السمية النباتية لجزيئات الفضة وأكسيد الزنك النانوي والعادي في مؤشرات إنبات ونمو بادرات نبات الفول

Phytotoxicity of Silver and Zinc Oxide Nanoparticles and Bulkon Germination and Seedlings Growth of Faba Bean (*Vicia faba*)

م. سمية الفرج[1] د.عماد الدين الخلف[1] د.وليد السعيد[1]

Somaya Al- Faraj[1] Imad Aldeen Alkhalaf[1] Walid Alsaid[1]

somayaalfaraj6@gmail.com

(1) قسم علم الحياة النباتية، كلية العلوم، جامعة حلب، سورية.

(1) Department of Biology, Faculty of science, Aleppo University, Syria.

الملخص

هدف البحث إلى دراسة تأثير تراكيز متدرجة من جزيئات الفضة والزنك بشكليهما النانوي والعادي في إنبات نبات الفول البلدي، وذلك في مخبر التلوث والبيئة النباتية في كلية العلوم بجامعة حلب (سورية) خلال الفترة الواقعة بين شهري تشرين الثاني/نوفمبر وكانون الأول/ ديسمبر 2019. تم تحضير سلسلة من التراكيز (100، 200، 400 و800 مغ/ل) لأكسيد الزنك النانوي والعادي، وتراكيز (50، 100 و200 مغ/ل) من جزيئات الفضة النانوية ونترات الفضة، بعد نقع البذور لمدة 24 ساعة بالمحاليل، وزعت على أطباق بتري بمعدل ست بذور في كل طبق، وستة مكررات لكل تركيز. أظهرت النتائج عدم تأثير أكسيد الزنك النانوي في نسبة وسرعة الإنبات، في حين أدى إلى انخفاض معنوي في متوسط أطوال وأوزان المجموع الخضري والجذري. وأظهرت جزيئات الفضة النانوية تأثيراً سلبياً في جميع مؤشرات نسبة الإنبات وسرعته، أما بالنسبة للأطوال والأوزان فقد انخفضت بشكل معنوي.

الكلمات المفتاحية: أكسيد الزنك النانوي، جزيئات الفضة النانوية، نبات الفول، مؤشرات الإنبات.

Abstract

The aim of this research is to study different concentrations of Silver and Zinc oxide bulk and nanoparticles on germination of the Faba bean plant in the pollution and plant Ecology laboratory at the science faculty University of Aleppo (Syria) during the between November and December 2019. After preparing a series of concentration of zinc nanoparticles, zinc oxide (100, 200, 400 and 800 mg/l) and concentrations of silver nanoparticles, silver nitrate (50,100 and 200 mg/l). Seeds were soaked for 24 hours and distributed on petri dishes at a rate of six seeds per dish and six replicates per concentration.The results showed no effect of zinc oxide nanomaterial on the percentage and speed of seed germination. However, it played a positive catalytic role where it led to a significant decrease in the length and weight of shoot and root systems. Whereas, the

©2021 The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, All rights reserved.

ISSN:2305 - 5243 ; AIF-023 (p:71 - 79)

effect of silver nanoparticles was negative on all seed germination indexes which showed a decrease in the percentage and speed seed germination. This decrease was significantly in the length and weights average.
Keywords: Zinc oxide Nanoparticles, Silver nanoparticles, *Vicia faba*, Seed germination.

المقدمة

تسللت في الأعوام القليلة الماضية كلمة صغيرة إلى أذهان الباحثين، وهي تقانة النانو التي أحدثت أثراً كبيراً في الأوساط العلمية ومراكز البحوث، وعُرفت بأنها تكنولوجيا المواد والدقائق المتناهية في الصغر والتي تتراوح أبعادها بين 1 و100 نانومتر (الجوذري، 2017)، وتضم هذه الجزيئات معادن وأكاسيد وأملاح تصل إلى البيئة طبيعياً، أو يتم تصنيعها مخبرياً، وتختلف فيما بينها بالشكل والحجم والشوارد والنوعية، وعلى أثر ذلك أخذت طريقها إلى البيئة المائية والأرضية والهوائية (Boonynitipong وزملاؤه، 2011؛ Poma وChiriccо، 2015).

