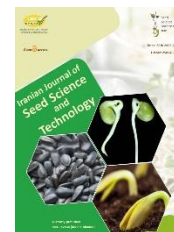




Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

The response of germination and seedling vigour black cumin (*Nigella sativa* L.) different ecotypes to seed priming with humic acid and zinc

Faezeh Zaefarian^{1*} , Mohammad Mehdi Mirzaee² , Shiva Taheri³ 

1. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
2. Ph.D. Student of Crop Ecology, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
3. M.Sc. Graduated Student of Agroecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Article Information

Received: 18 Oct. 2023
Revised: 12 Feb. 2024
Accepted: 27 Feb. 2024

Keywords:

Biozinc,
Medicinal plants,
Germination percentage,
Germination uniformity,
Radicle length,
Allometric coefficient

Corresponding Author:

fa_zaefarian@yahoo.com



Abstract

In order to investigate the effect of priming of seeds with on germination and seedling indices of three ecotype of black cumin seed, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized block design in four replications at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2021. The treatments of this experiment were ecotype in three levels Iranian, Indian and Syrian and seed priming in three levels humic acid, biozinc and control (without pretreatment). Characteristics of germination percentage and rate, germination uniformity, root, shoot and seedling length, dry weight of root, shoot and seedling, seedling tissue water content, seedling length vigour index and allometric coefficient were measured. The results showed that the studied treatments and their interaction had a significant effect on most of the measured traits. The maximum and minimum germination percentages (93.67% and 83.33%, respectively) were allocated to Iranian and Indian ecotypes; while the maximum germination uniformity (256.79 hours) was obtained in the Syrian ecotype pretreated with humic acid and the minimum germination uniformity (134.40 hours) was obtained in both Iranian ecotype without priming and the Iranian ecotype pretreated with biozinc. Also, the highest seedling length and seedling length vigour index were recorded in Iranian ecotypes pretreated with humic acid (4.20 cm and 400.21), respectively, and the lowest ones (1.42 cm and 113.01) in Syrian ecotype pretreated with biozinc. According to the results of the present research, black cumin priming with humic acid has a significant effect on some germination indices such as length index of seed stem and seedling, allometric coefficient, dry weight of radicle, shoot and seedling, length of radicle, shoot and seedling and germination uniformity.

How to cite this paper: Zaefarian, F., Mirzaee, M.M., Taheri, S. (2025). The response of germination and seedling vigour black cumin (*Nigella sativa* L.) different ecotypes to seed priming with humic acid and zinc. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, XX (X), XX-XX. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.363805.1503>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Black cumin (*Nigella sativa* L.) is an annual plant from the Ranunculaceae family that has a variety of uses in traditional medicine. Many medicinal plants face the problem of germination and seedling establishment in field conditions, and since the germination and seedling establishment stage is a very important stage in the life cycle of plants, therefore, applying strategies that improve germination and seedling establishment as well as yield will significantly contribute to the cultivation of medicinal plants. One of the common techniques that can increase the percentage, rate and uniformity of seed germination and sprouting under adverse environmental conditions, which can increase resistance to environmental stress in plants is seed priming. Therefore, the present experiment was conducted to investigate the effectiveness of suitable micronutrients for seed priming of different black cumin cultivars on some germination and establishment indices of this plant.

Material and methods

In order to investigate the effect of priming of seeds with on germination and seedling indices of three ecotype of black cumin seed, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized block design in four replications at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2021. The treatments of this experiment were ecotype in three levels Iranian, Indian and Syrian and seed priming in three levels humic acid, biozinc and control (without priming).

Characteristics of germination percentage and rate, germination uniformity, root, shoot and seedling length, dry weight of root, shoot and seedling, seedling tissue water content, seedling length vigour index and allometric coefficient were measured.

Results and discussion

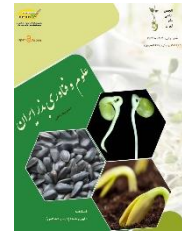
The results showed that the studied treatments and their interaction had a significant effect on most of the measured traits. The maximum and minimum germination percentages (93.67% and 83.33%, respectively) were allocated to Iranian and Indian ecotypes; while the maximum germination uniformity (256.79 hours) was obtained in the Syrian ecotype pretreated with humic acid and the minimum germination uniformity (134.40 hours) was obtained in both Iranian ecotype without priming and the Iranian ecotype pretreated with biozinc. Also, the highest seedling length and seedling length vigour index were recorded in Iranian ecotypes pretreated with humic acid (4.20 cm and 400.21), respectively, and the lowest ones (1.42 cm and 113.01) in Syrian ecotype pretreated with biozinc.

Conclusion

According to the results of the present research, black cumin priming with humic acid has a significant effect on some germination indices such as length index of seed stem and seedling, allometric coefficient, dry weight of radicle, shoot and seedling, length of radicle, shoot and seedling and germination uniformity.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

پاسخ جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه توده‌های مختلف سیاه‌دانه
به پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک و رویفائزه زعفریان^{۱*}، محمد مهدی میرزایی^۲، شیوا طاهری^۳

۱. استاد، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲. دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

واژه‌های کلیدی:

بیوزینک،
گیاهان دارویی،
درصد جوانه‌زنی،
یکنواختی جوانه‌زنی،
طول گیاهچه،
ضریب آلومتریک

