



Investigation of Quantitative and Qualitative Traits of Different Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Seed Priming with Humic Acid and Biozinc

Faezeh Zaefarian^{1✉} , Mohammad Mehdi Mirzaei² , Shiva Taheri³ 

1. Corresponding Author, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: fa.zaefarian@sanru.ac.ir
2. Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: m.mirzaei@sanru.ac.ir
3. Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: taheri_shiva@ymail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	In order to investigate the effects of seed priming on the quantitative and qualitative traits of different black cumin (<i>Nigella sativa</i> L.) ecotypes, a factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the research farm of the Golestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center during the 2022–2023 growing season. The treatments included seed priming with a control (no priming), humic acid (containing 12% humic acid, 2% fulvic acid, and 4% soluble potassium), and biozinc (containing 14% soluble zinc and 8% soluble sulfur), as well as three black cumin ecotypes (Indian, Syrian, and Iranian). According to the results, the maximum and minimum plant heights (85.57 and 42.90 cm), root lengths (12.17 and 9.57 cm), heights of the first lateral branch (56.83 and 13.17 cm), and seed yields (163.53 and 71.43 gr.m ²) were related to the Indian ecotype primed with biozinc and the Iranian ecotype without priming, respectively. The maximum oil percentage, total phenol, total flavonoid, and antioxidant activity (31.77%, 24.2 mg.g ⁻¹ , 9.9 mg.g ⁻¹ , and 70.05%, respectively) were observed in the Iranian ecotype primed with biozinc. Seed priming with humic acid and biozinc had a great effect on many quantitative traits. Therefore, to achieve high seed yield, priming of the Indian ecotype is recommended, while for the highest oil percentage, the primed Iranian ecotype performed better.
Article history: Received: 18 August 2024 Received in revised form: 2 June 2025 Accepted: 25 July 2025 Published online: Autumn 2025	
Keywords: medicinal plant, oil percentage, priming, seed yield.	
Cite this article: Zaefarian, F., Morzaei, M. M. & Taheri, Sh. (2025). Investigation of Quantitative and Qualitative Traits of Different Black Cumin (<i>Nigella sativa</i> L.) Ecotypes under Seed Priming with Humic Acid and Biozinc. <i>Iranian Journal of Horticultural Science</i> , 56 (3), 443-468. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.380763.2199	



Extended Abstract

Introduction

Medicinal plants are rich reservoirs of secondary metabolites, which are the main active ingredients of many drugs. The production of active ingredients in medicinal plants is influenced by genotype and environmental factors. One of the important requirements in agricultural planning to achieve high yield and optimal quality, especially in medicinal plants, is the evaluation of different plant nutrition systems. Therefore, appropriate soil fertility management and plant nutrition can increase the efficiency of inputs while preserving the environment, improving water quality, reducing erosion, and preserving biodiversity.

In this regard, techniques for improving seedling vigor and establishment, known as pre-germination or seed priming, can be used. Seed priming is a pre-planting treatment that improves germination efficiency by increasing germination percentage and germination rate.

In order to investigate the effect of priming the seeds of different black cumin ecotypes with humic acid and biozinc on quantitative and qualitative traits, a factorial experiment based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted at the research farm of the Golestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center during the 2022–2023 growing season.

Materials and Methods

The priming treatments included a control (no priming), humic acid (containing 12% humic acid, 2% fulvic acid, and 4% soluble potassium), and biozinc (containing 14% soluble zinc and 8% soluble sulfur), and three black cumin ecotypes (Indian, Syrian, and Iranian).

The seeds of the three black cumin ecotypes (Indian, Syrian, and Iranian) were coated with the mentioned priming treatments one hour before planting under laboratory conditions and away from sunlight. The seeds were then separately placed in a laminar flow hood for better penetration of the priming treatments into the seeds. After half an hour, the seeds were transferred to the field for planting.

The dimensions of each plot were 1*2.5 square meter, the distance between rows was 20 cm, the number of planting lines was 5, the distance between plots was 50 cm, and the distance between blocks was 1 meter. Seed planting was done by hand in December. Based on the soil analysis results, urea fertilizer (25 kg.ha⁻¹) and triple superphosphate (50 kg.ha⁻¹) were used as basal fertilizers before planting, and urea fertilizer (50 kg.ha⁻¹) was used as a top dressing at the 6–8-leaf stage. Irrigation was carried out when required by the plants, particularly during the flowering and seed-filling stages. Hand weeding was performed during the 4–6-leaf stage, and thinning was carried out at the 4-leaf stage.

At maturity, several traits, including plant height, root length, height of the first branch of the plant, number of lateral branches, seed yield, oil percentage, total phenol, total flavonoid, and percentage of free-radical activity, were measured. After measuring the mentioned characteristics, the data were statistically analyzed using SAS statistical software. Mean comparisons were performed using the LSD test at the 5% probability level, and the graphs were drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results of the statistical analysis of the growth and yield traits showed that seed priming had a positive and significant effect on most of the studied traits. The maximum and minimum plant heights (85.57 and 42.90 cm), root lengths (12.17 and 9.57 cm), heights of the first branch of the plant (56.83 and 13.17 cm), and seed yields (163.53 and 71.43 gr.m²) were related to the Indian ecotype primed with biozinc and the Iranian ecotype without priming, respectively. The interaction effect of ecotype and seed priming showed that the Syrian and Indian ecotypes primed with biozinc produced more lateral branches (16.12 and 15.37, respectively) than the other treatments.

However, the maximum oil percentage, total phenol, total flavonoid, and percentage of free-radical activity (31.77%, 24.2 mg.g⁻¹, 9.9 mg.g⁻¹, and 70.05%, respectively) were related to priming the Iranian ecotype with biozinc, while the minimum oil percentage (20.32%), total phenol (19.62 mg.g⁻¹), total flavonoid (8.22 mg.g⁻¹), and percentage of free-radical activity (52.80%) were observed in the Indian ecotype without priming.

Conclusion

Seed priming with appropriate concentrations of the compounds used, especially micronutrient elements, can affect the growth and physiology of various plants under variable environmental conditions. Based on the results of this research, seed priming with humic acid and biozinc had a great effect on many quantitative traits. Therefore, if the goal of cultivation is to achieve high seed yield, priming the Indian ecotype can be used. However, if the goal is to achieve the highest percentage of oil, it is appropriate to use the primed Iranian ecotype.

Author Contributions

Faezeh Zaefarian: Conceptualization, Methodology, Supervision, Project administration, Writing – review & editing. **Mohammad Mehdi Mirzaei:** Investigation, Data curation, Formal analysis, Visualization, Writing – original draft. **Shiva Taheri:** Methodology, Validation, Writing – review & editing. All authors contributed equally to the development of this manuscript from the initial draft to the final submitted version, including all subsequent revisions.

Data Availability Statement

The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by the Deputy for Research and Technology of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University for this research project (approved project code: 15-1401-01).

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



بررسی صفات کمی و کیفی توده‌های مختلف سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک و بیوزینک

فائزه زعفریان^۱ | محمد مهدی میرزایی^۲ | شیوا طاهری^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: fa.zaefarian@sanru.ac.ir

۲. گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: m.mirzaei@sanru.ac.ir

۳. گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: taheri_shiva@ymail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	به‌منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر توده‌های مختلف سیاهدانه با اسید هیومیک و بیوزینک بر صفات کمی و کیفی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. این آزمایش در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای مورد استفاده شامل پیش‌تیمار شاهد (بدون پیش‌تیمار)، اسید هیومیک (حاوی ۱۲ درصد اسید هیومیک، دو درصد اسید فولویک و چهار درصد پتاسیم محلول وزنی) و بیوزینک (حاوی ۱۴ درصد روی محلول و هشت درصد گوگرد محلول) و سه توده سیاهدانه (هندی، سوری و ایرانی) بود. براساس نتایج، بیشترین و کمترین ارتفاع بوته (۵۷/۸۵ و ۹۰/۴۲ سانتی‌متر)، طول ریشه (۱۷/۱۲ و ۵۷/۹ سانتی‌متر)، ارتفاع اولین شاخه فرعی بوته (۸۳/۵۶ و ۱۷/۱۳ سانتی‌متر) و عملکرد دانه (۵۳/۱۶۳ و ۴۳/۷۱ گرم در متر مربع)، به‌ترتیب، مربوط به توده هندی پیش‌تیمار شده با بیوزینک و توده ایرانی بدون پیش‌تیمار بود. بیشترین درصد روغن، فنل کل، فلاونوئید کل و درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی (به‌ترتیب ۷۷/۳۱ درصد، ۲/۲۴ میلی‌گرم در گرم، ۹/۹ میلی‌گرم در گرم و ۰۵/۷۰ درصد) مربوط به توده ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک بود. پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک و بیوزینک در بسیاری از صفات نقش مؤثری داشت. بنابراین، چنانچه هدف از کشت، دستیابی به عملکرد بالا در تولید دانه باشد، توصیه می‌شود از توده هندی پیش‌تیمار شده استفاده شود؛ اما در صورتی که هدف دستیابی به درصد بالایی از روغن باشد، استفاده از توده ایرانی پیش‌تیمار شده مناسب است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۳	
تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۴	
کلیدواژه‌ها:	
پیش‌تیمار، درصد روغن، عملکرد بذر، گیاه دارویی.	

استناد: زعفریان، فائزه؛ میرزایی، محمد مهدی و طاهری، شیوا (۱۴۰۴). بررسی صفات کمی و کیفی توده‌های مختلف سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک و بیوزینک. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۳)، ۴۴۳-۴۶۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.380763.2199>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.380763.2199>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

امروزه کشت گیاهان دارویی به دلیل اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی در بیماران و همچنین نیاز مواد اولیه کارخانه‌های داروسازی مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی، شرایط اکولوژیک مختلف در کشور پتانسیل خوبی برای تولید دامنه وسیعی از گیاهان دارویی را فراهم نموده است. از جمله این گیاهان سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) است. سیاهدانه، گیاهی یکساله و علفی از خانواده آلاله می‌باشد (Malekzade et al., 2016). میزان روغن در این گیاه ۳۰-۴۰ درصد، میزان پروتئین ۲۰ درصد و میزان اسانس ۵-۱/۵ درصد است (Malekzade et al., 2016). در روغن سیاهدانه ۹ اسید چرب مهم وجود دارد که اسیدهای لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک از عمده‌ترین آنها است. دانه‌های این گیاه دارای خواصی مانند شیرافزا، ضد نفخ، مسهل، ضد انگل، ضد تومور، ضد باکتری، ضد سرفه، مسکن، شل‌کننده عضلات، ضد دیابت، آنتی‌هیستامین، ضد فشارخون و ضد تشنج می‌باشد (Davazdahemami & Majnoonhosseini, 2014). علاوه بر این، طیف گسترده‌ای از خواص پزشکی از جمله اثرات ضد قارچی و ضد باکتریایی (Malekzade et al., 2016)، درمان سرطان و بیماری‌های قلبی عروقی را دارا می‌باشد (Khoramdel et al., 2010). توجه ویژه به گیاهان دارویی در جهان به‌دلیل طیف گسترده‌ای از خواص پزشکی آنها، نگرانیها را در مورد فرآورده‌های کشت و تولید آنها افزایش داده است (Safaei et al., 2017).

بذر یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر عملکرد در بسیاری از گونه‌ها است. جوانه‌زنی سریع، یکنواختی در سبز شدن و استقرار مناسب از جمله عوامل مهم در تولید و رشد گیاهان است. در واقع جوانه‌زنی اولین و حساسترین مرحله رشد و نمو گیاه می‌باشد (Fernandez et al., 2008; Song et al., 2008). فرآیند جوانه‌زنی، مهمترین عملکرد فیزیولوژیکی بذر را تشکیل می‌دهد و شرط موفقیت در رشد در اکثر گیاهان محسوب می‌شود (Ghiyasi et al., 2019). جوانه‌زنی خوب نقش مهمی در فرآیند تولید گیاهان را ایفا می‌کند (Ekren et al., 2023). برخی از بذرهایی که به سختی جوانه می‌زنند یا دارای سبزشدگی نامنظمی هستند، ممکن است در شرایط نامساعد محیطی دیرتر سبز شوند (Ekren et al., 2023). در کشت گیاهان دارویی و معطر، مشکلات مختلفی در جوانه‌زنی بذر برخی از گیاهان رخ می‌دهد. بسیاری از گیاهان دارویی به‌دلیل عدم جوانه‌زنی سریع و یکنواخت دارای عملکردی کمتر نسبت به سایر گیاهان دارویی هستند. این مشکل در بذرهایی با دانه‌ها و جنینهای کوچک بسیار رایج است (Sönmez et al., 2019). گیاه سیاهدانه نیز به‌دلیل وجود بذر و جنین کوچک، از این قاعده مستثنی نیست و مشکلاتی از جمله بینظمی در جوانه‌زنی، در آن مشاهده می‌شود (El-Mahrouk et al., 2022). جوانه‌زنی بذر و رشد سریع گیاهچه مراحل بسیار حساس برای بهبود تولید سیاهدانه است که عمده‌تاً در شرایط دیم با محتوای رطوبت نامطلوب، به‌صورت غیر یکنواخت رشد می‌کند (Kayacetin, 2022). جوانه‌زنی بذر سیاهدانه و رشد گیاهچه آن چالش بزرگی برای دستیابی به سطوح بالای رشد و بهره‌وری این محصول است (Papastilianou et al., 2018). بذور سیاهدانه به دلیل رشد ناکافی جنین‌ها دارای ویژگی‌های خواب هستند (El-Mahrouk et al., 2022). Rouhi و همکاران در سال ۲۰۱۲ بیان نمودند، بذور سیاهدانه دارای خواب مورفوفیزیولوژیکی هستند که موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی آنها شده و در نهایت این امر منجر به کاهش درصد سبزشدگی این گیاه در شرایط مزرعه می‌شود. در سالهای اخیر، بسیاری از محققان بر روی بهبود کیفیت بذر کار کرده‌اند تا مشکلات ناشی از بذر را از بین ببرند (Chauhan et al., 2009; Dewir et al., 2011; Elhindi et al., 2016; El-Nashar and Dewir, 2019). در میان روشهای بهبود کیفیت بذر، پیش‌تیمار بذر به‌عنوان روشی مؤثر و مقرون‌به‌صرفه برای بهبود سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر می‌باشد (Rehman et al., 2014). به‌طور کلی، پیش‌تیمار بذرها منجر به جوانه‌زنی سریع‌تر و یکنواخت‌تر، استقرار بهتر توده و مزایای متعددی می‌شود (Tan, 2024). پیش‌تیمار بذر یک فناوری ساده و مؤثر برای اطمینان از سبز شدن همگن، همزمان و سریع است و در نتیجه عملکرد بهتر محصول را به‌همراه دارد (Raj & Raj, 2019). در واقع تیماری است که پیش از کاشت به‌منظور افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و بهبود رشد در مراحل بعد از جوانه‌زنی صورت می‌گیرد (Chen et al., 2010).