ونظرا لعدم توفر بيانات كافية للأخطار المتعلقة بزيادة استخدامها، فقد ظهر ما يسمى بعلم السموم النانوية، وهو العلم الذي يهتم بدراسة الآثار المترتبة على زيادة استخدام هذه المواد في الأنظمة البيئة المختلفة. وبالرغم من وجود العديد من البحوث المتعلقة بتأثير هذه المواد في صحة الإنسان والبيئة، فلم يتوجه إلا القليل منها لدراسة آثارها في النبات. والذي يعد المكون الأساس للنظام البيئي والأكثر تفاعلاً مع هذه الجزيئات، ولاسيما بعد انتشار استخدامها في المجال الزراعي؛ كالأسمدة النانوية، وذلك لقدرتها على الاحتفاظ بالمادة السمادية لفترة أطول نتيجة التوتر السطحي، مما يسهم في زيادة فاعلية امتصاص المغذيات من قبل النبات (الرمادي وزملاؤه، 2016). ومن هنا برزت ضرورة دراسة امتصاصية وحركية وانتقال وتراكم وتأثير الجزيئات النانوية في أجزاء النبات المختلفة، إذ تعد جزيئات الفضة النانوية أكثر الجزيئات شيوعاً واستعمالاً، نظراً لتفردها بخواص فيزيائية وكيميائية مميزة، فاستخدمت في المجالات الطبية والغذائية والصناعية (Patlolla وزملاؤه، 2012).

وقد أظهرت دراسة قام بها Rastogi وزملاؤه (2019) أن معاملة نبات القمح بجزيئات الفضة النانوية أحدثت تأثيراً سلبياً واضحاً في بعض مؤشرات الإنبات البذري، ونمو البادرات والمؤشرات الفزيولوجية تمثلت بتراجع عملية التركيب الضوئي، بسبب تأثيرها السلبي في نشاط الكاتالاز، والمحتوى الكلي للفلافونئيدات والصانعات الخضراء.

كما يعد عنصر الزنك أحد معززات النمو النباتية، وهو من العناصر الصغرى التي يحتاجها النبات بنسب ضئيلة، وزيادة إنحلاله بكميات كبيرة تعمل على خفض معدل إنبات البذور، وتؤثر في نمو النبات وتطوره. ففي دراسة طبقت على نباتي البصل والفول باستخدام جزيئات الزنك النانوية لوحظ انخفاض معدل الانبات ونسبته وسرعته، كما أثرت سلباً في طول الجذور والوزن الجاف للبادرات، وذلك مع زيادة التراكيز (Lin وXing، 2007). وفي دراسة أخرى قام بها Kumar وزملاؤه (2015) حول تأثير جزيئات الزنك والحديد والكربون النانوية في إنبات ثلاثة أنواع من البذور؛ هي القمح والرز والخيار، باستخدام سلسلة من التراكيز، لوحظ إنخفاض في نسبة الإنبات، وتثبيط لنمو الجذور والبادرات، وكان عنصر الزنك الأكثر تأثيراً، ومن ثم الحديد والكربون.

كما أدت معاملة نبات البصل ودوار الشمس والبندورة بأكسيد الزنك النانوي إلى تأخير نمو النبات، وانخفاض طول الجذور، وكان تأثير التراكيز العالية واضحاً في تثبيط تشكيل البروتين، وانخفاض الكتلة الحيوية (Shaymurat وزملاؤه، 2012؛ Sturikova وزملاؤه، 2017).

أهدف البحث: تأتي أهمية البحث من الإنتشار العالمي المتسارع لتطبيقات التقانة النانوية في العديد من المجالات الطبية والزراعية والصناعية، ووصول هذه الجزيئات إلى البيئة المحيطة بالإنسان؛ كالغذاء، والماء والهواء، ونظراً لقلة الدراسات التي تسلط الضوء على التأثير السلبي لهذه الجزيئات في العناصر الأساسية للبيئة، ولاسيما النباتات الراقية، فقد برزت ضرورة إجراء الاختبارات الحيوية لزيادة الفهم والمعرفة حول تأثير هذه الجزيئات في مؤشرات إنبات بادرات النباتات ونموها، وبناءً عليه هدف البحث إلى الآتي:

- دراسة تأثير أكسيد الزنك (بشكليه العادي والنانوي) في إنبات ونمو بادرات نبات الفول.
- دراسة تأثير الفضة (بشكليها النتراتي والنانوي) في الإنبات المخبري ونمو بادرات نبات الفول.

مواد البحث وطرائقه

تم إجراء البحث في مختبرالتلوث والبيئة النباتية في كلية العلوم بجامعة حلب (سورية) خلال الفترة الواقعة بين شهري تشرين الثاني (نوفمبر) وكانون الأول (ديسمبر) من عام 2019، إذ تم الحصول على جزيئات الزنك والفضة النانوية من شركة (Sigma- Aldrich) في الولايات المتحدة الأمريكية بأبعاد جزيئات قدرها (nanopowder < 100 nm particles size). حُضرت المحاليل بإذابة تراكيز متدرجة من جزيئات الزنك النانوية وأكسيد الزنك هي: (100، 200، 400 و800 مغ/ل) في ماء ثنائي التقطير، ومن ثم وضعت المحاليل في جهاز الأمواج فوق الصوتية (45 هرتز) لمدة 30 دقيقة، وذلك لمنع التصاق الجزيئات بعضها ببعض. أما بالنسبة لجزيئات الفضة النانوية ونترات الفضة فقد حضرت بالطريقة نفسها، واستخدمت التراكيز الآتية: 50، 100 و200 مغ/ل، بالإضافة لاستخدام الماء العادي شاهداً في التجربتين.