نویسنده مسئول:

fa_zaefarian@yahoo.com

به منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک و روی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه سه توده سیاه‌دانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۰ به اجرا درآمد. تیمارهای این آزمایش عامل توده در سه سطح ایرانی، هندی و سوری و عامل پیش‌تیمار بذر در سه سطح اسید هیومیک، بیوزینک و شاهد (بدون پیش‌تیمار) بودند. نتایج نشان داد تیمارهای مورد مطالعه و اثر متقابل آن‌ها بر اکثر صفات اندازه‌گیری شده تأثیر معنی‌داری داشتند. بیشینه و کمینه درصد جوانه‌زنی (به ترتیب ۹۳/۶۷ و ۸۳/۳۳ درصد) به ارقام ایرانی و هندی اختصاص یافت؛ درحالی‌که بیشینه یکنواختی جوانه‌زنی (۲۵۶/۷۹) در توده سوری پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک و کمینه یکنواختی جوانه‌زنی (۱۳۴/۴۰) در توده ایرانی بدون پیش‌تیمار و ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک حاصل شد. همچنین بیشترین طول گیاهچه و شاخص طولی بنیه بذر به ترتیب برای ارقام ایرانی پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک (۴/۲۰ سانتی‌متر و ۴۰۰/۲۱) و کمترین آن در توده سوری پیش‌تیمار شده با بیوزینک (۱/۴۲ سانتی‌متر و ۱۱۳/۰۱) ثبت شد. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر پیش‌تیمار بذر سیاه‌دانه با اسید هیومیک تأثیر بسزایی در برخی شاخص‌های جوانه‌زنی نظیر شاخص طولی بنیه بذر و گیاهچه، ضریب آلومتریک، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و یکنواختی جوانه‌زنی داشت.

نحوه استناد به این مقاله:

Zaefarian, F., Mirzaee, M.M., Taheri, S. (2025). The response of germination and seedling vigour black cumin (*Nigella sativa* L.) different ecotypes to seed priming with humic acid and zinc. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, XX (X), XX-XX. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.363805.1503>

مقدمه

امروزه با توجه به اثرات جانبی داروهای شیمیایی، مصرف و اهمیت گیاهان دارویی از گسترش روزافزونی برخوردار شده است. سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی یک‌ساله از تیره آلاله (*Ranunculaceae*) است که در طب سنتی مصارف متنوعی دارد. سیاه‌دانه یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی در جهان است که هر ساله مقادیر فراوانی از آن در صنایع داروسازی، بهداشتی و صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه ارقام مختلفی دارد و کشت آن اغلب به‌منظور استفاده از روغن و اسانس آن انجام می‌گیرد؛ که یکی از راه‌های افزایش میزان روغن و اسانس، تغذیه بهینه آن می‌باشد (Caravaca et al., 2003).

مطالعه پیش‌تیمار بذرهای از جنبه‌های اکولوژیکی، اقتصادی و کارایی بسیار مورد توجه می‌باشد (Pedrini et al., 2017). بسیاری از گیاهان دارویی با مشکل جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه در شرایط مزرعه مواجه هستند (Zare et al., 2011) و از آنجا که مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه مرحله بسیار مهم در چرخه زندگی گیاهان می‌باشد (Cheng & Bradford, 1999)؛ لذا، بکارگیری راهکارهایی که موجب بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه و همچنین عملکرد شود، به کشت گیاهان دارویی کمک شایان توجهی خواهد کرد. یکی از فنون ساده که می‌تواند سبب افزایش ویگور و قدرت بذر و استقرار بهتر گیاهچه و به تبع آن عملکرد بهتر گیاهان و پیشرفت فیزیولوژی باشد؛ پیش‌تیمار بذر است (McDonald, 2000). پیش‌تیمار بذر یک استراتژی متداول برای افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذر تحت شرایط نامساعد محیطی می‌باشد که می‌تواند مقاومت در برابر تنش‌های محیطی در گیاهان را افزایش دهد. پیش‌تیمار بذر عبارت است از کنترل جذب آب درون بذر که فعالیت متابولیکی لازم جهت جوانه‌زنی اتفاق افتد بدون اینکه ریشه‌چه از بذر خارج شود، در عین حال فعالیت‌های فیزیولوژیکی مختلفی در سطوح متفاوت رطوبتی در داخل بذر رخ می‌دهد. منظور از پیش‌تیمار بذر کاهش دادن زمان جوانه‌زنی، رخ دادن جوانه‌زنی در یک دوره کوتاه و بهبود زنده‌مانی و درصد جوانه‌زنی و یکنواختی در آن می‌باشد (Harris et al., 1999). با اعمال پیش‌تیمار بذر کارکرد بذر را می‌توان به وسیله تغییر شکل بذر یا

قرار دادن ترکیبات شیمیایی روی پوسته بذر افزایش داد، که این امر باعث بهبود و تنظیم جوانه‌زنی می‌شود (Matthews, 2008). پیش‌تیمار بذر روشی است که از غلظت کم مواد فعال برای ایجاد یک لایه نازک در اطراف بذر استفاده می‌کند. در این روش می‌توان از مواد فعال به ویژه محافظ‌های شیمیایی در گستره وسیعی استفاده کرد (Kimmelshue et al., 2019). 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., 2017; Venkatachlam et al., 2017). امکان دسترسی تدریجی و نزدیک به منطقه ریشه مواد مغذی را برای سبزیجات فراهم می‌کند. این روش به دلیل اندازه کوچک دانه‌های گیاهان انجام می‌شود (Pedrini et al., 2017). روش‌های پیش‌تیمار بذر برای بهبود درصد جوانه‌زنی، قدرت گیاهچه و استقرار بوته مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mondal & Bose, 2020; Nciizah et al., 2019). پیش‌تیمار بذر علاوه بر اینکه استقرار و رشد گیاه را افزایش می‌دهد، حفاظت گیاه را تضمین می‌کند و تنش را نیز کاهش می‌دهد (Amirkhani et al., 2016; Kangsopa et al., 2018).

