

Effect of Biosynthesized Silver and Zinc Nanoparticles on Germination of *Capparis spinosa* L. Seeds

Ali Mohamad Zayak¹, Lina M. Alnaddaf^{2*}, Salim F. Bamsaoud³, Raja Hussein¹

¹General Commission for Scientific Agricultural Research, Hama Research Center, Syria.

²Biotechnology and Molecular Biology – Faculty of Agriculture – Homs University.

³Department of Physics, Faculty of Science, Hadhramout University, Mukalla, Yemen.

⁴General Authority for Agricultural Scientific Research – Head of the Department of Medicinal and Aromatic Plants

*Corresponding Author: hatem005@gmail.com

This is an open-access article under production of Hadhramout University Journal of Natural & Applied Science with eISSN 2790-7201

Abstract: This study investigates the effects of silver and zinc oxide nanoparticles—biosynthesized from lemon peel and pomegranate rind, respectively—on the germination of *Capparis spinosa* L. seeds. The experiments evaluated various soaking durations, both with and without prior water pre-soaking. Results revealed that direct exposure to nanoparticle solutions without pre-soaking in water completely inhibited germination, regardless of the soaking duration. Conversely, pre-soaking seeds in water for 48 hours, with periodic water renewal, was found to be a critical prerequisite for initiating germination. Short-term exposure (5–15 minutes) to nanoparticle solutions following water pre-soaking significantly enhanced germination rates, particularly with zinc oxide nanoparticles, which showed a marked increase in germination percentage, peaking at 15 minutes. In contrast, silver nanoparticles exhibited limited stimulatory effects, with germination rates plateauing after 10 minutes. Long-term exposure (1–3 days) to both nanoparticle types resulted in seed swelling without germination, likely due to physiological toxicity from nanoparticle accumulation. These findings highlight the importance of optimizing nanoparticle type, concentration, and exposure duration, as well as the necessity of water pre-soaking, to achieve optimal germination outcomes. Further research is recommended to explore the influence of nanoparticle shape and size on seed physiological responses.

Keywords: Germination, Seeds, *Capparis spinosa*, Silver, Zinc Oxide.

تأثير جسيمات الفضة والزنك النانومترية المحضرة حيويًا في إنبات بذور نبات القبار الشوكي *Capparis spinosa*

علي زيّك¹، لينا ممدوح النداف²، سالم فرج بامسعود³، رجا حسين¹

الملخص: يستهدف هذا البحث دراسة تأثير جسيمات الفضة (Ag) وأكسيد الزنك النانومترية (ZnO)، المحضرة حيويًا من عصير الليمون وقشور الرمان على التوالي، في إنبات بذور القبار (*Capparis spinosa* L.). وقد تم اختبار تأثير زمن النقع في إنبات بذور القبار. كذلك تم تقييم أثر مدد النقع المختلفة في هذه المحاليل النانوية في نسب الإنبات. أظهرت النتائج أن النقع المباشر للبذور في المحاليل النانوية، دون إجراء نقع مبدئي في الماء، خلال المدد الزمنية المحددة في هذه الدراسة، أدى إلى غياب تام لعملية الإنبات، مما يشير إلى تأثير سلبي محتمل لهذه المعاملة في تحفيز الإنبات. في المقابل، تبين أن النقع المسبق في الماء، يُعد خطوة أساسية لتحفيز الإنبات. أدى النقع لفترات (5-15 دقيقة) في المحاليل النانومترية بعد النقع المائي إلى تحسن ملحوظ في نسب الإنبات، خاصة عند استخدام جسيمات ZnO النانومترية، حيث سجلت أعلى نسبة إنبات عند النقع لمدة 15 دقيقة. أما جسيمات الفضة النانومترية فقد أظهرت تأثيرًا محدودًا، حيث توقفت الزيادة في الإنبات بعد 10 دقائق. كما أن النقع لمدد طويلة (1-3 أيام) أدى إلى انتاج البذور دون إنبات، ويُرجح أن ذلك ناتج عن تسمم فسيولوجي بسبب تراكم الجسيمات داخل أنسجة البذور. تؤكد هذه النتائج على أهمية اختيار نوع الجسيمات النانوية وتركيزها ومدّة التعرض، إلى جانب ضرورة النقع المسبق بالماء، لتحقيق نتائج إنباتية مثلى. ويوصى بإجراء دراسات مستقبلية لفهم تأثير اختلاف أبعاد وأشكال الجسيمات النانوية في الاستجابات الفسيولوجية للبذور. تم تنفيذ التجربة وفق تصميم عشوائي كامل (CRD) بعوامل متعددة، حيث شملت المعاملات نوع الجسيمات النانوية (Ag) و (ZnO) ومدد النقع المختلفة، مع تكرارات لكل معاملة، وتم تحليل البيانات باستخدام تحليل التباين (ANOVA) لاختبار الفروق المعنوية بين المتوسطات.

الكلمات المفتاحية: الإنبات، بذور، القبار الشوكي، *Capparis spinosa*، جسيمات الفضة النانوية، جسيمات الزنك النانوية.

1. المقدمة:

(et al., 2017). إن أهم الأجزاء النباتية للقبار المستفاد منها طبيًا وعلاجيًا هي البراعم الزهرية غير المتفتحة والسوق الغضة بالإضافة للمجموع الجذري. فعلاجيًا، يمتاز نبات القبار بتأثيره القوي لإدرار وطرّد البلغم ومطّمت ومهدئ. ويستعمل النبات كلبخة في علاج النقرس والإسقيوط وآلام الأرجل، كذلك يستعمل كضامات لعلاج أمراض العيون. وتستخدم الجذور في تضميد الجروح الخبيثة كما أن مستخلصه طارد للديدان (Al-Safadi & Elias, 2011). تبرز الأهمية الاقتصادية لنبات القبار الشوكي من خلال برامعه الزهرية التي تُعد مصدرًا مهمًا لدعم دخل الأسر الريفية، خاصة مع ارتفاع أسعارها في الأسواق المحلية. وتزداد الحاجة إلى تطوير زراعته بشكل منظم، مستفيدين من ملاءمته للبيئة الجافة واتساع رقعة البادية السورية، مما يجعله خيارًا واعدًا لتحقيق التنمية الزراعية المستدامة (Alnaddaf et al., 2021; Alnaddaf et al., 2023). إلا أن بذوره صغيرة الحجم وضعيفة الانتشار نتيجة الغلاف الصمغي الذي يعيق نفاذ الأوكسجين إلى الجنين، مما يؤدي إلى انخفاض نسبة الإنبات إلى نحو 5% (Al-Safadi & Elias, 2011). وبناءً على ذلك، تبرز ضرورة اعتماد تقنيات حديثة وأساليب معالجة فعالة لتحسين معدلات الإنبات وزيادة الإنتاج.

