

DOI:10.71829/biology-2025-1214804

نوع مقاله: پژوهشی

مقایسه اثر نانو ذرات اکسید روی و اکسید روی توده‌ای بر ویژگی‌های جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی و ساختاری گیاه عدس

خوراکی (*Lens culinaris medic.*)هما محمودزاده (نویسنده مسئول)^{۱*} و فاطمه سادات کاتبی^۲

۱- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران، homa_mahmoodzadeh@yahoo.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه زیست‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران، fs.katebi@gmail.com

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۴

Investigation of Replacing Button Mushroom (*Agaricus bisporus* L.) Casing Soil Using Comparison of the Effect of ZnO Nanoparticles and bulk ZnO on Germination, physiological and structural features of *Lentil culinaris medic*

Homa Mahmoodzadeh (Corresponding author)^{1*} and Fatemeh Sadat Katebi²

1- Associated Profesor, Department of Biology, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran, mahmoodzadeh@iau.ac.ir

2- M.Sc Graduated, Department of Biology, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran, fs.katebi@gmail.com

Accepted: October 2025 Received: August 2025

Abstract

Nanotechnology will affect almost all aspects of human life. Application of nano-fertilizers is more effective and more effective than traditional fertilizers due to the high absorption efficiency. In this research, the effect of different concentrations of bulk ZnO and ZnO nanoparticles (0, 10, 100, 500 and 1000 mgL⁻¹) on germination factors, seedling growth and structure of *Lens culinaris medic*. In laboratory and greenhouse condition was investigated. All germination traits had no significant difference in all concentrations of nano and bulk ZnO with control. The highest percentage of germination was observed in the concentration of 1000 of nano ZnO, which showed significant differences only with 10 treatment. The lowest seedling vigor index was observed at 500 nano, which showed a significant difference with all bulk ZnO treatments. Different concentrations of nano and bulk ZnO increased the weight and dry weight of lentil seedlings compared to the control. The highest mean root length was observed at 1000 concentration of bulk ZnO, which showed no significant difference with control and 100 bulk ZnO. The seedlings fresh weight of 10 nano, 100 and 1000 bulk was significantly different with control. Root dry weight in 50 and 10 ppm of nano and 1000 of bulk zinc oxide with the control sample showed a significant difference. The statistical results of chlorophyll content did not show any significant difference with the control. It seems nano ZnO at low concentrations has potential to apply as nano fertilizer.

Keywords: Germination, *Lens culinaris medic*, XRD test, ZnO Nanoparticles

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Autum 2025, Vol 20, No 3, Pp 35-46

چکیده

نانو تکنولوژی تقریباً همه جنبه‌های زندگی انسان را تحت تاثیر قرار داده است. کاربرد نانوکودها موثرتر از کودهای سنتی بوده، راندمان جذب بالاتری دارند. در این پژوهش اثر تیمارهای مختلف اکسیدروی توده‌ای (۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰) و نانو ذره اکسیدروی (۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰) بر جوانه‌زنی، رشد دانه رست‌ها و ساختار گیاه عدس در شرایط صفر میلی‌گرم در لیتر و نانو ذره اکسیدروی (۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰) میلی‌گرم در لیتر) بر جوانه‌زنی، رشد دانه رست‌ها و ساختار گیاه عدس در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای بررسی شد. کلیه صفات جوانه‌زنی در تمامی غلظت‌های اکسیدروی نانو و غیر نانو با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین درصد جوانه‌زنی نسبی در غلظت ۱۰۰۰ اکسیدروی نانو مشاهده شد که تنها با تیمار ۱۰ اختلاف معنی‌دار از نظر آماری نشان داد. کمترین مقدار شاخص قدرت گیاهچه در غلظت ۵۰۰ نانواکسیدروی مشاهده شد که با کلیه تیمارهای اکسید روی توده‌ای اختلاف معنی‌دار نشان داد. غلظت‌های مختلف اکسیدروی نانو و توده‌ای موجب افزایش وزن تر و وزن خشک دانه رست‌های عدس در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میانگین طول ریشه چه در غلظت ۱۰۰۰ اکسیدروی مشاهده شد که تنها اختلاف معنی‌داری با شاهد و غلظت ۱۰۰ اکسید روی نداشت. وزن تر دانه رست‌ها در تیمارهای ۱۰ نانواکسید روی و ۱۰۰ و ۱۰۰۰ اکسید روی با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. وزن خشک ریشه در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰ نانواکسیدروی و غلظت ۱۰۰۰ اکسید روی با نمونه شاهد اختلاف معناداری نشان داد. نتایج آماری مربوط به محتوای انواع کلروفیل اختلاف معناداری با گروه شاهد نشان نداد. بنظر می‌رسد نانوذرات اکسید روی در غلظت‌های پایین پتانسیل کاربرد به عنوان نانو کود را دارا می‌باشند.

