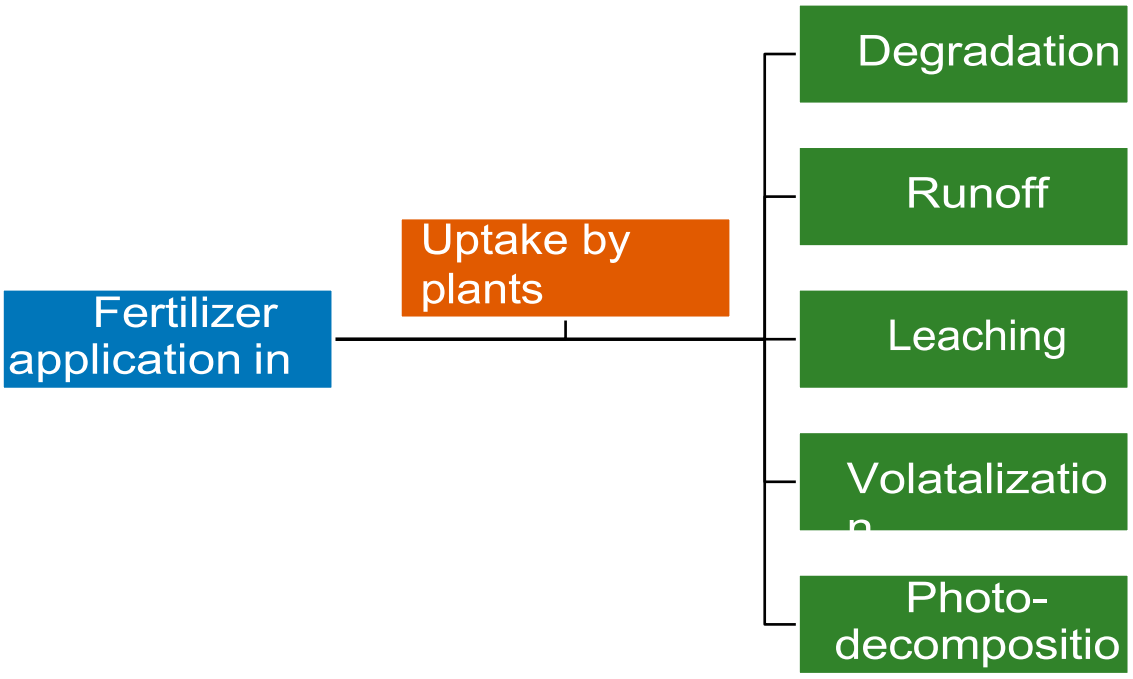
وآخرُ دعوانا أن, الحمدُ ربَّ العالمين

# الخلاصة

ألحق الإفراط المُستمر في استخدام الأسمدة الكيماوية في أساليب الزراعة الحديثة أضرارًا بالغة بالتربة التي كانت خصبة في السابق، مُستنزفًا بلا رحمة مغذياتها الحيوية، ومُلحقًا ضررًا لا يُمكن إصلاحه بالتوازن الدقيق للنظام البيئي المُحيط. يُخلّف الإفراط في استخدام هذه الأسمدة رواسب على المنتجات الزراعية، ويُلوّث البيئة، ويُخلّ بالنظم البيئية الزراعية، ويُقلّل من جودة التربة لذا اتجهت الابحاث والدراسات في المجال الزراعي الى دراسة تاثير استخدام المواد النانوية ف تحسين انتاج المحاصيل الزراعية وجودتها ومقاومة الافات والامراض ، تطرق البحث الحالي الى دراسة تاثير رش بذور الحلبة بتراكيز مختلفة من اوكسيد الحديديك النانوي على النسبة المئوية للانبات ودليل سرعة الانبات والوزن الرطب والوزن الجاف ومعدل ارتفاع البادرة ومعدل اطول الجذور لبادرات نبات الحلبة ، واظهرت النتائج وجود علاقة طردية بين التراكيز المستخدمة والصفات المدروسة اذا تفوقت نتائج التركيز (١٠٠ ملغم/لتر) في اغلب الصفات المدروسة .

## ١. المقدمة

تتولى الزراعة دورًا حيويًا في دعم سكان العالم المتزايدين باستمرار ودفع عجلة الاقتصاد المزدهر لذا برز الاستخدام الذي لا غنى عنه للأسمدة كممارسة أساسية لزيادة غلة المحاصيل والحفاظ على خصوبة التربة مثل اليوريا والنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وفوسفات أحادي الأمونيوم وفوسفات ثنائي الأمونيوم بشكل واسع لتكملة العناصر الغذائية الأساسية في التربة. ومع ذلك، تعاني الأسمدة التقليدية من انخفاض كفاءة استخدام العناصر الغذائية بسبب الترشيح، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة وانخفاض خصوبة التربة ، ويرجع ذلك إلى كفاءة استخدام العناصر الغذائية المنخفضة نسبيًا للأسمدة التقليدية، والتي تتراوح بين ٣٠-٣٥٪ للنيتروجين و١٨-٢٠٪ للفوسفور و٣٥-٤٠٪ للبوتاسيوم كما في الشكل (١) كما ألحق الإفراط المُستمر في استخدام الأسمدة في الزراعة الحديثة أضرارًا بالغة بالتربة ، مُستنزفًا مغذياتها الحيوية، ومُلحقًا ضررًا لا يُمكن إصلاحه بالتوازن الدقيق للنظام البيئي المُحيط، ويُخلّف هذا الإفراط رواسب على المنتجات الزراعية، ويُلوّث البيئة، ويُخلّ بالنظم البيئية الزراعية، ويُقلّل من جودة التربة، وعلى هذا برزت الأسمدة النانوية كحل واعد لمواجهة هذه التحديات، إذ توفر كفاءة أعلى وتأثيرات بيئية أقل. ويمكن تصنيفها بناءً على فعاليتها وتركيبها الغذائي وقوامها(Fraceto et al., 2016) . هدف البحث الى دراسة تاثير رش تراكيز مختلفة من ايون الحديديك النانوي على النسبة المئوية للانبات وطول الساق والجذر لنبات الحلبة .




الشكل (١) تطبيق الاسمدة الكيميائية في الحقل

### ١.١: تقنية النانو(Nanotechnology)

تقنية النانو تُعد من أهم الابتكارات العلمية في العصر الحديث، وهي علم يهتم بدراسة المواد والتعامل معها على مستوى النانومتر، أي على مستوى الجزيئات والذرات، حيث تتغير خصائص المواد بشكل جذري عند تقليل حجمها إلى هذا المستوى. فعند الوصول إلى حجم يتراوح بين ١ و١٠٠ نانومتر، تكتسب المادة خصائص جديدة

ومختلفة تمامًا عن تلك التي تملكها في حالتها العادية، مثل زيادة النشاط الكيميائي، وتحسن التوصيل الحراري أو الكهربائي، أو حتى ظهور سلوكيات مغناطيسية غير مألوفة .(Rai et al., 2012) إن هذه الخصائص النانوية تفتح آفاقًا واسعة لتطبيقات متعددة تشمل الطب والصناعة والطاقة والبيئة، وقد بدأت مؤخرًا تبرز بشكل واضح في القطاع الزراعي فيما يُعرف بالزراعة النانوية (Kah et al., 2018) .

**٢.١ :السماد النانوي**

السماد النانوي هو نوع متقدم من الأسمدة يعتمد في تركيبه على تقنية النانو، وهي تقنية تهدف إلى تصغير حجم جزيئات المواد المغذية إلى أبعاد نانوية تقل عن ١٠٠ نانومتر. هذا الحجم الصغير جدًا يمنح العناصر الغذائية خصائص فيزيائية وكيميائية جديدة تختلف عن تلك التي تملكها في حالتها الطبيعية، مما يجعلها أكثر قدرة على التفاعل مع النبات والبيئة الزراعية بشكل فعال .(DeRosa et al., 2010) .

الفكرة الأساسية من تطوير السماد النانوي هي تحسين كفاءة استخدام العناصر الغذائية وتقليل الفاقد منها في التربة والمياه، وهو ما ينعكس على تقليل الكميات المستخدمة من السماد وزيادة مردودية النبات، مع تقليل التأثيرات السلبية على البيئة الناتجة عن التسميد التقليدي الزائد أو غير الفعال(Liu and Lal, 2015).