أشارت دراسة Al-Safadi و Elias (2011)، إلى أن إكثار نبات القبار باستخدام العقل يُعد أمرًا صعبًا، خاصةً فيما يتعلق

في ظل التغيرات المناخية المتسارعة التي تشهدها المناطق العربية، والتي تُعد من أكثر المناطق عرضة للجفاف والتصحر نظرًا لطبيعتها القاحلة وشبه القاحلة، تبرز الحاجة إلى دراسة العوامل النباتية التي قد تسهم في التكيف مع هذه الظروف أو التخفيف من آثارها. ويُعد نبات القبار الشوكي (*Capparis spinosa*) من الأنواع النباتية المثيرة للاهتمام في هذا السياق، نظرًا لقدراته البيئية والوظيفية في البيئات الجافة، لا سيما في مناطق شرق البحر الأبيض المتوسط. ينتمي القبار إلى الفصيلة القبارية (Capparidaceae)، وتحديدًا إلى جنس *Capparis*، الذي يضم نحو 350 نوعًا تنتشر في مختلف أنحاء العالم (Mouterde, 1970; Zohary, 1969). ويُعد من النباتات المعمرة، إذ يتراوح ارتفاعه بين 30 و50 سم، وقد يصل إلى 80 سم. يتميز بجذور متعمقة قد تصل إلى 6-10 أمتار (Al-Hajj Ahmed, 2011)، وتشكل نحو 65% من الكتلة الحيوية للنبات، مما يعزز قدرته على امتصاص المياه من الأعماق. أما ثماره، فهي عنبية الشكل، يتراوح طولها بين 2.5 و4 سم، وتشبه الكمثرى، وتحمل على عنق طويل. تتفتح بوساطة مصاريع، ويتحول لونها عند النضج من الأخضر المصفر إلى القرمزي الزاهي، وتتميز بطعمها الحلو (Al-Safadi & Elias, 2011).

إضافة لتمييز القبار بقدرة فائقة على التكيف مع البيئات القاسية فهو من أهم النباتات الطبية محليًا وعالميًا (Chedraoui

أثر جسيمات نانومترية في إنبات بذور القبار. تناولت الدراسات السابقة سبل تحسين نسبة إنبات بذور القبار من خلال دراسة تأثير المعالجات الميكانيكية، مثل الكسر اليدوي، بالإضافة إلى تطبيقات التسخين والتبريد، بهدف تسريع عملية الإنبات. وانطلاقاً من هذه الجهود، برزت فكرة استخدام الجسيمات النانوية لدراسة فعاليتها في تعزيز إنبات بذور القبار، نظراً لما تتميز به تقنية النانو من حداثة وأمان وكفاءة عالية، فضلاً عن كونها منخفضة التكلفة.

يستهدف هذا البحث دراسة تأثير نقع بذور القبار ومدد النقع باستخدام جسيمات Ag و ZnO النانومترية في تحفيز إنبات البذور، تمهيداً لإنتاج غراس ذات جدوى اقتصادية، تلبي الطلب المتزايد على زراعة القبار من خلال توفير غراس عالية الجودة، وبكميات وأسعار مناسبة، وذلك عبر رفع كفاءة الإنبات وتحسين نسبته.

2. مواد البحث وطرائقه:

نفذ هذا البحث في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية مركز بحوث السلمية وكلية الزراعة في جامعة حمص خلال أعوام 2021-2023 وتضمن الآتي:

2.1 المادة النباتية:

جمعت بذور القبار *Capparis spinosa* L. من مواقع مختلفة من المنطقة الوسطى (حمص وحماة) خلال مراحل مختلفة من نمو النبات بين عامي 2021-2022، وتم التركيز على النباتات التي تمتاز بنمو جيد وذات ثمار كبيرة الحجم ومن ثم تلا ذلك تنظيف البذور وغسلها وحفظها.

2.2 المحاليل المستخدمة:

تم استخدام محلول الفضة الذي تم تحضيره وفقاً للمنهجية المنشورة سابقاً لدى Kelly و زملائه (Kelly, MacTaylor, & Yatin, 2021)، حيث تم إنتاج هذا المحلول من خلال الإضافة التدريجية لـ 40 ml من نترات الفضة بتركيز 0.01M إلى 10 ml من عصير الليمون، وذلك عند درجة حرارة الغرفة. كما تم استخدام محلول ZnO الذي تم تحضيره بطريقة حيوية باستخدام المستخلص المائي للقشرة الخارجية للرمان، وذلك بإذابة 2.97g من نترات الزنك $[Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O]$ في 100 ml من الماء المقطر منزوع الأيونات، مع التحريك المغناطيسي عند درجة حرارة $80^\circ C$ لمدة 20 min. تمت بعد ذلك إضافة المستخلص

بعملية التجذير، كما أنه غير مجدي من الناحية التجارية. ووفقاً لـ Pascual و زملائه (2004)، فإن نقع البذور يُعد طريقة فعالة وسهلة لإزالة صلابتها وكسر سكونها الفسيولوجي. وقد أظهرت نتائجهم أن الخدش الحمضي متبوعاً بإضافة محلول GA3 هو الأسلوب الأكثر كفاءة وتكلفة لضمان الإنبات (Pascual et al., 2004). ويمكن استبدال الخدش الحمضي بطرائق أخرى مثل الخدش الميكانيكي بالموجات فوق الصوتية، أو الخدش بالماء الساخن، أو النقع، إلا أن هذه البدائل تتطلب مدداً أطول لتحقيق معدلات إنبات مرتفعة (Labbafi et al., 2018). رغم الأهمية الاقتصادية الكبيرة لنبات القبار، لما يحققه من دخل مجزٍ وسريع، ويضاهي في جدواه الزراعية محصول الكمون، خاصة مع انخفاض تكاليف إنتاجه لاعتماده على الجمع من البيئات البرية وجوانب الطرقات، إلا أن عملية إنباته ما تزال تواجه تحديات كبيرة. الأمر الذي يجعل من الضروري البحث عن حلول فعالة لتحسين نسب الإنبات وضمان استدامة هذا المورد الطبيعي الواعد. وفي هذا السياق، تبرز تقنية النانو كأحد الأساليب الحديثة التي قد تسهم في تعزيز انتشار هذا النبات والتغلب على معوقات إنباته.