استفاده از روش‌هایی مانند پیش‌تیمار با استفاده از کودهای زیستی، محرک‌های زیستی و نانوذرات، افزایش قابل توجهی در بهره‌وری کشاورزی ایجاد کرده است (Chandrika et al., 2019; Salcedo et al., 2020; Venkatachlam et al., 2017). بررسی‌ها نشان داده است که ترکیبات آلی سبب بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و عملکرد محصول را افزایش می‌دهند. یکی از ترکیبات آلی مهم که در سالهای اخیر مورد استفاده قرار گرفته است، اسید هیومیک می‌باشد. این ترکیب از تجزیه بقایای گیاهی یا حیوانی به‌دست می‌آید (Trevisan et al., 2010; Liu & Cooper, 2000) و به‌عنوان کود آلی دوستدار طبیعت نیز نام برده می‌شود (Samavat & Malakuti, 2005). از مزایای مهم این ترکیب می‌توان به قابلیت کلاتکنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی اشاره کرد (Mohsenian & Jalilian, 2012). با توجه به این که اسید هیومیک یک ترکیب پلیمری آلی طبیعی می‌باشد و ترکیبات آلی بر خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک تأثیر می‌گذارند، می‌تواند با بهبود این صفات، موجب افزایش عملکرد و کیفیت محصول گردد (Ghorbani et al., 2010).

ترکیب دیگری که به عنوان پیش‌تیمار کاربرد دارد کود بیوزینک است که حاوی عناصر روی و گوگرد می‌باشد. این کود به‌واسطه داشتن این عناصر موجب تحریک گیاهان به جوانه‌زدن، شروع گل‌دهی، فعال‌سازی آنزیم‌های مسئول در فتوسنتز و تنظیم رشد گیاه می‌شود (Otiende et al., 2021; Henriet et al., 2019). گوگرد به‌عنوان یکی از اجزای این ترکیب، از عناصر غذایی پرمصرف و ضروری برای گیاه می‌باشد که کمبود آن عملکرد گیاه را طی تغذیه نامناسب کاهش می‌دهد و ارزش کیفی محصول را مانند درصد پروتئین و روغن می‌کاهد (Dong et al., 2017). به‌عبارتی عملکرد محصول و ارزیابی کیفیت بذر ارتباط نزدیکی با محتوای گوگرد موجود در دانه گیاه دارد (Fuentes-Lara et al., 2019; Yu et al., 2018). گوگرد در ساخت اسیدهای آمینه گوگرددار (نظیر متیونین و سیستئین)، تشکیل کلروفیل، فعال کردن آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، شرکت در ساختار ویتامین‌های بیوتین و فعالیت ATP سولفوریلاز نقش دارد (Narayan et al., 2023). گوگرد همچنین از مواد تشکیل‌دهنده کوآنزیم A است که با اسید استیک ترکیب می‌شود و استیل کوآنزیم A به‌وجود می‌آید که در متابولیسم چربی‌ها اهمیت دارد (Nakai et al., 2020). کمبود گوگرد ممکن است، سبب کاهش فعالیت آنزیم استیل کوآنزیم A کربوکسیلاز و در نتیجه کاهش بیوسنتز روغن شود (Li et al., 2020). عنصر روی نیز جزء بسیاری از آنزیم‌هایی است که فرایندهای متابولیک گیاه را تنظیم می‌کنند. همچنین به‌عنوان یک کاتالیزور در تشکیل کلروفیل عمل می‌کند. علاوه بر این عنصر روی در سنتز RNA و پروتئین نقش دارد که بر سنتز هورمون‌های رشد مانند ایندول استیک اسید (IAA) در گیاهان تأثیر می‌گذارد (Garcia-Lopez et al., 2018).

پیشینه پژوهش

مطالعات اخیر نشان داده است، که پیش‌تیمار بذر یکی از مؤثرترین گزینه‌ها برای کوتاه کردن زمان جوانه‌زنی و افزایش درصد جوانه‌زنی برای افزایش عملکرد می‌باشد (Kayaçetin et al., 2023). در بذور پیش‌تیمار شده، درصد جوانه‌زنی بهبود یافته و جوانه‌زنی زود هنگام و یکنواخت می‌باشد که این امر موجب بهبود ویژگی‌های رشدی می‌شود (Okello et al., 2022). تحقیقات نشان می‌دهد که پیش‌تیمار بذر می‌تواند عملکرد بذر و گیاهچه را در گونه‌های مختلف گیاهی افزایش دهد (Nouri & Haddioui, 2021; Moreno et al., 2018; Masondo et al., 2018). پیش‌تیمار بذر علاوه بر اینکه استقرار و رشد گیاه را افزایش می‌دهد، حفاظت گیاه را تضمین می‌کند و استرس را نیز کاهش می‌دهد (Kangsopa Amirkhani et al., 2016). به‌طور کلی پیش‌تیمار بذر روشی مفید برای بهبود جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، تولید محصول و تحمل به تنش‌ها می‌باشد (Rizwan et al., 2019).

اخیراً استفاده از انواع کودهای زیستی، آلی و عناصر کم‌مصرف جهت پیش‌تیمار کردن بذر برای بهبود کمی و کیفی محصولات زراعی رواج یافته است (Safyan et al., 2012). اسید هیومیک بخشی از ترکیبات هوموسی است که حاوی مواد معدنی می‌باشد که نقش مهمی در تعادل تغذیه‌ای گیاه دارد (Khalil et al., 2011). اسید هیومیک به عنوان یک عامل کلیدی

عمل میکند و دسترسی به عناصر را در خاک افزایش میدهد و جذب بیشتر مواد مغذی توسط گیاهان را تسهیل میکند. همچنین به کاهش جذب فلزات سنگین خطرناک توسط گیاهان کمک میکند (Wu et al., 2017). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که مواد هیومیکی رشد گیاه را با افزایش جذب آب و عناصر غذایی، در دسترس بودن عناصر غذایی، توسعه سیستم ریشه، محتوای کلروفیل گیاه و تغییرات در فعالیت آنزیمهای گیاهی افزایش میدهند (Bakry et al., 2014; Rose et al., 2014; Koocheki et al., 2016). مطالعات نشان داده‌اند، مواد هیومیکی میتوانند از طریق اثرات شبه هورمونی بر فیزیولوژی و فتوسنتز گیاه تأثیر بگذارند و آنزیمهای خاصی را فعال کنند (Bettoni et al., 2014). گزارش شده است که اسید هیومیک میتواند به عنوان یک تنظیم کننده هورمونهای اکسین، سیتوکین و جبرلینها شود و بدین طریق باعث افزایش طول ساقه و بهبود رشد گیاه شود (Dadkhah, 2024). اسید هیومیک همچنین تخلخل خاک و رشد ریشه را افزایش میدهد که منجر به افزایش اندام هوایی گیاه میشود (Garcia et al., 2008). اسید هیومیک به عنوان یک کود سازگار با محیط زیست، یکی از مهمترین کودهای آلی است که میتواند بر رشد گیاهان تأثیر مثبت بگذارد و جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر توسط گیاه را افزایش دهد (Sabzevari et al., 2009). مواد هیومیک باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنشهای محیطی مانند خشکی و شوری، افزایش جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه و در نتیجه بهبود کمیت و کیفیت محصول میشود (Ampong et al., 2022). در پژوهشی گزارش شد که اسید هیومیک منبع غذایی مناسبی برای بهبود رشد، عملکرد و جذب مواد مغذی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در شرایط تنش خشکی است (Sanjari-Mijani, 2014). در مطالعه دیگری بر روی گیاه دارویی چای ترش، افزایش کلروفیل a و b، کاروتنوئیدها و کربوهیدرات‌های برگ و کاهش محتوای پرولین در شرایط تنش مشاهده شد (Sanjari-Mijani et al., 2015). Canellas و همکاران در سال ۲۰۱۲ گزارش نمودند اسید هیومیک به دلیل افزایش جذب مواد مغذی و خواص شبه هورمونی، تشکیل ریشه‌های جانبی را در گیاهان بهبود میبخشد. نتایج پژوهش Dadkhah طی سال ۲۰۲۴ در بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک بر رشد و عملکرد گیاه دارویی چای ترش نشان داد، کاربرد اسید هیومیک به‌طور معناداری باعث افزایش صفات رشد و عملکرد گیاه چای ترش نسبت به گیاهان تیمار نشده با اسید هیومیک شد. نتایج پژوهش Ariaifar و همکاران در سال ۲۰۱۷ نیز نشان داد که اسید هیومیک تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دانه سیاه‌دانه داشت به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد دانه (۵۳۱/۲۴) در تیمار اسید هیومیک به‌دست آمد. Ebrahimi و Miri Karbasak & نیز در سال ۲۰۱۶ گزارش نمودند، در گیاهان دارویی گل گاوزبان (*Borago officinalis*) و کاسنی (*Cichorium intybus*)، اسید هیومیک تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی دارد، به‌گونه‌ای که نتایج این محققان نشان داد که اسید هیومیک علاوه بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، به‌طور معناداری بر کیفیت جوانه‌زنی گیاه یعنی وزن تر ریشه، گیاهچه و طول ساقه تأثیر داشت (Ebrahimi & Miri Karbasak, 2016). همچنین نتایج پژوهش سال ۲۰۲۲ Kalhor Monfared و همکاران نشان داد پیش‌تیمار با اسید هیومیک منفی تنش شوری را نسبت به شاهد (بدون پیش‌تیمار) کاهش میدهد اما عملکرد پیش‌تیمار با اسید هیومیک، کیتوزان و ورمی‌کمپوست نسبت به پیش‌تیمار با آب بهتر بود. بیشترین جوانه‌زنی بذر زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در پیش‌تیمار ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک (۹۸/۳۳ درصد) مشاهده شد. بر اساس نتایج این محققان پیش‌تیمار با اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست باعث افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های زیره سبز شده و روشی مناسب برای کاهش آسیب تنش شوری در این گیاه دارویی میباشد. نتایج پژوهش سال ۲۰۲۱ Amer و همکاران. نشان داد، پیش‌تیمار اسید هیومیک باعث افزایش بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی میشود. تحقیقات اخیر تأکید داشت، اسید هیومیک باعث افزایش محتوای آنتیاکسیدانی فلفل زینتی (*Capsicum annuum* L.) و آویشن (*Thymus vulgaris*) میشود (Aminifard et al., 2012; Juárez et al., 2011). در سال ۲۰۲۳ Proklamasiningsih و همکاران در تعیین تأثیر غلظت اسید هیومیک بر محتوای آنتیاکسیدانی دریافتند اسید هیومیک باعث افزایش محتوای آنتیاکسیدانی و فعالیت آن در گیاه سنبل الطیب (*Valeriana officinalis* L.) میشود. آزمایش سال ۲۰۱۱ Juárez و همکاران در بررسی اثر مواد هیومیکی بر بذره‌های آویشن (*Thymus vulgaris* L.) نشان داد، بیشترین عملکرد، اسانس و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنلی و

فلاونوئید کل از بالاترین سطوح کاربرد اسید هیومیک بهدست آمد. نتایج پژوهش Amir & Hani در سال ۲۰۱۷ نشان داد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید و همچنین عملکرد اسانس گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) شد. در سال ۲۰۲۱ نیز Hammam و همکاران گزارش نمودند، کاربرد اسید هیومیک، به‌طور قابل توجهی موجب افزایش ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی، غلظت پرولین و راندمان مصرف آب در گیاه شمعدانی (*Pelargonium graveolens* L. Herit Aiton) میشود.