کلمات کلیدی: پراش اشعه X، جوانه‌زنی، عدس، نانو ذره اکسید روی

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

پاییز ۱۴۰۴، دوره ۲۰، شماره ۳، صص ۳۵-۴۶

مقدمه و کلیات

فناوری نانو، هنر و علم دست کاری و بازچینی اتم‌ها برای ساخت مواد، ابزارها و سیستم‌های مفید در مقیاس یک میلیاردیم متر است (Goncalves et al., 2011). به بیان ساده‌تر، فناوری نانو تقریباً تمام جنبه‌های زندگی بشر را تحت تأثیر قرارخواهد داد. نانو کاتالیزورها راندمان واکنش‌های شیمیایی را به شدت افزایش می‌دهند و از تولید مواد زائد در واکنش‌های فرعی جلوگیری می‌کنند. به کارگیری نانوذرات در تولید مواد مختلف می‌تواند منجر به افزایش استحکام آن‌ها گردد و علاوه بر کاهش وزن سبب مقاومت شیمیایی و حرارتی آن‌ها را بالا شود (Prasad et al., 2017). نانومواد به دلیل گوناگونی فراوان در مقایسه با دیگر مواد شیمیایی معمول ویژگی‌های فراوان و بی‌نظیری دارند. نانوذراتی با قطر ۱-۱۰۰ نانومتر سطح مناسبی برای واکنش فراهم می‌کنند که این ویژگی سبب جذب مؤثر کودهای شیمیایی و آفت کش‌ها در مقیاس نانو می‌شود. نانوذره اکسید روی یکی از مهمترین نانوذرات می‌باشد و در بسیاری از کشورها در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود. مکانیسم عمل اکسید روی بیشتر از طریق تخریب دیواره باکتری می‌باشد. نانوذرات اکسید روی دارای کاربردهای متعدد در صنعت از قبیل صنایع لاستیک‌سازی، رنگ سازی، الکترونیک، لعاب آرایشی، بهداشتی، پزشکی، صنایع نفت، گاز و پتروشیمی می‌باشد. اکسید روی دارای مزایای قابل توجهی می‌باشد و استفاده از آن در فرایندهای فتوکاتالیتیک، نظیر تصفیه آب به عنوان ترکیبی مفید و مناسب از جایگاه ممتازی برخوردار است. اکسید روی به دلیل

خواص ویژه، برای سالیان سال مورد توجه بوده است. خاصیت ضد میکروبی ترکیبات اکسید روی از گذشته بسیار دور شناخته شده و کاربردهای فراوانی در ضد عفونی کردن وسایل پزشکی، تصفیه آب و بهبود زخم‌ها، کرم‌ها، لوسیون‌ها و پمادهای ضدباکتری دارند (Raha and Ahmaruzzaman, 2022). ریشه گیاهان به صورت بالقوه قادر به جذب نانوذرات مهندسی شده می‌باشند و از طریق سیستم آوندی براساس ترکیب، شکل و اندازه نانوذرات مهندسی شده و آناتومی گیاه، به ساقه‌ها منتقل می‌شوند (Thounaojam et al., 2021). در تحقیقی که توسط Sarkhosh و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد، مشخص گردید نانوذرات اکسید روی در غلظت‌های پایین (کمتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر) به عنوان نانو کود برای دو گونه گیاهی *Camelina sativa* and *Brassica napus* L عمل کرده، ولی در غلظت‌های بالاتر از ۵۰ میلی گرم در لیتر دارای اثرات سمی روی این گیاهان هستند (Sarkhosh et al., 2022). Shaymurat و همکاران (2011) نشان دادند نانوذرات اکسید روی سبب مهار طویل شدن ریشه می‌شود که با میزان غلظت نانو اکسید روی ارتباط مستقیم دارد. تاثیر مثبت نانوذرات روی در رشد گیاه برنج و مقاومت گیاه به تنش کادمیوم در پژوهشی دیگر نشان داده شده است (Ali et al., 2019). نانو کودها به دلیل آزاد سازی آرام و کنترل شده مواد غذایی، به منظور تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در هر دو روش (جذب برگی یا ریشه‌ای) نسبت به کودهای مرسوم برتری دارند. کودهای شیمیایی برگ پاش، عموماً به منظور فراهم کردن سریع عناصر غذایی برای گیاه مورد استفاده قرار

فرآیند پژوهش

آزمایشات جوانه زنی و گلدانی در آزمایشگاه تحقیق گیاهی و گلخانه دانشکده علوم دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد انجام شد. بذره‌های گیاه عدس خوراکی (*Lens culinaris medic*) رقم کیمیا از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی تهیه شد. نانوذرات ZnO به صورت پودر و با اندازه میانگین ۲۰ نانومتر از شرکت پاسارگاد نوین تهران تهیه شد. همچنین پودر ZnO از دانشکده علوم دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد تهیه گردید.

مطالعات پراش اشعه ایکس (XRD): مطالعات XRD توسط شرکت تحقیقات مواد معدنی کانساران بینالود واقع در شهر مشهد انجام شد. پراش اشعه X روشی برای مطالعه ساختار بلوری مواد است. اشعه‌های X که برای پراش استفاده می‌شوند، دارای طول موجی در حدود ۰/۵ تا ۲/۵ آنگستروم می‌باشند. به منظور شرح تابش الکترومگنتیک طول موج بین ۰/۰۱ تا ۱۰ نانومتر استفاده شد. این طول موج کوتاه‌تر از طول امواج ماوراء بنفش و بلندتر از طول اشعه گاما می‌باشد. از طرفی فاصله بین اتم‌های مجاور در ساختمان بلوری بطور معمول حدود ۰/۳ نانومتر بوده و طول اشعه X، نزدیک به فاصله بین اتمی در بلوارها می‌باشد.

مطالعات STM: در میکروسکوپ تونلی روبشی، سطح نمونه بوسیله سوزنی نوک تیز، بنام تیپ یا پروب رویش می‌شود. نوک یک پروب سالم و ایده آل، بسیار تیز بوده، بطوریکه در نوک آن تنها یک اتم جای می‌گیرد. بنابراین از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است و به دلیل ابعاد بسیار کوچک خود می‌تواند در حد نانومتر، کوچکترین پستی یا بلندی‌ها را در سطح

می‌گیرند، درحالی که بکارگیری نانو کودها در این شرایط، به دلیل بر خورداری از راندمان جذب عناصر بالاتر نسبت به کودهای مرسوم، مؤثرتر و مفیدتر می‌باشد (Chanu and Upadhyaya, 2019). عدس (*Lens culinaris medic*) یکی از گیاهان مهم از خانواده حبوبات (Fabaceae) و از بقولات سرمدوست است که در ایران به صورت دیم و آبی کشت می‌شود. این گیاه با حدود ۲۸ درصد پروتئین، از حبوبات عمده درکشورهای در حال توسعه بوده و به عنوان مکملی برای غلات و منبعی مناسب جهت تأمین پروتئین و اسیدهای آمینه در رژیم غذایی مردم این کشورها محسوب می‌شود. این گیاه به سبب توانایی تثبیت نیتروژن، موجب حاصلخیزی خاک شده و در تناوب با برخی گیاهان زراعی خصوصاً غلاتی نظیر گندم و جو، بهبود و پایداری عملکرد را به دنبال خواهد داشت. این گیاه ۲۳ درصد از سطح زیرکشت در ایران را به خود اختصاص داده است (Taherabadi et al., 2016). با توجه به اهمیت و خواص عدس در تغذیه بشر بررسی عوامل محیطی نظیر اثر انواع نانوذرات بر مراحل رشد و جوانه‌زنی عدس و ایجاد راه کارهایی جهت کاهش آلودگی توسط کودهای شیمیایی و استفاده از نانوذرات به جای کود و حرکت به سوی کشاورزی ارگانیک و کشاورزی پایدار، کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش اثر تیمارهای مختلف اکسیدروی توده‌ای و نانو اکسیدروی بر جوانه‌زنی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه عدس مورد بررسی قرارگرفت.