تقنية النانو أثبتت فاعليتها الكبيرة من خلال تطبيقاتها المتقدمة في مجالات دقيقة وحيوية مثل الطب، والهندسة، والزراعة (Alaabedin et al., 2023; Bamsaoud et al., 2010; Bamsaoud & Bahwirth, 2017). وتكمن أهمية هذه التقنية في الخصائص الفريدة للجسيمات النانوية، كاتساع المساحة السطحية وانخفاض السمية، مما يجعلها محط اهتمام واسع لدى الباحثين. ولا يقتصر هذا الاهتمام على خصائصها الفيزيائية والكيميائية فحسب، بل يمتد أيضاً إلى تنوع طرائق تحضيرها، مما يفتح آفاقاً واسعة لتطوير حلول مبتكرة وفعالة في مختلف المجالات العلمية (Sarkhosh et al., 2022; Alnaddaf et al., 2023; Alnaddaf et al., 2021; al., 2021). والناظر لارتباط نبات القبار بهذه التقنية يمكن ملاحظة أن تركيز الباحثين يكمن فقط في الاستفادة من مستخلصات هذا النبات للمساعدة في تحضير الجسيمات النانومترية المختلفة مثل تحضير الزنك (Zn) و ZnO (Neamah et al., 2023; Khajeh et al., 2023) والفضة (Ag) (Zarei et al., 2021) البوتاسيوم (K) (El-Subeyhi et al., 2024). وبحسب علمنا المتواضع فلا تجد دراسات لقياس

3- النقع بمحلول جسيمات الفضة النانوية دون نقع مسبق بالماء (S) لمدة زمنية يوم واحد (S_{1d})، يومين (S_{2d})، ثلاثة أيام (S_{3d}).
4- النقع بمحلول جسيمات الفضة النانومترية مع النقع المسبق بالماء (SW) لمدة زمنية يوم واحد (SW_{1d})، يومين (SW_{2d})، ثلاثة أيام (SW_{3d}).

B- معاملة جسيمات ZnO النانومترية:

1- النقع بمحلول جسيمات ZnO النانومترية دون نقع مسبق بالماء لمدة زمنية 5 دقائق (Z_{5m})، 10 دقائق (Z_{10m})، 15 دقائق (Z_{15m}).
2- النقع بمحلول جسيمات ZnO النانومترية مع النقع المسبق بالماء (تبدل الماء كل 6 ساعات) لمدة زمنية 5 دقائق (ZW_{5m})، 10 دقائق (ZW_{10m})، 15 دقائق (ZW_{15m}).
3- النقع بمحلول جسيمات ZnO النانومترية دون نقع مسبق بالماء (Z) لمدة زمنية يوم واحد (Z_{1d})، يومين (Z_{2d})، ثلاثة أيام (Z_{3d}).
4- النقع بمحلول جسيمات ZnO النانومترية مع النقع المسبق بالماء (ZW) مع تبديل الماء كل 6 ساعات لمدة زمنية يوم واحد (ZW_{1d})، يومين (ZW_{2d})، ثلاثة أيام (ZW_{3d}).

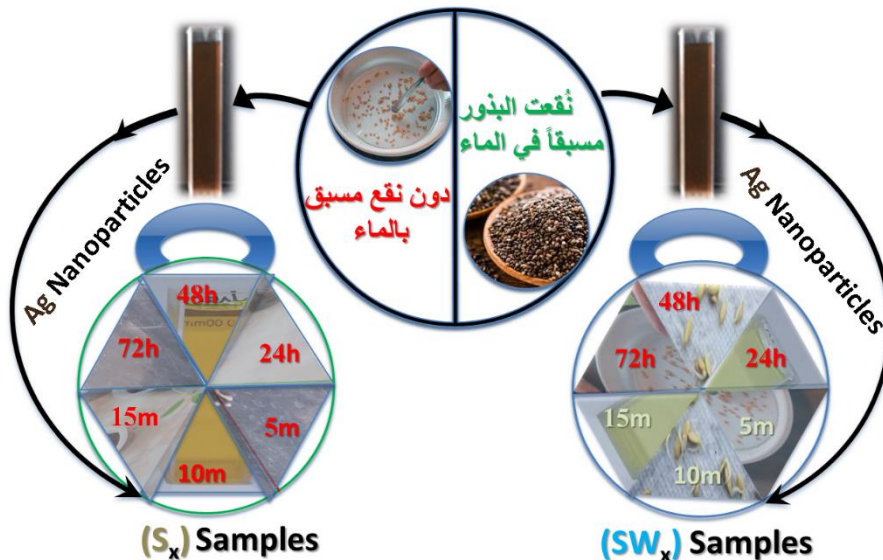
المائي لقشور الرمان، بتركيز 1M ، بشكل تدريجي إلى المحلول، وفقاً لما ورد في دراسة Husain, Araak, & Husain (2019).
2.3 طريقة العمل:

غسلت البذور بالماء الجاري لعدة مرات تم تعقيم البذور باستخدام الكحول الإيثيلي عيار 70% لمدة 3 دقائق وبعد ذلك تم المعاملة بالمحاليل النانومترية المحضرة سابقاً وفقاً للمعاملات الآتية:

A- معاملة جسيمات الفضة النانومترية (نقع البذور)

يوضح الشكل 1 معاملات نقع البذور في محلول Ag (ZnO) النانومتري، حيث يمكن تمييز ست معاملات تجريبية تمثل ثلاث مدد زمنية قصيرة وثلاث مدد زمنية طويلة. وقد تم تطبيق هذه المعاملات على حالتين: الأولى تتضمن نقعاً مسبقاً للبذور في الماء، والثانية دون نقع مسبق، وذلك وفقاً للتفصيل الآتي:

1- النقع بمحلول جسيمات الفضة النانومترية دون نقع مسبق بالماء لمدة زمنية 5 دقائق (S_{5m}) و 10 دقائق (S_{10m}) و 15 دقائق (S_{15m}).
2- النقع بمحلول جسيمات الفضة النانومترية مع النقع المسبق بالماء لمدة زمنية 5 دقائق (SW_{5m})، 10 دقائق (SW_{10m})، 15 دقائق (SW_{15m}).