روی جزء بسیاری از آنزیمهایی است که فرآیندهای متابولیک گیاه از جمله سنتز اسید نوکلئیک، پروتئین و متابولیسم کربوهیدرات را تنظیم میکنند (Balandrán-Valladares et al., 2021). این عنصر به‌عنوان یک کاتالیزور در تشکیل کلروفیل عمل میکند. روی به‌طور فعال در بیوسنتز اکسین‌ها و فیتوهورمون‌هایی که گسترش سلولی، ساختار ریشه و تنظیم شروع گلدهی را کنترل می‌کنند، شرکت میکند (Tripathi et al., 2022). بنابراین، اختلال در غلظت روی میتواند اثرات فرآیندهای رشد گیاه و مسیرهای رشد کلی را مختل کند (Suganya et al., 2020). روی در طول جوانه‌زنی بذر و مراحل رشد اولیه گیاهان تا زمانی که سیستم ریشه توانایی جذب مواد مغذی از خاک را بهدست آورد، بسیار مهم است (Imran et al., 2021). بذرهای حاوی روی کم، تاخیر در جوانه‌زنی و بنیه ضعیف گیاهچه را نشان میدهند (Day & Koçak-Şahin, 2023). در طول جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه، به‌ویژه در شرایط تنش، ریزمغذیها به‌ویژه روی ضروری هستند. روی یک عامل مشترک آنزیمهای مختلف از جمله سوپراکسید دیسموتاز (SOD) است که در سمزدایی گونه‌های فعال اکسیژن، مانند رادیکال سوپراکسید و پراکسید هیدروژن دخیل هستند (Imran et al., 2021). نتایج پژوهش Singh و همکاران در سال ۲۰۲۱ نشان داد، نانوذرات روی (ZnO) می‌توانند بر رشد گیاه تأثیر گذاشته و از گونه‌های مختلف گیاهی در برابر تنش شوری محافظت کنند. همچنین این نانوذرات جوانه‌زنی بذر، فعالیت آنتیاکسیدانی و تولید پروتئین، فتوسنتز، عملکرد دانه و آزادسازی مواد معدنی ضروری را افزایش می‌دهند (Garcia-Lopez et al., 2018; Salama et al., 2019; Hussain et al., 2021). مطالعات نشان داد که کاربرد ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید روی، موجب افزایش پارامترهای رشدی در مریم گلی میشود (Alenezi et al., 2022). نتایج تحقیق سال ۲۰۲۴ WaqasAshraf نشان داد کاربرد نانوذرات اکسید روی (ZnO) تعداد جوانه، تعداد گره، طول جوانه، تعداد ریشه و طول ریشه مریم گلی (*Salvia rosmarinus*) را افزایش میدهد. این محققان گزارش نمودند، اکسید روی در ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر بهترین اثر را روی افزایش شاخصهای رشدی گیاه دارویی مریم گلی دارد. نانوذرات اکسید روی می‌توانند وارد دیواره‌های سلولی شده و سطوح اکسین را افزایش دهند که به افزایش تقسیم سلولی، افزایش طول سلول و جذب مواد معدنی کمک می‌کند (Hanif et al., 2024). گزارش سال ۲۰۱۵ Gholami و همکاران ر بررسی پیش‌تیمار بذر با نمکهای KNO_3 ، CaCl_2 ، NaCl ، ZnSO_4 یا CuSO_4 بر پارامترهای رشدی سیاهدانه نشان داد، تمامی تیمارهای مورد مطالعه در کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری بر سیاهدانه مؤثر بودند، و این عوامل از جمله سولفات روی به‌طور قابل توجهی موجب افزایش جوانه‌زنی بذر شدند.

از آنجاکه استفاده از انواع کودهای زیستی، آلی و عناصر کم‌مصرف جهت پیش‌تیمار کردن بذر موجب بهبود کمیت و کیفیت محصولات زراعی می‌شود و در بسیاری مواقع خاکهای ایران دارای شرایط نامساعدی از جمله اسیدیتهی بالای خاک، کمبود مادهی آلی و میزان بالای کلسیم می‌باشند که منجر به کاهش توانایی جذب عناصر کم‌مصرف و در نتیجه موجب کاهش رشد گیاه میشود (Safyan et al., 2012)؛ لذا، پژوهش حاضر به منظور پاسخ توده‌های سیاهدانه به پیش‌تیمار بذر این گیاه صورت گرفت.

روشناسی پژوهش

اعمال تیمارها و کاشت

به منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر بر عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. جهت شناسایی وضعیت خاک محل انجام آزمایش، نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری تهیه شد که بر اساس نتایج حاصله از آنالیز خاک در آزمایشگاه، بافت خاک سیلت-لومی، pH خاک ۷/۶، کربن آلی ۱/۷ و شوری خاک ۱/۱ تعیین گردید.

تیمارهای مورد استفاده شامل پیش‌تیمار بذر در سه سطح (بدون پیش‌تیمار (شاهد)، پیش‌تیمار با اسید هیومیک (حاوی اسید هیومیک ۱۲ درصد، اسید فولیک دو درصد، پتاسیم محلول چهار درصد وزنی تولید شرکت زیست فن‌آور سبز) و پیش‌تیمار با بیوزینک (حاوی روی محلول ۱۴ درصد، گوگرد محلول هشت درصد تولید شرکت کیمیا سبز یاخته)) و توده‌های بذور مختلف سیاهدانه (هندی، سوری و ایرانی) بود.

میزان بذر مصرفی براساس وزن هزار دانه و تراکم مطلوب ۱۰۰ بوته در متر مربع محاسبه و برای هر کرت ۲/۵ گرم و غلظت پیش‌تیمار نیز بر مبنای دستورالعمل مصرفی شرکت سازنده از ترکیب با غلظت محلول دو درصد وزنی دانه که معادل ۰/۰۵ سی‌سی + آب مقطر (به میزان دو برابر غلظت پیش‌تیمار یعنی ۰/۱ سی‌سی) در نظر گرفته شد. بذور یک ساعت قبل از کاشت در محیط آزمایشگاهی و به دور از نور آفتاب با پیش‌تیمار ذکر شده آغشته، پس از آن جهت نفوذ بهتر ترکیبات به بذور، به‌طور جداگانه در محیطی تمیز در زیر دستگاه لامینارفلو پهن و بعد از گذشت نیم ساعت بذور جهت کاشت به مزرعه مورد نظر منتقل شدند.

نقشه آزمایشی پس از عملیات آماده‌سازی شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین تهیه شده و ابعاد هر کرت ۲/۵ × ۱ متر مربع، فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و تعداد خطوط کاشت پنج، فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. کاشت بذر به صورت دستپاش در آذر ماه انجام شد. کودهای پایه بر اساس نتایج آزمون خاک به صورت قبل از کاشت کود اوره (۲۵ کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کود سرک اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار) در مرحله ۸-۶ برگی استفاده شدند و کلیه عملیات داشت از قبیل آبیاری در زمان نیاز آبی گیاه (شروع گلدهی و پر شدن دانه)، وجین دستی علف هرز طی مرحله ۴-۶ برگی و تنک کردن در مرحله چهار برگی انجام شد. همچنین، مبارزه با آفات بدلیل جمعیت پایین صورت نگرفت و جهت پیشگیری از شیوع بیماری‌ها یک مرحله قارچ‌کش تیوفانات متیل با دز مصرفی ۱×۱۰۰۰ (کیلوگرم در هزار لیتر آب) در مرحله قبل از گلدهی صورت گرفت.

جهت اندازه‌گیری صفات کمی، پس از رسیدگی و نمو کامل بوته‌ها، به وسیله پلات یک متر مربعی از وسط هر کرت و با فاصله از ردیف‌های کناری (حذف اثر حاشیه‌ای)، تعداد پنج بوته به طور تصادفی انتخاب (به جز ردیف‌های کناری) و اندازه‌گیری صفات شامل ارتفاع بوته، ارتفاع اولین شاخه فرعی، تعداد شاخه‌های جانبی، طول ریشه اصلی و عملکرد دانه صورت گرفت. سپس اندازه‌گیری صفات فیزیولوژی شامل درصد روغن، فنل کل، فلاوونوئید کل و درصد فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها آزاد پس از رسیدگی کامل بذور و برداشت آنها در آزمایشگاه کنترل کیفیت انجام گرفت.

درصد روغن

روش سوکسله^۱ برای استخراج چربی از مواد جامد طراحی شده است. در این روش ۱۵ گرم بذر سیاهدانه به مدت ۲۴ تا ۳۶ ساعت در دستگاه آون با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد نگهداری تا کاملاً خشک شوند. ماده خشک ایجاد شده توزین و درون کارتوش قرار داده شد و در قسمت استخراج کننده دستگاه سوکسله قرار گرفت. دوسوم از حجم بالون با حلال هگزان پر شد و

پس از آن دمای دستگاه روی ۶۰ درجه سانتیگراد تنظیم گردید. در اثر حرارت، حلال بخار شده و روی نمونه ریخته میشود و باعث جدا شدن روغن از ماده خشک میگردد. این چرخه تا زمانی ادامه مییابد که مخزن سوکسله پر شود و سپس بصورت خودکار از طریق یک سیفون جانبی تعبیه شده تخلیه شده و حلال دوباره به داخل محفظه تقطیر میریزد. طی گذشت هشت ساعت این چرخه کامل می شود. سپس روغن حاصل از تقطیر، درون بالن ریخته و وزن میگردد. برای تبخیر حلال، بالن محتوی روغن را در آن با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده و پس از خارج نمودن وزن میشود. این کار تا زمانی انجام میشود که وزن روغن ثابت گردد. سپس عدد حاصل از وزن بالن کم شده و وزن روغن بدست می آید. درصد روغن نیز از رابطه ۱ محاسبه گردید (Barthet et al., 2002).

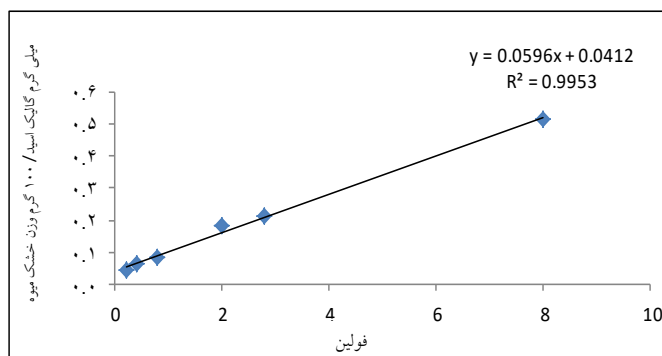
$$\text{درصد روغن} = \frac{W_2 - W_1}{M} \times 100$$

W_1 و W_2 به ترتیب وزن اولیه و ثانویه بالن و M وزن نمونه می باشد.

اندازه گیری فنل کل

جهت اندازه گیری ترکیبات فنلی از معرف Folin – Ciocalteu استفاده شد. برای تهیه عصاره ابتدا نمونه های خشک شده بذر سیاه دانه به طور کامل خرد شدند. سپس برای استخراج به یک گرم از پودر خشک شده ده میلیلیتر محلول متانول / آب (۷:۲۰:۷۰) اضافه و مخلوط به مدت ۲۴ ساعت در شرایط بدون نور شیک شد. ۲۰۰ میکرولیتر از معرف فولین به ۴۰ میکرولیتر عصاره ای استخراج شده گیاهی به همراه ۰/۶ میلیلیتر سدیم کربنات یک مولار (۱۰/۶ گرم در ۱۰۰ میلیلیتر آب مقطر) اضافه شد. در نهایت محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی نگهداری شد.

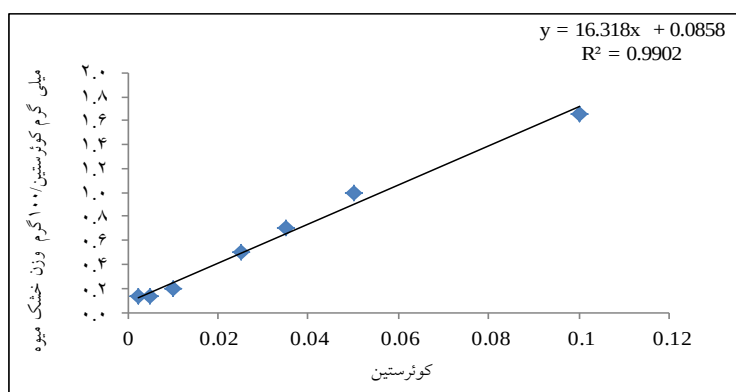
برای تهیه شاهد بجای عصاره فنلی از متانول ۸۰ درصد خالص استفاده شد. جذب نمونه ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Ebrahimzadeh et al., 2008). نتایج به صورت میلیگرم هم ارز اسید گالیک بر گرم وزن خشک با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک گزارش شد (شکل ۱).



شکل ۱. منحنی استاندارد گالیک اسید

اندازه گیری فلاونوئید

به ۰/۵ میلیلیتر از عصاره متانولی ۱/۵ میلیلیتر متانول افزوده و سپس ۰/۱ میلیلیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد (۱۰ گرم آلومینیوم کلرید در ۱۰۰ میلیلیتر آب مقطر) را با آن مخلوط و ۰/۱ میلیلیتر استات پتاسیم یک مولار (۲/۴۱ گرم استات پتاسیم در ۱۰۰ میلیلیتر آب مقطر) را به آن افزوده و در مرحله آخر ۲/۸۸ میلیلیتر آب مقطر به آن اضافه گردید (Ebrahimzadeh et al., 2008). سپس محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد و در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین میزان فلاونوئید محاسبه گردید (شکل ۲).



شکل ۲. منحنی استاندارد کوثرستین

تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های DPPH از روش ابراهیمزاده و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد. یک میلیلیتر از عصاره متانولی با یک میلیلیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی مولار (چهار میلیگرم DPPH در ۱۰۰ میلیلیتر متانول) مخلوط گردید. بعد از ۳۰ دقیقه قرار دادن در تاریکی، نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. اعداد بدست آمده از جذب نمونه توسط رابطه ۲ به درصد مهار تبدیل شد.