تجربة الإنبات البذري:

تم تطهير بذور نبات الفول (صنف البلدي) سطحياً باستعمال محلول هيبوكلوريد الصوديوم (10 %) لمدة 15 دقيقة، وبعدها غُسلت بالماء المقطر عدة مرات للتخلص من آثار المادة المطهرة، ثم جففت البذور ونقعت بالتراكيز السابقة لمدة 24 ساعة، وتم استخدام الماء المقطر شاهداً. بعدها تم توزيع البذور على أطباق بتري معقمة بقطر 9 سم والتي تحتوي على ورق فلتر، وذلك بمعدل 6 بذور لكل طبق وبمعدل 6 مكررات لكل تركيز، ورويت البذور بالمحاليل المستخدمة كلما دعت الحاجة، وتم أُخذ القراءات يومياً من بداية التجربة، وفي نهايتها (استمرت التجربة 15 يوماً)، إذ تم أخذ قياسات مؤشرات الإنبات البذري الآتية:

1 - نسبة الإنبات البذري (%)، وحسبت من العلاقة:

نسبة الإنبات البذري (%) = عدد البذور النابتة /عدد البذور الكلي × 100

2 - سرعة الإنبات (بذرة/يوم)، وحسبت من العلاقة:

سرعة الإنبات (بذرة/يوم) = (مجموع عدد البذور النابتة / رقم اليوم)

3- أطوال المجموع الخضري والجذري للبادرات (سم).

4 - الوزن الرطب (غ) للمجموع الخضري والجذري للبادرات.

5 - الوزن الجاف (غ) للمجموع الخضري والجذري للبادرات: وذلك وفق Sabir وزملاؤه (2018)؛ Maghoudi وEmam(2016).

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي:

وضعت التجربة وفق التصميم العشوائي (CRD)، وحللت النتائج باستخدام برنامج SPSS، إذ تم استعمال تحليل التباين الأحادي One Way ANOVA لمعرفة إذا كان هناك فروق معنوية بين مؤشرات الدراسة، كما تم تحديد اتجاه الفروق باستخدام أقل فرق معنوي LSD عند مستوى معنوية 1 %.

النتائج والمناقشة

أولاً: تأثير المعاملة بجزيئات الزنك النانوية وأكسيد الزنك في مؤشرات الإنبات والبادرات لنبات الفول

- نسبة الإنبات وسرعته: أشارت النتائج (الجدول 1) إلى عدم وجود فروقات معنوية بين التراكيز المدروسة في صفة الإنبات البذري عموماً، إذ سجلت المعاملة بأكسيد الزنك بتركيز 200 مغ/ل أعلى نسبة إنبات (93.3 %)، تلتها المعاملة بأكسيد الزنك بتركيز400 مغ/ل (89.9 %) دون فروق معنوية بينهما، بينما سجلت معاملة الشاهد أدنى نسبة إنبات (73.3 %). أما بالنسبة لسرعة الإنبات فقد أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية في متوسط سرعة الإنبات بين التراكيز المختلفة، إذ سجلت المعاملة بأكسيد الزنك 400 مغ/ل أعلى سرعة إنبات (5.7 بذرة/يوم)، تلتها دون فروقات معنوية المعاملة بأكسيد الزنك بتركيز 200 مع/ل (5.6 بذرة/ اليوم)، في حين سجلت معاملة الشاهد أدنى سرعة إنبات (3.75 بذرة/يوم). ويمكن أن يعزى التباين الواضح في نسبة الإنبات بين تراكيز جزيئات الزنك النانوية وأكسيد الزنك العادي مقارنة بالشاهد إلى دور عنصر الزنك في النبات، وقد توافقت نتائج الدراسة الحالية مع مجموعة من

الدراسات السابقة (Lin وXing، 2007؛ Shaymurat وزملاؤه، 2012؛ Kadasa Gowayed، 2015؛ Yang وزملاؤه، 2015؛ Rastogi وزملاؤه، 2019)، والتي أجريت على العديد من النباتات كالخس، واللفت، والذرة الصفراء، والخيار، والفول، والرز من أن استخدام تراكيز مختلفة من جزيئات الزنك النانوية لم يكن لها تأثير في نسبة الإنبات في جميع النباتات، باستثناء الذرة الصفراء، ويعود ذلك إلى طبيعة غلاف بذور الذرة، وقدرة الجزيئات على اختراق الغلاف البذري أو عدم اختراقها.

الجدول 1. تأثير تراكيز متدرجة من أكسيد الزنك النانوي والعادي في نسبة وسرعة إنبات بذور الفول.