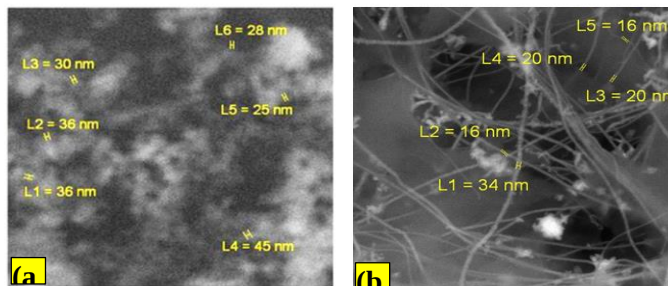


الشكل 1. مخطط توضيحي للتصميم التجريبي لدراسة تأثير المعالجة بالفضة (Ag) على إنبات بذور القبار المنقوعة وغير المنقوعة مسبقاً بالماء عند فترات نقع وحضانة مختلفة.

زمنية لكل منها في ضمن مرحلتين تجريبيتين: الأولى تضمنت نفعاً مسبقاً بالماء، والثانية دون نفع مسبق. وبناءً عليه، بلغ عدد التجارب الخاصة بالمحالييل النانوية، بما في ذلك المكررات ومعاملة الشاهد (الماء)، 75 تجربة بإجمالي 3000 بذرة. وقد تم تنفيذ هذه التجربة وفق تصميم عاملي (Factorial Design) في ضمن تصميم عشوائي كامل (CRD)، حيث دُرِس تأثير عدة عوامل تمثلت في نوع المعاملات (المحالييل النانوية والشاهد)، ومدد النقع الزمنية، وحالة النقع المسبق (مع أو بدون نقع). كما تم اعتماد ثلاثة مكررات لكل معاملة لزيادة دقة النتائج وتقليل الخطأ التجريبي، مع توزيع الوحدات التجريبية عشوائياً لعدم وجود تقسيم إلى قطاعات. وتم تحليل النتائج باستخدام البرنامج الإحصائي Genstat الإصدار 12، وذلك من خلال تحليل التباين (ANOVA) واختبار أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى دلالة 0.01.

3. النتائج:

أظهرت نتائج التجربة التي تم تنفيذها وفقاً للمنهجية التي وصفها Kelly وزملائه (Kelly, MacTaylor, & Yatin, 2021)، لتحضير محلول الفضة، وكذلك الخطوات التي أوردتها Husain وزملاؤه (Husain, Araak, & Ibrahim, 2019)، لتحضير محلول ZnO، دلائل واضحة على تكون جسيمات نانوية، وذلك من خلال تغير لون المحالييل في أثناء إجراء التجارب. وعند فحص المحلولين باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) والمجهر الإلكتروني (SEM)، أكدت النتائج تكون جسيمات نانوية في كلا المحلولين. ففي حالة محلول الفضة، تبين أن الجسيمات المتكونة ذات شكل أنبوبي ويبلغ متوسط قطرها حوالي 21nm (الشكل a1)، بينما أظهرت نتائج فحص محلول ZnO تكون جسيمات نانوية كروية الشكل بمتوسط قطر يبلغ نحو 33 (الشكل b1).



الشكل 2. صور المجهر الإلكتروني (SEM) لـ (a) جسيمات ZnO المحضرة من قشر الرمان، (b) جسيمات Ag المحضرة حيويًا من عصير الليمون.

عند انتهاء مدة النقع، تم غسل البذور جيداً بالماء، ثم وُضعت في أطباق بتري تحتوي على طبقة من القطن المعقم، وذلك لمدة ستة أيام. وخلال هذه المدة، تم إحصاء عدد البذور التي أنبتت باستخدام المعادلة الواردة في (Bamsaoud & Bahwirth, 2017).

$$\text{نسبة الإنبات (\%GP)} = \frac{\text{عدد البذور الكلي}}{\text{عدد البذور النابتة}} \times 100$$

تُعزى مراقبة البذور لمدة ستة أيام إلى أن الإنبات، من الناحية النظرية، يحدث عند توفر الظروف المثالية لجميع البذور في الوقت ذاته. إلا أن تحقيق هذا التزامن يُعد أمراً صعباً نظراً لتفاوت جودة البذور وحيويتها؛ إذ توجد بذور سريعة الإنبات وأخرى تتأخر لعدة أيام. وقد أشار Al-Rawi و Habib (2017) إلى أن هذا التفاوت في سرعة الإنبات يُعد من العوامل الطبيعية المرتبطة بخصائص البذور الفيزيولوجية.

2.4 التحليل الإحصائي:

تم تنفيذ جميع عمليات النقع باستخدام ثلاثة مكررات لكل مدة زمنية في ضمن مختلف المعاملات التجريبية. وقد اشتمل كل مكرر على 120 بذرة، وُزعت على ثلاثة أطباق بتري بمعدل 40 بذرة في كل طبق. بالنسبة للمحالييل النانوية، تم اختبار ست فترات زمنية لكل منها، وذلك في ضمن مرحلتين تجريبيتين: الأولى تضمنت نفعاً مسبقاً بالماء، والثانية دون نفع مسبق. وبناءً عليه، بلغ عدد التجارب الخاصة بالمحالييل النانوية، بما في ذلك المكررات ومعاملة الشاهد (الماء)، 75 تجربة، بإجمالي 3000 بذرة. تم تحليل النتائج باستخدام البرنامج الإحصائي Genstat الإصدار 12، لتحديد أقل فرق معنوي عند مستوى دلالة 0.01. تم تنفيذ جميع عمليات النقع باستخدام ثلاثة مكررات لكل مدة زمنية في ضمن مختلف المعاملات التجريبية، حيث اشتمل كل مكرر على 120 بذرة، وُزعت على ثلاثة أطباق بتري بمعدل 40 بذرة في كل طبق. بالنسبة للمحالييل النانوية، تم اختبار ست مدد