تشمل الفئات الأسمدة النانوية مايأتي :

١. الاسمده ذات الإطلاق المتحكم فيه
٢. الأسمدة النانوية للتوصيل المستهدف
٣. الأسمدة النانوية المحفزة لنمو النبات
٤. الأسمدة التي تتحكم في فقد الماء والمغذيات
٥. الأسمدة النانوية غير العضوية والعضوية
٦. الأسمدة النانوية الهجينة
٧. الأسمدة النانوية المحملة بالمغذيات
٨. مختلف الأسمدة النانوية القائمة على القوام مثل الأسمدة النانوية المطلية بالسطح، والأسمدة النانوية المطلية بالبوليمر الاصطناعي، والأسمدة النانوية المطلية بالمنتج البيولوجي، والأسمدة النانوية القائمة على الناقلات النانوية.

آلية عمل السماد النانوي تتمثل في قدرته العالية على اختراق أنسجة النبات والوصول بسرعة إلى مواقع الامتصاص داخل الجذور أو الأوراق، خاصة عندما يُستخدم على شكل رش ورقي. هذه الجسيمات النانوية يمكن تصميمها بطريقة تجعلها تطلق العناصر الغذائية بشكل تدريجي ومنتظم، مما يوفر تغذية مستمرة ومتوازنة للنبات، ويقلل من ظاهرة الغسيل التي تؤدي إلى فقدان المغذيات من التربة بسبب

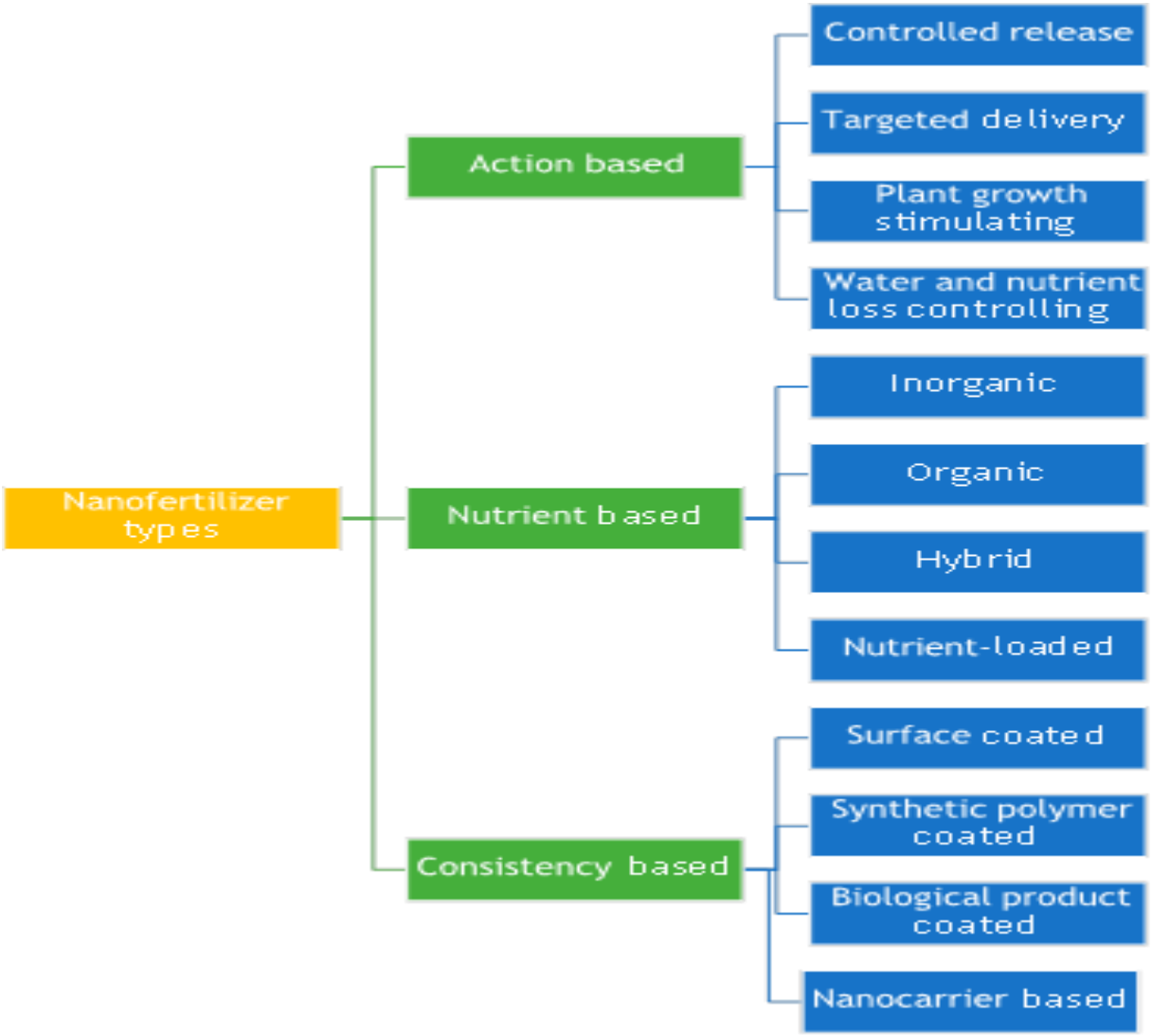
الأمطار أو الري المفرط .(Naderi and Danesh-Shahraki, 2013) أن هذه الخصائص تسمح لها بالتفاعل الفعال مع الخلايا النباتية، نتيجة لمساحتها السطحية الكبيرة، مما يزيد من سرعة الامتصاص وكفاءته.(Kah et al., 2018)

استخدام السماد النانوي في الزراعة يحمل مجموعة كبيرة من المزايا، أهمها تحسين فعالية الامتصاص وتقليل الفاقد من العناصر، حيث أن الكميات الصغيرة منه تعطي نتائج تضاهي أو تتفوق على الكميات الكبيرة من الأسمدة التقليدية، مما يؤدي إلى تقليل التكاليف وزيادة الكفاءة الإنتاجية وإطلاق العناصر بشكل تدريجي يسهم في تقليل الإجهاد على النبات الذي ينتج عن التغيرات المفاجئة في توافر العناصر الغذائية ، اضافة الى ان للأسمدة النانوية فوائد بيئية كبيرة حيث تسهم في تقليل التلوث الناتج عن تسرب المغذيات إلى المياه الجوفية أو السطحية، وهي مشكلة شائعة في الزراعة التي تعتمد على الأسمدة الكيميائية التقليدية.(Rai et al., 2012)

الدراسات والتجارب العلمية أثبتت أن استخدام السماد النانوي يؤدي إلى تحسينات واضحة في نمو وإنتاجية العديد من المحاصيل الزراعية، خاصة الخضروات الورقية مثل السبانخ والخس والجرجير، حيث أظهرت التجارب أن استخدام عناصر مثل الحديد والزنك والنيتروجين بصيغتها النانوية ساعد في زيادة محتوى الكلوروفيل في الأوراق، وتحسين عمليات البناء الضوئي، وتسريع النمو، مما انعكس إيجابًا على كمية المحصول وجودته .(Subramanian and Tarafdar, 2011)كما تبين أن النباتات المعاملة بالأسمدة النانوية أبدت قدرة أعلى على مقاومة ظروف الإجهاد البيئي مثل الجفاف، والملوحة، والأمراض، وهو ما يُعزى إلى تحسين الوظائف الفسيولوجية للنبات نتيجة توزيع أكثر فاعلية للعناصر الغذائية داخله.(Khot et al., 2012)

ورغم هذه الفوائد الواعدة هناك تحديات يجب أخذها بعين الاعتبار قبل تعميم استخدام السماد النانوي على نطاق واسع من بينها قلة المعرفة حول تأثير تراكم الجسيمات النانوية في التربة على المدى الطويل ومدى تأثيرها على الكائنات الدقيقة المفيدة في التربة أو على الكائنات الحية الأخرى في السلسلة الغذائية ,.Servin et al) .(2015كما أن تقنيات إنتاج هذه الأسمدة تتطلب بنى تحتية متطورة وتكاليف تصنيع مرتفعة قد لا تكون في متناول جميع الدول، خاصة النامية منها. كذلك، لا تزال هناك حاجة لوضع تشريعات وأنظمة رقابية تنظم عملية إنتاج وتسويق واستخدام الأسمدة النانوية، بما يضمن تحقيق أقصى استفادة منها دون التسبب في أضرار بيئية أو صحية.(Parisi et al., 2015)

في ضوء هذه المعطيات، يُعتبر السماد النانوي من الابتكارات الزراعية الواعدة التي قد تُحدث نقلة نوعية في طرق الزراعة والإنتاج الغذائي، خاصة في ظل التحديات البيئية والمناخية المتزايدة، والضغط المستمر على الموارد الطبيعية. من المتوقع أن يلعب هذا النوع من الأسمدة دورًا مهمًا في تحقيق الاستدامة الزراعية وتلبية الطلب العالمي المتزايد على الغذاء باستخدام موارد أقل وبكفاءة أعلى وبأقل أثر بيئي ممكن(Parisi et al., 2015) .