مقطر به حجم ۳۰ ml رسانده شد و توسط دستگاه اولتراسونیک همگن گردید. با داشتن این اطلاعات پارامترهای زیر محاسبه شد (Wu et al., 2010).

$$\text{سرعت جوانه زنی} = G_i n_i \sum / G_i \sum$$

$$\text{درصد جوانه زنی} = \text{GP}(\text{treatment}) / \text{GP}(\text{control}) \times 100$$

$$\sum_i G_i \times i / \sum_i G_i = \text{متوسط زمان جوانه زنی}$$

$$\text{شاخص جوانه زنی} = (\sum_i (N - i) \times G_i) \times 100 / (N \times GN)$$

$$\text{شاخص جوانه زنی} = [N \times n_1 + (N - 1) \times n_2 + (N - 2) \times n_3 + \dots] / (N \times N)$$

$$\text{درصد جوانه زنی} \times \text{طول دانه رست} = \text{شاخص قدرت گیاهچه}$$

$$\text{درصد جوانه زنی} \times \text{طول دانه رست} = \text{شاخص قدرت گیاهچه}$$

آزمایش‌های کاشت و تیماردهی: این آزمایش جهت

مطالعه بررسی مقایسه‌ای اثر نانو ذره ZnO و ZnO توده‌ای بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه عدس خوراکی (*Lens culinaris medic*) در شرایط گلخانه‌ای به صورت طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. به گونه‌ای که هر تیمار شامل ۴ گلدان و هر گلدان حاوی ۱۰ عدد بذر عدس بود که در عمق ۱ سانتی‌متری سطح خاک کاشته شد. گلدان‌ها روی سکو مقابل نور خورشید قرار گرفتند و روزانه آبیاری انجام شدند. دمای گلخانه‌ای حدود 26°C - 21°C متغیر بود و فتوپریود ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی بود. یک هفته پس از کاشت محلول‌سازی مطابق با آزمایشات جوانه‌زنی انجام شد. تیمارهای مورد نیاز در مرحله دو برگ بر روی برگ محلول‌پاشی شد. میزان تیمار مصرفی از هر آبفشان، توسط استوانه مدرج (۵/۰ ml $\pm$ ۱۰۰) اندازه‌گیری و یادداشت شد. برای شاهد نیز از اسپری آب مقطر استفاده گردید. یک هفته پس از اسپری اول طول ساقه اندازه‌گیری شد. به طوری که از هر گلدان به طور تصادفی ۲ گیاه انتخاب و طول ساقه تا انتهای برگ اصلی اندازه‌گیری شد. دو هفته بعد از

نمونه آنالیز نماید و با استفاده از تجهیزات و نرم افزارهای موجود در دستگاه، داده‌های بدست آمده را بصورت تصویر بر نمایشگر نمایش دهد. مراحل مختلف این آزمایش در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

آزمایش‌های جوانه‌زنی و رویش: ابتدا سالم‌ترین بذرها جهت انجام آزمایش انتخاب شدند. سپس با هیپوکلریت سدیم ۷٪ به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه استریل و سه بار با آب مقطر شسته شدند. سپس بذره‌ای استریل در پلیت‌های استریل به قطر ۸ سانتی‌متر که کف آن‌ها کاغذ صافی استریل قرار داشت، کشت شدند. در هر پلیت ۱۰ عدد بذر عدس قرار گرفت. تیمارهای (۱۰۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰، ۱۰ میلی گرم در لیتر) نانو ذره ZnO و ZnO توده‌ای با غلظت‌های (۱۰۰۰ و ۵۰۰، ۱۰۰، ۱۰ میلی گرم در لیتر) به میزان ۵ mL به هر پلیت اضافه شد. برای تیمار شاهد ۵ mL آب مقطر استفاده شد. این آزمایش در ۴ تکرار انجام شد. سپس پلیت‌های آماده در ژرمیناتور با دمای 25°C و رطوبت ۳۰ درصد قرار داده شد و روزانه تعداد بذرهایی که جوانه‌زده بودند، بررسی و شمارش شد. پس از یک دوره ۷ روزه طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر و خشک دانه رست‌های عدس اندازه‌گیری شد. وزن تر توسط ترازو (Sartorius TE214s.d = 0/1mg) سنجش شد. وزن خشک نمونه‌ها پس از نگهداری در آون 70°C درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت با همان ترازو و مقیاس توزین گردید. جهت محلول‌سازی، مقدار مورد نیاز از نانو ذره ZnO و ZnO غیر نانو در هر تیمار توسط ترازو وزن و سپس در استوانه مدرج استریل نوع (۵/۰ ml $\pm$ ۱۰۰) ریخته و توسط آب

فرمول‌های زیر محتوای کلروفیل a, b, a+b, کلروفیل کل محاسبه گردید و برحسب میلی گرم بر گرم وزن بافت تر ($\text{mg chl g}^{-1} \text{FW}$) گزارش شد.

$$\text{Chla} = (12/25A_{(663)} - 2/55A_{(646)}) \times V/W \times 1000$$

$$\text{Chlb} = (20/31A_{(646)} - 4/91A_{(663)}) \times V/W \times 1000$$

$$\text{کلروفیل کل} = (20A_{(646)} + 8/02A_{(663)}) \times V/W \times 1000$$

روش‌های آماری: مشاهدات در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار توسط نرم افزار Minitab 16 برای تجزیه آماری استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون ANOVA و تست Tukey در سطح $P \leq 0.05$ صورت گرفت و نمودارها به کمک نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