التركيز (مغ/ل)	نسبة الإنبات (%)	سرعة الإنبات (بذرة/يوم)
الشاهد	**73.3±19a**	**3.75±0.00e**
(ZnO-NPs) 100	83.3±11.8a	4.8±0.00b
(ZnO-NPs)200	83.3 ± 16.7a	5.3±0.00a
(ZnO-NPs)400	79.9 ±13.9a	4±0.00d
(ZnO-NPs)800	79.9 ±13.9a	4.8±0.00c
(ZnO)100	75.3 ±16.2a	4±0.00d
(ZnO)200	**93.3 ±9.1a**	**5.6±0.00b**
(ZnO)400	**89.9 ±14.3a**	**5.7±0.00a**
(ZnO)800	86.6 ±13.9a	4.7±0.00c

*** الحروف المتشابهة تعني عدم وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 1 %.**

- طول المجموع الخضري والجذري للبادرات (سم):

بينت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية في مؤشر طول المجموع الخضري لبادرات الفول بين التراكيز المختلفة، إذ أظهرت معاملة الشاهد أعلى قيمة لطول المجموع الخضري (2.57 سم)، في حين تأثرت بادرات الفول بشكل سلبي بالتراكيز العالية من أكسيد الزنك (800 مغ/ل)، إذ سجلت أدنى قيمة (1.43 سم) وبنسبة انخفاض بلغت (43 %) مقارنة بالشاهد (الجدول 2)، كما بينت النتائج الواردة في الجدول نفسه وجود فروقات معنوية بين متوسط أطوال المجموع الجذري للبادرات بين المعاملات المختلفة، إذ سجلت القيمة الأعلى عند الشاهد (3.05 سم)، تلتها المعاملة بأكسيد الزنك للتركيز 400 مغ/ل (2.82 سم) مع وجود فروق معنوية بينهما، فيما سجلت القيمة الأدنى عند المعاملة بأكسيد الزنك عند التركيز 800 مغ/ل (1.85 سم) وبنسبة انخفاض بلغت نحو 39 % مقارنة بالشاهد.

الجدول 2. تأثير التراكيز المتدرجة من أكسيد الزنك النانوي والعادي في متوسط أطوال البادرات والجذور.

التركيز (مغ/ل)	طول المجموع الخضري (سم)	طول المجموع الجذري(سم)
الشاهد	**2.57±1.4 a** 1	**3.05 ±0.5 a**
(ZnO-NPs) 100	1.64±1.4 ab	2.06 ±0.4 ab
(ZnO-NPs)200	1.83±0.8 ab	2.26±0.4 ab
(ZnO-NPs)400	2±0.5b	1.96 ±0.6 b
(ZnO-NPs)800	1.95±0.7 b	2.07 ±0.6 b
(ZnO)100	1.85 ±0.8 a	2.59 ± 0.3 a
(ZnO)200	2.07 ±0.8 a	2.59 ±0.7 bc
(ZnO)400	2.17 ±1.7 a	**2.82 ±0.5 abc**
(ZnO)800	1.43 ± 0.4 a	**1.85 ±0.3 c**

*** الحروف المتشابهة تعني عدم وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 1 %.**

وتوافقت نتائج الدراسة الحالية مع نتائج Woolee وزملائه (2010) والتي أجريت على نبات الرشاد، إذ أظهرت قدرة جزيئات الزنك النانوية على تثبيط نمو النبات وتطوره وانخفاض الأطوال. وتعود آلية التأثير السمي للجزيئات النانوية بشكل رئيس إلى قدرتها على اختراق أغشية الخلايا الحية والوصول إلى المراكز الفعالة فيها، وتعمل على زيادة إنتاج جذورالأوكسجين الحرة (ROS)، مما يسبب الإجهاد التأكسدي الذي يتخطى قدرة الآلية الدفاعية للنبات، ويلحق الضرر بالأغشية الخلوية، ويسبب خللاً في التبادل الشاردي وانتشار شوارد سامة ضمن الخلية النباتية، وهذا يؤدي إلى أكسدة المواد البروتنية وتخريب DNA. كما تعمل هذه الجزيئات الدقيقة على تثبيط نشاط أنزيمات مضادات الأكسدة، وأهمها الكاتالاز، فيتراكم الماء الأوكسجيني (H_2O_2) وهو من نواتج تفاعلات الأكسدة الخلوية، ويكون ساماً جداً إذا لم يتم التخلص منه، مع زيادة إنتاج جذر الهيدروكسيل (OH)، وهو أحد الجذور الحرة الذي يتفاعل مع الجزيئات الحيوية في الخلية، وينتج عنه هدم خلوي وموت مبكر للخلايا الحية.