الشكل (٢) تصنيف الاسمدة النانوية

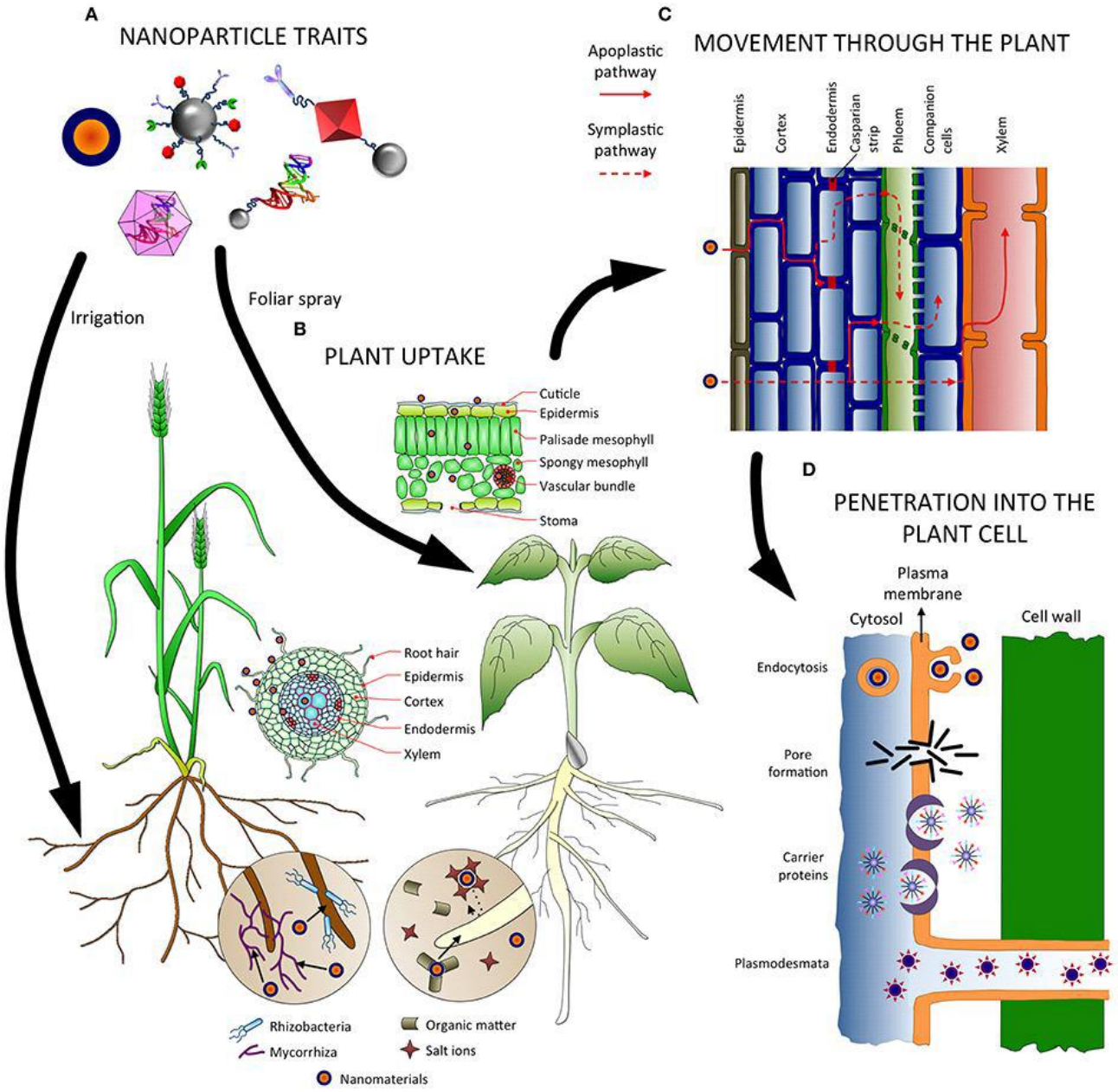
### ١.٢.١: الفرق بين الأسمدة النانوية والأسمدة التقليدية

الأسمدة النانوية والأسمدة التقليدية هما نوعان من الأسمدة التي تُستخدم في الزراعة لتحسين نمو النباتات وزيادة الإنتاجية الزراعية. وبينما تشترك هذه الأسمدة في الهدف العام من تحسين تغذية النبات وتعزيز إنتاج المحاصيل، فإن الطريقة التي تعمل بها كل نوع منهما تختلف بشكل كبير من حيث التركيب، الكفاءة، التأثير على البيئة، وطريقة امتصاص النباتات للمغذيات، ان فهم الفروق الجوهرية بين الأسمدة النانوية والأسمدة التقليدية ممكن من خلال النظر إلى مجموعة من العوامل التي تحدد فعالية وكفاءة كل نوع (Jahangir & Khan, 2017) .

تستخدم الأسمدة التقليدية بكثرة في الزراعة، ويعود استخدامها إلى عقود طويلة، تتكون من عناصر غذائية أساسية مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم بالإضافة إلى بعض العناصر الأخرى مثل المغنيسيوم والكبريت ، وتكون عادة على شكل حبيبات صلبة أو سوائل تُضاف إلى التربة أو تُرش على الأوراق، وتعتبر فعّالة إلى حد ما حيث تساعد في تزويد النباتات بالعناصر الغذائية الأساسية التي تحتاج إليها للنمو الجيد. إلا أنها تواجه العديد من التحديات والعيوب أبرزها فقدان العناصر الغذائية بسبب عملية الغسيل أو التبخر قبل أن تتمكن النباتات من

امتصاصها، ويمكن أن تتفاعل مع مكونات التربة أو المياه ما يؤدي إلى تراكم بعض المركبات الضارة في التربة أو المياه الجوفية وبالتالي يمكن أن يتسبب في تلوث البيئة(Suresh & Prasad, 2020).اضافة الى ان عملية التسميد تتطلب كميات كبيرة مما يعني أن المزارعين بحاجة إلى استخدامها بشكل متكرر على مدار الموسم الزراعي بسب اطلاق المغذيات بسرعة كبيرة وهو ما يؤدي إلى عدم استغلال النباتات لها بشكل كامل وبالتالي يضطر المزارعون لإضافة المزيد من الأسمدة لتحقيق نفس المستوى من الإنتاجية.(Kah & Brown, 2008)

الأسمدة النانوية تمثل تطورًا حديثًا في مجال الأسمدة، حيث تعتمد على تقنيات النانو لتصنيع الجزيئات المغذية بحجم أقل من ١٠٠ نانومتر ولها خصائص فيزيائية وكيميائية متميزة تجعلها أكثر فاعلية في تزويد النباتات بالعناصر الغذائية، فبفضل صغرحجمها تتمتع بقدرة عالية على التفاعل مع النباتات واختراق الخلايا بسهولة أكبر من الأسمدة التقليدية وتنتقل بسرعة عبرالغشاء الخلوي وتصل إلى الأماكن التي تحتاج فيها النباتات للمغذيات سواء كانت الجذور أو الأوراق وبالتالي يمكن أن تُحسن هذه الأسمدة الكفاءة في امتصاص العناصر الغذائية بشكل كبير(Alvarez & Sánchez, 2012) .القدرة على التحرير البطيء والمسيطر علية للمغذيات، يعني أن النبات يمكنه الحصول على العناصر الغذائية التي يحتاجها على مدى فترة أطول وهذا يقلل من الحاجة للتسميد المتكرر ويزيد من فعالية استخدام المغذيات ويساهم في تقليل الفاقد وتحقيق نتائج أفضل باستخدام كميات أقل من الأسمدة ، وبهذا يمكن للمزارعين أن يقللوا من التكاليف المرتبطة بالتسميد ويقللوا من التأثيرات على البيئة في الوقت نفسه(Kumar & Singh, 2021) كما يمكن تعديل جزيئاتها لتناسب الظروف الزراعية مثل نوع التربة أو المحاصيل ما يجعلها أكثر تخصيصًا وملاءمة لكل حالة زراعية (Hussain & Sarwar, 2021) كما يمكن اضافة عناصر أو مواد مساعدة تعزز مقاومة النباتات للأمراض والتأثيرات البيئية الضارة مثل الجفاف أو درجات الحرارة المرتفعة وهذا يفتح آفاقًا للزراعة في البيئات القاسية والتغيرات المناخية.(Jahangir & Khan, 2017)