بررسی مطالعات پراش اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ STM: به طور کلی دو یا سه شکل بلوری در یک نانو ذره وجود دارد. هر نانو ذره ممکن است دارای فازهای اصلی یا فرعی در ساختار خود باشد. جهت تعیین این فازها از آزمایش XRD استفاده می‌شود. براساس این نتایج، فاز اصلی نانو ذره (ZnO) می‌باشد. فاز فرعی و جزئی در این نانو ذره مشاهده نشد. فازهای اصلی با خطوط سبز رنگ عمودی در شکل نمایان است (شکل ۱). نتایج میکروسکوپ STM نیز سایز نانوذرات حدود ۲۰ نانومتر را تایید می‌کند (شکل ۲ و ۳).

محلول پاشی اول مجدداً طول ساقه اندازه گیری و یادداشت گردید. محلول پاشی به فاصله ۱۵ روز از محلول پاشی اول انجام شد. میزان تیمار مصرفی در این مرحله نیز مطابق محلول پاشی اول اندازه‌گیری شد. در هفته دوم و سوم پس از محلول پاشی دوم نیز طول ساقه اندازه‌گیری شد. طول دوره آزمایش ۴۰ روز بود. محاسبات توسط فرمول‌های زیرانجام شد (Wu *et al.*, 2010).

$$\text{سرعت رشد نسبی (RGR)} = 2/3 \log(L_2 - L_1) / (t_2 - t_1) L_1$$

طول ساقه هر گیاه از سطح خاک و طول ریشه نیز بعد از خارج سازی گیاه از خاک و شستشوی کامل ریشه با آب به وسیله خط کش و بر حسب سانتی متر محاسبه گردید. وزن تر هر نمونه بر حسب گرم با ترازوی (Sartorius مدل TE 214 S) با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک بخش هوایی و زمینی، بعد از تعیین وزن تر هر نمونه از آن با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت استفاده شد تا کاملاً خشک شوند سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد.

کلروفیل: سنجش محتوای کلروفیل برگ عدس به روش Arnon (1956) و در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر انجام شد، جذب محلول توسط اسپکتروفتومتر مدل شیمادوز (UV-1100) خوانده شد. با استفاده از



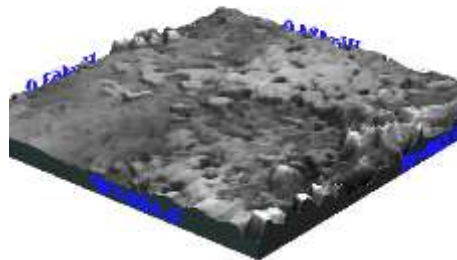
شکل ۱- نتایج بررسی نانو ذره اکسید روی با XRD

Fig 1- Zinc oxide nanoparticle analysis with XRD



شکل ۲- تصویر دو بعدی نانواکسید روی با میکروسکوپ STM

Fig 2- Two-dimentional figure of zinc oxide nanoparticle by STM microscope



شکل ۳- تصویر سه بعدی نانواکسید روی توسط میکروسکوپ STM

Fig 3- Three-dimentional figure of zinc oxide nanoparticle by STM microscope

می‌باشد که نشان دادند نانوذرات اکسید روی در غلظت های بالاتر از ۵۰۰ mg/L موجب کاهش فاکتورهای جوانه زنی در گیاه-*Trigonella foenum graecum* می شود. اختلال در جذب آب و یا جذب آرام آب سبب کند شدن فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی داخل بذور شده و به دنبال آن سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Chichiriccò and Poma, 2015). با افزایش فلزات سنگین در وضعیت رشد گیاهان، مقدار ABA در بذر گیاهان افزایش می‌یابد که می‌تواند دلیلی برای کاهش جوانه‌زنی در حضور فلزات باشد (Chichiriccò and Poma, 2015). بررسی اثر ذرات نانو و غیر نانو اکسید روی بر درصد جوانه‌زنی نسبی، اختلاف معنی‌داری بین غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات با غلظت های ۱۰۰۰ نانو

نتایج تأثیر غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی و اکسید روی توده ای بر خصوصیات جوانه‌زنی گیاه عدس: در بررسی اثر نانو ذرات اکسید روی و اکسید روی توده ای در غلظت‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی‌وزنی نسبی اختلاف معناداری یافت نشد ($P < 0.05$) (جدول ۱). استفاده از نانو ذرات اکسید روی با افزایش غلظت از ۱۰ به ۱۰۰ و سپس ۵۰۰ میلی گرم در لیتر در تیمارها موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی شد و افزایش غلظت از ۵۰۰ به ۱۰۰۰ اثر کاهشی داشت. ایندکس جوانه‌زنی تنها در غلظت ۱۰۰ و ایندکس جوانه‌زنی وزنی تنها در غلظت ۱۰ کاهش نشان داد که در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود. این نتایج همسو با تحقیق Ghasemi و همکاران (۲۰۱۶)

و غیر نانو نشان داد. بیشترین اثر تحریکی متعلق به غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ نانو ذرات اکسید روی بود. پژوهش‌های متعدد نشان دادند نانوذرات اکسید روی در غلظت‌های خاصی دارای اثرات تحریکی بر شاخص‌های جوانه زنی در گندم (Sarkhosh *et al.*, 2022) (Prabha and Anjana, 2021) می‌باشد. نانوذرات سنتز شده با عصاره گیاه Halimeda با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر نیز موجب افزایش ۹۰٪ جوانه زنی بذور ذرت گردید (Bhuvaneshwari *et al.*, 2025). شاخص قدرت گیاهیچه و متوسط زمان جوانه‌زنی در تیمارهای نانو و غیر نانو در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P < 0.05$) (جدول ۱). بطور کلی تیمارهای نانو ذرات اثر بازدارندگی بر شاخص قدرت گیاهیچه داشت. همچنین نانو اکسید روی نسبت به اکسید روی تأثیر افزایشی بر شاخص قدرت گیاهیچه نشان نداد. جذب نانو ذرات روی سبب تولید یون‌های رها از نانو ذره شده و در نتیجه سمیت نانوذرات افزایش می‌یابد و شاخص قدرت گیاهیچه کاهش نشان می‌دهد (Mousavi Koochi *et al.*, 2015). در بررسی اثر ذرات اکسید روی نانو و غیر نانو در غلظت‌های مختلف بر میانگین طول ریشه چه اختلاف معناداری یافت شد (جدول ۲). بررسی‌ها نشان داد که بیشترین میانگین طول ریشه چه مربوط به غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر اکسید روی غیر نانو و کمترین میزان