رابطه ۲)

$$\text{درصد مهار رادیکال‌های آزاد} = \frac{(A_c - A_s)}{A_c} \times 100$$

A_c عدد جذب شاهد و A_s عدد جذب نمونه می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و نمودارها در محیط Excel ترسیم گردید.

یافته‌های پژوهش

صفات رشدی و عملکرد

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی توده، پیش‌تیمار بذر و اثر متقابل بین توده و پیش‌تیمار بر صفت ارتفاع بوته سیاه‌دانه تأثیر معناداری در سطح یک درصد داشتند (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، کاربرد پیش‌تیمار بذر با بیوزینک نسبت به شاهد موجب افزایش ۲۶/۷۳، ۱۰/۵۷ و ۰/۴۳ درصدی ارتفاع بوته به‌ترتیب در توده‌های ایرانی، سوری و هندی گردید (جدول ۲).

طول ریشه اصلی

در صفت طول ریشه، اثر اصلی نوع توده و پیش‌تیمار بذور و همچنین اثرات متقابل آنها در سطح یک درصد معنادار شد (جدول ۱). همانطور که در جدول ۲ مشاهده شد، کاشت توده هندی که با بیوزینک پیش‌تیمار شده، توانست بیشترین طول ریشه اصلی (۱۲/۱۷ سانتی‌متر) و توده سوری بدون پیش‌تیمار کمترین طول ریشه (۹/۳۸ سانتی‌متر) را نشان داد. نتایج حاکی از افزایش ۹/۷۱، ۲۳/۶۶ و ۱۷/۵۸ درصدی طول ریشه به‌ترتیب در توده‌های ایرانی، سوری و هندی تیمار شده با بیوزینک نسبت به شاهد (بدون پیش‌تیمار) بود.

ارتفاع اولین شاخه فرعی

براساس نتایج تجزیه واریانس نوع توده، پیش تیمار بذور و اثر متقابل این دو عامل تأثیر معناداری بر ارتفاع اولین شاخه فرعی در بوته‌های سیاه‌دانه داشتند (جدول ۱). بر این اساس، استفاده از توده هندی پیش تیمار شده با اسید هیومیک موجب شد که اولین شاخه فرعی در ارتفاع بالاتری (۵۷/۵۵ سانتی‌متر) تشکیل شود که اختلاف معناداری بین این تیمار و توده هندی پیش تیمار شده با بیوزینک (۵۶/۸۳ سانتی‌متر) وجود نداشت. از طرف دیگر، در توده ایرانی بدون پیش تیمار اولین شاخه در پایین‌ترین ارتفاع (۱۳/۱۷ سانتی‌متر) تشکیل شد. به‌طور کلی، بیشترین درصد افزایش این صفت (۴۱/۹۸ درصد) در توده ایرانی تیمار شده با بیوزینک در مقایسه با شاهد (توده ایرانی بدون پیش تیمار) بود. همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین، کاربرد بیوزینک و اسید هیومیک به‌عنوان پیش تیمار به‌ترتیب موجب افزایش ۲۴/۳۵ و ۲۵/۹۳ درصدی این صفت در توده هندی در مقایسه با شاهد (توده هندی بدون پیش تیمار) شد (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر نوع توده و پیش تیمار بذور بر برخی صفات مورفولوژیکی سیاه‌دانه (*Nigella sativa*)

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول ریشه اصلی	ارتفاع اولین شاخه فرعی	تعداد شاخه‌های جانبی	عملکرد دانه
تکرار	۲	۴/۶۰ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۱۵/۷۶ ^{ns}	۰/۴۷ ^{ns}	۱۳/۰۷ ^{ns}
توده	۲	۳۰۱۲/۴۳ ^{**}	۲/۹۸ ^{**}	۳۳۲۶/۷۵ ^{**}	۴۱/۳۰ ^{**}	۱۱۵۷۴/۴۰ ^{**}
پیش تیمار	۲	۷۳/۰۵ ^{**}	۶/۶۶ ^{**}	۵۶/۸۷ [*]	۵۱/۶۰ ^{**}	۱۶۰۸/۶۵ ^{**}
توده × پیش تیمار	۴	۶۰/۶۲ ^{**}	۲/۴۸ ^{**}	۷۹/۴۰ ^{**}	۳۰/۹۶ ^{**}	۶۳۲/۲۹ ^{**}
خطای آزمایش	۱۶	۶/۶۶	۰/۱۷	۱۱/۸۲	۰/۵۵	۷۲/۰۲
ضرب تغییرات		۳/۶۱	۳/۸۷	۹/۰۴	۷/۴۴	۷/۰۹

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معناداری و معناداری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.

تعداد شاخه‌های جانبی

یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که نوع توده، پیش تیمار کردن بذور و اثر متقابل بین آن‌ها بر تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه سیاه‌دانه به‌طور معناداری اثرگذار بودند (جدول ۱). با توجه به اثر متقابل توده و پیش تیمار بذور، توده‌های سوری و هندی پیش تیمار شده با بیوزینک توانستند با اختلاف معنادار تعداد شاخه‌های جانبی بیشتری (به‌ترتیب ۱۶/۱۲ و ۱۵/۳۷ عدد) را نسبت به سایر تیمارها تولید نمایند؛ درحالی‌که کمترین تعداد شاخه‌های فرعی در توده ایرانی با و بدون پیش تیمار و همچنین توده هندی بدون پیش تیمار مشاهده شد. به‌طور کلی پیش تیمار با بیوزینک موجب افزایش ۱۰/۵۶، ۸۸/۹۸ و ۹۷/۵۵ درصدی تعداد شاخه‌های جانبی به‌ترتیب در توده‌های ایرانی، سوری و هندی در مقایسه با شاهد‌های این توده‌ها گردید (جدول ۲).

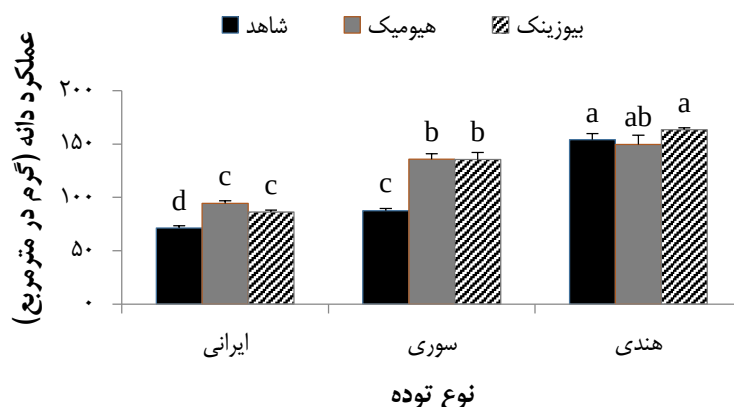
جدول ۲. اثر متقابل نوع توده و پیش تیمار بذور بر برخی صفات مورفولوژیکی سیاه‌دانه (*Nigella sativa*)

اثر متقابل	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول ریشه اصلی (سانتی‌متر)	ارتفاع اولین شاخه فرعی (سانتی‌متر)	تعداد شاخه‌های جانبی
ایرانی × شاهد	۴۲/۹۰ ^e	۹/۵۷ ^d	۱۳/۱۷ ^e	۶/۷۳ ^e
ایرانی × اسید هیومیک	۵۴/۲۹ ^d	۱۰/۳۳ ^c	۱۷/۵۰ ^d	۶/۹۳ ^e
ایرانی × بیوزینک	۵۴/۳۷ ^d	۱۰/۵۰ ^c	۱۸/۷۰ ^d	۷/۴۳ ^{de}
سوری × شاهد	۷۵/۰۷ ^c	۹/۳۸ ^d	۴۷/۲۴ ^b	۸/۵۳ ^{cd}
سوری × اسید هیومیک	۸۱/۰۵ ^b	۱۱/۳۳ ^b	۳۹/۲۲ ^c	۱۱/۶۰ ^b
سوری × بیوزینک	۸۳/۰۱ ^{ab}	۱۱/۶۰ ^{ab}	۴۶/۳۰ ^b	۱۶/۱۲ ^a
هندی × شاهد	۸۵/۲۰ ^{ab}	۱۰/۳۵ ^c	۴۵/۷۰ ^b	۷/۷۸ ^{de}
هندی × اسید هیومیک	۸۱/۹۰ ^{ab}	۱۱/۳۳ ^b	۵۷/۵۵ ^a	۹/۲۵ ^c
هندی × بیوزینک	۸۵/۵۷ ^a	۱۲/۱۷ ^a	۵۶/۸۳ ^a	۱۵/۳۷ ^a

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنادار به لحاظ آماری می‌باشد.

عملکرد دانه

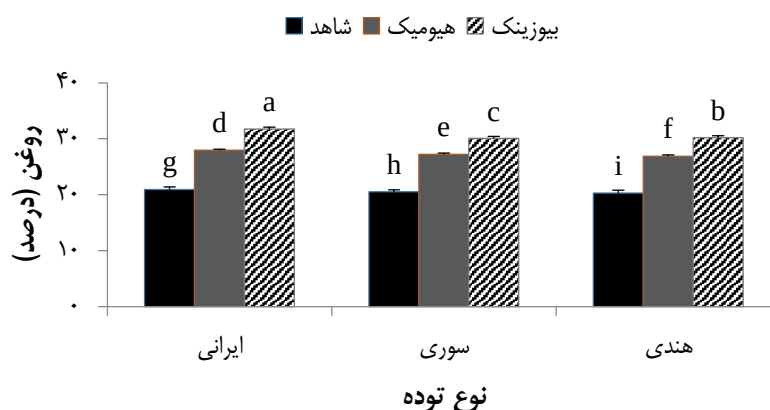
عملکرد دانه سیاه‌دانه تحت تأثیر نوع توده، پیش‌تیمار بذور و اثر متقابل نوع توده و پیش‌تیمار بذور قرار گرفت (جدول ۱). کاشت توده هندی پیش‌تیمار شده با بیوزینک توانست بیشترین درصد افزایش عملکرد را در مقایسه با شاهد نشان دهد عملکرد دانه (۱۶۳/۵۳ گرم در متر مربع) را موجب شود؛ هر چند اختلاف معناداری در این توده که با اسید هیومیک پیش‌تیمار شده بود و یا هیچ پیش‌تیماری نشده بود مشاهده نشد؛ شایان ذکر است که استفاده از توده هندی پیش‌تیمار شده با بیوزینک، اسید هیومیک و بدون پیش‌تیمار موجب افزایش ۱۲۸/۹۴، ۱۰۹/۴۱ و ۱۱۵/۶۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به توده ایرانی بدون پیش‌تیمار شد (شکل ۳).



شکل ۳. اثر متقابل نوع توده و پیش‌تیمار بذور بر عملکرد دانه سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند.

درصد روغن

براساس نتایج تجزیه واریانس، نوع توده، پیش‌تیمار بذور و برهمکنش این دو عامل تأثیر معناداری بر درصد روغن در گیاه سیاه‌دانه داشتند (جدول ۳). براساس مقایسه میانگین، بیشترین درصد روغن برآورد شده مربوط به توده‌های ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک با میانگین ۳۱/۷۷ درصد بود که اختلاف معناداری بین آن و سایر تیمارها وجود داشت. کمترین میزان روغن نیز با میانگین ۲۰/۳۲ درصد با اختلاف معنادار مربوط به توده هندی بدون پیش‌تیمار بود. براساس نتایج این صفت، توده ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک، افزایش ۱۸/۲۷ درصدی را در مقایسه با توده هندی بدون پیش‌تیمار نشان داد (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش‌تیمار بذور بر درصد روغن سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر نوع توده و پیش تیمار بذر بر برخی صفات فیزیولوژی سیاه دانه (*Nigella sativa*)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میزان روغن	فصل کل	فلاونوئید کل	فعالیت آنتی اکسیدانی
تکرار	۲	۱/۰۹ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۱/۰۸ ^{ns}	۰/۹۳ ^{ns}
توده	۲	۳/۱۹ ^{**}	۱/۰۶ ^{**}	۰/۱۳ ^{**}	۲/۴۳ ^{**}
پیش تیمار	۲	۲۳۷/۵۵ ^{**}	۳۴/۲۲ ^{**}	۴/۷۱ ^{**}	۶۶۵/۸۵ ^{**}
توده × پیش تیمار	۴	۰/۳۶ ^{**}	۰/۲۶ ^{**}	۰/۰۸ ^{**}	۰/۶۴ ^{**}
خطای آزمایش	۱۶	۱/۱۵	۱/۰۳	۱/۵۴	۱/۱۲
ضرب تغییرات		۵/۴۵	۴/۸۲	۵/۲۴	۶/۳۵

ns و **: به ترتیب نشان دهنده عدم معناداری و معناداری در سطح یک درصد می باشد.