**شكل (٣) العوامل المؤثرة على امتصاص وامتصاص ونقل واختراق الجسيمات النانوية في النباتات (أ) الامتصاص والانتقال في النبات (ب) الامتصاص في الأنسجة الوعائية (ج) التحرك صعودًا وهبوطًا في الخلايا النباتية (د) استيعاب الجسيمات النانوية داخل الخلايا**

## ٢.٢.١:تقنية النانو في تحسين خصوبة التربة وفعالية امتصاص العناصر الغذائية

تلعب تقنية النانو دورًا محوريًا في تطوير الممارسات الزراعية الحديثة خصوصًا في تحسين خصوبة التربة ورفع كفاءة امتصاص العناصر الغذائية من قبل النباتات، ان خصائص المساحة السطحية الكبيرة والقدرة العالية على التفاعل مع المركبات الكيميائية والبيولوجية (Naderi & Danesh-Shahraki, 2013) تمنحها قدرة فائقة على تعديل التوازن الكيميائي للتربة، وزيادة توفر العناصر الغذائية بشكل تدريجي ومتوازن يتناسب مع متطلبات النبات في مختلف مراحل نموه،لأسمدة النانوية المصنّعة بهذه التقنية قادرة على إطلاق المغذيات ببطء وفعالية مما يحدّ من الفاقد الناتج عن الغسل بالماء أو التثبيت الكيميائي الذي تتعرض له العناصر الدقيقة في التربة، خاصة في ظروف التربة القلوية أو الفقيرة عضويًا .(Subramanian & Tarafdar, 2011) كما تساهم

هذه الجسيمات في منع ترسيب بعض المغذيات، مثل الحديد والزنك والمنغنيز، والتي عادةً ما تكون عرضة للارتباط مع مكونات التربة بشكل يجعلها غير متاحة للنبات(DeRosa et al., 2010) ، ومن خلال استخدام الجسيمات النانوية كناقلات دقيقة يتم إيصال العناصر الغذائية إلى جذور النبات بشكل مباشر وأكثر فاعلية إذ يمكنها اختراق المسام الدقيقة في التربة والتحرك مع الرطوبة بشكل أفضل من الجزيئات التقليدية وهذه الخاصية تجعل عملية الامتصاص أكثر كفاءة وتقلل الحاجة إلى التسميد المتكرر، ما ينعكس إيجابًا على كفاءة استخدام الموارد وتقليل الأثر البيئي للمدخلات الزراعية .(Khot et al., 2012) كما أظهرت العديد من الأبحاث أن بعض أنواع الأسمدة النانوية تُحفز التفاعلات البيولوجية المفيدة داخل التربة مثل تنشيط الكائنات الحية الدقيقة التي تلعب دورًا في تحليل المواد العضوية وتحرير العناصر المغذية وتثبيت النيتروجين، هذه الكائنات تعزز من النشاط الحيوي في منطقة الجذور (الرايزوسفير) مما يؤدي إلى تحسين امتصاص المغذيات، وتثبيت بنية التربة، وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء.(Raliya et al., 2016)

يُساهم استخدام النانو في الزراعة في تقليل الحاجة إلى المبيدات والأسمدة التقليدية وذلك من خلال تحسين كفاءة استخدام المواد وتوجيهها بدقة نحو مواقع الاستفادة الفعلية مما يدعم توجهات الزراعة المستدامة ويقلل من تراكم المواد الكيميائية في البيئة وتتيح تقنيات النانو إمكانية تصميم مغذيات ذكية تتفاعل مع إشارات معينة من النبات أو البيئة وتتحلل فقط في ظروف محددة مثل انخفاض مستوى عنصر معين في التربة أو تغيّر درجة الحموضة مما يوفر مستوى جديدًا من التحكم في عملية تغذية النبات (Fraceto et al., 2016)

إن استخدام الأسمدة النانوية ليس فقط وسيلة لرفع الإنتاجية، بل هو توجه مستقبلي نحو زراعة أكثر دقة واستدامة.(DeRosa et al., 2010) )

**٣.٢.١: تأثير معاملة البذور على نجاح الإنبات ومراحل النمو المبكر للنبات**

تُعد معاملة البذور (Seed Priming) من أبرز التقنيات الزراعية الحديثة التي تهدف إلى تحسين الإنبات وتحفيز نمو البادرات بشكل أسرع وأكثر تجانسًا. يشمل هذا الأسلوب معالجة البذور باستخدام مركبات غذائية أو محفزات حيوية قبل زراعتها، ما يجعلها أكثر استعدادًا لمواجهة التحديات البيئية والداخلية التي قد تعيق نموها في مراحلها المبكرة. وتتم معاملة البذور بطرق متعددة، مثل النقع في محلول مغذٍ، أو الرش باستخدام مواد فعالة يمكن أن تحتوي على عناصر غذائية مهمة مثل الفيتامينات، الأملاح المعدنية، أو حتى العناصر النانوية مثل الحديد النانوي (Nano-Fe) (Chibuike & Obiora, 2014) ان واحدة من أهم المزايا التي تقدمها معاملة البذور هي تفعيل الأنزيمات الحيوية التي تلعب دورًا أساسيًا في تحليل المركبات المخزنة داخل البذورخلال عملية إنبات البذور حيث يتم استخدام المخزونات الداخلية مثل النشويات والدهون لتوفير الطاقة اللازمة للنمو الأولي مع استخدام مركبات غذائية أو العناصر الدقيقة النانوية، مثل الحديد بصيغته النانوية، يمكن أن يتم تحفيز هذه

الأنزيمات بشكل أفضل، مما يزيد من معدل تكسير المركبات المخزنة وتحويلها إلى طاقة حيوية بسرعة أكبر. هذا يؤدي إلى زيادة محتوى الطاقة داخل الخلايا النباتية، وهو ما يساهم بشكل مباشر في تسريع الإنبات وتعزيز قدرة البذور على التطور بسرعة أكبر بمجرد أن تبدأ في النمو.(Farooq et al., 2008)

أظهرت العديد من الدراسات العلمية أن معاملة البذور بمركبات نانوية أو مغذيات متخصصة تحسن بشكل ملحوظ التجانس في النمو حيث يُلاحظ أن النباتات التي تلقت معاملة بالبذور نمت بشكل متساوٍ وأسرع مقارنة بتلك التي لم تُعامل هذا التجانس في النمو هو أمر مهم خصوصًا في الزراعة التجارية، حيث يحتاج المزارعون إلى محاصيل متجانسة لتحقيق حصاد موحد وقابل للتسويق بسهولة. ويعزز هذا أيضًا من مقاومة البادرات للآفات والأمراض في المراحل الأولى، حيث تكون الجذور والأوراق أكثر قوة وقدرة على مقاومة التهديدات البيئية أو البيولوجية وتوفر هذه المعاملات الحيوية تحسنًا ملحوظًا في نمو الجذور وهو يعد أمرًا بالغ الأهمية في مراحل النمو ، بناءً على هذه الفوائد، أصبح استخدام معاملة البذور أحد الأساليب المفضلة لتحسين معدلات الإنبات وزيادة الإنتاجية الزراعية، خاصة في المحاصيل ذات القيمة الاقتصادية العالية. يمكن للمزارعين أن يعتمدوا على هذه التقنيات لتحسين أداء المحاصيل وتقليل الحاجة لاستخدام الأسمدة والمبيدات الكيميائية التي قد تكون ضارة بالبيئة. كما أن هذا يساهم في تحقيق الزراعة المستدامة التي توازن بين احتياجات الإنتاج الزراعي وحماية الموارد الطبيعية(Hussain & Khaliq, 2009)

**أهمية العناصر الدقيقة (Micronutrients) في إنتاجية وجودة الخضروات الورقية**

تلعب العناصر الدقيقة (Micronutrients) دورًا بالغ الأهمية في تحسين إنتاجية وجودة الخضروات الورقية، رغم أن كميتها المطلوبة في النبات تكون ضئيلة مقارنة بالعناصر الكبرى مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم. وتُعتبر هذه العناصر ضرورية للمراحل الحيوية المختلفة في النبات، حيث تساهم في التفاعلات الإنزيمية والبنائية الأساسية التي لا غنى عنها لتوفير بيئة نمو صحية. من بين هذه العناصر نجد الحديد، الزنك، المنغنيز، والنحاس، التي تدخل في تركيب العديد من الإنزيمات الحيوية التي تسهم في النمو السليم للنباتات. على سبيل المثال، يدخل الحديد بشكل أساسي في تركيب الكلوروفيل، وهو المركب المسؤول عن امتصاص الضوء في عملية البناء الضوئي (Cakmak, 2008) وهي ضرورية لإنتاج الطاقة اللازمة للنمو والتطور وبالتالي فإن أي نقص في الحديد يؤدي إلى تقليل إنتاج الكلوروفيل ما يعكس بشكل واضح على لون الأوراق وجودتهاحيث يتحول لونها إلى الأصفر وتقل قدرتها على إجراء البناء الضوئي بشكل فعال.(El-Temsah & Joner, 2012) . إلى جانب الحديد، الزنك يُعد من العناصر الدقيقة الأخرى التي تؤثر بشكل مباشر على نمو النباتات وجودتها. يُعتبر الزنك مكونًا أساسيًا للعديد من الإنزيمات التي تشارك في تخليق البروتينات والأحماض النووية، مما يساعد في تحفيز نمو النبات بشكل عام. علاوة على ذلك، يساعد الزنك في تعزيز مناعة النبات ضد الأمراض ويُحسن

من امتصاصه للعناصر الأخرى، مثل الفوسفور .(Alloway, 2008) كما يعتبر النحاس أحد العناصر الأساسية التي تدخل في تكوين الأنزيمات التي تساعد في عمليات الأيض(metabolism) ، بما في ذلك تكوين البروتينات والمعادن داخل الخلايا النباتية، مما يعزز من قدرة النباتات على النمو بشكل صحي.