میانگین طول ریشه چه نیز مربوط به غلظت ۵۰۰ تیمار نانو بود. بررسی‌ها نشان داد که تفاوت معناداری در طول ساقه چه تحت تیمارهای نانو و غیر نانو با نمونه شاهد وجود ندارد (جدول ۲). در عین حال نتایج تمام غلظت‌ها از هر دو تیمار از نمونه شاهد بیشتر بود. همچنین در تمام غلظت‌ها مقدار میانگین طول ساقه چه تیمار غیر نانو بیشتر از مقدار بدست آمده برای تیمار نانو بود. براساس تحقیق Singh و همکاران، نانوذرات اکسید روی در غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اثرات تحریکی بر رشد دانه رستهای برنج داشته در حالی که غلظت‌های بالاتر تأثیر منفی بر فاکتورهای رشد گذاشتند (Singh *et al.*, 2018). کاربرد غلظت‌های مختلف اکسید روی نانو و غیر نانو موجب افزایش وزن تر دانه رست‌های عدس در مقایسه با شاهد شد همچنین وزن خشک دانه رست در غلظت‌های مختلف اکسید روی نانو و غیر نانو افزایش یافت که در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود و تنها در غلظت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید روی و غیر نانو کاهش در مقایسه با شاهد نشان داد که معنی‌دار نبود (جدول ۲) و تنها کاهش در ۵۰۰ نانو مشاهده شد اما در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود. نتایج حاصل مطابق با نتایج تحقیق روی گوجه فرنگی (Wang *et al.*, 2018) و لوبیا (Savassa *et al.*, 2018) بود. بطور کلی تجمع نانوذرات سبب کاهش عملکرد و بیوماس بذر می‌شود.

جدول ۱- مقایسه تاثیر غلظت‌های مختلف اکسید روی نانو و توده‌ای بر خصوصیات جوانه‌زنی گیاه عدس

Table 1- Comparison of the effect of different concentrations of nano and bulk on germination properties of lentil

غلظت اکسید روی	شاخص جوانه‌زنی	جوانه‌زنی نسبی (%)	شاخص قدرت گیاهی	متوسط زمان جوانه‌زنی (%)	شاخص جوانه‌زنی (%)
Control	21.838 ± 0.412^a	—	13.38 ± 1.925^{ab}	4.58 ± 0.0897^{ab}	201.41 ± 13.77^a
10	22.044 ± 0.178^a	90 ± 7.07^{ab}	12.63 ± 1.911^{ab}	4.538 ± 0.0383^{ab}	208.23 ± 6.09^a
100	18.182 ± 8.564^a	94 ± 8.94^{ab}	13.318 ± 1.123^{ab}	4.55 ± 0.0557^{ab}	184.21 ± 42.52^a
500	22.038 ± 0.104^a	92 ± 8.37^{ab}	9.415 ± 1.368^{bc}	4.5 ± 0.0752^b	206.47 ± 0.73^a
1000	22.06 ± 0.162^a	96 ± 8.94^a	16.564 ± 1.852^a	4.532 ± 0.0335^{ab}	208.57 ± 5.98^a
nano 10	21.944 ± 0.485^a	80 ± 7.07^b	9.992 ± 2.99^{bc}	4.51 ± 0.0224	212.5 ± 3.99^a
nano 100	22.048 ± 0.097^a	98 ± 4.47^a	11.362 ± 2.182^{bc}	4.534 ± 0.0195^{ab}	208.41 ± 3.3^a
nano 500	22.22 ± 0^a	90 ± 10^{ab}	7.259 ± 2.514^c	4.5 ± 0^b	214.28 ± 0^a
nano 1000	21.658 ± 0.2^a	98 ± 4.47^a	9.508 ± 2.208^{bc}	4.616 ± 0.0434^a	196.28 ± 6.11^a

میانگین‌هایی با حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ندارند

Means with similar letter(s) in each column are not significantly different at 5% probability level

و اکسید روی غیر نانو در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌دار نشان نداد (جدول ۲). در تحقیقی نانوذرات اکسید روی در مقایسه با نمک‌های روی توده‌ای اثر مثبت بر رشد گیاه قهوه داشتند (Rossi *et al.*, 2019). بی‌نظمی در مسیر انتقال آب و مواد معدنی یکی از راه‌های پیشنهادی برای چگونگی آسیب زدن به گیاه بیان می‌شود (Lv *et al.*, 2019). در تحقیق حاضر در تمام غلظت‌های نانو و غیر نانو طول ساقه کاهش یافت به جز ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نانو که در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌دار نبود. کاهش رشد ریشه یکی از اثرات سمیت نانوذرات می‌باشد که به علت مرگ سلول‌ها نوک ریشه قهوه‌ای رنگ دیده می‌شود و طول ریشه

نتایج تاثیر غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی و اکسید روی توده‌ای بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه عدس: تیمارهای مختلف اکسید روی نانو و غیر نانو اختلاف معناداری در نتایج بدست آمده از مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نشان نداد (جدول ۲). نانوذرات با واکنش‌های احیا در فتوسنتز درگیر شده و در نتیجه تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد که سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های سنتز کلروفیل شده و در مقابل آنزیم کلروفیل‌از فعال و کاهش میزان کلروفیل رخ می‌دهد (Kataria *et al.*, 2019). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که طول ریشه و ساقه و وزن تر ریشه و ساقه در تیمارهای نانو اکسید روی