- الوزن الرطب للمجموع الخضري والجذري للبادرات (غ):

بينت نتائج التحليل الإحصائي عدم وجود فروقات معنوية بين المعاملات المختلفة بالنسبة لمؤشر الوزن الرطب للمجموع الجذري، إذ سجلت المعاملة بأكسيد الزنك العادي بتركيز 100 مغ/ل أعلى متوسط للوزن الرطب الجذري (0.22غ)، تلتها المعاملة بأكسيد الزنك النانوي بتركيز 200 مغ/ل (0.19 غ) وكانت القيمة الأدنى عند المعاملة بأكسيد الزنك النانوية بتركيز 100 مع/ل (0.09 غ)، فيما سجلت معاملة الشاهد (0.15 غ).

الجدول 3. تأثير تراكيز متدرجة من أكسيد الزنك النانوي والعادي في الوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري والجذري لبادرات الفول.

التركيز (مغ/ل)	الوزن الرطب الخضري (غ)	الوزن الرطب الجذري (غ)	الوزن الجاف الخضري (غ)	الوزن الجاف الجذري (غ)
الشاهد	0.25±0.1a	**0.15±0.08 a**	**0.016±10.3b**	0.01±5.2b
(ZnO-NP)s100	0.11±0.05 b	**0.09±0.04a**	**0.006±3.2a**	0.012±25.9a
(ZnO-NPs)200	0.14±0.04b	**0.19±0.2a**	0.008±2.4ab	0.006±3.4ab
(ZnO-NPs)400	0.18±0.04b	0.16±0.07a	0.01±5.3ab	0.009±4.9ab
(ZnO-NPs)800	0.21±0.01ab	0.13±0.05a	0.019±13.3a	0.006±3.8a
(ZnO)100	0.29±0.4a	**0.22±0.3a**	0.018±6.6b	0.012±6.6b
(ZnO)200	0.19±0.08a	0.13±0.3a	0.019±64.1b	0.008±5.3b
(ZnO)400	0.2±0.4a	0.16±0.5a	**0.021±10.7b**	**0.022±12.8a**
(ZnO)800	0.13±0.4a	0.1±0.2a	**0.006±3.2b**	0.007±2.3b

*** الحروف المتشابهة تعني عدم وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 1 %.**

- الوزن الجاف للمجموع الخضري والجذري للبادرات (غ):

أشارت نتائج التحليل الإحصائي الواردة في الجدول 3 بالنسبة لصفة الوزن الجاف الخضري إلى وجود فروقات معنوية بالنسبة للمعاملات بأكسيد الزنك النانوي، وعدم وجود فروقات معنوية بالنسبة لأكسيد الزنك العادي، إذ سجلت أعلى قيمة لمتوسط الوزن الجاف الخضري عند المعاملة بأكسيد الزنك العادي بتركيز 400 مغ/ل (0.021 غ) ، وسجلت أدنى قيمة عند المعاملة بتركيزي 100 مغ/ل و800 مغ/ل من أكسيد الزنك النانوي والعادي على التوالي (0.006غ)، فيما سجلت معاملة الشاهد (0.016 غ).

أما بالنسبة لمؤشر الوزن الجاف الجذري فقد أشارت نتائج التحليل الإحصائي إلى وجود فروقات معنوية بين التراكيز المختلفة عموماً، وسجلت أعلى قيمة للوزن الجاف الجذري عند المعاملة بأكسيد الزنك العادي بتركيز 400 مع/ل إلى (0.022 غ) وأدنى قيمة عند المعاملة بالتركيزين 200 مع/ل و800 مغ/ل من أكسيد الزنك النانوي على التوالي (0.006 غ)، وسجلت قيمة معاملة الشاهد (0.01غ).

وتوافقت هذه النتائج مع ماوجده Bagawade وJagtap (2018) من أن المعاملة بجزيئات الزنك النانوية عملت على خفض طول

المجموع الخضري والجذري لنبات القمح، وكان التأثير السلبي واضحاً في الوزن الجاف للمجموع الخضري والجذري للبادرات المختبرة، إذ أنها أدت إلى انخفاض معنوي في متوسط الوزن الجاف، وذلك بسبب انحلال شوارد الزنك التي تعد من العناصر الصغرى التي يحتاجها النبات بكميات قليلة، وفي حال زيادة تركيزها ضمن تجويف الخلية تعمل على تخريب البروتينات، وزيادة بيروكسيد الدهون، ونفاذية أغشية الخلية، مما يخفض الكتلة الحيوية.