بررسی‌ها نشان داده است که کودهای آلی سبب بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و عملکرد محصول را افزایش می‌دهند. یکی از ترکیبات آلی مهمی که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است، اسید هیومیک می‌باشد. این ترکیب از تجزیه بقایای گیاهی یا حیوانی به دست می‌آید (Trevisan et al., 2010). مواد هیومیک بخش اصلی مواد آلی تشکیل‌دهنده خاک هستند که شامل اسید هیومیک و اسید فولیک می‌باشند (Egamberdiyeva, 2005). اسید هیومیک به‌عنوان کود آلی دوست‌دار طبیعت نیز نام برده می‌شود (Samavat & Malakuti, 2005). از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی اشاره کرد که سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغازش ریشه‌های جانبی می‌شود (Abedi & Pakniyat, 2010). (Trevisan et al., 2010) گزارش

مطالعه تاثیر پیش تیمار بذور شنبلیله در فرایند جوانه زنی و شاخص های رشد نتایج نشان داد پیش تیمار با هیومیک اسید موجب افزایش طول ریشه، طول ساقه، طول گیاهچه، گیاهچه و شاخص بنیه طولی بذر نسبت به سایر تیمارها شد (Batmani et al., 2016).

از مزایای مهم اسید هیومیک می توان به کلات کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی اشاره کرد که سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغازش ریشه های جانبی می شود (Abedi & Pakniyat, 2010).

گوگرد چهارمین عنصر ضروری بعد از نیتروژن، فسفر و پتاسیم است و کار اصلی آن در گیاهان، کمک به ساخت اسیدهای آمینه گوگردار (نظیر متیونین و سیستین)، تشکیل کلروفیل، فعال کردن آنزیم های تجزیه کننده پروتئین، شرکت در ساختار ویتامین های بیوتین و فعالیت ATP سولفوریلز است (Jamal et al., 2010).

با توجه به اینکه یکی از مزیت های مهم پیش تیمار کردن بذر این است که مواد مستقیماً بر روی بذر و بلافاصله در اطراف گیاهچه های در حال جوانه زده قرار می گیرند و همچنین عناصر ریزمغذی شرایط عمومی گیاه را بهبود می بخشد، لذا، آزمایش حاضر به منظور بررسی تاثیر گذاری عناصر کم مصرف مناسب برای پیش تیمار بذر ارقام مختلف سیاه دانه روی برخی شاخص های جوانه زنی و استقرار این گیاه انجام شد.

مواد و روش ها

پژوهش حاضر در آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. تیمارهای این آزمایش عبارت بودند از بذر سه توده سیاه دانه هندی، سوری و ایرانی و پیش تیمار بذر در سه سطح اسید هیومیک، بیوزینک و شاهد (بدون پیش تیمار). ارقام مورد استفاده از جهاد دانشگاهی استان گلستان تهیه شد که منشأ اولیه بذر هندی و سوری به ترتیب کشورهای هندوستان و سوریه بود و توده ایرانی از توده اصفهان استفاده شد که تمامی این بذور بعد از کشت و سازگاری در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

کردند ترکیبات هیومیکی به واسطه فعالیت های هورمونی با افزایش وزن ریشه، راندمان فوتوشیمیایی و سطح آنتی اکسیدان ها باعث افزایش تحمل گیاه به تنش موجود می شوند. اسید هیومیک به انحلال و آزادسازی عناصر تثبیت شده کمک می کند و عناصر اضافی موجود در محیط را در خود ذخیره می نماید و در زمان مناسب در اختیار ریشه گیاه می گذارد (Dalvand et al., 2018). در مطالعه ای روی سیاه دانه گزارش شد که استفاده از اسید هیومیک صفات مورفولوژیک گیاه را تحت تاثیر قرار داد و موجب بهبود این صفات گردید (Terzi et al., 2010).

یکی از نقش های اساسی عنصر روی (Zn) در جوانه زنی بذر، افزایش رشد ریشه چه است در حضور عنصر روی ساخت هورمون ها از جمله اکسین افزایش می یابد (Cakmak, 2008). بنابراین به نظر می رسد افزایش اکسین بذر همراه با حضور عنصر روی باعث افزایش رشد ساقه چه می شود (Yadegari, 2013). از دیگر نقش های این عنصر مهم می توان به حفظ یکپارچگی غشاء های سلولی اشاره کرد (Marschner, 1995). روی یک ریزمغذی مورد نیاز برای فعالیت متابولیک بهتر است و نقش حیاتی در تعیین کیفیت و بهره وری محصولات غذایی دارد. در بسیاری از جنبه های فعالیت متابولیک و ساختاری گیاه از جمله فتوسنتز، تنفس، سنتز کلروفیل و عملکرد کلروپلاست نقش دارد (Zulfiqar et al., 2020). همچنین نقش مهمی در فعال سازی آنزیم، متابولیسم کربوهیدرات و سنتز پروتئین و نیز در لقاح و عملکرد گرده ایفاء می کند (Rehman et al., 2018a; Rehman et al., 2018b; Ullah et al., 2020). همچنین مطالعه تاثیر اثر پیش تیمار بر بنیه بذر و گیاهچه دو رقم برنج نشان داد که اثر تیمارهای کاربردی (شامل تیمار حاوی سولفات روی) روی صفات هدایت الکتریکی، سرعت رسیدن بذر به ۵۰ درصد جوانه زنی، تعداد گیاهچه در واحد سطح در روز بیستم بعد از کاشت و مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵، ۲۵ و ۵۰ درصد جوانه زنی بذر، در سطح یک درصد و صفات سرعت جوانه زنی در سطح پنج درصد معنی دار بود (Akhgari & Kaviani, 2019). Farzaneh et al. (2021) گزارش کردند که پیش تیمار بذر چغندر قند با عناصر ریزمغذی روی و منگنز باعث بهبود شاخص های سبزشدن و افزایش وزن خشک گیاهچه می شود. در

جوانه‌زنی می‌باشند.