مقایسه اثر نانو ذرات اکسید روی و اکسید روی توده‌ای بر ویژگی‌های جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی و ساختاری گیاه عدس خوراکی ۴۳

کاهش یافته، غالبیت انتهایی از میان می‌رود. برای این منظور جهت حفظ بقای گیاه و جذب آب و مواد غذایی تعداد ریشه‌های فرعی افزایش می‌یابد (Fox et al., 2020). بررسی رشد نسبی هفته دوم و سوم گیاه عدس در دو تیمار نانو اکسید روی و اکسید روی توده ای تفاوت معنادار با شاهد نشان نداد. اثرات منفی نانوذرات آلومینیوم، به عنوان مثال، ممانعت از رشد گیاه، در دو گونه از گندم گزارش شده است. با این حال، با توجه مؤثر بودن نانوذرات آلومینا بر رشد ریشه گیاهان خاص ممکن است که اندازه نانوذرات مورد استفاده در آزمایش برای جذب، بیش از حد بزرگ بوده، همچنین با قرار گرفتن طولانی مدت در معرض نانو ذرات، اثرات سمی با وضوح بیشتری بر خواص مورفولوژیکی گندم مشاهده شود. بنابراین، تحقیقات بیشتری برای تعیین اثرات مثبت و یا منفی nAl_2O_3 بر گندم مورد نیاز است (Ramanathan, 2019).

جدول ۲- مقایسه تاثیر غلظت‌های مختلف اکسید روی نانو و توده‌ای بر رشد دانه رست‌های گیاه عدس

Table 2- Comparison of the effect of different concentrations of nano and bulk ZnO on seedling growth of lentil

غلظت اکسید روی	کلروفیل b (mg/gFW)	کلروفیل a (mg/gFW)	کلروفیل کل (mg/gFW)	طول ریشه (Cm)	طول ساقه (Cm)	وزن تر ساقه (g)	وزن تر ریشه (g)	وسرعت رشد نسبی هفته دوم و سوم
Control	0.7977 ± 0.199 ^a	0.3999 ± 0.2316 ^a	1.2844 ± 0.4919 ^a	6.1 ± 2.762 ^{ab}	16.5 ± 2 ^a	0.18653 ± 0.00619 ^a	0.0871 ± 0.0466 ^a	0.08655 ± 0.02387 ^a
10	0.9303 ± 0.0782 ^a	0.4436 ± 0.2966 ^a	1.5958 ± 0.3445 ^a	8.476 ± 3.126 ^{ab}	15.333 ± 2.468 ^a	0.21573 ± 0.0157 ^a	0.0778 ± 0.0256 ^a	0.10671 ± 0.02266 ^a
100	0.9269 ± 0.0733 ^a	0.5683 ± 0.797 ^a	1.7038 ± 0.1131 ^a	5.333 ± 0.85 ^{ab}	13.333 ± 3.055 ^a	0.10963 ± 0.03072 ^a	0.2947 ± 0.4377 ^a	0.16491 ± 0.06005 ^a
500	0.9886 ± 0.1093 ^a	0.3375 ± 0.1283 ^a	1.472 ± 0.265 ^a	8 ± 1.323 ^{ab}	16.067 ± 2.101 ^a	0.2308 ± 0.07349 ^a	0.103 ± 0.0329 ^a	0.0831 ± 0.01603 ^a
1000	1.0871 ± 0.138 ^a	0.2947 ± 0.0643 ^a	1.5199 ± 0.2067 ^a	10.133 ± 1.185 ^a	19 ± 1.323 ^a	0.23723 ± 0.07333 ^a	0.1529 ± 0.0385 ^a	0.13631 ± 0.08497 ^a
nano 10	0.8904 ± 0.0481 ^a	0.3008 ± 0.0962 ^a	1.223 ± 0.0538 ^a	4.233 ± 0.643 ^b	14.533 ± 2.665 ^a	0.2132 ± 0.04594 ^a	0.1038 ± 0.0037 ^a	0.103 ± 0.07244 ^a
nano 100	0.9595 ± 0.1745 ^a	0.3492 ± 0.0577 ^a	1.4297 ± 0.2535 ^a	9.8 ± 3.214 ^{ab}	14.467 ± 1.95	0.1802 ± 0.03486 ^a	0.076 ± 0.0375 ^a	0.09352 ± 0.0446 ^a
nano 500	0.6452 ± 0.1532 ^a	0.2676 ± 0.0012 ^a	0.9981 ± 0.167 ^a	8.433 ± 0.862 ^{ab}	15.367 ± 0.85 ^a	0.1593 ± 0.0488 ^a	0.3873 ± 0.5152 ^a	0.07904 ± 0.02765 ^a
nano 1000	0.5542 ± 0.2484 ^a	0.2123 ± 0.0978 ^a	0.836 ± 0.3759 ^a	7.476 ± 1.27 ^{ab}	16.9 ± 1.493 ^a	0.1635 ± 0.0292 ^a	0.1581 ± 0.0709 ^a	0.12787 ± 0.0512 ^a

میانگین‌هایی با حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ندارند

Means with similar letter(s) in each column are not significantly different at 5% probability level

جدول ۳- مقایسه تاثیر غلظت‌های مختلف اکسید روی نانو و توده‌ای بر خصوصیات رویشی گیاه عدس

Table 3- Comparison the effect of different concentrations of nano and bulk ZnO on vegetative properties of lentil