ثانياً: تأثير المعاملة بجزيئات الفضة النانوية ونترات الفضة في مؤشرات الإنبات والبادرات لنبات الفول:

ـ نسبة الإنبات وسرعته:

أظهرت النتائج (الجدول 4) عدم وجود فروق معنوية عند المعاملة بالتراكيز المختلفة من جزيئات الفضة النانوية ونترات الفضة مقارنة بالشاهد، إذ سجلت أعلى نسبة إنبات (79.9 %) عند المعاملة بتركيز 200 مغ/ل من جزيئات الفضة النانوية، تلتها المعاملة بتركيز 100 مغ/ل (69.9 %) لنترات الفضة، في حين سجلت أدنى قيمة (46.6 %) عند التركيز 50 مغ/ل من جزيئات الفضة النانوية ودون أية فروقات معنوية مقارنة بالشاهد الذي سجل نسبة إنبات بلغت (73.3 %). بينما أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية في متوسط سرعة الإنبات البذري بين التراكيز المختلفة، إذ سجلت المعاملة بنترات الفضة عند التركيز 200 مغ/ل أعلى سرعة إنبات (4.9 بذرة/يوم)، في حين سجلت المعاملة بالفضة النانوية أدنى قيمة (2 بذرة/اليوم) عند التركيز 200 مغ/ل وبفروق معنوية مقارنة بالشاهد (3.75 بذرة/يوم).

وتعارضت هذه النتائج مع دراسة سابقة أجراها Abdel-Azeem وElsayed_(2013) من عدم تأثر نسبة إنبات الفول باستخدام جزيئات الفضة النانوية. كما أوضح Almutairi و Alharbi (2015) في دراسة على مجموعة من المحاصيل الزراعية؛ كالذرة الصفراء والجبس والقرع عدم تأثر نسبة ومعدل الإنبات البذري عند استخدام تراكيز متدرجة من جزيئات الفضة النانوية.

الجدول 4. تأثير تراكيز متدرجة من جزيئات الفضة النانوية ونترات الفضة في نسبة إنبات (%) بذور الفول.

التراكيز (مغ/ل)	نسبة الإنبات (%)	سرعة الإنبات (بذرة/يوم)
الشاهد	**73.3±19a**	**3.75±0.00b**
(Ag-NPs) 50	**46.6±14a**	3±0.0c
(Ag-NPs) 100	59.9±7.4a	3.8±0.0a
(Ag-NPs) 200	**79.9±23.5a**	**2±0.00d**
(Ag-No3) 50	59.9±13.9a	2.4±0.00d
(Ag-No3) 100	**69.9±36.5a**	3.7±0.00c
(Ag-No3) 200	66.6±7.4a	**4.9±0.00a**

*** الحروف المتشابهة تعني عدم وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 1 %.**

ـ طول المجموع الخضري والجذري للبادرات (سم):

أظهرت النتائج وجود فروق معنوية في مؤشر طول المجموع الخضري والجذري للبادرات المعاملة بالتراكيز المختلفة، إذ سجلت أعلى قيمة لأطوال المجموع الخضري (2 سم) عند التركيز 200 مغ/ل للمعاملة بالفضة النانوية، مقارنة بالشاهد (2.57 سم). كما تبين نتائج الجدول 5 عدم وجود فروق معنوية في متوسط أطوال المجموع الجذري مقارنة بالشاهد الذي سجل (3.05 سم) ، وسجلت أعلى قيمة (2.31 سم) عند التركيز 100 مغ/ل من جزيئات الفضة النانوية، وأدنى قيمة (1.37 سم) عند التركيز 100 مغ/ل للمعاملة بنترات الفضة. وتوافقت مؤشرات الأطوال والأوزان للبادرات مع نتائج Abdel-Azeem وElsayed (2013) وAlmutairi وAlharbi (2015)، كما توافقت مع دراسة Rastogi وزملائه (2019) على نبات القمح، والتي أظهرت تأثيراً سلبياً لجزيئات الفضة النانوية في أطوال وأوزان المجموع الخضري والجذري للبادرات والمؤشرات الحيوية المختلفة.

الجدول 5. تأثير تراكيز متدرجة من جزيئات الفضة النانوية ونترات الفضة في متوسط أطوال لمجموع الخضري والجذري لنبات الفول.

التركيز (مغ/ل)	طول المجموع الخضري (سم)	طول المجموع الجذري (سم)
الشاهد	**2.57±0.5a**	**3.05±0.5a**
(Ag-NPs) 50	1.62±0.3b	1.81±0.2a
(Ag-NPs) 100	1.47±0.3b	**2.31±0.7a**
(Ag-NPs) 200	**2±0.5ab**	1.85±0.3a
(Ag-No3) 50	1.28±0.2b	1.62±0.3a
(Ag-No3) 100	1.31±0.2b	**1.37±0.6a**
(Ag-No3) 200	1.62±0.3b	1.90±0.5a

*** الحروف المتشابهة تعني عدم وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 1 %.**

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي انخفاضاً معنوياً لمتوسط الوزن الرطب للمجموع الخضري لبادرات الفول عند المعاملة بجزيئات الفضة النانوية (الجدول 6) فقد بلغ متوسط الوزن الرطب الخضري لمعاملة الشاهد (0.25 غ) في حين سجلت أعلى قيمة (0.20 غ) عند التركيز 100 مغ/ل للمعاملة بنترات الفضة، و أدناها (0.11 غ) في تراكيز مختلفة للمعاملتين وبفروق معنوية مقارنة بالشاهد. في حين بلغت أعلى قيمة للوزن الرطب الجذري (0.15 غ) لمعاملة الشاهد وأدنى قيمة (0,10 غ) عند التركيز 100 مغ/ل من نترات الفضة ودون أية فروق معنوية مقارنة بالشاهد (الجدول 6).