فصل کل

نتایج در رابطه با میزان فصل کل نیز نشان داد که دو عامل نوع توده و پیش تیمار بذور و اثر متقابل آنها تأثیر معناداری بر این صفت گیاه سیاه دانه داشتند (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین برهمکنش، بیشترین فصل کل در توده ایرانی پیش تیمار شده با بیوزینک مشاهده شد به طوری پیش تیمار با بیوزینک موجب افزایش ۲۳/۳۴ درصدی میزان فصل در توده ایرانی در مقایسه با توده هندی بدون پیش تیمار بود (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش تیمار بذر بر برخی صفات فیزیولوژی سیاه دانه (*Nigella sativa*)

اثر متقابل	فصل کل (میلی گرم در گرم)	فلاونوئید کل (میلی گرم در گرم)	فعالیت آنتی اکسیدانی (درصد)
ایرانی × شاهد	۱۹/۸۸ ^g	۸/۲۹ ^g	۵۳/۷۵ ^g
ایرانی × اسید هیومیک	۲۲/۶۸ ^d	۹/۳۳ ^c	۶۶/۱۹ ^d
ایرانی × بیوزینک	۲۴/۲۰ ^a	۹/۹۰ ^a	۷۰/۰۵ ^a
سوری × شاهد	۱۹/۷۰ ^h	۸/۲۲ ^h	۵۲/۸۰ ^h
سوری × اسید هیومیک	۲۲/۳۹ ^e	۹/۲۳ ^f	۶۴/۷۶ ^f
سوری × بیوزینک	۲۳/۵۲ ^b	۹/۶۵ ^b	۶۹/۶۰ ^b
هندی × شاهد	۱۹/۶۳ ⁱ	۸/۲۲ ^h	۵۲/۸۰ ^h
هندی × اسید هیومیک	۲۲/۲۴ ^f	۹/۲۳ ^f	۶۴/۷۶ ^f
هندی × بیوزینک	۲۲/۸۴ ^c	۹/۳۱ ^e	۶۸/۹۵ ^c

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنادار به لحاظ آماری می باشد.

فلاونوئید کل

با توجه به جدول تجزیه واریانس، نوع توده، پیش تیمار بذور و برهمکنش این دو عامل، تأثیر معناداری بر میزان فلاونوئید کل در گیاه سیاه دانه داشتند (جدول ۳). کاشت توده ایرانی که با بیوزینک پیش تیمار شده بود توانست با اختلاف معنادار بالاترین محتوای فلاونوئید را با میانگین ۹/۹۰ میلی گرم در گرم و بالاترین درصد افزایش (۱۹/۴۲ درصد) را نسبت به شاهد (توده ایرانی بدون پیش تیمار) موجب شود؛ در صورتی که کمترین میزان این متابولیت ثانویه با اختلاف معنادار نسبت به سایر تیمارها در توده های هندی و سوری بدون پیش تیمار با میانگین ۸/۲۲ میلی گرم در گرم حاصل شد (جدول ۴).

فعالیت آنتیاکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس درصد فعالیت آنتی اکسیدانی نشان داد نوع توده، پیش تیمار بذور و اثر متقابل آنها تأثیر معناداری بر این صفت در گیاه سیاه دانه داشتند (جدول ۳). براساس مقایسه میانگین اثر متقابل، بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در

توده ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک با میانگین ۷۰/۰۵ درصد مشاهده شد که اختلاف معناداری بین این تیمار و سایر تیمارها وجود داشت. کمترین میزان این صفت نیز با میانگین ۵۲/۸۰ درصد با اختلاف معنادار مربوط به توده‌های هندی و سوری بدون پیش‌تیمار بود. بالاترین درصد افزایش (۳۰/۳۲ درصد) نیز در توده ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک در مقایسه با شاهد (توده ایرانی بدون پیش‌تیمار) مشاهده شد (جدول ۴).

همبستگی بین صفات

با توجه به جدول ۵، ارتفاع بوته سیاهدانه همبستگی مثبت و معناداری در سطح یک درصد با طول ریشه اصلی، ارتفاع اولین شاخه فرعی و تعداد شاخه‌های جانبی داشت. این نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع گیاه، مقادیر این صفات نیز افزایش داشته است. از طرف دیگر، عملکرد دانه سیاهدانه همبستگی منفی و معناداری در سطح یک درصد با ارتفاع بوته و ارتفاع اولین شاخه فرعی داشت؛ که مبین آن است که با افزایش ارتفاع بوته عملکرد دانه گیاه کاهش می‌یابد. طول ریشه اصلی سیاهدانه نیز همبستگی مثبت و معناداری در سطح یک درصد با تعداد شاخه‌های جانبی، درصد روغن، فنل کل، فلاوونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشت. همچنین تعداد شاخه‌های جانبی همبستگی مثبت و معناداری در سطح یک درصد با صفات فنل کل و فلاوونوئید کل و در سطح پنج درصد با درصد روغن و فعالیت آنتی‌اکسیدان نشان داد. این نشان می‌دهد که با افزایش تعداد شاخه‌های جانبی سیاهدانه مقادیر صفات کیفی افزایش یافته و دانه از کیفیت بالایی برخوردار خواهد بود. نتایج همبستگی همچنین آشکار ساخت که عملکرد دانه هیچ همبستگی با صفات کیفی سیاهدانه نداشت. همچنین صفات کیفی همبستگی بالا، مثبت و معناداری نسبت به یکدیگر داشتند. به عنوان مثال، افزایش درصد روغن سبب افزایش فنل کل، فلاوونوئید کل و درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (جدول ۵).

جدول ۵. ضریب همبستگی ساده بین متغیرهای اندازه‌گیری شده

صفات	ارتفاع بوته	طول ریشه اصلی	ارتفاع اولین شاخه فرعی	تعداد شاخه‌های جانبی	عملکرد دانه	درصد روغن	فنل کل	فلاوونوئید کل	فعالیت آنتی اکسیدانی
ارتفاع بوته	۱								
طول ریشه اصلی	۰/۵۱**	۱							
ارتفاع اولین شاخه فرعی	۰/۹۱**	۰/۳۲	۱						
تعداد شاخه‌های جانبی	۰/۴۹**	۰/۶۳**	۰/۲۴	۱					
عملکرد دانه	-۰/۷۲**	-۰/۱۴	-۰/۸۳**	-۰/۰۷	۱				
درصد روغن	۰/۱۲	۰/۷۸**	-۰/۰۴	۰/۴۵*	۰/۲۲	۱			
فنل کل	۰/۱۸	۰/۸۲**	۰/۰۲	۰/۵۲**	۰/۱۶	۰/۹۹**	۱		
فلاوونوئید کل	۰/۱۵	۰/۸۰**	۰/۰۱	۰/۵۰**	۰/۱۶	۰/۹۷**	۰/۹۹**	۱	
فعالیت آنتی اکسیدان	۰/۰۶	۰/۷۶**	-۰/۰۸	۰/۴۰*	۰/۲۷	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۰/۹۷**	۱

** و * به ترتیب معناداری در سطح یک و پنج درصد

بحث

عمل پوشش‌دار کردن بذر با اهداف مختلفی از جمله افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، تغییر ظاهر و اندازه بذر، امکان استقرار بهتر بذر، جلوگیری از آلودگی محیطی، کاهش هزینه‌ها، امکان کشت تأخیری، تغییر در میزان دسترسی بذر به رطوبت، افزایش میزان ظهور گیاهچه، رشد گیاه و توسعه ریشه و جلوگیری از خورده شدن بذر توسط جانوران انجام می‌گیرد. در این

روش مواد مختلفی از جمله آفت کش ها، مواد تنظیم کننده رشد، کودها، مواد جاذب رطوبت، پوششهای حساس به حرارت و عناصر غذایی به همراه مواد چسبنده به سطح خارجی بذر اضافه میگردد که سبب بهبود جوانهزنی و کارایی آن میشود (Kephart & Wichman, 2004; Saadat & Ehteshami, 2015).

پیش تیمار بذر با غلظت مناسب ترکیبات مورد کاربرد، به ویژه عناصر ریزمغذی می تواند بر رشد و فیزیولوژی محصولات زراعی مختلف تحت شرایط محیطی متغیر اثرگذار باشد (Berto et al., 2021). کاربرد عناصر ریزمغذی به عنوان پیش تیمار بذر سبب افزایش رشد و توسعه گیاهچه های گندم نان (Rehman & Farooq, 2016) و نخود (Ullah et al., 2019) در مقایسه با شاهد گردید.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که نوع توده بر ارتفاع بوته سیاه دانه تأثیر معناداری داشت (جدول ۱). مطالعات نشان می دهد ژنوتیپ های مورد مطالعه (جمیلی، اوشاک، هاتای، دیاربکر و بوردور) که از مناطق مختلفی از ترکیه جمع آوری شده بودند، از نظر ارتفاع بوته با یکدیگر اختلاف داشتند که در توافق با یافته های مطالعه حاضر می باشد (Can et al., 2021). از طرف دیگر، نتایج مطالعه دیگری در آتیوپی نشان داد که توده مورد مطالعه سیاه دانه اختلاف معناداری از نظر ارتفاع بوته با یکدیگر نداشتند که این تفاوت مشاهده شده با نتایج تحقیق حاضر را می توان به شرایط محیطی، آب و هوایی و موقعیت مکانی متفاوت در دو پژوهش نسبت داد (Shesuleiman et al., 2021).

در مطالعه حاضر، پیش تیمار بذر با بیوزینک و اسید هیومیک در مقایسه با شاهد سبب افزایش ارتفاع بوته های سیاه دانه (به استثناء توده هندی) گردید (جدول ۲)؛ عناصر ریزمغذی از جمله عنصر روی به دلیل تأثیر بر زیست ساخت (بیوسنتز) اکسین می تواند در افزایش ارتفاع بوته مؤثر باشد (Malakoti et al., 2001). به نظر می رسد افزایش میزان اکسین در نتیجه تأثیر عنصر روی با افزایش انبساط پذیری سلولها و همچنین افزایش غالبیت انتهایی در افزایش ارتفاع بوته مؤثر است (Ehteshami et al., 2013). کمبود روی سبب کوتاه شدن طول میانگرها و در نتیجه کاهش ارتفاع بوته می گردد (Foth & Ellis, 1999). در مطالعه حاضر نیز پیش تیمار بذور سیاه دانه با بیوزینک که یکی از اجزای این ترکیب عنصر روی میباشد، سبب افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد شد که با یافته های مطالعات فوق همخوانی دارد. می توان نتیجه گرفت که یکی از دلایل افزایش ارتفاع بوته در بذور پیش تیمار شده با بیوزینک می تواند به نقش عنصر روی در افزایش طول میانگرها مرتبط باشد. محققان اظهار داشتند که پیش تیمار بذور برنج با سولفات روی سبب افزایش ارتفاع بوته برنج در مقایسه با شاهد گردید؛ همچنین دریافتند به سبب تأثیر مثبت پیش تیمار بذور برنج بر سرعت سبز شدن و اثر آن بر بهبود توسعه سیستم ریشه ای به نظر می رسد گیاهان حاصل از این تکنیک، عناصر غذایی بیشتری جذب نموده و به تبع آن ارتفاع بالاتری کسب نمودند (Nazari et al., 2021). حمزه نوردوز و همکاران نیز در سال ۱۴۰۰ دلیل افزایش ارتفاع بوته در اثر کاربرد عنصر روی را به دلیل تأثیر این عنصر در سنتز اکسین بیان نمودند. نتایج پژوهش سال ۲۰۱۸ Olk و همکاران نشان داد کاربرد روی موجب افزایش ارتفاع گیاهانی همچون جعفری، بادرنجبویه، پروانش و مریمگلی آبی میشود. شهابوند و همکاران در پژوهش سال ۱۴۰۱ افزایش ۱۶ درصدی ارتفاع بوته ریحان را یا استفاده از نانوذرات روی گزارش نمود. براساس مطالعه Elhidi و همکاران در سال ۲۰۱۶ کاربرد روی در ریحان شیرین موجب افزایش معنادار ارتفاع نسبت به شاهد گردید.

براساس نتایج بدست آمده در این پژوهش برهمکنش نوع توده و پیش تیمار بذور بر طول ریشه اصلی گیاه سیاه دانه تأثیر معناداری داشتند (جدول ۱) و پیش تیمار بذور دو توده هندی و سوری با بیوزینک بیشترین طول ریشه را موجب شد (جدول ۲). گزارشات نشان می دهند که یکی از نقش های اساسی عنصر روی، افزایش رشد ریشه چه می باشد و به نظر می رسد افزایش اکسین بذر همراه با حضور عنصر روی سبب افزایش رشد ریشه شده است (Cakmak, 2008). همچنین عنصر روی در متابولیسم RNA و ریبوزوم در سلولهای گیاهی شرکت میکند و موجب تحریک تولید کربوهیدرات، پروتئین و DNA میشود. همانطور که ذکر شد، این عنصر از اجزای آنزیمهای کربونیک آنهیدراز و دهیدروژناز بوده که در ساخت اکسین که موجب طویل شدن سلول

میشود، شرکت میکند (Hatwar et al., 2003). نتایج پژوهش سال ۲۰۲۱ Anwer Bukhari و همکاران نیز در گیاه خریزه تلخ (*Momardica charantia*) نشان داد، پیش‌تیمار روی موجب افزایش معنادر رشد ریشه و اندام هوایی شد.

براساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در دو توده سوری و هندی پیش‌تیمار شده با بیوزینک بدست آمد. یافته‌های تحقیق انجام شده در ترکیه نیز نشان داد که تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه سیاه‌دانه به طور معناداری تحت تأثیر توده و ژنوتیپ قرار گرفت. آن‌ها بیان داشتند که بین ژنوتیپ‌های جمیلی و اوشاک با دیگر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش (هاتای، دیاربکر و بوردور) اختلاف معناداری از نظر تعداد شاخه‌های جانبی وجود داشت (Can et al., 2021). همچنین نتایج مطالعه‌ای در اتیوپی نیز نشان داد که توده مورد مطالعه سیاه‌دانه اختلاف معناداری از نظر تعداد شاخه جانبی با یکدیگر داشتند که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد (Shesuleiman et al., 2021). همچنین، پیش‌تیمار بذور نیز سبب افزایش شاخه‌های جانبی در گیاه سیاه‌دانه گردید؛ به‌طوری‌که پیش‌تیمار هر سه توده با بیوزینک در مقایسه با شاهد بدون پیش‌تیمار هر یک از توده‌ها سبب افزایش معنادر تعداد شاخه‌های جانبی گردید (جدول ۲). محققان دیگری نیز در مطالعه خود بیان داشتند که پیش‌تیمار بذور برنج با سولفات روی سبب افزایش تعداد پنجه در بوته برنج گردید که با یافته‌های تحقیق حاضر همخوانی دارد (Nazari et al., 2021). محققین دیگری نیز بیان داشتند که علت افزایش پنجه‌های بارور در گیاه زراعی مانند برنج می‌تواند به دلیل تحریک رشد اولیه گیاهچه به کمک پیش‌تیمار باشد. آن‌ها در ادامه اظهار داشتند که پیش‌تیمار بذور از طریق تأمین عناصر غذایی ضروری مورد نیاز برای رشد در اوایل فصل رشد می‌تواند سبب شدن سریع گیاهچه و ورود زودتر آن به مرحله اتوتروف و در نهایت دستیابی سریع‌تر به سطح سبز مطلوب گردد که در این حالت با افزایش توانایی جذب منابع موجب بهبود ویژگی زایشی از جمله پنجه‌های بارور می‌گردد (Farooq et al., 2007). در سال ۲۰۱۳ Elkerety و همکاران افزایش رشد زیست توده و اندام هوایی گیاه را در اثر کاربرد عنصر روی به‌دلیل مختلفی از جمله، افزایش بیوستنز اکسین، افزایش آنزیم کربونیک انهیدراز که در تمامی بافتهای فتوسنتزی وجود دارد و برای تولید کلروفیل ضروری است، بهبود عملکرد فتوسیستم‌های نوری، افزایش فعالیت فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز فسفات کربوکسیلاز، کاهش میزان سدیم در بافتهای گیاه، و افزایش جذب عناصری همچون نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و مس در حضور عنصر روی نسبت دادند.

نتایج در رابطه با عملکرد دانه نیز نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه بدست آمده به ترتیب مربوط به توده هندی و ایرانی بود (شکل ۳). همچنین نتایج نشان داد که پیش‌تیمار بذور در مقایسه با شاهد تأثیر افزایشی معناداری بر عملکرد دانه داشت، هر چند بین اسید هیومیک و بیوزینک اختلاف معناداری وجود نداشت (شکل ۳). چند پژوهشگر نیز گزارش کردند که مواد موجود در اسید هیومیک جذب مواد غذایی را توسط گیاه افزایش داده و از این طریق موجب افزایش کلروفیل و فتوسنتز گیاه و در نهایت عملکرد می‌گردد (Salman et al., 2005). پژوهشگرانی دیگر نیز افزایش عملکرد در نتیجه پیش‌تیمار بذر را به دلیل بهبود ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، رشد سریع گیاهچه، استقرار مناسب و در نهایت استفاده مطلوب از عوامل محیطی نور، رطوبت و خاک و عناصر غذایی نسبت دادند (Abbas Dokht et al., 2016; Seyami et al., 2017). پژوهش سال ۲۰۲۴ Umair Hassan و همکاران نیز بهبود رشد و به تبع آن افزایش عملکرد گیاه را با کاربرد پیش‌تیمار روی، به‌دلیل افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید که در نتیجه موجب جذب بهتر نور و افزایش فتوسنتز می‌شود، تأکید نمود.

در مطالعه انجام شده بر روی گیاه سیاه‌دانه مشخص شد که ژنوتیپ‌های مختلف (جمیلی، اوشاک، دیاربکر و بوردور) از نظر درصد روغن با یکدیگر اختلاف معناداری نداشتند (Can et al., 2021) که با یافته‌های مطالعه حاضر تفاوت دارد. این اختلاف می‌تواند به سبب استفاده از توده با منشاء جغرافیایی مختلف در تحقیق حاضر، شرایط رشدی، موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و محیطی بوده باشد (Matthaus & Ozcan, 2011; Hendawy et al., 2012)؛ چرا که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در تحقیق فوق به لحاظ وراثت ژنتیکی که تعیین کننده محتوای روغن می‌باشد، متفاوت بودند (Can et al., 2021).

پیش‌تیمار بذور سیاه‌دانه موجب افزایش معناداری در درصد روغن در مقایسه با شاهد شد و در این میان، پیش‌تیمار با بیوزینک بیشترین میزان روغن را موجب شد. یافته‌های پژوهش حاضر آشکار ساخت که پیش‌تیمار بذور سبب افزایش معناداری

در محتوای فنل و فلاوونوئید کل و درصد فعالیت رادیکال آزاد در مقایسه با شاهد شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل، بیشترین میانگین برآورد شده مربوط به توده ایرانی پیش تیمار شده با بیوزینک و کمترین میزان آن نیز مربوط به توده هندی بدون پیش تیمار بود. محققان نیز اظهار داشتند که عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ با اعمال پیش تیمار با آب نسبت به بذره‌های شاهد (بدون پیش تیمار) بیشتر بوده و با افزایش میزان رطوبت قابل دسترس برای گیاه عملکرد دانه افزایش و با تأخیر در آبیاری، درصد روغن کاهش یافت (Ashrafi & Razmjoo, 2014). بیشترین درصد روغن در تیمارهای پیش تیمار شده با سولفات روی با میانگین ۲۵ درصد و نترات پتاسیم ۲۴ درصد به دست آمد (Fanaei et al., 2015). این تأثیر می‌تواند به دلیل نقش ویژه‌ی این عناصر در افزایش فعالیتهای متابولیکی مخصوصاً واکنش‌های منتج به سنتز روغن باشد (Marshner, 1995). کمبود روی باعث جلوگیری از فعالیت تعدادی از آنزیمهای آنتی اکسیدان میشود که نتیجه آن خسارت شدید به غشای لیپیدی میباشد و این امر میتواند باعث کاهش میزان روغن دانه شود (Cakmak, 2000).

نتیجه‌گیری

نتایج کلی نشان داد که تمامی صفات مورد مطالعه تحت تأثیر نوع توده سیاهدانه و نوع پیش تیمار بذر قرار گرفتند. در این پژوهش پیش تیمار با بیوزینک بیشترین تأثیر را در افزایش رشد رویشی و صفات فیزیولوژیک توده‌های مورد بررسی به استثنای توده هندی داشت. این پیش تیمار در توده ایرانی، سوری و هندی به ترتیب موجب افزایش ۵۴/۵۷، ۲۰/۷۷ و ۶/۱۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمارهای شاهد این توده‌ها گردید. درصد روغن نیز با کاربرد پیش تیمار بیوزینک به میزان ۵۱/۵۷ درصد در توده ایرانی، ۴۶/۴۹ درصد در توده سوری و ۴۸/۷۲ درصد در توده هندی در مقایسه با شاهد این توده‌ها افزایش پیدا نمود. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اذعان نمود که اگر هدف دستیابی به عملکرد باشد؛ با پیش تیمار دو توده هندی و سوری با بیوزینک و اسید هیومیک می‌توان به عملکرد دانه بیشتری دستیافت؛ اما چنانچه منظور دستیابی به روغن و متابولیت‌های ثانویه بالاتر باشد؛ استفاده از توده ایرانی پیش تیمار شده با بیوزینک و اسید هیومیک می‌تواند مطلوب‌تر باشد.

پیشنهاده‌ها

سیاهدانه به دلیل دارا بودن متابولیت‌های ثانویه متنوع و همچنین اسیدهای چرب ضروری، در جوامع علمی و پزشکی مورد توجه بسیار زیادی قرار گرفته و به عنوان منبع ارزشمند روغن خوراکی نیز شناخته میشود. از آنجایی که جوانه‌زدن بذره‌های این گیاه ارزشمند به دلیل دارا بودن جنین کوچک و خواب فیزیولوژیکی با مشکل مواجه است، بنابراین برای بهبود جوانه‌زنی آن، نیاز به روش یا روش‌هایی است که جوانه‌زنی را تسهیل و رشد گیاهچه را تضمین نماید. پیش تیمار بذر به عنوان یکی از روش‌های مؤثر پیشنهاد شده است. از آنجاییکه نتایج این پژوهش حاکی از بهبود ویژگیهای رشدی و عملکرد سیاهدانه تحت تأثیر پیش تیمار بذر به ویژه پیش تیمار با کود بیوزینک میباشد، بنابراین پیشنهاد میگردد، سایر ترکیبات از جمله کودهای زیستی و ارگانیک و سایر عناصر غذایی کم مصرف به عنوان پیش تیمار بذر به صورت مقایسه‌ای با بیوزینک بررسی شوند.

سپاسگزاری و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از همکاری‌های معاونت پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در اجرای این پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۱۵-۱۴۰۱-۰۱ به واسطه حمایت‌های مالی اعلام می‌دارند.

منابع

- احتشامی، سید محمدرضا؛ جان زمین، ایمان؛ رضانی، مهدی؛ خاوازی، کاظم و زند، بهنام (۱۳۹۲). تأثیر مدیریت تلفیقی کود فسفر بر عملکرد کمی و کیفی دو رقم ذرت علوفه ای در ورامین. *بفزرارعی کشاورزی*، ۱۵(۱): ۹۵-۱۱۰.
- اشرفی، انسیه و رزمجو، جمشید (۱۳۹۳). اثر هیدروپرایمینگ بذر و رژیم آبیاری بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، درصد روغن و پروتئین دانه ارقام مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۳(۲۷): ۶۸-۶۱.
- حمزه نوردوز، ناصر؛ علیزاده سالطه، سعیده و گوهری، غلامرضا. (۱۴۰۰). اثرات اسیدفولیک و نانواکسید روی بر برخی ویژگیهای رشدی و اسانس گیاه بادنجبویه (*Melissa officinalis* L.). *نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی*، ۴(۱): ۳۰-۱۷.
- خرمدل، سرور؛ کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی و قربانی، رضا (۱۳۸۹). اثر کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.). *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۸(۵): ۷۵۸-۷۶۶.
- دوازده امامی، سعید و مجنون حسینی، ناصر (۱۳۸۶). *زراعت و تولید برخی گیاهان دارویی و ادویه‌ای*. انتشارات دانشگاه تهران.
- سعادت، فاطمه؛ احتشامی، سید محمدرضا؛ اصغری، جعفر و ربیعی، محمد. (۱۳۹۴). تأثیر پوشش‌دار کردن بذر با باکتری‌های محرک رشد و عناصر ریزمغذی بر عملکرد کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۶(۳): ۴۸۵-۴۹۶.
- سماوات، سعید و ملکوتی، محمدجعفر (۱۳۸۴). *ضرورت استفاده از اسیدهای آلی (هیومیک و فولویک) برای افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی*. نشریه فنی، شماره ۴۶۳. انتشارات سنا، تهران، ایران.
- شهابیوند، صالح؛ آقایی، احمد؛ اطهاری، معصومه و نصیری، یوسف. ۱۴۰۱. اثر کاربرد اکسید روی و نانو ذره روی بر رشد و فعالیت آنزیمهای آنتیاکسیدانی در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۱(۴۷): ۸۳-۹۴.
- صیامی، رضا؛ میرشکاری، بهرام؛ فرح‌وش، فرهاد؛ رشیدی، وره‌رام و تارینژاد، علیرضا (۱۳۹۶). اثر پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید و تنش کم‌آبی بر فعالیت آنزیمی و عملکرد ذرت دانه‌ای. *نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۹(۳۴): ۳۵-۲۳.
- عباس‌دخت، حمید؛ افشاری، حسین؛ اوجی، الهام و طاهری، شهرام (۱۳۹۵). اثر پرایمینگ بذر و سطوح مختلف کاربرد نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان رقم پروگرس. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۸(۲۹): ۱۲۰-۱۰۵.
- عباس‌دخت، حمید و عارف‌بیکی، محمد (۱۳۹۴). تأثیر هیدروپرایمینگ، تقسیط کود نیتروژن و عمق کاشت بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه هیبرید دابل کراس ۳۷۰ ذرت در منطقه خشک. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۲(۱): ۱۷۲-۱۴۹.
- فنائی، حمیدرضا؛ کیخا، هانیه و پیری، عیسی (۱۳۹۴). اثر پرایمینگ بذر بر عملکرد دانه و روغن گلرنگ تحت شرایط کم آبیاری. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۲(۲): ۴۹-۵۹.
- قربانی، صادق؛ خزاعی، حمیدرضا؛ کافی، محمد و بنایان اول، محمد (۱۳۸۹). اثر کاربرد اسید هیومیک در آب آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت (*Zea mays* L.). *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۲(۱): ۱۱۱-۱۱۸.
- ملک‌زاده، سمیه؛ فلاح، سیف‌اله و آذری، آرمان (۱۳۹۵). نقش سولفات روی و نترات پتاسیم در بهبود پارامترهای جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa*). *دو فصلنامه فن‌آوری تولیدات گیاهی*، ۸(۲): ۱۳۹-۱۵۱.
- نظری، شهرام؛ حسینی چالستری، مریم و اله‌قلی‌پور، مهرزاد (۱۴۰۰). اثر پرایمینگ و پوشش‌دار کردن بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۹(۳): ۲۸۷-۲۹۸.
- نوروزپور، قدیر، و رضوانی مقدم، پرویز (۱۳۸۴). اثر دوره‌های مختلف آبیاری و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa*). *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۳(۲): ۳۰۵-۳۱۵.