غلظت اکسید روی	طول ساقه‌چه (Cm)	طول ریشه‌چه (Cm)	وزن تر دانه‌رست (g)	وزن خشک دانه‌رست (g)
Control	3.452 ± 0.711^a	9.92 ± 1.35^{ab}	0.36366 ± 0.0466^{cd}	$0.043767 \pm 0.008307^{ab}$
10	5.104 ± 0.6328^a	8.912 ± 1.704^b	0.48958 ± 0.0256^{abc}	0.048633 ± 0.005598^a
100	4.776 ± 1.251^a	9.588 ± 1.122^{ab}	0.53778 ± 0.4377^{ab}	0.050783 ± 0.004809^a
500	4.508 ± 0.6307^a	5.708 ± 0.76^{cd}	0.31538 ± 0.0329^{bcd}	$0.046533 \pm 0.007474^{ab}$
1000	5.156 ± 0.5759^a	12.172 ± 0.755^a	0.59144 ± 0.0385^a	0.05445 ± 0.002239^a
nano 10	4.648 ± 0.8472^a	8.068 ± 2.418^{bc}	0.5508 ± 0.0037^a	0.050233 ± 0.006496^a
nano 100	4.368 ± 0.975^a	7.268 ± 1.72^{bc}	0.48654 ± 0.0375^{abc}	0.048167 ± 0.006365^a
nano 500	4.212 ± 1.875^a	2.944 ± 0.4^d	0.31538 ± 0.5152^d	0.035833 ± 0.005039^b
nano 1000	4.064 ± 0.6347^a	5.668 ± 1.698^{cd}	0.42602 ± 0.0709^{bcd}	$0.045533 \pm 0.00446^{ab}$

میانگین‌هایی با حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ندارند

Means with similar letter(s) in each column are not significantly different at 5% probability level

موسوی کوهی و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند اثر اکسید روی نانو بر بهبود تغییرات ساختاری برگ کلزا در مقایسه با اکسید روی توده ای کمتر می باشد که همسو با تحقیق حاضر است (Mousavi Koochi et al., 2015). تغییرات فراساختار سلولی در گیاه جو تحت تیمارنانوذرات نقره نیز با پژوهش حاضر همخوانی دارد (Fayez et al., 2017).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که غلظت‌های اکسید روی و نانو اکسید روی بکاررفته تأثیری بر سرعت جوانه‌زنی نداشته است. شاخص قوه نامیه در تمامی غلظت‌های بکاررفته در این پژوهش، در تیمارهای اکسید روی بیشتر از نانو اکسید روی می‌باشد. اکسید روی بر میانگین طول ریشه‌چه، طول

مقایسه تأثیر غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی و اکسید روی توده ای بر ساختار و ضخامت برگ گیاه عدس: در شکل های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که ضخامت برگ در شاهد، نسبت به تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اکسید روی و ۱۰ نانو اکسید روی بیشتر است و تأثیر این دو تیمار سبب کمتر شدن ضخامت برگ گیاه عدس شده است. همچنین پارانشیم در غلظت‌های ذکر شده اکسید روی و نانو اکسید روی، دچار بهم ریختگی شده است. این تغییر شکل در دستجات آوندی در این دو تیمار توسط میکروسکوپ نوری مشاهده گردید. در یک تحقیق در مورد اثر نانوذرات اکسید سربوم بر ساختار گیاه ذرت، نتایج مشابهی از تغییرات تشریحی در ریشه گباهان تحت تیار نانوذرات مشاهده گردید (Fox et al., 2020).

وزن خشک ریشه افزایش یافت. وزن تر ساقه، محتوای کلروفیل a, b و کل با افزایش غلظت نانو کاهش یافت. مطالعه تنش اکسیداتیو حاصل از این نانوذره و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای درک بهتر مکانیسم‌های درگیر در سمیت نانوذره اکسید روی در گیاهان موثر است.

ساقه‌چه، وزن ترو خشک دانه‌رست تأثیر بیشتری نسبت به تیمار نانو اکسید روی داشته است. در رابطه با مقایسه نانو ذرات و ذرات غیرنانو در فاکتورهای مختلف گلدانی در غلظت‌های پایین نانو طول ریشه افزایش می‌یابد، اما بر طول ساقه تأثیر معنی‌داری ندارد. در غلظت‌های پایین‌تر، تیمار نانو در مقایسه با غیر نانو

منابع

of barley plant. *Acta Physiol Plant*, 39: 155.

8) Fox, J. 2020. Effects of cerium oxide nanoparticles and cadmium on corn (*Zea mays* L.) seedlings physiology and root anatomy. *NanoImpact*, 20: 100264.

9) Ghasemi Siani, N., Fallah S. and A, Rostamnejadi. 2016. Inhibition Effect of ZnO Nanoparticles Concentration regarding Seed Germination and Seedling Growth of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2: 235-243.

10) Goncalves, D.M., Liz, R. and D, Girard. 2011. Activation of neutrophils by nanoparticles. *Journal of The scientific world*. 11: 1877-1885.

11) Kataria, S., Jain, M., Rastogi, A., Zivcak, M., Brestic, M., Liu, S. and DK, Tripathi. 2019. Role of nanoparticles on photosynthesis: avenues and applications. In *Nanomaterials in Plants, Algae and Microorganisms* (pp. 103–127). *Academic Press*.

12) Lv, J., Christie, P. and S, Zhang. 2019. Uptake, translocation, and transformation of metal-based nanoparticles in plants: recent advances and methodological challenges. *Environ Sci Nano*, 6:41–59.

13) Mousavi Kouhi, S.M., Lahouti, M. and A, Ganjeali. 2015. Long-term exposure of rapeseed (*Brassica napus* L.) to ZnO nanoparticles: anatomical and ultrastructural responses. *Environ Sci Pollut Res*, 22: 10733–10743.

14) Prabha R. and J, Anjana. 2021. Priming with zinc oxide nanoparticles improve germination and photosynthetic performance in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*. 160: 341-351.

1) li, S., Rizwan, M., Noureen, S., Anwar, S., Ali, B., Naveed, M. and P, Ahmad. 2019. Combined use of biochar and zinc oxide nanoparticle foliar spray improved the plant growth and decreased the cadmium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) plant. *Environ Sci Pollut Res*, 26(11): 11288–11299.

2) Arnon, D. 1956. Chlorophyll absorption spectrum and quantitative determination. *Biological and Biophysical Acta*, 20: 449-461.