-الوزن الجاف للمجموع الخضري والجذري للبادرات (غ):

أظهرت النتائج (الجدول 6) تأثير المعاملة بجزيئات الفضة النانوية ونترات الفضة في متوسط الوزن الجاف للمجموع الخضري والجذري للبادرات، إذ بلغ متوسط الوزن الجاف لمعاملة الشاهد (0.016 غ)، في حين سجلت أعلى قيمة (0.023 غ) عند التركيز 200 مغ/ل من نترات الفضة وأدناها (0.004 غ) عند التركيز 100 مغ/ل للمعاملة بجزيئات الفضة النانوية وبفروق معنوية مقارنة بالشاهد. بينما تراوح متوسط الوزن الجاف للمجموع الخضري بين (0.004 - 0.007 غ) عند المعاملة بجزيئات الفضة النانوية، وقد أظهرت تأثيراً سلبياً وبفروق معنوية، وبلغت أعلى نسبة انخفاض (75 %) عند التركيز 100 مغ/ل مقارنة بالشاهد، في حين سجلت أعلى قيمة (0.01 غ) عند التركيز 50 مغ/ل للمعاملة بنترات الفضة وبفروق معنوية واضحة. وتراوح متوسط الوزن الجاف للمجموع الجذري بين (0.004 - 0.006 غ) عند المعاملة بجزيئات الفضة النانوية، وسجلت أعلى نسبة انخفاض (60 %)عند التركيز 100 مغ/ل. كما أظهرت المعاملة بنترات الفضة زيادة الوزن الجاف الجذري مع زيادة التراكيز، وكان الانخفاض واضحاً عند التركيز 100مغ/ل فقط ودون فروق معنوية.

الجدول 6. تأثير التراكيز المتدرجة من جزيئات الفضة النانوية ونترات الفضة في متوسط الوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري والجذري.

التركيز (مغ/ل)	الوزن الرطب الخضري (غ)	الوزن الرطب الجذري (غ)	الوزن الجاف الخضري (غ)	الوزن الجاف الجذري (غ)
الشاهد	**0.25±0.08a**	**0.15±0.03a**	**0.016±11.4a**	0.01±3.9a
(Ag-NPs) 50	0.15±0.04b	0.13±0.02a	0.007±2.5ab	0.006±4.2ab
(Ag-NPs) 100	**0.11±0.02ba**	0.12±0.03a	**0.004±2.6b**	0.004±2.9b
(Ag-NPs) 200	0.18±0.6a	0.13±0.02a	0.007±5.1ab	0.005±2.6b
(Ag-No3) 50	**0.11±0.03a**	0.11±0.02a	**0.01±3.4ab**	0.007±2.07b
(Ag-No3) 100	**0.2±0.2a**	**0.1±0.03a**	0.004±2.7b	0.006±3.4b
(Ag-No3) 200	**0.11±0.1a**	0.13±0.02a	**0.023±3.8ab**	0.01±3.4a

*** الحروف المتشابهة تعني عدم وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 1 %.**

تعتمد آلية تأثير جزيئات الفضة النانوية على إلحاق الضرر في العمليات الاستقلابية في الخلية، إذ تعمل على تغيير قوة ارتباط مجموعة من عناصر تثبيت الجذور كالكاربوكسيل والأمين والهيدروكسيل، كما تقوم بتخريب البنية الداخلية للخلايا الجذرية، وتلتحم مع الأوعية الناقلة الخشبية، مما يمنع انتقال الماء والأملاح المعدنية إلى باقي أجزاء النبات فيثبط نمو النبات، وتعمل التراكيز العالية من جزيئات الفضة النانوية على إطلاق أيونات الفضة السامة التي تقيد نشاط الأيثيلين والهرمونات النباتية، وتثبط نشاط الميتاكوندريا.

الاستنتاجات والمقترحات

1 - لم يكن لجزيئات الزنك النانوية وأكسيد الزنك أي تأثير في نسبة الإنبات، في حين أدت المعاملة ببعض تراكيز الفضة النانوية إلى انخفاض سلبي في نسبة الإنبات.

2 - لوحظ انخفاض معدل الإنبات باستخدام جزيئات الفضة النانوية، بينما ارتفع المعدل باستخدام نترات الفضة.