الجدول 1. قراءات نسبة إنبات بذور القبار لدى المعاملة بالمحاليل النانومترية

المحلول	المدة/دقيقة	القراءات%
الشاهد	5	0
	10	1
	15	1
محلول جسيمات الفضة النانومترية	5	1
	10	2
	15	2
محلول جسيمات ZnO النانومترية	5	2
	10	4
	15	12
(1%) L.S.D		2.13

4. المناقشة:

إن النتائج المتحصل عليها من تجارب هذه الدراسة والمتمثلة في عدم حدوث الإنبات لبذور القبار عند معاملتها بالمعاملات (S_{10m} , S_{5m} , S_{15m} , S_{1d} , S_{2d} , S_{3d} و Z_{15m} , Z_{10m} , Z_{5m} , Z_{1d} , Z_{2d} , Z_{3d})، تُبرز أهمية النقع المسبق في الماء كمرحلة تمهيدية ضرورية لتحفيز الإنبات. إذ يمكن أن يُسهم النقع المسبق بالماء في تهيئة البذور لامتناس الرطوبة، وتليين القشرة الخارجية، وتنشيط العمليات الفسيولوجية المرتبطة ببدء النمو الجنيني، وفتح المسام، مما يُعزز من كفاية التبادل الغازي الضروري للحفاظ على حيوية الجنين داخل البذرة. وتتوافق هذه النتائج مع ما أشار إليه Al Hadi و Al-Silawi (2019)، حيث أوضحا أن الجنين في البذرة لا ينمو ولا يظهر الجذير إلا بعد تشرب البذور للماء، وهي خطوة أساسية لبدء عملية الإنبات. فتتسبب العمليات الأيضية التي تسبق الإنبات، والتي تمهد لظهور الجذير، يتطلب توفر محتوى مائي مرتفع داخل البذرة. فعملية امتصاص الماء هي عملية طبيعية تحدثها البذور سواء أكانت حية أم ميتة. فبامتصاص الماء تنتفخ الخلايا، ويصبح السيتوبلازم أقل لزوجة، وتصبح أغلفة البذرة أقل قساوة وأكثر نفاذية للغازات. ويُجمع العديد من الباحثين على أن إنبات البذرة هو مجموعة التغيرات الحاصلة بين تميته البذرة أو التشرب (imbibition) والبدائية الأولى لنمو الجذير حيث تقوم الأنسجة المختلفة للبذرة بامتصاص الماء ويؤدي ذلك إلى زيادة رطوبة أغلفة البذرة مما يساعد في نمو وخروج الجذير والرشيم (Bamsaoud & Bahwirth, 2017).

عند إجراء تجارب نقع بذور القبار في المحاليل النانومترية لـ Ag (S_{xm}) و ZnO (Z_{xm}) مباشرة (دون نقع مسبق بالماء)، أظهرت نتائج هذه المعاملات عدم حدوث أي إنبات لهذه البذور. كما لم يتم ملاحظة أي بوادر للإنبات سواء عند النقع لمدة طويلة (S_{1d} , S_{2d} , S_{3d} و Z_{1d} , Z_{2d} , Z_{3d}) أو قصيرة (S_{5m} , S_{10m} , S_{15m} و Z_{5m} , Z_{10m} , Z_{15m}). وتشير هذه النتائج إلى أن غياب مرحلة النقع المسبق بالماء يُعد عاملاً حاسماً في فشل عملية الإنبات، مما يُبرز أهمية هذه المرحلة في تهيئة البذور لبدء العمليات الفسيولوجية المرتبطة بالإنبات.

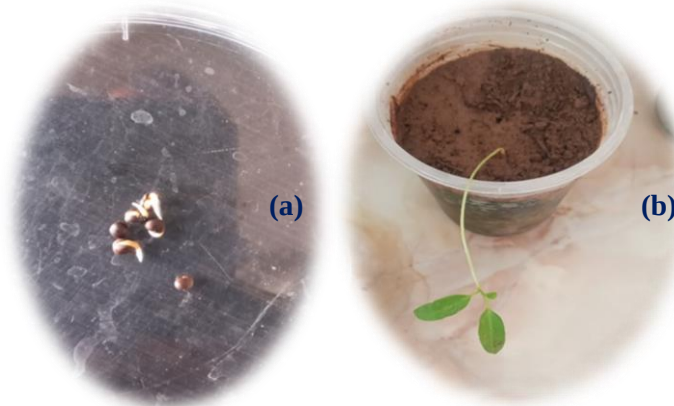
في إطار تجارب نقع بذور القبار في المحاليل النانومترية، والتي سبقتها مرحلة نقع أولي في الماء لمدة 48 ساعة عند درجة حرارة الغرفة، مع تجديد الماء المستخدم كل 6 ساعات، لوحظ أن النقع في المحاليل النانومترية لمدة طويلة (SW_{1d} , SW_{2d} , SW_{3d} و ZW_{1d} , ZW_{2d} , ZW_{3d}) أدى إلى انتاج البذور دون تطور واضح لعملية الإنبات. في المقابل، أظهرت نتائج تجارب نقع بذور القبار في المحاليل النانومترية لمدة زمنية قصيرة (SW_{5m} , SW_{10m} , SW_{15m} و ZW_{5m} , ZW_{10m} , ZW_{15m}) حدوث إنبات فعلي للبذور، وبنسبة مئوية تفوق على معاملة الشاهد. وتشير بيانات نسب الإنبات المئوية المسجلة في الجدول (1) إلى تفوق معاملات النقع بمحلول ZnO النانومتري (ZW_{5m} , ZW_{10m} , ZW_{15m})، حيث لوحظ تزايد تدريجي في نسبة الإنبات مع زيادة زمن النقع، وقد سجلت معاملة النقع لمدة 15 دقيقة (ZW_{15m}) أعلى نسبة إنبات مقارنة ببقية المعاملات. ومن جانب آخر، أظهرت معاملات النقع بمحلول الفضة النانومتري (SW) فعالية محدودة في تحفيز عملية الإنبات. فقد ازدادت نسبة الإنبات تدريجياً مع زيادة زمن النقع من 5 دقائق إلى 10 دقائق، ثم استقرت عند 15 دقيقة دون تسجيل زيادة إضافية. وقد بلغت نسبة الإنبات في هذه المعاملات ضعف ما سُجل في معاملة الشاهد، مما يشير إلى تأثير محفّز محدود لجسيمات الفضة النانوية. وتدل هذه النتائج على تباين التأثير الحيوي بين نوعي الجسيمات النانوية المستخدمة، وتُبرز أهمية اختيار نوع المادة النانوية، وتركيزها، ومدة التعرض لتحقيق نتائج إنباتية مثلى.