REFERENCES

- Abbas Dokht, H., & Aref Beyki, M. (2015). The effects of hydropriming, planting depth and nitrogen split application on grain yield and its components of 370 double cross hybrid corn in arid zone. *Journal of Plant Production Research*, 22(1), 149-172. (In Persian)
- Abbas Dokht, H., Afshari, H., Owji, E., & Taheri, S. (2016). The effect of seed priming and different levels of nitrogen application on quantitative and qualitative yield of sunflower progress cultivar. *Crop Physiology*, 8(29), 105-120. (In Persian)
- Alenezi, N. A. et al. (2022). Zinc oxide nanoparticles (ZnONPs), biosynthesis, characterization and evaluation of their impact to improve shoot growth and to reduce salt toxicity on *Salvia officinalis* in vitro cultivated. *Processes*, 1(1273).
- Amer, A., Ghoneim, M., Shoala, T., & Mohamed, H.I. (2021). Comparative studies of eco-friendly compounds like humic acid, salicylic, and glycyrrhizic acids and their nanocomposites on French basil (*Ocimum basilicum* L. Cv. *Grand verde*). *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Aminifard, M.H., Aroiee, H., Azizi, M., Nemati, H., & Jaafar, H.Z.E. (2012). Effect of humic acid on antioxidant activities and fruit quality of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 18(4), 360-369.
- Amir, H.S., & Hani, A. (2017). Effect of ethanol and humic acid foliar spraying on morphological traits, photosynthetic pigments and quality and quantity of essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal Plant Physiology*, 8, 2299-2306.
- Amirkhani, M., Netravali, A. N., Huang, W., & Taylor, A. G. (2016). Investigation of soy protein-based biostimulant seed coating for broccoli seedling and plant growth enhancement. *Hortscience*, 51, 1121-1126.
- Ampong, K., Thilakarathna, M.S., & Gorim, L.Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 1-10.
- Anwer Bukhari, S., Farah, N., Mahmood, S., Altaf, J., & Mustafa, G. (2021). Effects of seed priming with zinc sulfate on nutritional enrichment and biochemical fingerprints of *Momordica charantia*. *Journal of Food Quality*, 1-13.
- Ariafar, S., & Forouzandeh, M. (2017). Evaluation of humic acid application on biochemical composition and yield of black cumin under limited irrigation condition. *Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liège*, 86(1), 13-24.
- Ashrafi, E., & Razmjoo, J. (2014). Effect of seed hydropriming and irrigation regimes on grain, biological yield, harvest index, oil and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 103, 61-68. (In Persian)
- Bakry, B.A., Taha, M.H., Abdelgawad, Z.A., & Abdallah, M.M.S. (2014). The role of humic acid and proline on growth, chemical constituents and yield quantity and quality of three flax cultivars grown under saline soil conditions. *Agricultural Science*, 5, 1566-1575.
- Balandr'an-Valladares, M.I., Cruz-Alvarez, O., Jacobo-Cuellar, J.L., Hernandez Rodríguez, O.A., Flores-Córdova, M.A., Parra-Quezada, R., Sánchez-Chávez, E., & Ojeda-Barrios, D.L. (2021). Changes in nutrient concentration and oxidative metabolism in pecan leaflets at different doses of zinc. *Plant Soil and Environment*, 67(1), 33-39.
- Barthet, B., Chornick, V.J. & Daun, J.K. (2002). Comparison of methods to measure the oil contents in oilseeds. *Journal of Oleo Science*, 51(9), 589-597.
- Berto, B., Ritchie, A.L., & Erickson, T.E. (2021). Seed-enhancement combinations improve germination and handling in two dominant native grass species. *Restoration Ecology*, 29(1), 13275.
- Bettoni, M.M., Mogor, A. F., Pauletti, V., & Goicoechea, N. (2014). Growth and metabolism of onion seedlings as affected by the application of humic substances, mycorrhizal inoculation and elevated CO₂. *Scientia Horticulturae*, 180, 227-235.
- Cakmak, I. (2000). Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146(2), 185-205.

- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc, Agronomic or genetic bio fortification. *Plant and Soil*, 302, 1-17.
- Can, M., Katar, D., Katar, N., Bagci, M., & Subasi, I. (2021). Yield and fatty acid composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) populations collected from regions under different ecological conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(2), 1325-1336.
- Canellas, L.P., Dobbss, L. B., Oliveira, A.L., Chagas, J.G., Aguiar, N. O., Rumjanek, V. M., Novotny, E. H., Olivares, F. L., Spaccini, R., & Piccolo, A. (2012). Chemical properties of humic matter as related to induction of plant lateral roots. *European Journal of Soil Science*, 63, 315-324.
- Chandrika, K. S. V. P., Prasad, R. D., & Godbole, V. (2019). Development of chitosan-PEG blended films using *Trichoderma*, Enhancement of antimicrobial activity and seed quality. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, 282-290.
- Chauhan, J.S., Tomar, A., Singh, N.I., Ali, S., & Debarati, A. (2009). Effect of growth hormones on seed germination and seedling growth of black gram and horse gram. *Journal of American Science*, 5, 79-84.
- Chen, K., Arora, R., & Arora, U. (2010). Osmopriming of Spinach (*Spinacia oleracea* L. CV. Bloomsdale) seeds and germination performance under temperature and water stress. *Seed Science and Technology*, 38, 36-48.
- Dadkhah, A. (2024). Effect of seed priming and soil application of humic acid on growth and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 3, 513-518.
- Davazdahemami, S., & Majnoon Hosseini, N. (2007). *Cultivation and Production of Some Medicinal Plants and Spices*. Tehran, Tehran University Publications. (In Persian).
- Day, S., & Koçak-Şahi, N. (2023). Seed priming with $MgCl_2$, $CaCl_2$, and $ZnCl_2$ as a biofortification based-approach induces changes in Anise seedlings emergence. *Phyton*, 92(8), 2462-2471.
- Dewir, Y.H., El-Mahrouk, M.E., & Naidoo, Y. (2011). Effects of some mechanical and chemical treatments on seed germination of *Sabal palmetto* and *Thrinax morrisiipalms*. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 248-253
- Dong, Y., Silbermann, M., Speiser, A., Forieri, I., Linster, E., Poschet, G., Samami, A.A., Wanatabe, M., Sticht, C., Teleman, A A., Deragon, J., Saito, K., Hell, R., & Wirtz, M. (2017). Sulfur availability regulates plant growth via glucose-TOR signaling. *Nature Communications*, 8(1), 1-10.
- Ebrahimi, M., & Miri Karbasak, E. (2016). Investigation effect of humic acid on germination, seedling growth and photosynthesis pigments of medicinal plant Isabgol (*Plantago ovata* Forssk). *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 3(3), 35-46.
- Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., & Hamidinia, A. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activity of *Feijoa sellowiana* fruit peel and leaves. *Pharmacology*, 1, 7-14.
- Ehteshami, S. M. R., Janzamin, A., Ramezani, M., Khavazi, K., & Zand, B. (2013). Effect of integrated management of phosphorus fertilizer on quantitative and qualitative yield of two forage corn cultivars in Varamin. *Journal of Crop Improvement*, 15(1), 95-110. (In persian)
- Elhindi, K., Al-Suhaibani, N. A., El-Din, A. F. S., Yakout, S. M., & Al-Amri, S. M. (2016). Effect of applied iron and zinc on growth rate and essential oil in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under saline conditions. *Progress in Nutrition*, 18, 288-298.
- Elhindi, K.M., Dewir, Y.H., Asrar, A.W., Abdel-Salam, E., El-Din, A.S., & Ali, M. (2016). Improvement of seed germination in three medicinal plant species by plant growth regulators. *HortScience* 51, 887-891.
- El-Kerety, M.A., El-feky, S. A., Khater, M.S., Osman, Y.A., El-sheibini, E.A. (2013). ZnO nanofertilizer and He Ne laser irradiation for promoting growth and yield of sweet basil plant. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*, 5, 169-181.
- El-Mahrouk, M.E., Maamoun, M.K., Dewir, Y.H., El-Banna, A.N., Rihan, H.Z., Salamh, A., Al-Aizari, A.A., & Fuller, M.P. (2022). Synchronized seed germination and seedling growth of black cumin. *Horttechnology*, 32(2), 182-190.

- El-Nashar, Y.I., & Dewir, Y.H. (2019). Stimulation of germination and seedling vigor in dormant seeds of african juniper. *HortTechnology* 29, 874–879.
- Ekren, S., Paylan, I.C., & Gokcol, A. (2023). Seed quality improvement applications in black cumin seeds (*Nigella sativa* L.). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1212958.
- Fanaei, H., Keikha, H., & Piri, E. (2015). Effect of seed priming on grain and oil yield of safflower under irrigation deficit conditions. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 2(2), 49-59.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., & Ahmad, N. (2007). Improving the performance of transplanted rice by seed priming. *Plant Growth Regulation*, 51, 129-137.
- Fernandez, C., Voiriot, S., Mevy, J., Vila, B., Ormen, O. E., Dupouyet, S., & Bousquet-Melou, A. (2008). Regeneration failure of *Pinus halepensis* mill, the role of autotoxicity and some abiotic environmental parameters. *Forest Ecology and Management*, 93, 165-184.
- Foth, H.D., & Ellis, B.G. (1999). *Soil Fertility* (2th edition). Lewis publishers CRC press, Dept. MLCHIGON.
- Fuentes-Lara, L. O., Medrano-Macías, J., Pérez-Labrada, F., Rivas-Martínez, E. N., García-Enciso, E.L., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A., Rincón-Sánchez, F., & Benavides-Mendoza, A. (2019). From elemental sulfur to hydrogen sulfide in agricultural soils and plants. *Molecules*, 24(12), 2282.
- Garcia, M.C.V., Estrella, F.S., Lopes, M.J., & Moreno, J. (2008). Influence of compost amendment on soil biological properties and plants. *Dynamic soil Dynamic Plant*, 1, 1-9.
- Garcia-Lopez, J., Zavala-Garcia, F., Olivares-Saenz, E., Lira-Saldivar, R., Diaz Barriga-Castro, E., Ruiz Torres, N., Ramos-Cortez, E., Vazquez-Alvarado, R., & Nino-Medina, G. (2018). Zinc oxide nano particles boosts phenolic Compounds and Antioxidant Activity of *Capsicum annuum* L. during Germination. *Agronomy*, 8(215), 1-12.
- Genc, Y., McDonald, G.K., & Graham, R.D. (2005). The interactive effects of zinc and salt on growth of wheat. Plant nutrition for food security, *human health and environmental protection*, pp. 548–549. Beijing, China, Tsinghua University Press
- Ghiyasi, M., Siavash Moghaddam, S., Amirnia, R., & Damalas, C.A. (2018). Chemical priming with salt and urea improves germination and seedling growth of black cumin (*Nigella sativa* L.) under osmotic stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 6, 1-9.
- Gholami, M., Mokhtarian, F., & Baninasab, B. (2015). Seed halopriming improves the germination performance of black seed (*Nigella sativa*) under salinity stress conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 18(1), 21-26.
- Ghorbani, S., Khazaei H.R., Kafi, M., & Banayan Aval, M. (2010). Effect of humic acid application with irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 2(1), 111-118. (In Persian).
- Hamam, K.A., AwadAlla, S.S.S., & Noreldin, T. (2021). Response of growth, yield and essential oil of geranium plants to surface irrigation and humic acid treatments. *Asian Plant Research Journal*, 7, 39-56.
- Hamzeh Nourdoz, N., Alizadeh Salteh, S., & Gohari, G. (2020). Effects of application of fulvic acid and zinc oxide nanoparticle on some growth parameters and essential oils of lemon basil (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 4(1), 17-30.
- Hanif, M., Munir, N., Abideen, Z., Hong Yong, J.W., El-Keblawy, A., & El-Sheikh, M.A. (2024). Synthesis and optimization of nanoparticles from *Phragmites karka* improves tomato growth and salinity resilience. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 55(102972).
- Hatwar, G.P., Gondane, S.M., Urkade, S.M., & Gahukar, O.V. (2003). Effect of micronutrients on growth and yield of chilli. *Soils and Crops*, 13(1), 5-123.
- Hendawy, S.F., El-Sherbeny, S.E., Hussein, M.S., Khalid, K.A., & Ghazal, G.M. (2012). Response of two species of black cumin to foliar spray treatments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(10), 636-642.
- Henriet, C., Aime, D., Terezol, M., Kilandamoko, A., Rossin, N., Combes-Soia, L., Labas, V., Serre, R. F., Prudent, M., Kreplak, J., Vernoud, V., & Gallardo, K. (2019). Water stress combined with sulfur deficiency in pea affects yield components but mitigates the effect of deficiency on