النقص في هذه العناصر الدقيقة يمكن أن يؤدي إلى مجموعة من المشاكل في نمو النبات وجودته. انتقص الحديد في النباتات يسبب ما يُعرف بالكلوروز وهي حالة يتسبب فيها نقص الكلوروفيل في اصفرار الأوراق وضعف النمو وفي الحالات الشديدة قد يؤدي هذا النقص إلى فشل النبات في النمو بشكل طبيعي وتدهور جودة المحصول كذلك، يؤدي نقص الزنك إلى تقليل النمو، حيث يتباطأ تكوين الخلايا ويقل حجم الأوراق، مما يضعف قدرة النبات على امتصاص الضوء ويقلل من الكفاءة في استخدام الموارد الطبيعية.

تحسين إمداد هذه النباتات بالعناصر الدقيقة، خاصةً الحديد، عبر معاملة البذور أو التربة، يُعتبر من الطرق الفعالة لتحسين جودة المحصول منذ المراحل المبكرة. إن توفير العناصر الدقيقة بشكل متوازن ومنتظم يساعد على تعزيز نمو قوي وصحي للنباتات، ويُحسن من خصائص الأوراق مثل الطراوة واللون الأخضر الفاتح، مما يجعل المحصول أكثر جاذبية للتسويق ويُحسن من قيمته الغذائية(Marschner, 2012) وتكمن أهمية توفير هذه العناصر الدقيقة للنباتات بطرق فعالة، سواء عن طريق الأسمدة أو عن طريق تقنيات حديثة مثل النانو تكنولوجيا التي تُسهم في تحسين امتصاص العناصر الدقيقة. حيث أظهرت الدراسات الحديثة أن معاملة البذور بالعناصر الدقيقة بصيغها النانوية يمكن أن تحسن امتصاص هذه العناصر بكفاءة أعلى من الطرق التقليدية، مما يساهم في زيادة الإنتاجية وتحسين الجودة بشكل ملحوظ.(Raliya et al., 2016)

**تحفيز النمو النباتي باستخدام العناصر الدقيقة النانوية**

تحفيز النمو النباتي باستخدام العناصر الدقيقة النانوية هو مجال حديث ومتطور في الزراعة تساهم تقنيات النانو في تحسين قدرة النباتات على امتصاص العناصر الدقيقة مثل الحديد، الزنك، المنغنيز، والنحاس، وهي عناصر أساسية تلعب دورًا حيويًا في نمو النباتات، رغم أن هذه العناصر ضرورية للنمو، إلا أن امتصاصها في بعض الأحيان يكون محدودًا بسبب الظروف غير المثالية في التربة أو في البيئة المحيطة بالنبات. لذلك، فإن استخدام العناصر الدقيقة النانوية، مثل الحديد النانوي، يعد حلاً واعدًا لتحسين قدرة النباتات على امتصاص هذه العناصر بشكل أكثر كفاءة.

يُعتبر الحديد من أهم العناصر الدقيقة التي يحتاجها النبات لأنه يدخل في تكوين الكلوروفيل، الذي يساهم في عملية التمثيل الضوئي. التمثيل الضوئي هو العملية التي من خلالها يمتص النبات الضوء ويحول ثاني أكسيد الكربون والماء إلى جلوكوز وأوكسجين، وهي العملية التي توفر الطاقة اللازمة للنمو. عندما تكون مستويات الحديد منخفضة، يصبح النبات غير قادر على إنتاج الكلوروفيل بكفاءة، مما يؤدي إلى تقليل قدرة النبات على

امتصاص الضوء وتوليد الطاقة، وبالتالي يتأثر نموه بشكل سلبي. من خلال رش الحديد النانوي على البذور أو التربة، يمكن تحسين امتصاص الحديد من قبل النبات، وبالتالي تحفيز إنتاج الكلوروفيل بشكل أسرع وأكثر فعالية، مما يعزز قدرة النبات على امتصاص الضوء وزيادة كفاءة عملية التمثيل الضوئي.(Marschner, 2012)

تلعب العناصر الدقيقة الأخرى مثل الزنك والمنغنيز والنحاس إلى جانب الحديد دورًا كبيرًا في تحسين النمو النباتي ، حيثرُيعتبر الزنك من العناصر الأساسية التي تشارك في العديد من التفاعلات الأنزيمية داخل النبات، مثل تلك المتعلقة بالتمثيل الضوئي وتكوين البروتينات. يمكن لجسيمات الزنك النانوية أن تحسن من امتصاص الزنك داخل النبات، مما يعزز نمو الجذور ويزيد من مقاومة النبات للأمراض .(Cakmak, 2008) كما يسهم النحاس في تنظيم التفاعلات الأنزيمية وتحسين قدرة النبات على مقاومة الأمراض، بينما يُعتبر المنغنيز عنصرًا مهمًا في تحسين التمثيل الضوئي وزيادة كفاءة استخدام الضوء في النباتات.(El-Temsah & Joner, 2012)

استخدام العناصر الدقيقة النانوية يُحسن من امتصاص هذه العناصر داخل النبات بفضل الحجم الصغير لجسيمات النانو، مما يسمح لها بالوصول إلى الأنسجة النباتية بشكل أسرع وأكثر كفاءة. هذا التحسين في الامتصاص يؤدي إلى زيادة قدرة النبات على النمو بشكل صحي وسريع، مما يساهم في تعزيز الإنتاجية الزراعية وجودة المحاصيل. لا تقتصر الفوائد على تحسين نمو النبات فحسب، بل تشمل أيضًا تحسين الجودة الغذائية للنباتات. فعلى سبيل المثال، في الخضروات الورقية مثل السبانخ والخس، يؤدي زيادة امتصاص الحديد والعناصر الدقيقة الأخرى إلى تحسين تكوين الكلوروفيل، مما يساهم في تحسين اللون الأخضر للطعام وزيادة محتوى الفيتامينات والمعادن، وهو ما يعزز قيمته الغذائية(Zhao et al., 2014)

### ٣.١ : أيون الحديد النانوي (Nano-Fe): الخصائص والتأثيرات

يُعد أيون الحديد النانوي من التطبيقات الحديثة والواعدة في مجال الزراعة الذكية حيث يتم إنتاجه باستخدام تقنيات النانو التي تهدف إلى تقليص حجم جسيمات الحديد إلى أقل من ١٠٠ نانومتر مما يمنحها خصائص فيزيائية وكيميائية فريدة تختلف بشكل كبير عن مركبات الحديد التقليدية هذا الشكل النانوي للحديد يمتاز بمساحة سطحية كبيرة جدًا مقارنة بالجسيمات الأكبر مما يزيد من قابليته للتفاعل والنشاط البيولوجي داخل أنسجة النبات (Liu et al., 2016). كما يمتاز الحديد النانوي بقدرته العالية على الذوبان والانتشار بسهولة في الوسط الزراعي، سواء في التربة أو على سطح البذور أو الأوراق مما يسمح له بالوصول إلى المواقع الحيوية داخل النبات بسرعة أكبر وفعالية أعلى.(Khot et al., 2012)

يلعب الحديد النانوي من الناحية الفسيولوجية، دورًا محوريًا في تحفيز العمليات الحيوية الأساسية في النباتات خلال المراحل المبكرة من النمو وتحديدًا أثناء الإنبات حيث تزداد الحاجة إلى الحديد لتفعيل مجموعة من الإنزيمات المسؤولة عن تحليل المواد الغذائية المختزنة في البذور وهذه العملية تزود الجنين النباتي بالطاقة والمواد