3) Azimi, R., Feizi, H. and M, Khajeh hosseini. 2013. Can Bulk and Nanosized Titanium Dioxide Particles Improve Seed Germination Features of Wheatgrass (*Agropyron desertorum*). *Journal of Notulae Scientia Biologicae*, 5:325-331.

4) Bhuvaneshwari, S., Padmalochana, K. and A, Natarajan. 2025. Green synthesis and characterization of ZnO nanoparticles using seaweed extract of *Halimeda opuntia* and their application in seed germination of maize. *Biomass Conv. Bioref*. 15: 8567–8583.

5) Chanu, T.T. and H, Upadhyaya. 2019. Zinc oxide nanoparticle-induced responses on plants: a physiological perspective. In *Nanomaterials in Plants, Algae and Microorganisms*. *Academic Press*. 46–36.

6) Chichiriccò, G. and A, Poma. 2015. Penetration and Toxicity of Nanomaterials in Higher Plants. *Nanomaterials*, 5: 851-873. <https://doi.org/10.3390/nano5020851>

7) Fayez, K.A., El-Deeb, B.A. and N.Y, Mostafa. 2017. Toxicity of biosynthetic silver nanoparticles on the growth, cell ultrastructure and physiological activities

- 21) Singh, A., Prasad, S.M. and S, Singh. 2018. Impact of nano ZnO on metabolic attributes and fluorescence kinetics of rice seedlings. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 9: 42-49.
- 22) Taherabadi, F., Ghobadi, S.H. and M, Allahmoradi. 2016. The Critical period of weed competition in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) under Kermanshah condition. *Iranian Journal of Pulses Research*, 7: 2, 10-26.
- 23) Thounaojam, T.C., Meetei, T.T. and Y.B, Devi. 2021. Zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs): a promising nanoparticle in renovating plant science. *Acta Physiol Plant*, 43: 136.
<https://doi.org/10.1007/s11738-021-03307-0>.
- 24) Wang, X.P., Li, Q.Q. and Z.M, Pei. 2018. Effects of zinc oxide nanoparticles on the growth, photosynthetic traits, and antioxidative enzymes in tomato plants. *Biol Plant*, 62: 801–808.
- 25) Wu, G. L., Liu, Z. H., Zhang, L., Hu, T. M. and J.M, Chen. 2010. Effects of artificial-grassland establishment on plant community and soil properties in a black-soil-type degraded grassland. *Journal of Plant and Soil*, 333: 469–479.
- 15) Prasad, R., Bhattacharyya, A. and Q.D, Nguyen. 2017. Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. *Front Microbiol*, 8:1014.
- 16) Raha, S. and M.D, Ahmaruzzaman. 2022. ZnO nanostructured materials and their potential applications: progress, challenges and perspectives. *Nanoscale Adv.*, 4: 1868-1925.
- 17) Ramanathan, A. 2019. Toxicity of nanoparticles_ challenges and opportunities. *Appl Microsc*, 49(1):2.
- 18) Rossi, L., Fedenia, L.N., Sharifan, H., Ma, X. and L, Lombardini. 2019. Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 160-166.
- 19) Savassa, S.M., Duran, N. M., Rodrigues, E.S., De Almeida, E., Van Gestel, C.A.M., Bompadre, T.F.V., H.W and P, De Carvalho. 2018. Effects of ZnO Nanoparticles on Phaseolus vulgaris Germination and Seedling Development Determined by X-ray Spectroscopy. *ACS Applied Nano Materials*.1: 6414-6426.
- 20) Shaymurat, T., GU, J., XU, Ch., Yang, Zh., Zhao, Q. and Y, Liu. 2011. Phytotoxic and genotoxic effects of ZnO nanoparticles on garlic (*Allium sativum* L.): A morphological study . *Journal of Nanot Toxicology*, 3: 241-248.

Investigation of Replacing Button Mushroom (*Agaricus bisporus* L.) Casing Soil Using Comparison of the Effect of ZnO Nanoparticles and bulk ZnO on Germination, physiological and structural features of *Lentil culinaris medic*

Homa Mahmoodzadeh (Corresponding author)^{1*} and Fatemeh Sadat Katebi²

1- Associated Profesor, Department of Biology, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran, mahmoodzadeh@iau.ac.ir

2- M.Sc Graduated, Department of Biology, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran, fs.katebi@gmail.com

Received: August 2025 Accepted: October 2025

Abstract

Introduction: Nanotechnology will affect almost all aspects of human life. Foliar chemical fertilizers are generally used to quickly provide nutrients to plants, whereas the application of nano-fertilizers under these conditions is more effective and beneficial due to their higher nutrient absorption efficiency compared to conventional fertilizers.

Materials and Methods In this research, the effect of different concentrations of bulk ZnO and ZnO nanoparticles (0, 10, 100, 500 and 1000 mgL⁻¹) on germination factors, seedling growth and structure of *Lens culinaris medic*. In laboratory and greenhouse condition was invstigated.

Results and Discussion: All germination traits had no significant difference in all concentrations of nano and bulk ZnO with control. The highest percentage of germination was observed in the concentration of 1000 of nano ZnO, which showed significant differences only with 10 treatment. The lowest seedling vigor index was observed at 500 nano, which showed a significant difference with all bulk ZnO treatments. Different concentrations of nano and bulk ZnO increased the weight and dry weight of lentil seedlings compared to the control. The highest mean root length was observed at 1000 concentration of bulk ZnO, which showed no significant difference with control and 100 bulk ZnO. The seedlings fresh weight of 10 nano, 100 and 1000 bulk was significantly different with control. Root dry weight in 50 and 10 ppm of nano and 1000 of bulk zinc oxide with the control sample showed a significant difference. The statistical results of chlorophyll content did not show any significant difference with the control.

Conclusion: Studying the oxidative stress induced by this nanoparticle and the antioxidant enzymes is effective for a better understanding of the mechanisms involved in the toxicity of zinc oxide nanoparticles in plants. It seems nano ZnO at low concentrations has potential to apply as nano fertilizer.

Keywords: Germination, *Lens culinaris medic*, XRD test, ZnO Nanoparticles