در پایان دوره جوانه‌زنی یعنی روز چهاردهم بعد از حذف گیاهچه‌های غیرنرمال از هر پتری تعداد ۲۵ گیاهچه بطور تصادفی انتخاب و طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه با استفاده از خط کش و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با ترازوی ۴ صفر پس از خشک شدن نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، اندازه‌گیری شدند (Ya-jing et al., 2009).

صفت یکنواختی جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از برنامه Germin محاسبه شد (Soltani et al., 2001). در این برنامه برای محاسبه سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، ابتدا منحنی جوانه‌زنی تجمعی هر تکرار در مقابل زمان (برحسب ساعت) رسم، و سپس با استفاده از روش درون‌یابی خطی مدت زمان از کاشت تا زمانی که ۱۰ درصد و ۹۰ درصد جوانه‌زنی اتفاق بیفتد؛ محاسبه می‌شود. این زمان‌ها به ترتیب به صورت D₁₀ تا D₉₀ نشان داده می‌شود. سرعت جوانه‌زنی D₅₀ معادل عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی است، و یکنواختی جوانه‌زنی یعنی تفاضل زمان رسیدن از ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D₉₀-D₁₀) و هرچه مقدار این مدت زمان عدد کمتر باشد، یکنواختی (همزمانی) جوانه‌زنی بذور بیشتر است (Soltani et al., 2001). همچنین صفات شاخص طولی بنیه بذر (Abdual-baki & Anderson, 1973)، ضریب آلومتریکی (Hussain, 1989) و محتوای آب بافتی گیاهچه (Tsonev, 1998) نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

= شاخص طولی بنیه بذر

درصد جوانه‌زنی × (میانگین طول ریشه‌چه + میانگین طول ساقه‌چه)

$$\text{ضریب آلومتریکی} = \frac{\text{میانگین وزن خشک ریشه‌چه}}{\text{میانگین وزن خشک ساقه‌چه}}$$

$$100 \times \frac{(\text{وزن خشک گیاهچه} - \text{وزن تر گیاهچه})}{\text{وزن تر گیاهچه}} = \text{TWC} \text{ (محتوای آب بافتی گیاهچه)}$$

پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های یاد شده، 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 شدند.

گلستان در سال ۱۴۰۰، برای این پژوهش تهیه گردید. تیمارها شامل اسید هیومیک تولید شرکت زیست فن آور سبز حاوی اسید هیومیک ۱۲٪، اسید فولویک ۲٪، پتاسیم محلول ۴٪ وزنی و بیوزینک تولید شرکت کیمیا سبز یاخته حاوی روی محلول ۱۴٪، گوگرد محلول ۸٪ بودند.

در ابتدای آزمایش بذرها یک ساعت قبل از قرار گرفتن در ژرمیناتور، در محیط آزمایشگاهی و به دور از نور آفتاب با تیمار اسید هیومیک و بیوزینک هر کدام بطور جداگانه با غلظت ۲ درصد وزنی بذر با محلول یا ترکیب (۰/۰۱ سی سی اسید هیومیک یا بیوزینک + ۱ سی سی آب مقطر + ۲۰۰ عدد بذر (چهار تکرار ۵۰ تایی معادل وزنی ۰/۵ گرم بذر) بازای هر توده هندی، ایرانی و سوری آغشته شدند. پس از تلقیح در محیطی تمیز در زیر دستگاه لامینارفلو، جهت پوشش و نفوذ بهتر ترکیبات به بذور بطور جداگانه پهن گردید و بعد از گذشت نیم ساعت بذور در چهار تکرار ۵۰ تایی بذر در پتری‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر روی کاغذ صافی واتمن مرطوب شده با آب مقطر قرار داده شد و درب پتری‌ها با نوار پارافیلیم جهت حفظ رطوبت بسته شد و طی ۱۴ روز درون ژرمیناتور (مدل X630- ساخت ایران) با دمای ۱۰/۲۰ درجه سلسیوس (روز/شب) قرار داده شد که این دما بر اساس نتایج مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته محققین و پیشنهاد دمای بهینه جوانه‌زنی سیاه‌دانه در دستگاه ژرمیناتور تنظیم گردید (Mohammadpour & Nabipour, 2011). در طول دوره شمارش (اولین شمارش (روز دوم) و آخرین شمارش (روز چهاردهم)) هر روز تعداد بذور جوانه‌زده برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی بذر شمارش شد؛ که بدلیل تنظیم دمای بهینه در دستگاه ژرمیناتور به منظور جوانه‌زنی و وجود شرایط ایده‌آل رطوبتی در پتری‌ها، روند افزایشی در تعداد بذور جوانه‌زده در روزهای پایانی (دو روز مداوم عدم جوانه‌زنی بذور) مشاهده نشد؛ بنابراین روز چهاردهم معیار پایان زمان جوانه‌زنی در نظر گرفته شد. همچنین مبنای جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر از بذر بود.