اللازمة لاستكمال النمو الأولي وعند استخدام الحديد النانوي، لوحظ تحسن ملحوظ في سرعة الإنبات ونسبته، نتيجة لتحفيز النشاط الأيضي في الخلايا النامية تُعزى هذه التأثيرات الإيجابية إلى قدرة جسيمات الحديد النانوي على النفاذ إلى داخل الخلايا النباتية بسهولة، بفضل حجمها الصغير ومرونتها العالية وهذا مالا يتوفر في مركبات الحديد التقليدية التي كثيرًا ما تُثبت في التربة أو تتحول إلى صيغ غير قابلة للامتصاص، خاصة في الترب ذات التفاعل القلوي (Syu et al., 2014) ويساهم الحديد النانوي في رفع مستويات الكلوروفيل في الأوراق من خلال دوره غير المباشر في تكوينه مما يُحسن من كفاءة عملية البناء الضوئي التي تُعد أساسًا للنمو النباتي وتكوين الكتلة الخضراء (Raliya et al., 2015) كما أظهرت دراسات عديدة أن معاملة البذور بأيون الحديد النانوي تؤدي إلى زيادة الطول الكلي للبادرات، وارتفاع الكتلة الحيوية، سواء الرطبة أو الجافة، إلى جانب زيادة عدد الأوراق وتحسن عام في المظهر الخضري للنبات.(Shankramma et al., 2016)

أن الحديد النانوي يعزز من مقاومة النبات للإجهادات البيئية المختلفة مثل ملوحة التربة الجفاف أوارتفاع درجات الحرارة، من خلال دعمه للعمليات الإنزيمية المرتبطة بنظام الدفاع الذاتي للنبات. كما أنه يُظهر قدرة على الحد من تراكم الجذور الحرة الناتجة عن الإجهاد التأكسدي، بفضل مشاركته في تنشيط إنزيمات مضادة للأكسدة مثل البيروكسيديز والكاتليز(Zhao et al., 2013) إلى جانب تأثيراته المباشرة في النبات، من الناحية التطبيقية، يمكن استخدام الحديد النانوي بطرق متعددة، منها نقع البذور في محلول يحتوي على الجسيمات النانوية قبل الزراعة، أو رشه على الأوراق خلال مراحل النمو المختلفة، أو إضافته إلى ماء الري بتركيزات محسوبة. وقد أثبتت التجارب أن الطريقة المثلى للاستخدام تعتمد على نوع النبات، مرحلة النمو، وتركيبة التربة، لذا فإن التجارب الميدانية التمهيدية ضرورية لتحديد الجرعة المثالية والتركيز الأنسب لكل حالة زراعية

إن استخدام الحديد النانوي يمثل خيارًا علميًا واقتصاديًا مستقبليًا واعدًا، خاصة في ظل التحديات المناخية والبيئية التي تواجه القطاع الزراعي حاليًا إن التطور المتسارع في تقنيات النانو الزراعية يفتح آفاقًا واسعة أمام تحسين تغذية النبات وتقليل الاعتماد على الموارد التقليدية ويُعد أيون الحديد النانوي نموذجًا واضحًا على كيفية توظيف هذه التكنولوجيا في خدمة الزراعة من خلال تحسين كفاءة الامتصاص ودعم عمليات النمو وتحقيق إنتاجية أعلى بموارد أقل(Tarafdar et al., 2014)يتمتع الحديد النانوي بميزة بيئية واقتصادية كبيرة، إذ يُستخدم بكميات صغيرة مقارنة بالأسمدة التقليديةمما يقلل من التكاليف التشغيلية للمزارع. كما أن كفاءته العالية تقلل من الفاقد الناتج عن الغسل بالماء أو التثبيت في التربة، مما يجعله أكثر صداقة للبيئة وأقل تأثيرًا سلبيًا على النظام البيئي الزراعي (Naderi & Danesh-Shahraki, 2013) ويُعد هذا العامل بالغ الأهمية في ظل الاتجاهات العالمية نحو تبني ممارسات الزراعة المستدامة وتقليل الاعتماد على الأسمدة الكيميائية التقليدية.

تلعب معاملة البذور بعناصر مثل الحديد النانوي دورًا مهمًا في تحسين قدرة البادرات على مقاومة الإجهادات البيئية. يعاني العديد من المحاصيل الزراعية من قلة الرطوبة أو من ظروف التربة غير المثالية التي قد تؤثر سلبًا على نموها في مراحلها الأولى. ومن المعروف أن نقص الحديد في التربة أو في النبات يمكن أن يؤدي إلى مشكلات كبيرة مثل نقص الكلوروفيل، ما يسبب اصفرار الأوراق وضعف النمو. إلا أن رش بذور النباتات أو معالجتها بعناصر الحديد النانوية يساعد على توفير الحديد بشكل أكثر كفاءة، مما يحفز تكوين الكلوروفيل ويحسن عملية التمثيل الضوئي. نتيجة لذلك، تتحسن قدرة البادرات على التكيف مع الظروف البيئية الصعبة، وتزيد من فرص نجاح نموها واستمرارها.(Aslam & Bano, 2015) إذ يسهم الحديد النانوي على سبيل المثال، في تعزيز تطور الجذور وجعلها أكثر قدرة على امتصاص المغذيات والماء من التربة. وهذا يؤدي إلى تطوير نظام جذر قوي يدعم النمو العام للنبات.(Miransari & Smith, 2014)

الحديد هو عنصر أساسي للنباتات، حيث يدخل في العديد من العمليات الحيوية الهامة، وأبرزها تكوين الكلوروفيل الذي يلعب دورًا رئيسيًا في عملية التمثيل الضوئي. يُعتبر الحديد جزءًا من إنزيمات متعددة تساهم في تكوين الكلوروفيل، وهو المركب الذي يمكّن النبات من امتصاص الضوء واستخدامه في عملية التمثيل الضوئي. التمثيل الضوئي هو العملية التي تقوم بها النباتات باستخدام الضوء لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى جلوكوز وأوكسجين، وهي المسؤولة عن إنتاج الطاقة اللازمة للنمو. من دون وجود مستويات كافية من الحديد، يُصبح النبات غير قادر على تكوين الكلوروفيل بكفاءة، مما يؤثر سلبًا على قدرته على امتصاص الضوء ويؤدي إلى تقليل إنتاج الطاقة، مما ينعكس سلبًا على نموه وإنتاجيته. إذا كانت مستويات الحديد منخفضة، تظهر على النبات علامات نقص الحديد مثل اصفرار الأوراق، المعروف بالكلوروز، مما يشير إلى نقص الكلوروفيل الذي يضعف قدرة النبات على أداء التمثيل الضوئي بفعالية.(Marschner, 2012)

تُعتبر هذه الوظيفة الحيوية للحديد أساسية للنباتات، حيث يُعتبر الحديد مكونًا أساسيًا للإنزيمات التي تدخل في تكوين الكلوروفيل وتحفيز التفاعلات الحيوية داخل الخلايا النباتية. وعند تحسين إمداد النبات بالحديد، سواء عن طريق التربة أو من خلال الرش، فإن ذلك يعزز من قدرة النبات على تكوين الكلوروفيل وبالتالي يزيد من كفاءة عملية التمثيل الضوئي.(Cakmak, 2008)

تأثير الحديد النانوي على تحسين تكوين الكلوروفيل يمكن أن يكون أكثر فعالية مقارنة بالحديد التقليدي. يُظهر الحديد النانوي خصائص مميزة تسمح له بالتحلل بشكل أسرع في أنسجة النبات، مما يسهل امتصاصه من قبل الجذور والأوراق. هذا يؤدي إلى تحسين فاعلية الحديد في تحفيز تكوين الكلوروفيل بشكل أسرع وأكثر كفاءة. بسبب الحجم الصغير جدًا لجسيمات الحديد النانوية، فإنها تكون أكثر قدرة على التفاعل مع خلايا النبات والنفاذ بسهولة إلى الأنسجة النباتية. هذه العملية يمكن أن تُحسن من كمية الكلوروفيل في الأوراق، مما يعزز من قدرة

النبات على امتصاص المزيد من الضوء وبالتالي زيادة كفاءة التمثيل الضوئي .(Raliya et al., 2016) زيادة كمية الكلوروفيل تساهم بشكل مباشر في تعزيز إنتاج الطاقة في النبات، مما يؤدي إلى نمو أسرع وتحسين الإنتاج