الأجسام النانومترية بزيادة تركيزها في الدراسات السابقة من الممكن تفسير حالة عدم حدوث إنبات لبذور القبار في أنه يعود نتيجة لحدث تسمم فسيولوجي للجنين داخل البذور، كذلك من المحتمل أن هذه الكمية الكبيرة من الجسيمات أثرت بشكل مباشر في الخلايا الجنينية، مما أعاق استكمال المراحل الحيوية المرتبطة ببداية الإنبات. وما يؤكد حالة التسمم الفسيولوجي للجنين داخل البذور هو ملاحظة حدوث إنبات لبذور القبار بنسبة تفوق معاملة الشاهد (الماء) في المعاملات (SW_{15m} , SW_{10m} , SW_{5m})، حيث يُحتمل أن جسيمات الفضة قد أسهمت في تنشيط الجنين نتيجة لانخفاض تركيزها بسبب قصر مدة النقع وهذا يتوافق مع دراسة Hojjat و Hojjat (2015)، الذي بين أن التراكيز المنخفضة من جسيمات الفضة النانوية زادت من إنبات البذور ونمو البادرات لنبات الحلبة وقد برز الأثر الإيجابي في طول الجذير.

كذلك يمكن تفسير التأثيرات السلبية لجسيمات ZnO وفترات النقع الأطول من خلال دراسة حديثة أجراها Sarkhosh وزملاؤه (2022)، والتي استهدفت دراسة تأثير جسيمات ZnO النانوية في خصائص إنبات البذور في نوعين من الفصيلة الكرنبية: *Camelina sativa* و *Brassica napus* L. وقد بينت الدراسة أنه عند تفاعل هذه الجسيمات النانوية بتركيز عالية داخل الخلايا، فإنها ترتبط ببروتينات السيتوبلازم والأغشية الداخلية، مما يؤدي إلى اضطرابات في عمليات التمثيل الغذائي والإشارات الخلوية، وتحفز استجابة مشابهة لتلك الناتجة عن الإجهاد التأكسدي. ويؤدي هذا النوع من الإجهاد إلى انخفاض كفاية تبادل الغازات، ومن ثم تراجع عملية التمثيل الضوئي، مما يؤدي إلى موت الخلايا وتأثير سلبي مباشر في إنبات البذور.

إن حدوث حالة انتباج لبذور القبار دون حدوث تطور واضح في عملية الإنبات، تم ملاحظتها عند تطبيق المعاملات (ZW_{3d} , ZW_{2d} , ZW_{1d} , SW_{3d} , SW_{2d} , SW_{1d}). وتشير هذه الملاحظة إلى أن النقع في محلول الفضة النانومتري أو محلول ZnO النانومتري لمدة زمنية طويلة (من يوم إلى 3 أيام)، رغم المعاملة المسبقة بالماء، لم يكن كافياً لعمل تحفيز كامل للإنبات. ومن الممكن استدراك الآثار السلبية للتأثيرات التي أظهرتها الجسيمات النانومترية عند تطبيق هذه المعاملات من خلال الدراسات السابقة التي أجريت لنباتات أخرى. فمن دراسات تأثير جسيمات الفضة النانومترية لاحظ Choi وزملاؤه (2008)، تمكن جسيمات الفضة النانومترية من تعديل الخصائص الفيزيوكيميائية للمواد مما يسبب تأثيراً حيوياً ضاراً في الخلايا الحية. كما أوضحت نتائج An وزملائه (2008)، أن جسيمات الفضة النانومترية لها تأثيرات سلبية في نمو وتطور الأنواع النباتية المختلفة فهي تعمل على تنشيط حمض ACC وتنشيط استطالة الجذر. وأظهرت نتائج Kumari وزملائها (2011) قابلية البذور النباتية لامتصاص الفضة النانومترية وتأثيرها في إنبات الجذر وطوله. وأشار Mazumdar (2014) أن دخول جسيمات الفضة النانومترية إلى الخلايا النباتية قد تسبب ضرراً للفجوات وجدران الخلايا النباتية وربما يؤثر في عضيات أخرى.

وفي حدود ما وفر من مراجعات فإن هذه الدراسة تُعد الأولى من نوعها في دراسة تأثير جسيمات Ag و ZnO النانومتري في نمو بادرات نبات القبار، لهذا من المحتمل أن يفسر سبب حالة انتباج لبذور القبار دون حدوث تطور واضح في عملية الإنبات تعود إلى طول مدة النقع، التي أدت إلى زيادة تراكم مكونات المحاليل النانومترية. ونظراً لتشابه حالة تراكم



الشكل 3. صور لكل من (a) إنبات بذور القبار بعد المعاملة بـ ZnO، (b) زراعة بذور القبار المنبتة.

بجسيمات نانومترية أنبوبية الشكل، وكذلك في محلول ZnO النانومتري المحضّر حيويًا من القشر الخارجي لفاكهة الرمان، ذي الجسيمات النانوية الكروية الشكل، قد أظهرت تباينًا واضحًا في نتائج الإنبات، تراوحت بين عدم حدوث أي إنبات إلى ارتفاع ملحوظ في نسبة الإنبات.

أشارت نتائج النقع المباشر للبذور في هذه المحاليل، دون إجراء نقع مسبق بالماء، إلى توقف الإنبات تمامًا في جميع المعاملات، وعبر جميع المدد الزمنية المدروسة. وتُبرز هذه النتائج أن النقع المسبق بالماء يُعد خطوة أساسية قبل تطبيق أي معاملة نانوية، لما له من أثر فعال في تنشيط الإنبات وتحقيق استجابة أولية ناجحة.