صفات مورد اندازه‌گیری شامل درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی بنیه بذر، ضریب آلومتریکی، محتوای آب بافت گیاهچه و یکنواختی

نتایج و بحث

درصد) با اختلاف معنی دار برای توده ایرانی محاسبه شد، در حالی که اختلاف معنی داری بین توده سوری و هندی وجود نداشت. در رابطه با حداکثر جوانه زنی، بیشینه و کمینه مقدار (به ترتیب ۹۳/۶۸ و ۸۴/۶۷) برای ارقام ایرانی و هندی ثبت شد، اما براساس مقایسه میانگین، پیش تیمار کردن بذور بر این صفت تأثیر معکوس داشته است (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می دهد که نوع توده و پیش تیمار بذور بر درصد جوانه زنی و حداکثر جوانه زنی در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی داری داشت، اما اثر متقابل آن ها بر صفات مذکور معنی دار نگردید (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر ساده توده، بیشترین درصد جوانه زنی (۹۳/۶۷)

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش تیمار بذور بر شاخص جوانه زنی

Table 1- Analysis of variance of the effect of ecotype and priming on germination index

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	درصد جوانه زنی Germination percentage	حداکثر جوانه زنی Germination max	سرعت جوانه زنی Germination rate	یکنواختی جوانه زنی Germination uniformity
توده Ecotype (E)	2	339.11**	206.50**	0.00003**	1561.57**
پیش تیمار Priming (P)	2	356.78**	301.56**	0.00009**	2755.42**
توده × پیش تیمار E×P	4	5.11 ^{ns}	5.70 ^{ns}	0.00001**	11987.42**
خطای آزمایش Error	27	27.04	2.34	0.0000006	3.11
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.92	1.73	10.45	0.98

ns، ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال پنج درصد می باشند.

n.s., ** non-significant, significance at 5% probability level.

جوانه زنی بذور پیش تیمار شده با اسید هیومیک اختلاف معنی داری با شاهد بدون پیش تیمار نداشتند (جدول ۲).

سرعت جوانه زنی یکی از قدیمی ترین مفاهیم در رابطه با بنیه بذور می باشد (Maguire, 1962). Scott (1998) در مطالعه ای گزارش کرد که اثر پیش تیمار بر بذور گیاهان مختلف بر جوانه زنی و استقرار گیاهان تأثیر داشته و در برخی موارد سبب تأخیر در جوانه زنی بذور شده است. کاهش سرعت جوانه زنی در بذور پیش تیمار شده می تواند به این دلیل باشد که مواد پیش تیمار در اطراف بذور سبب تأخیر در خروج ریشه چه در تیمارهای پیش تیمار شده می شود. Gorim (2014) اظهار داشت که پیش تیمار بذور به طور کلی سبب کاهش سرعت جوانه زنی در مقایسه با بذور بدون پیش تیمار می شود و در این ارتباط ضخامت مواد پیش تیمار عامل تعیین کننده می باشد. به طوری که، اگر سهم مواد پیش تیمار بذور از کل دانه (بذور + مواد پیش تیمار بذور) ۷۵ درصد باشد؛ آن گاه جوانه زنی کمتر تحت تأثیر پیش تیمار قرار

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود، اثر نوع توده، پیش تیمار کردن بذور و اثر متقابل بین آن ها بر صفات سرعت جوانه زنی و یکنواختی جوانه زنی بذور سیاهدانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند. نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که در هر سه توده پیش تیمار موجب کاهش سرعت جوانه زنی شد؛ به طوری که بجز در توده ایرانی که بدون پیش تیمار تفاوت معنی داری با پیش تیمار با اسید هیومیک نداشت؛ در دو توده سوری و هندی تفاوت معنی داری بین پیش تیمار بذور و بدون پیش تیمار وجود داشت و پیش تیمار بذور تأثیر منفی بر سرعت جوانه زنی بذور داشته است (شکل ۱- الف). گزارش Matthews (2002) حاکی از آن است که بیشترین درصد جوانه زنی همانند پژوهش حاضر مربوط به بذور فاقد پوشش بود و به نظر می رسد وجود مواد پوشش دهنده در اطراف بذور سبب تأخیر در جوانه زنی، کاهش درصد جوانه زنی در تیمارهای پیش تیمار شده می شود، هر چند درصد جوانه زنی و حداکثر

می‌گیرد، در حالی که پیش تیمار بذر با سهم کمتر از ۵۰ درصد از کل دانه شدیداً سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد.

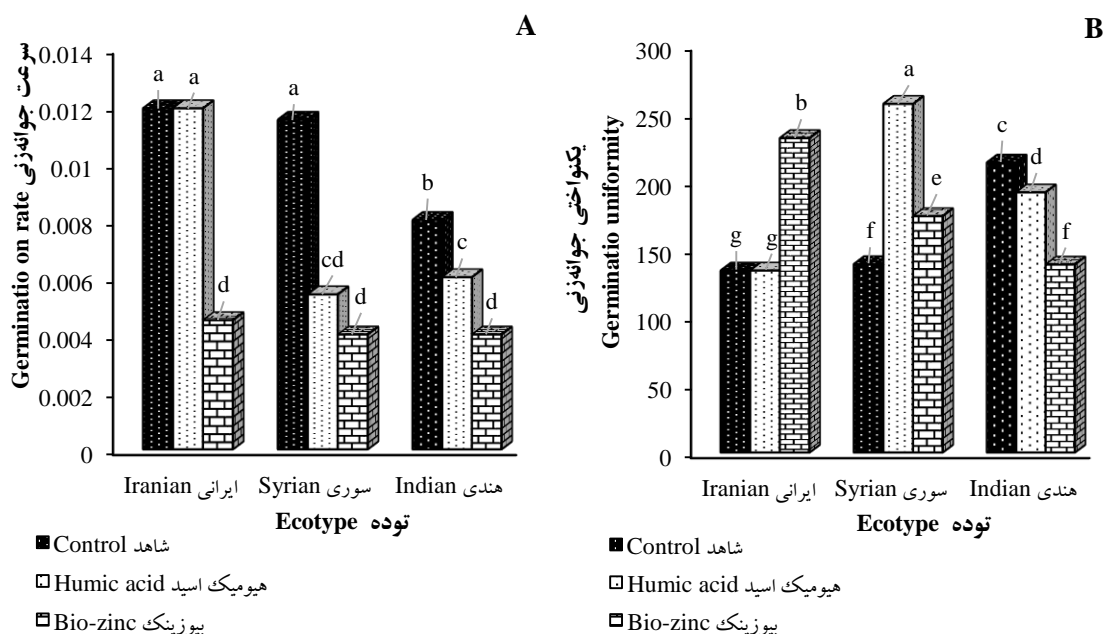
جدول ۲- مقایسات میانگین اثرات ساده توده و پیش تیمار بذر بر درصد جوانه‌زنی و حداکثر جوانه‌زنی