- seed globulin composition. *Journal of Experimental Botany*, 70, 4287-4303.
- Hussain, A., et al. (2021). Combined use of different nanoparticles effectively decreased cadmium (Cd) concentration in grains of wheat grown in a field contaminated with Cd. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 215, 112139.
- Imran, M., Mahmood, A., Neumann, G., & Boelt, B. (2021). Zinc seed priming improves spinach germination at low temperature. *Agriculture*, 11(3), 271.
- Juárez, R., Cecilia, R., Craker, L.E., Rodríguez Mendoza, M.N., & Aguilar-Castillo, J.A. (2011). Humic substances and moisture content in the production of biomass and bioactive constituents of *Thymus vulgaris* L. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(3), 183-188.
- Kalhor Monfared, R., Paknejad, F., & Nabi Ilkaee, M. (2022). The organic priming role in the alleviation of salinity damage on seed germination of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Organic Farming of Medicinal Plants*, 1(2), 44-50.
- Kangsopa, J., Hynes, R.K., & Siri, B. (2018). Lettuce seeds pelleting, A new bilayer matrix for lettuce (*Lactuca sativa*) seeds. *Seed Science and Technology*, 46, 521-531.
- Kayacetin, F. (2022). Response to direct selection against drought stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 6888187.
- Kayaçetin, F. (2023). Impact of seed priming treatments to enhance germination of black mustard against dormancy. *International Journal Agricultural and Life Sciences*, 7(2), 43-46.
- Kephart, K.D., & Wichman, D.M. (2004). Polymer seed coating effect on plant establishment and yield of fall seeded canola in the northern Great plains. *Canadian Journal of Plant Science*, 84, 955-963.
- Khalil, S.E., & Abdel-Kader, A.S. (2011). The Influence of soil moisture stress on growth, water relation and fruit quality of *Hibiscus sabdariffa* L. grown within different soil types. *Natural Science*, 9(4), 62-74.
- Khorramdel, S., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., & Ghorbani, R. (2010). Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(5), 758-766.
- Koocheki, A., Fallahi, H.R., Amiri, M.B., & Ehyaei, H.R. (2016). Effects of humic acid application and mother corm weight on yield and growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Agroecology*, 7(4), 1-18.
- Li, Q., Gao, Y., & Yang, A. (2020). Sulfur homeostasis in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 8926.
- Liu, C., & Cooper, R.J. (2000). Humic substances influence creeping bentgrass growth. *Golf Course Management*, 12, 49-53.
- Malakoti, M.J., & Tehrani, M.M. (2001). *Effects of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products. Micro-nutrients with Macro-nutrients*. 2nd Edition, Tarbiat Modarres University Press, Tehran. (In Persian)
- Malekzade, S., Fallah, S., & Azari, A. (2016). The role of zinc sulfate and potassium nitrate on seed germination parameters improvement of black cumin (*Nigella sativa*). *Medicinal Plant*, 8(2), 139-151.
- Marshner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press, London, UK.
- Masondo, N.A., Kulkarni, M.G., Finnie, J.F., & Van Staden, J. (2018). Influence of biostimulant seed-priming on *Ceratothera triloba* germination and seedling growth under low temperatures, low osmotic potential and salinity stress, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 43-48.
- Matthaus, B., & Ozcan, M.M. (2011). Fatty acids, tocopherol, and sterol contents of some *Nigella* species seed oil. *Czech Journal of Food Science*, 29(2), 145-150.
- Mohamed, S.B., Rania, M.A.N., & Fouad, A.A. (2012). Response of sesame plant (*Sesamum orientale* L.) to treatments with mineral and bio-fertilizers. *Research Agriculture and Biological Sciences*, 8(2), 127-137.
- Mohsennian, O., & Jalilian, J. (2012). Response of safflower seed quality characteristics to different soil fertility systems and irrigation disruption. *International Research Journal of Applied and*

- Basic Sciences*, 3(5), 968-976.
- Moradi, R., Nassiri Mahallati, M., Rezvani Moghaddam, P., Lakzian, A. and Alinejad, A., (2011). Effect of biological and organic fertilizers on quality and quantity of essential oil of anise (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Horticultural Science*, 25(1), 25-33.
- Moreno, C., Seal, C.E., & Papenbrock, J. (2018). Seed priming improves germination in saline conditions for *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204, 40-48.
- Muscolo, A., Sidari, M., Francioso, O., Tugnoli, V., & Nardi, S. (2007). The auxin-like activity of humic substances is related to membrane interactions in carrot cell culture. *Journal of Chemical Ecology*, 33, 115-129.
- Nakai, Y., & Maruyama-Nakashita, A. (2020). Biosynthesis of sulfur-containing small biomolecules in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10), 3470.
- Narayan, O.P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M., & Johri, A.K. (2023). Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), 1-11.
- Nazari, SH., Hosseini Chelshotori, M., & Allahgholipour, M. (2021). Effect of seed priming and encrusting coating on yield and yield components of two rice cultivars. *Field Crop Research*, 19(3), 287-298. (In Persian)
- Nofal, E.M.S., Menesi, F.A., EL-Bably, S.Z., & Abd EL Rahman, M. (2020). Effect of NPK and humic acid on growth, flowering and chemical composition of (blue sake) *Erantheum pulchellum* Andrews plant. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18, 2555-2567.
- Norozpoor, G., & Rezvani Moghaddam, P. (2002). Effect of different irrigation 15 intervals and plant density on oil yield and essences percentage of black cumin (*Nigella sativa*). *Pajouhesh & Sazandegi*, 73, 133-138. (In Persian).
- Nouria, M., & Haddioui, A. (2021). Improving seed germination and seedling growth of *Lepidium sativum* with different priming methods under arsenic stress. *Acta Ecologica Sinica*, 41, 64-71.
- Okello, D., Komakech, R., Gang, R., Rahmat, E., Chung, Y., Omujal, F., & Kang, Y. (2022). Influence of various temperatures, seed priming treatments and durations on germination and growth of the medicinal plant *Aspilia africana*. *Scientific Reports*, 12(1), 14180.
- Olk, D. C., Dinnes, D. L., Scoresby, J. R., Callaway, C. R., & Darlington, J. W. (2018). Humic products in agriculture, potential benefits and research challenges-a review. *Journal of Soils and Sediments*, 18(8), 2881-2891.
- Otiende, M.A., Fricke, K., Nyabundi, J.O., Ngamau, K., Hajirezaei, M.R. & Druege, U. (2021). Involvement of the auxin–cytokinin homeostasis in adventitious root formation of rose cuttings as affected by their nodal position in the stock plant. *Planta*, 254(4), 1-17.
- Papastylianou, P., Bakogianni, N.N., Travlos, I., & Roussis, I. (2018). Sensitivity of seed germination to salt stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici CLUG-NAPOCA*, 46, 202-205.
- Proklamasiningsih, E., Widodo, P., & Sudiana, E. (2023). Effects of humic acid and planting media on antioxidant production in the medicinal plant valerian (*Valeriana officinalis* L.). *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 88(3), 193-197.
- Raj, A.B., & Raj, S.K. (2019). Seed priming, An approach towards agricultural sustainability. *Journal of Applied and Natural Science*, 11(1), 227-234.
- Rehman, H., Nawaz, Q., Basra, S. M. A., & Hassan, F. (2014). Seed priming influence on early crop growth, phenological development and yield performance of linola (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 13(5), 990-996.
- Rehman, A., & Farooq, M. (2016). Zinc seed coating improves the growth, grain yield and grain biofortification of bread wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(10), 1-10.
- Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., Zia Rehman, M., & Waris, A.A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat, *Chemosphere*, 214, 269-277.
- Rose, T.J., Impa, S.M., Rose, M.T., Pariasca-Tanaka, J., Mori, A., Heuer, S., Johnson-Beebout, S.E.,

- & Wissuwa, M. (2013). Enhancing phosphorus and zinc acquisition efficiency in rice, a critical review of root traits and their potential utility in rice breeding. *Annals of Botany*, 112(2), 331-345.
- Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R., & Cavagnaro, T.R. (2014). A Meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances, Practical implications for agric. *Advances Agronomy*, 24, 37-89.
- Rouhi, H. R., Sepehri, A., & Karimi, F. (2012). Study of dormancy-breaking of black cumin seeds (*Nigella sativa* L.). *Annals of Biological Research*, 3, 2651-2655
- Saadat, F., Ehteshami, S.M.R., Asghari, J., & Rabiee, M. (2015). Effect of seed coating with growth promoting bacteria and micronutrients on quantitative and qualitative yield of forage corn (*Zea mays* L. SC. 640). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 46(3), 485-496. (In Persian).
- Sabzevari, S., Khazaie, H.R., & Kafi, M. (2009). Effect of humic acid on root and shoot growth of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal Water and Soil*, 23, 87-94.
- Safyan, N., Naderi Darbaghshahi, M. R., & Bahari, B. (2012). The effect of microelements spraying on growth, qualitative and quantitative grain corn in Iran. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3, 2780-2784.
- Salama, D.M., Osman, S.A., Abd El-Aziz, M.E., Abd El wahed, M.S.A., & Shaaban, E.A. (2019). Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth, genomic DNA, production and the quality of common dry bean (*Phaseolus vulgaris*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18(101083).
- Salcedo, M.F., Colman, S.L., Mansilla, A.Y., Martinez, M.A., Fiol, D.F., Alvarez, V.A., & Casalongue, C.A. (2020). Amelioration of tomato plants cultivated in organic-matter impoverished soil by supplementation with *Undaria pinnatifida*. *Algal Research*, 46, 101785.
- Salman, S.R., Abou-Hussein, S.D., Abdel-Mawgoud, A.M.R., & El-Nemr, M.A. (2005). Fruit yield and quality of watermelon as affected by hybrids and humic acid application. *Journal of Applied Sciences Research*, 1, 51-58.
- Samavat, S., & Malakuti. M. (2005). *The Necessity of using organic acid (humic and folic) to the increase the quality and quantity of agricultural productes*. Technical Publication, Tehran the Senate, 463p. (In Persian)
- Sanjari-Mijani, M. (2014). Effect of humic acid and drought stress on qualitative and quantitative indices of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) medicinal plant. Univ. of Zabol, M.Sc. Thesis.
- Sanjari-Mijani, M., Sirousmehr, A., & Fakheri, B.A. (2015). The Effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Agricultural Crop Management*, 17(2), 403-414.
- Seyami, R., Mirshekari, B., Farahvash, F., Rashidi, V., & Tari Nejad. A.R. (2017). The effect of seed priming with salicylic acid and water deficit tension on enzyme activity and yield of grain corn. *Crop Physiology*, 9(34), 23-35. (In Persian).
- Shahabivand, S., Aghaee, A., Athari, M., & Nasiri, Y. (2021). Effect of application of zinc oxide and zinc nanoparticle on growth and antioxidant enzyme activities in pharmaceutical plant basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 11(47), 83-94.
- Shesuleiman, M., Mengistu, H., & Jaleta, A. (2021). Effects of seeding rate and variety on growth and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) at Burusa, southwestern Ethiopia. *American Journal of Plant Biology*, 6(4), 78-83.
- Singh, P., Ari, f.Y., Siddiqui, H., Sami, F., Zaidi, R., Azam, A., Alam, P., & Hayat, S. (2021). Nano particles enhances the salinity toxicity tolerance in *Linum usitatissimum* L. by modulating the antioxidative enzymes, photosynthetic efficiency, redoxstatus and cellular damage. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213(112020).
- Song, J., Fan, H., Zhao, Y., Jia, Y., Du X., & Wang, B. (2008). Effect of salinity on germination, seedling emergence, seedling growth and ion accumulation of a euhalophyte Suaeda salsa in an intertidal zone and on saline inland. *Aquatic Botany*, 88, 331-33.
- Sönmez, Ç., Gökçöl, A., Şimşek Soysal, A.Ö., Bayram, E., & Celen, A.E. (2019). Research on

- germination and emergence performance enhancing treatments on sage (*Salvia* spp.) species. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology*, 7, 504-510.
- Suganya, A., Saravanan, A., & Manivannan, N. (2020). Role of zinc nutrition for increasing zinc availability, uptake, yield, and quality of maize (*Zea mays* L.) grains, an overview. *Communcation Soil Science and Plant Analysis*, 51(15), 2001-2021
- Tajbakhsh, M., Hasanzadeh, A., & Aghaii, R. (2015). The effect of different priming treatments on mrphophysiological characteristics and yield of two wheat cultivars in optimal conditions and irrigation cut-off. *Applied Field Crops Research*, 28(4), 74-84. (In Persian).
- Tan, U. (2024). Effects of seed priming on germination of *Nigella sativa* L. and comparison of germination performance with yield parameters in field conditions. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 12(6), 1026-1032.
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity attheplant-soilinterface. *Plant Signaling and Behavior*, 5(6), 635-643.
- Tripathi, R., Tewari, R., Singh, K.P., Keswani, C., Minkina, T., Srivastava, A.K., De Corato, U., & Sansinenea, E. (2022). Plant mineral nutrition and disease resistance, a significant linkage for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-12.
- Ullah, A., Farooq, M., Hussain, M., Ahmad, R., & Wakeel, A. (2019). Zinc seed coating improves emergence and seedling growth in desi and kabuli chickpea types but shows toxicity at higher concentration. *International Journal Agriculture Biology*, 21, 553-559.
- Umair Hassan, M., Chattha, M.U., Khan, I., Khan, T.A., Nawaz, M., Tang, H., Noor, M.A., Asseri, T.A.Y., Hashem, M., & Guoqin, H. 2024. Zinc seed priming alleviates salinity stress and enhances sorghum growth by regulating antioxidant activities, nutrient homeostasis, and osmolyte synthesis. *Agronomy*, 14, 1815.
- Venkatachlam, P. Priyanka, N., Manikandan, K., Ganeshbabu, I., Indiraarulselvi, P., Geetha, N., Muralikrishna, K., Bhattacharya, R. C., Tiwari, M., Sharma, N., & Sahi, S. V. (2017). Enhanced plant growth promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 118-127.
- Waqas Ashraf, M. (2024). Zinc (ZnO) and titanium (TiO₂) nanoparticles effect on micropropagation of *Salvia rosmarinus* Sp. master' sthesis faculty of tropical agrisciences, Czech University of Life Sciences Prague, 58 p.
- Wu, S., Li, R., Peng, S., Liu, Q., & Zhu, X. (2017). Effect of humic acid on transformation of soil heavy metals. InIOP Conference Series, *Materials Science and Engineering*, 207(1), 1-7.
- Yu, Z., Juhasz, A., Islam, S., Diepeveen, D., Zhang, J., Wang, P., & Ma, W. (2018). Impact of mid-season sulphur deficiency on wheat nitrogen metabolism and biosynthesis of grain protein. *Scientific Reports*, 8(1), 2499.