عند معاملة بذور القبار بهذه المحاليل بعد إجراء النقع المسبق في الماء، أشارت نتائج المعاملات ذات المدد الزمنية الطويلة (يوم إلى ثلاثة أيام) إلى غياب الإنبات تمامًا، ويُحتمل أن يكون ذلك نتيجة لتسمم فسيولوجي ناتج عن تراكم الجسيمات النانوية داخل أنسجة البذور، بسبب زيادة تركيزها وكميتها، مما أثر سلبيًا على قدرة البذور في الإنبات. عند نقع بذور القبار لمدد زمنية قصيرة (من 5 دقائق إلى 15 دقيقة)، بعد إجراء النقع المسبق بالماء، لوحظ حدوث الإنبات. فقد أدى استخدام محلول جسيمات الفضة النانوية إلى تضاعف نسبة الإنبات مقارنةً بمعاملة الشاهد، وذلك في جميع المدد الزمنية الثلاث. كما أن استخدام محلول ZnO النانوي أدى إلى نسبة إنبات أعلى من تلك الناتجة عن النقع بجسيمات الفضة النانوية، وقد كانت أعلى نسبة إنبات ملحوظة عند النقع لمدة 15 دقيقة في محلول ZnO. كما أظهرت جسيمات ZnO النانوية تأثيرًا إيجابيًا ملحوظًا في تعزيز إنبات البذور، في حين أن جسيمات الفضة النانوية أظهرت تأثيرًا سلبيًا أدى إلى تثبيط الإنبات وسكون البذور.

وتبرز أهمية تحديد المدة الزمنية المناسبة لنقع البذور في المحاليل النانوية، نظرًا لتأثيرها المباشر في كفاية الإنبات. كما يُوصى بإجراء دراسات مستقبلية لفهم تباين التأثيرات الناتجة عن اختلاف أبعاد وأشكال الجسيمات النانوية، لما لذلك من أثر محتمل في تحسين أو تثبيط العمليات الفسيولوجية المرتبطة بإنبات البذور.

تشير النتائج الإيجابية التي أظهرتها المعاملات (SW_{5m}، SW_{10m}، SW_{15m} و ZW_{5m}، ZW_{10m}، ZW_{15m}) إلى أهمية ضبط تركيز المحاليل النانومترية وزمن نقع البذور فيها، لضمان سلامة الجنين وتحقيق استجابة إنباتية فعّالة. ويُحتمل أن تكون هذه الجسيمات قد أسهمت في تنشيط الجنين نتيجة لانخفاض تركيزها بسبب قصر مدة النقع، مما أدى إلى استجابة إنباتية تفوقت على استجابة المعاملة الضابطة (الماء)، كما لوحظ في حالة جسيمات الفضة. وبالمثل، أظهرت المعاملات (ZW_{5m}، ZW_{10m}، ZW_{15m}) أظهرت نتائج إنباتية تفوقت على نتائج محلول الفضة النانومتري. وقد يعود سبب ذلك إلى الشكل الكروي للجسيمات وحجمها (21 nm) بالإضافة إلى كون Zn أحد العناصر الغذائية الدقيقة الأساسية للكائنات الحية، حيث يعتمد على الأداء الوظيفي للعديد من الإنزيمات يعتمد على هذا العنصر كما يعد منظمًا للهرمونات النباتية وتخليق الكلوروفيل، كما أنه عنصر أساسي في استقلاب الكربوهيدرات في النباتات. بالنظر إلى قابلية ذوبان ZnO العالية نسبيًا وأيضًا قدرة النباتات على امتصاصه يعد Zn من المغذيات الدقيقة الأساسية اللازمة لمجموعة واسعة من الوظائف الرئيسية للنباتات مثل تحسين كفاية استخدام المياه، والتمثيل الضوئي، وتخليق البروتين، وتنظيم أنواع الأكسجين التفاعلية، ووظيفة مضادات الأكسدة، والحفاظ على سلامة الأغشية، وتنظيم النمو، والتعبير الجيني (Geremew et al., 2023).

وبناءً على ما سبق، فقد تجلّت أهمية تقنية النانو في قدرتها الواعدة على إحداث تحول نوعي في الزراعة وإنتاج الغذاء على مستوى العالم خلال السنوات القادمة، إذ تُظهر العديد من المواد ذات الأبعاد النانوية قدرة على تحفيز الإنبات وتكوين بادرات ذات نمو جيد، في حين أن بعضها قد يعمل مثبطًا للنمو، مما يؤدي إلى سكون البذور (Alnaddaf et al., 2023). ويُشير هذا التباين في التأثير إلى اختلاف قدرة المركبات الكيميائية النانوية على تحفيز إنبات البذور، وذلك تبعًا لنوع المادة النانوية المستخدمة والنوع النباتي المستهدف، كما يتضح من التأثير المتفاوت لجسيمات ZnO و Ag النانومترية في إنبات بذور القبار (Bamsaoud & Bahwirth, 2017).

5. الاستنتاجات:

إن عمليات نقع بذور القبار لمدد زمنية متعددة في محلول الفضة النانومتري المحضّر حيويًا من عصير الليمون، والذي يتميز

References:

- [1] M. Q. Al Hadi and R. L. Al-Silawi, "The effect of activating stored seeds with different storage periods on seed vigor, growth, and yield of white sorghum (*Sorghum bicolor* L.)," M.S. thesis, College of Agriculture, University of Karbala, Karbala, Iraq, 2019.
- [2] A. A. Z. Alaabedin, B. H. Hamza, A. M. A. M. Abdual-Majeed, and S. F. Bamsaoud, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles to study its effect on the skin using IR thermography," *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, vol. 34, no. 3, pp. 115–123, 2023.
- [3] A. Al-Hajj Ahmed, "Morphological study of the fruits of the prickly caper *Capparis spinosa*, widespread in the Syrian environment," *Environment and Ocean Journal*, no. 7, Dec. 2011.
- [4] L. M. Alnaddaf, K. A. Almuhammady, F. M. K. Salem, T. M. Alloosh, M. M. Saleh, and M. J. Al-Khayri, "Green synthesis of nanoparticles using different plant extracts and their characterizations," in *Nanobiotechnology: Mitigation of Abiotic Stress in Plants*, J. M. Al-Khayri, M. I. Ansari, and A. K. Singh, Eds. Cham, Switzerland: Springer, 2021, pp. 165–199, doi: 10.1007/978-3-030-73606-4_8.
- [5] L. M. Alnaddaf, S. F. Bamsaoud, and M. Bahwirth, "Application of nanotechnology solutions in plants fertilization and environmental remediation," in *Urban Horticulture: Sustainable Gardening in Cities*. London, U.K.: IntechOpen, 2023, doi: 10.5772/intechopen.1001441.
- [6] A. Al-Rawi and M. I. Habib, "Effect of seed activation with potassium chloride solution on germination characteristics and seedling vigor of sunflower (*Helianthus annuus* L.)," *Anbar Journal of Agricultural Sciences*, vol. 15, no. 2, pp. 494–505, 2017.
- [7] B. Al-Safadi and R. Elias, "Improvement of caper (*Capparis spinosa* L.) propagation using in vitro culture and gamma irradiation," *Scientia Horticulturae*, vol. 127, no. 3, pp. 290–297, 2011, doi: 10.1016/j.scienta.2010.10.007.
- [8] J. An, M. Zhang, S. Wang, and J. Tang, "Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 41, no. 6, pp. 1100–1107, 2008, doi: 10.1016/j.lwt.2007.08.027.
- [9] S. F. Bamsaoud, S. B. Rane, R. N. Karekar, and R. C. Aiyer, "Nanosize SnO₂ -based tubular resistive gas sensor for hydrogen and acetone vapour," *Transactions of the Indian Ceramic Society*, vol. 69, no. 3, pp. 193–197, 2010.
- [10] S. Bamsaoud and M. Bahwirth, "The effect of biologically synthesized silver nanoparticles on the germination and growth of *Cucurbita pepo* seedlings," *Journal of the Arab American University*, vol. 3, no. 2, pp. 34–47, 2017.
- [11] S. Chedraoui, A. Abi-Rizk, M. El-Beyrouthy, L. Chalak, N. Ouaini, and L. Rajjou, "Capparis spinosa L. in a systematic review: A xerophilous species of multi values and promising potentialities for agrosystems under the threat of global warming," *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, art. no. 1845, 2017, doi: 10.3389/fpls.2017.01845.
- [12] O. Choi, K. K. Deng, N. J. Kim, L. Ross Jr., R. Y. Surampalli, and Z. Hu, "The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth," *Water Research*, vol. 42, no. 12, pp. 3066–3074, 2008, doi: 10.1016/j.watres.2008.02.021.
- [13] M. El-Subeyhi, L. L. Hamid, E. W. Gayadh, W. M. Saod, and A. Ramizy, "Biogenic synthesis and characterisation of novel potassium nanoparticles by *Capparis spinosa* flower extract and evaluation of their potential antibacterial, anti-biofilm and antibiotic development," *Indian Journal of Microbiology*, vol. 64, no. 2, pp. 548–557, 2024.
- [14] A. Geremew et al., "Effect of zinc oxide nanoparticles synthesized from *Carya illinoensis* leaf extract on growth and antioxidant properties of mustard (*Brassica juncea*)," *Frontiers in Plant Science*, vol. 14, art. no. 1111234, 2023, doi: 10.3389/fpls.2023.1111234.
- [15] S. S. Hojjat and H. Hojjat, "Effect of nano silver on seed germination and seedling growth in fenugreek seed," *International Journal of Food Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 106–110, 2015.
- [16] W. M. Husain, J. K. Araak, and O. M. Ibrahim, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles from *Punica granatum* L. aqueous peel extract," *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*, vol. 43, no. 2, pp. 6–14, 2019.
- [17] P. Kelly, C. MacTaylor, and M. Yatin, *Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Lemon Extract, Characterization, and Antimicrobial Properties*, May 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.13013/1510>
- [18] H. Khajeh, B. F. Nasab, A. R. Mirzaei, and H. Farzanfar, "Biosynthesis of zinc nanoparticles of *Capparis spinosa* plant extract and its investigation on morphophysiological properties of the *Moringa oleifera* plant," *Journal of Medical Bacteriology*, vol. 11, no. 1, pp. 17–29, 2023.
- [19] M. Kumari, S. Parkrashi, A. Mukherjee, and N. Rasekaran, "Cytogenetic and genotoxic effect of zinc oxide nanoparticles on root cells of *Allium cepa*," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 190, nos. 1–3, pp. 613–621, 2011, doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.03.103.
- [20] M. R. Labbafi, A. Mehrafarin, H. Naghdi Badi, M. Ghorbani, and M. Tavakoli, "Improve germination of caper (*Capparis spinosa* L.) seeds by different induction treatments of seed dormancy breaking," *Trakia Journal of Sciences*, vol. 16, no. 1, pp. 70–74, 2018, doi: 10.15547/tjs.2018.01.011.
- [21] H. Mazumdar, "Accumulation and uptake of silver nanoparticles during seed germination of selected annual crop plants," *International Journal of ChemTech Research*, vol. 16, no. 1, pp. 108–113, 2014.
- [22] P. Mouterde, *Nouvelle flore du Liban et de la Syrie*, vol. 2. Beirut, Lebanon: Dar el-Machreq, 1970.
- [23] S. A. Neamah, S. Albukhaty, I. Q. Fali, Y. H. Dewir, and H. B. Mahood, "Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using *Capparis spinosa* L. fruit extract: Characterization, biocompatibility, and antioxidant activity," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 11, art. no. 6604, 2023, doi: 10.3390/app13116604.
- [24] B. Pascual, A. San Bautista, A. Imbernón, S. López-Galarza, J. Alagarda, and J. V. Maroto, "Effect of zinc oxide nanoparticles on *Capparis spinosa* seeds," *Seed Science and Technology*, vol. 32, pp. 637–642, 2004.

- [25] S. Sarkhosh et al., "Effect of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) on seed germination characteristics in two Brassicaceae family species: *Camelina sativa* and *Brassica napus* L.," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2022, Art. no. 1892759, 2022, doi: 10.1155/2022/1892759.1892759.. <https://doi.org/10.1155/2022/1892759>
- [26] M. Zarei, N. Seyedi, S. Maghsoudi, M. S. Nejad, and H. Sheibani, "Green synthesis of Ag nanoparticles on the modified graphene oxide using *Capparis spinosa* fruit extract for catalytic reduction of organic dyes," *Inorganic Chemistry Communications*, vol. 123, art. no. 108327, 2021, doi: 10.1016/j.inoche.2020.108327.
- [27] M. Zohary, "The species of *Capparis* in Mediterranean and the Near Eastern countries," *Bulletin of the Research Council of Israel*, vol. 8D, pp. 49–64, 1969.