أن الحديد النانوي يعزز أيضًا من قدرة النبات على مقاومة الإجهاد البيئي، مثل الجفاف أو درجات الحرارة المرتفعة، حيث أن وجود مستويات كافية من الحديد يساعد النباتات على الاستجابة بشكل أفضل لهذه الظروف. وقد أظهرت الدراسات أن رش بذور النباتات أو التربة بأيونات الحديد النانوية يمكن أن يؤدي إلى تحسين قدرة النباتات على تحمل هذه الضغوط البيئية، مما يجعلها أكثر قدرة على النمو في ظروف أقل من المثالية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يُحسن الحديد النانوي امتصاص العناصر الغذائية الأخرى مثل الفوسفور والزنك، مما يعزز النمو ويُحسن من صحة النبات بشكل عام.(Zhao et al., 2014)

بالنظر إلى هذه الفوائد، يُعتبر الحديد النانوي أداة قوية لتحسين الإنتاجية الزراعية وجودة المحاصيل، وخاصة في الخضروات الورقية مثل السبانخ والخس والكالي، التي تعتمد بشكل كبير على التمثيل الضوئي. عن طريق توفير إمداد مناسب من الحديد النانوي، يمكن تحسين نمو هذه النباتات بشكل ملحوظ، مما يؤدي إلى زيادة في الإنتاجية وتحسين جودتها.(Raliya et al., 2016)

الاستفادة من تكنولوجيا النانو في الزراعة، وخاصة في تحسين امتصاص العناصر الدقيقة مثل الحديد، يُعد خطوة هامة نحو تطوير الزراعة المستدامة. باستخدام الحديد النانوي، يمكن تحسين فعالية الزراعة وتقليل الحاجة إلى الأسمدة الكيميائية التقليدية، مما يؤدي إلى تقليل التلوث البيئي وتحقيق توازن أفضل في النظام الزراعي

**٤.١ :الحلبة (Trigonella foenum-graecum):**

**الحلبة** (*Trigonella foenum-graecum*)هي نبات عشبي من فصيلة البقوليات، ويُعد من النباتات التي تمتلك العديد من الفوائد الغذائية والطبية. تُزرع الحلبة في العديد من المناطق حول العالم، خاصة في منطقة الشرق الأوسط، حيث تُستخدم بذورها في الطب التقليدي والأطعمة. يتميز نبات الحلبة بخصائصه الطبية والعلاجية، حيث تحتوي بذورها على مركبات غذائية هامة مثل البروتينات، والألياف، والفيتامينات، والمعادن، بالإضافة إلى مركبات فينولية تعمل كمضادات أكسدة.

تُعد الحلبة من النباتات التي تحتوي على مستويات عالية من الأحماض الأمينية مثل *الهستيدين* و*الميثيونين*، مما يجعلها مفيدة في تعزيز النمو الصحي للنباتات. من حيث الفوائد الغذائية، يُعتبر مسحوق الحلبة مصدرًا جيدًا للمعادن مثل الحديد والمغنيسيوم والفوسفور، وكذلك الفيتامينات مثل فيتامين *C* وفيتامين *B6*. تحتوي الحلبة أيضًا على مواد فاعلة مثل *الفلافونويد*، *والتربينويد*، *والصابونين* التي تساهم في تحسين صحة الإنسان من خلال تعزيز جهاز المناعة وتحسين الهضم.(Ahmed & Younis, 2021)

تُظهر الحلبة استجابة قوية لعوامل النمو مثل توافر العناصر الغذائية في التربة. من بين العناصر الدقيقة التي تؤثر على نمو الحلبة بشكل ملحوظ، يُعد الحديد أحد العوامل الأساسية، حيث أن نقص الحديد يمكن أن يؤدي إلى ظهور علامات الاصفرار على الأوراق وتقليل النمو الخضري .(Mahmoud & Farag, 2020) كما أن تحسين توافر الحديد في التربة يمكن أن يؤدي إلى زيادة المحصول وتحسين الجودة الإجمالية للنبات.

ظهرت تقنيات الزراعة الحديثة في السنوات الأخيرة مثل **الأسمدة النانوية**، والتي تشمل استخدام الحديد النانوي لتحسين امتصاص الحديد من قبل النباتات. وتُظهر الدراسات أن الحديد النانوي يمكن أن يعزز من قدرة الحلبة على امتصاص الحديد بشكل أكثر فعالية مقارنة مع المركبات التقليدية، مما يؤدي إلى تحسين نمو النبات وزيادة المحصول. الحديد النانوي يُمكن أن يُحسن أيضا من القدرة على مقاومة التغيرات البيئية القاسية مثل نقص المياه أو ارتفاع درجات الحرارة.(Hassan et al., 2022)

تشير العديد من الدراسات إلى أن تطبيق الحديد النانوي يؤدي إلى زيادة في جودة محصول الحلبة، حيث يتم تحسين حجم الأوراق وكفاءة التمثيل الضوئي، وكذلك زيادة تركيز المركبات الفعالة مثل الفلافونويدات التي تعزز من الفوائد الصحية للنبات،بالمجمل، تعد الحلبة نموذجًا جيدًا لدراسة كيفية تحسين التغذية الزراعية باستخدام التقنيات الحديثة مثل الأسمدة النانوية، وذلك لتحسين إنتاجيتها وجودتها، وتوفير حلول مستدامة لمزارعي الحلبة في مختلف المناطق. إن استخدام الحديد النانوي في زراعة الحلبة يقدم بديلاً فعالاً ومستدامًا لتحسين النمو الزراعي وتعزيز القيمة الغذائية والاقتصادية لهذا المحصول المهم(Gamal & Shalaby, 2021) .

## ٢.المواد وطرائق العمل

### ٢. ١: المادة النباتية :

جلبت بذور الحلبة (*Trigonella foenum-graecum*)صنف محلي من مكاتب التجهيزات الزراعية .

### ٢.٢. تراكيز اوكسيد الحديديك النانوي

حضرت محاليل اوكسيد الحديديك النانوي بتراكيز (٠، ٥٠، ١٠٠) ملغم/لتر من اذابة التراكيز المذكورة في لتر من ماء الري حيث استخدم التركيز (٠) كمجموعة سيطرة

### ٢. ٣ : زرع البذور

زرعت البذور في اطباق بلاستيكية بواقع (٥٠ بذرة ) في كل طبق ولثلاث مكررات لكل معاملة واستخدم ورق الترشيح كوسط لانبات البذور وتم ترطيبه بالمحاليل بشكل يومي (رش على البذور ) ولمدة (١٠ ايام ) .

### ٢. ٤: قياسات الصفات المدروسة

١- النسبة المئوية لانبات البذور : حسبت من المعادلة الاتية

النسبة المئوية لانبات البذور =عدد البذور النابتة ١٠٠X

عدد البذور الكلي

٢- سرعة انبات البذور حسب من المعادلة الاتية :

$$GSI = \frac{G1}{n1} + \left|\frac{G2}{n2} + \cdots + \frac{Gi}{ni}\right.$$

حيث ان GSI: دليل سرعة انبات البذور

G: عدد البذور النابتة في اي يوم

n: عدد الأيام التي انقضت من البذر حتى العد الأخير.

٣- الوزن الرطب للبادرة Fresh weight: باستخدام ميزان حساس تم حساب الوزن الرطب للبادرات في كل مكرر وكل معاملة وبعدها قسم مجموع الوزن الرطب على عدد البادرات لاستخراج معدل الوزن الرطب للبادرة

٤- الوزن الجاف Dry weight:باستخدام ميزان حساس تم حساب الوزن الجاف للبادرات بعد تجفيفها في كل مكرر وكل معاملة وبعدها قسم مجموع الوزن الجاف على عدد البادرات لاستخراج معدل الوزن الجاف للبادرة

٥- معدل ارتفاع البادرة: باستخدام مسيطرة تم قياس اطوال عدد من البادرات (٥ بادرات ) وبعدها قسم المجموع الكلي للطول على عدد البادرات لاستخراج معدل طول ارتفاع البادرة

٥- معدل طول الجذر: باستخدام مسيطرة تم قياس اطوال جذور عدد من البادرات (٥ بادرات ) وبعدها قسم المجموع الكلي لطول الجذر على عدد البادرات لاستخراج معدل طول جذر البادرة.