3 - أدت المعاملة بجزيئات الزنك النانوية إلى انخفاض واضح في متوسط الأطوال والأوزان للنبات المدروس.

4 - أدت المعاملة بجزيئات الفضة النانوية إلى انخفاض سلبي في جميع مؤشرات الإنبات مقارنة بالشاهد.

وعليه يوصى بمواصلة دراسة التأثير السلبي للجزيئات النانوية في النواحي الخلوية والوراثية في نبات الفول.

المراجع

- الجوذري سعدية. 2017. تأثير الحديد والزنك النانوي، وطريقة إضافتهما والسماد العضوي في النمو وإنتاج المواد الفعالة وبعض خواص التشريحية لنبات الديباج *Calotropis procera* (Ait) R.B، جامعة القادسية، كلية التربية.
- الرمادي حسن، عبد الله نعمه، الشال طارق، السعيدى عبد الله، الصيخان محمد، شلبي طارق. 2016.علم النبات وعلاقته بعلم النانوتكنولوجى البيئي.

- Abdel-Azeem, E., and B. Elsayed .2013. phytotoxicty of silivernanoparticales on viciafaba seedling. *New York Journal*; 6(12).
- ALmutairI, Z., and A. AlharbI. 2015. Effect of silver nanoparticles on seed Germination of crop plants. *International journal of Biological*, Agricultural, food and Biotechnological Engineering.
- Bagawade, J.A., and S.S .Jagtap.2018. Effect of Zinc oxide nanoparticles on Germination and chracteristics in wheat plants (*triticum aestivum* L.). International journal of Advance Engineering and Research Development; (5).
- Boonynitipong, P., B.kositsup, P. Kumar, S. Barvah, and J. Dutta. 2011. Toxicity of ZnO and Tio2 Nanoparticles on Germination Rice seed *Oryza sativa* L. *International journal of Bioscence, Biochemisters and Bioinformatics*. (1).
- Chiricco, G., and A., Poma. 2015 .penetration and toxicity of Nnomaterials in Higner plants. *Nnomaterials*,5: 851-873.
- Gowayed, S., and N. Kadasa. 2015.Influence of Zinc oxide Nanoparticles on cadmium toxicity on Germination of faba Bean (*vicia faba* L.).
- Kumar, S., F .A. K, Patra, S. Dottas, G. Rosink and T. J. Purakayastha. 2015. phytotoxicty of Nanoparticles to sed germination of plants*. International journal of Advance Research*: 854-865.
- Lin, D., and B. Xing .2007.phytotoxicity of ananopartices: Inhibition of seed germination and root growth. Environmental pollution.
- Maghoudi, K, and .Y, Emam. 2016. The effect of exogenous silicon on seed germination and seedling growth of Waheat cultivars under salt stress conditions.*iron agricultural research* (2016) 35 (2): 1-8
- Patlolla, A., A. Berry, L.A .May and P.Tchounwou. 2012.genotoxicityof silver Nanoparticles in *vicia faba* A pilot study on the Environmental Monitoring of Nanoparticles. *International journal of Environmental Research and public Health*.

- Rastogi, A., M. Zivcak, P. K .Tripathi, S. Yadav, H. Kalaji and M.Brestic. 2019. phytotoxic effect of silver nanoparticles in *triticum aestivum*: Improper regulation of photosystem activity as the reason for oxidative damge in the chloroplast.*photosynthetica.* 57 (1).
- Sabir, S., A. Muhammed, S. Seem and F.Farqulit. 2018. Effect of green syntheesized silver nanoparticles on seed germination and seedling growth in wheat. *International journal* of agronomy and agricultura research.
- Shaymurat,T. J., C.H.YU, Z. YANG, Q. ZHAO, Y. LIU and Y. LIU .2012. phytotoxic and genotoxic effect of znonanoparticales on garlic (*Allium sativum* L.) : A morphological study. *Inforina healthcare*, vol (6): 241-248
- Sturikova, H.,O. Krystofova, J. Hedbavny and V. Adam. 2017.The Compa RisonI of Effecto of Zinc Sulphate and Zinc Oxide Nanobarticales on plants. *Mendel Net*, Pag (932)
- Woolee, C.H., S. Mahendra, D. Zodrowkli, U. Tsaiy, J. Braamand and P. Alvarez. 2010. Developmental phytotoxicity of Metal oxide nanoparticles to Arabidopsts thaliana. *Environmental toxicology and chemistry* :669 -675.
- Yang, Z., J. Chen, R. Dou, X. Gao, C.H. Maoand and LI.Wang. 2015. Assessment of the phytotoxicity of Metal oxide nanoparticles on two crop plants,Maize (*Zea mays* L.) and Rice (*Oryza sativa* L.). *International journal of Environmental on mental Research and public Health*.

N ref°: 961