Table 2- Mean comparisons of simple effects of ecotype and priming on germination percentage and maximum germination

تیمار Treatment	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	حداکثر درصد جوانه‌زنی Maximum germination percentage
توده Ecotype (E)		
ایرانی Iranian	93.67a	93.68a
سوری Syria	86.33b	86.36b
هندی Indian	83.33b	84.67c
پیش تیمار Priming (P)		
شاهد Control	91.33a	91.32a
اسید هیومیک Humic acid	90.50a	91.82a
بیوزینک Bio-zinc	81.50b	81.56b

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.



شکل ۱- تأثیر توده و پیش تیمار بذر بر سرعت جوانه‌زنی / ساعت (A) و یکنواختی جوانه‌زنی / ساعت (B)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Figure 1- The effect of ecotype and priming on germination rate (A) and germination uniformity (B)
Means in each column were compared at 5% level of probability according to LSD

ریشه‌چه را به دلیل تاخیر در انتقال ساکارز برای گلیکولیز افزایش می‌دهد (Weitbrecht et al., 2011).

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های متوسط زمان یا تعداد روز تا حداکثر جوانه‌زنی (مدت زمان رسیدن به ۵، ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی بر حسب ساعت/روز) حاکی از آن است که اعمال تیمارهای مورد نظر و اثر متقابل بین آن‌ها بر صفات فوق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳). مطابق با نتایج مقایسات میانگین، بیشترین مدت زمان برای درصد جوانه‌زنی مورد مطالعه برای توده هندی سیاهدانه با پیش‌تیمار بیوزینک حاصل شد. از طرف دیگر، کمترین مدت زمان برای تمامی درصدها برای توده ایرانی بدون پوشش ثبت شد که اختلاف معنی‌داری با همین توده با پیش‌تیمار با اسید هیومیک نداشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد با توجه به اینکه سرعت جوانه‌زنی بذور پیش‌تیمار شده به سبب تأخیر ایجاد شده توسط مواد پیش‌تیمار در خروج ریشه‌چه کاهش داشت؛ پیش‌تیمار با اسید هیومیک و بیوزینک سبب افزایش مدت زمان رسیدن به درصدهای مختلف جوانه‌زنی شدند (جدول ۴).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۵، اعمال تیمارهای مورد مطالعه (نوع توده و پیش‌تیمار بذر) و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین طول گیاهچه در سطح احتمال یک درصد داشت.

نتایج مقایسه میانگین یکنواختی جوانه‌زنی حاکی از برتری توده ایرانی نسبت به بقیه بود؛ به طوری که یکنواختی جوانه‌زنی با اختلاف معنی‌دار نسبت به دیگر تیمارها برای توده ایرانی بدون پیش‌تیمار و پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک (با میانگین ۱۳۴/۴۰ ساعت) حاصل شد؛ در حالی که کمترین یکنواختی بدست آمده مربوط به توده سوری پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک (۲۵۶/۷۹ ساعت) بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۱-ب). در طی مرحله اول جوانه‌زنی، بذرها تا شروع مرحله دوم متابولیسم فعال، آب جذب می‌کنند (Afzal et al., 2013). جذب رطوبت تا رسیدن به حالت هیدراسیون تمام محتویات سلول ادامه می‌یابد (Weitbrecht et al., 2011).

گزارش‌های متناقضی در گندم به دست آمد که دانه‌های پیش‌تیمار شده زمان بیشتری برای ورود به فاز دوم جوانه‌زنی نشان دادند. دلیل جذب آهسته رطوبت این بود که عامل پوشش دهنده حرکت آب به سمت میکروپیل‌های دانه خشک یا آسیب موقت غشاء را محدود می‌کرد. قرار گرفتن دانه‌های پوشش داده شده با آسیب غشاء در معرض هیدراسیون، نشأت املاح را در مقایسه با دانه‌های بدون پوشش نشان دادند (Afzal et al., 2020). عوامل پوشش دهنده بذور تأثیر قابل توجهی بر طول مدت مراحل جذب و متابولیسم فعال در جوانه‌زنی دارند. در نتیجه، مدت زمان بیشتری برای تکمیل مراحل اول و دوم در گندم و جو در مورد دانه‌های پوشش داده شده مشاهده شده است که در نهایت زمان ظهور

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش‌تیمار بذر بر تعداد روز تا جوانه‌زنی

Table 3- Analysis of variance of ecotype and priming effect on day to germination

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	روز تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی Day to 10 percent germination	روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی Day to 50 percent germination	روز تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی Day to 90 percent germination
توده Ecotype (E)	2	8350.98**	10684.91**	13674.02**
پیش‌تیمار Priming (P)	2	31036.17**	38596.64**	38455.90**
توده × پیش‌تیمار E×P	4	1336.35**	2801.58**	7760.75**
خطای آزمایش Error	18	2.54	2.08	4.71
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		2.34	0.87	0.88