### ٢. ٥: التحليل الاحصائي :

حللت بيانات التجربة احصائياً باستخدام برنامج (Genestate) لمعرف اقل فرق معنوي (L.S.D) بين متوسطات البيانات

## ٣: النتائج والمناقشة

اظهر التحليل الاحصائي للنتائج في الجدول (١) ادناه وجود علاقة طردية بين زيادة تركيز اوكسيد الحديديك النانوي وقياسات الصفات المدروسة لبادرات الحلبة المعاملة بتراكيز مختلفة من اوكسيد الحديديك النانوي اذا تفوقت معاملة تركيز اوكسيد الحديديك النانوي (١٠٠ ملغم/ لتر) على المعاملتين (٠ و ٥٠ ملغم/لتر) في القياسات والتي شملت سرعة انبات البذور بمعدل (١٠.٦٧ بذرة/يوم) والوزن الرطب (٤.٠٥ غم ) والوزن الجاف بمعدل (٠.٣٩٨ غم) ومعدل ارتفاع البادرة (١١.٣٣ سم ) ومعدل اطول الجذور ( ٨.٩٨ سم ) ولم تظهر اي فروق معنوية في النسبة المئوية لانبات البذور بمعدل (٩٠،٩٥،٩٨)% للمعاملات (٠ ،٥٠ ،١٠٠) ملغم/لتر اوكسيد الحديديك النانوي على التوالي .

| ت | المعاملة (ملغم/لتر) | النسبة المئوية للانبات % | سرعة الانبات (بذرة/يوم) | الوزن الطري غم | الوزن الجاف غم | معدل ارتفاع البذرة سم | معدل اطول الجذور سم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٠ | ٩٠ | ٦.٦٧ | ٣.١٥ | ٠.٢٥٨ | ٦.٩٢ | ٤.٩٨ |
| ٢ | ٥٠ | ٩٥ | ٨.٣٣ | ٣.٥٨٧ | ٠.٢٩١ | ٨.٧١ | ٦.٥٣ |
| ٣ | ١٠٠ | ٩٨ | ١٠.٦٧ | ٤.٠٥ | ٠.٣٩٨ | ١١.٣٣ | ٨.٩٨ |

جدول (١) يوضح قياسات الصفات المدروسة لبادارت الحلبة المعاملة بتراكيز مختلفة من اوكسيد الحديديك النانوي

ان هذه النتائج تتوافق مع ذكر أن الحديد النانوي يمكن أن يعزز من قدرة الحلبة على امتصاص الحديد بشكل أكثر فعالية مقارنة مع المركبات التقليدية، مما يؤدي إلى تحسين نمو النبات وزيادة المحصول. الحديد النانوي يُمكن أن يُحسن أيضا من القدرة على مقاومة التغيرات البيئية القاسية مثل نقص المياه أو ارتفاع درجات الحرارة (Hassan et al., 2022). واهمية المواد النانوية في تحفيز وانبات البذور( Aslam & Bano, 2015 ) معاملة البذور بعناصر مثل الحديد النانوي تلعب دورًا مهمًا في تعزيز معدل الإنبات وزيادة قدرة البذور على التفاعل مع البيئة المحيطة بها حيث أظهرت الدراسات أن رش بذور الخضروات الورقية بأيونات الحديد النانوي يؤدي إلى تسريع عملية الإنبات وتحسين معدل نمو الجذورمما يسهم في زيادة قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية الأخرى هذا التأثير الإيجابي يعزز الصحة النباتية من خلال تحسين قدرة النبات على امتصاص العناصر الدقيقة مثل الزنك والمنغنيز تسهم بدورها في تحسين نمو النبات وجودته(Zhao et al., 2014) يسهم الحديد النانوي على سبيل المثال، في تعزيز تطور الجذور وجعلها أكثر قدرة على امتصاص المغذيات والماء من التربة. وهذا يؤدي إلى تطوير نظام جذر قوي يدعم النمو العام للنبات.(Miransari & Smith, 2014)

واحدة من أهم المزايا التي تقدمها معاملة البذور هي تفعيل الأنزيمات الحيوية التي تلعب دورًا أساسيًا في تحليل المركبات المخزنة داخل البذور. خلال عملية إنبات البذور، يتم استخدام المخزونات الداخلية مثل النشويات

والدهون لتوفير الطاقة اللازمة للنمو الأولي. مع استخدام مركبات غذائية أو العناصر الدقيقة النانوية، مثل الحديد بصيغته النانوية، يمكن أن يتم تحفيز هذه الأنزيمات بشكل أفضل، مما يزيد من معدل تكسير المركبات المخزنة وتحويلها إلى طاقة حيوية بسرعة أكبر. هذا يؤدي إلى زيادة محتوى الطاقة داخل الخلايا النباتية، وهو ما يساهم بشكل مباشر في تسريع الإنبات وتعزيز قدرة البذور على التطور بسرعة أكبر بمجرد أن تبدأ في النمو (Farooq et al., 2008).

## الاستنتاجات والتوصيات

## الاستنتاجات

توصلت نتائج التجربة الحالية الى :

اهمية استخدام العناصر النانوية في مرحلة انبات البذور والتي تعتبر من اهم المراحل في دورة حياة النبات

## التوصيات :

نوصي بما ياتي :

١- اجراء تجربة استخدام اوكسيد الحديديك النانوي في الحقل

٢- اجراء تجارب حول استخدام عناصر نانوية اخرى على نبات الحلبة

٣- اجراء تجارب استخدام المواد النانوية على محاصيل ونباتات اخرى

## Refrences:


1. Ahmed, S., & Younis, A. (2021). Nutritional and medicinal value of fenugreek. *International Journal of Herbal Medicine*, 9(3), 44-51
2. Alvarez, P. J. J., & Sánchez, F. (2012). Nanotechnology for sustainable agriculture. Environmental Science & Technology, 46(12), 6331-6338.
3. Aslam, N., & Bano, A. (2015). Role of seed priming in abiotic stress tolerance. Pakistani Journal of Botany, 47(2), 665-672.
4. Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil, 302(1-2), 1-17.
5. DeRosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., & Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology, 5(2), 91–92.
6. El-Temsah, Y. S., & Joner, E. J. (2012). Impact of nano-TiO2 on soil microbial communities. Environmental Monitoring and Assessment, 184(4), 2181-2191.
7. Farooq, M., et al. (2008). Seed priming enhances germination and seedling growth. Journal of Experimental Botany, 59(3), 567-577.
8. Fraceto, L. F., Grillo, R., de Medeiros, G. A., Scognamiglio, V., Rea, G., & Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in agriculture: which innovation potential does it have? *Frontiers in Environmental Science*, 4, 20.
9. Kah, M., & Brown, C. D. (2008). Nanotechnology applications in agriculture. *Advances in Agronomy*, 98, 55-79
10. Kah, M., Beulke, S., Tiede, K., & Hofmann, T. (2018). Nanopesticides: State of knowledge, environmental fate, and exposure modeling. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 44(4), 300-322.
11. Khot, L. R., Sankaran, S., Maja, J. M., Ehsani, R., & Schuster, E. W. (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. Crop Protection, 35, 64-70.
12. Kumar, V., & Singh, M. (2021). Nanotechnology applications in agriculture: present status and future prospects. Materials Today: Proceedings, 36, 4074-4080.
13. Liu, J., et al. (2016). Effects of iron nanoparticles on plant growth and physiology. Journal of Nanoparticle Research, 18(6), 165.
14. Mahmoud, S., & Farag, A. (2020). Effect of iron nano-fertilizers on fenugreek growth. Plant Physiology Reports, 25(3), 131-138.
15. Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press. pp. 89-115.
16. Miransari, M., & Smith, D. L. (2014). Seed priming: A promising approach to improve plant stress tolerance. Plant Science, 180, 231-237.
17. Naderi, M., & Danesh-Shahraki, A. (2013). Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5(19), 2229-2232.
18. Parisi, C., Vigani, M., & Rodríguez-Cerezo, E. (2015). Agricultural nanotechnologies: What are the current possibilities? Nano Today, 10(2), 124-127.
19. Suresh, R., & Prasad, M. N. V. (2020). Environmental impact and toxicity of nanoparticles in agriculture. Environmental Chemistry Letters, 18(1), 25-37.
20. Syu, C., et al. (2014). Behavior and uptake of nanoparticles in plants. Environmental Pollution, 186, 15-22.
21. Tarafdar, J. C., et al. (2014). Nanotechnology and sustainable agriculture. Environmental Chemistry Letters, 12(4), 461-468.
22. Zhao, L., et al. (2013). Metal oxide nanoparticles induce oxidative stress and toxicity in plants: A review. Environmental Science & Technology, 47(5), 2446-2454.

## Abstract

Recently, the continued use of chemicals in agriculture and their impact on previously fertile waste, mercilessly depleting its vital materials, causing irreparable damage to the good balance and then the environment. Finally, the use of these agricultural products, polluting the environment, disrupting agricultural ecosystems, and reducing soil quality. Agricultural research and studies have focused on studying a variety of materials that help produce different crops and isolate pests and diseases. Following the current research, a study has gone beyond the multiple journals with different concentrations of ferric oxide, copying it on the germination rate, germination speed, and weight. The results showed a direct relationship between the concentrations used and the studied traits, as the strong results $(100$ mg/L) outperformed most of the studied effectiveness.