جدول ۴- مقایسات میانگین اثر متقابل توده و پیش‌تیمار بذر بر تعداد روز تا جوانه‌زنی

Table 4- Mean comparisons of interaction effect of ecotype and priming on day to germination

توده Ecotype	پیش‌تیمار Priming	روز تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی D ₁₀ (ساعت) Day to 10 percent germination (h)	روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی D ₅₀ (ساعت) Day to 50 percent germination (h)	روز تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی D ₉₀ (ساعت) Day to 90 percent germination (h)
ایرانی Iranian	شاهد Control	16.82f	84.03h	151.23g
	اسید هیومیک Humic acid	16.80f	84.00h	151.23g
	بیوزینک Bio-zinc	81.54c	221.90c	313.18b
سوری Syrian	شاهد Control	17.39f	86.94g	156.50f
	اسید هیومیک Humic acid	40.11d	185.73e	305.88c
	بیوزینک Bio-zinc	142.38b	239.96b	316.79ab
هندی Indian	شاهد Control	35.77e	152.01f	249.50e
	اسید هیومیک Humic acid	82.17c	194.15d	274.06d
	بیوزینک Bio-zinc	179.82a	249.22a	318.65a

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش‌تیمار بذر بر برخی ویژگی‌های گیاهچه

Table 5- Analysis of variance of ecotype and priming effect on some seedling characteristics

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Shoot length	طول گیاهچه Seedling length
توده Ecotype (E)	2	0.15**	0.31**	0.09**
پیش‌تیمار Priming (P)	2	6.79**	0.32**	8.48**
توده × پیش‌تیمار E×P	4	0.66**	0.43**	1.87**
خطای آزمایش Error	27	0.0004	0.0003	0.0007
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		1.46	1.25	0.91

**، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

**، significance at 5% probability level.

ریشه‌چه (۲/۱۴ سانتی‌متر) برای توده هندی پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با دو توده دیگر که

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل توده و پیش‌تیمار بذر بر صفات مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داد که بیشترین طول

توده نداشت. در حالی که کمترین مقدار این صفات در بذور توده سوری با پیش تیمار بیوزینک (به ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۴۲ سانتی متر) اندازه گیری شد (جدول ۶).

بذور آن‌ها با اسید هیومیک پیش تیمار شده بود، نداشت (جدول ۶)؛ همچنین، بیشترین طول ساقه چه و گیاهچه (به ترتیب ۲/۱۱ و ۴/۲۰ سانتی متر) برای توده ایرانی پیش تیمار شده با اسید هیومیک حاصل شد که اختلاف معنی دار با بذره‌های بدون پوشش همین

جدول ۶ - مقایسات میانگین اثر متقابل توده و پیش تیمار بذور روی برخی ویژگی‌های گیاهچه

Table 6- Mean comparisons of interaction effect of ecotype and priming on some seedling characteristics

توده Ecotype	پیش تیمار Priming	طول ریشه چه (سانتی متر) Radicle length (cm)	طول ساقه چه (سانتی متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی متر) Seedling length (cm)
ایرانی Iranian	شاهد Control	2.13a	1.99ab	4.12a
	اسید هیومیک Humic acid	2.09a	2.11a	4.20a
	بیوزینک Bio-zinc	0.48c	1.50c	1.98d
سوری Syrian	شاهد Control	1.73b	1.80b	3.53bc
	اسید هیومیک Humic acid	2.04a	1.82b	3.86ab
	بیوزینک Bio-zinc	0.21d	1.21d	1.42e
هندی Indian	شاهد Control	2.08a	1.35cd	3.43c
	اسید هیومیک Humic acid	2.14a	1.44c	3.58bc
	بیوزینک Bio-zinc	0.67c	1.37cd	2.04d

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

کم مصرف می‌شود (Farooq et al., 2012). حال آنکه پیش تیمار توده ایرانی با بیوزینک منجر به کاهش رشد گیاهچه گردید؛ به طوری که وزن خشک ساقه چه (۱۳/۸ درصد) و همچنین وزن خشک گیاهچه (۲۶/۳ درصد) نسبت به عدم پیش تیمار در این توده کاهش یافت (جدول ۸).

عناصر ریزمغذی نقش مفید و ارزنده‌ای در پیش تیمار کردن بذور ایفاء می‌کنند. گزارش شده است که پیش تیمار بذور با عناصر کم مصرف و پرمصرف سبب افزایش رشد اولیه گیاهچه می‌شوند، با این وجود در مقادیر یا غلظت‌های مصرفی عناصر غذایی به منظور روکش دار کردن بذور، محدودیت وجود دارد و بایستی از مقادیری استفاده شود که به جوانه‌زنی بذور آسیب

با توجه به نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۷، اعمال تیمارهای مورد مطالعه (نوع توده و پیش تیمار بذور) و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها تأثیر معنی داری بر وزن خشک ساقه چه، ریشه چه و گیاهچه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۷). گیاهچه‌های حاصل از توده هندی همراه با پیش تیمار اسید هیومیک توانست رشد بیشتری کنند و بیشینه وزن خشک ساقه چه (۰/۴۳ گرم) و همچنین وزن خشک گیاهچه (۰/۶۷ گرم) را به خود اختصاص دهند (جدول ۸)؛ تیمار کردن بذور با عناصر کم مصرف، پتانسیلی برای به کارگیری عناصر کم مصرف جهت برطرف کردن نیاز گیاهان زراعی دارد و باعث بهبود سبز شدن گیاهچه، استقرار گیاه، عملکرد و غنی سازی دانه با عناصر

بذرهای به پیش تیمار به نوع محلول و زمان پیش تیمار، بلوغ بذر، نوع توده و شرایط محیطی بستگی دارد (Nascimento, 2003). بنابراین مدت زمان پیش تیمار نیز عاملی مؤثر در نتیجه حاصل از آن بر شاخص‌های جوانه‌زنی خواهد بود (Ehteshami & Kianinezhad, 2017)، چرا که گزارش شده است مدت زمان نامناسب پیش تیمار سبب اثرات منفی بر درصد جوانه‌زنی در بذرهای گوجه‌فرنگی شد (Penaloza & Eira, 1993). اثرات منفی پیش تیمار بر شاخص‌های جوانه‌زنی چه در اثر غلظت نامناسب و چه مدت زمان نادرست شاید در اثر تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد روی غشاها در اثر پیش تیمار باشد. رادیکال‌های آزادی که در غشاء سلول‌ها در طی پیش تیمار به وجود می‌آیند ممکن است تأثیر نامطلوبی روی سلول‌ها و بذر پیش تیمار شده داشته باشند (Ward & Poweel, 1983)، چرا که تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال سبب خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود (Fu & Huang, 2001; Kabiri et al., 2013).

نرسانند (Pedrini et al., 2017). براساس نتایج، پیش تیمار بذر سیاهدانه با اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌داری در وزن خشک ریشه‌چه نیز شد؛ در حالی که پیش تیمار بذر با بیوزینک تأثیر کاهشی چشمگیری داشت (جدول ۸). Mohammad & Rafiei (2011) بیان داشتند که پیش تیمار بذر با اسید هیومیک به علت تغییرات متابولیکی و بیوشیمیایی، افزایش فعالیت پروتئین، کربوهیدرات و آنزیم‌ها منجر به جوانه‌زنی سریع و افزایش ظهور گیاهچه شده و با افزایش متابولیسم و نفوذپذیری سلول‌ها نسبت به آب و مواد غذایی، سبب تحریک ریشه‌زایی و افزایش طول ریشه‌چه می‌شود. این احتمال وجود دارد که غلظت انتخاب شده برای پیش تیمار بذر با استفاده از بیوزینک مناسب نبوده باشد، چرا که مشخص شده است پیش تیمار بذر با غلظت بالای عناصر کم‌مصرف سبب از بین رفتن بذر و جلوگیری از جوانه‌زنی می‌شود (Roberts, 1948). همچنین در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که غلظت‌های بیش از ۵۰ میلی‌مولار روی بر جوانه‌زنی بذرهای جو اثر منفی داشت (Ajouri et al., 2004). از طرف دیگر، پاسخ

جدول ۷- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش تیمار بذر بر برخی ویژگی‌های گیاهچه

Table 7- Analysis of variance of the ecotype and priming effect on some seedling characteristics

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	وزن خشک ریشه‌چه Root dry weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight
توده Ecotype (E)	2	0.03**	0.06**	0.16**
پیش تیمار Priming (P)	2	0.02**	0.06**	0.14**
توده × پیش تیمار E×P	4	0.001**	0.01**	0.02**
خطای آزمایش Error	27	0.000003	0.00003	0.00003
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		0.55	4.21	1.26

مزرعه‌ای مختلف را شامل می‌شود (AOSA, 1983). بر اساس نتایج مشاهده شده شاخص طولی بنیه بذر در هر سه توده با پیش تیمار با اسید هیومیک افزایش یافت که تفاوت معنی‌داری با بدون پیش تیمار نداشت ولی تفاوت معنی‌داری با پیش تیمار با بیوزینک نشان داد (جدول ۱۰). بنیه بذر از دو مؤلفه درصد جوانی‌زنی و رشد طولی و وزنی گیاهچه تشکیل شده است که در مطالعه حاضر نیز بیشترین میانگین رشد طولی و وزنی گیاهچه

تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده از تأثیر نوع توده و پیش تیمار بذر حاکی از معنی‌دار شدن اثر ساده هر یک از تیمارها و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر صفات شاخص طولی بنیه بذر، ضریب آلومتریک و محتوای آب بافتی گیاهچه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۹). شاخص طولی بنیه بیانگر قدرت بذر می‌باشد و کلیه خصوصیات بذر که تعیین‌کننده توانایی بذر برای سبز شدن سریع و یکنواخت و نمو طبیعی گیاهچه‌ها تحت شرایط

برای بذور پیش تیمار شده با اسید هیومیک بدست آمد، در نتیجه شاخص طولی بنیه بذر و گیاهچه در این تیمار افزایش می یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. (Nouriyani (2019) نیز اظهار داشت که بیشترین شاخص بنیه بذر در بذور کنجد تیمار شده با اسید هیومیک بدست آمد که در توافق با یافته های مطالعه حاضر می باشد. در بین ارقام نیز بالاترین شاخص طولی بنیه به ترتیب مربوط به توده ایرانی ۴۰۰/۲۱، سوری ۳۴۷/۳۶ و هندی ۳۰۶/۰۷ بود (جدول ۱۰).

جدول ۸- مقایسات میانگین اثر متقابل توده و پیش تیمار بذر بر برخی ویژگی های گیاهچه

Table 8- Mean comparisons interaction effect of ecotype and priming on some seedling characteristics

توده Ecotype	تیمار Treatment	وزن خشک ساقه چه (گرم) Shoot dry weight (g)	وزن خشک ریشه چه (گرم) Root dry weight (g)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (g)
ایرانی Iranian	شاهد Control	0.29f	0.09d	0.38e
	اسید هیومیک Humic acid	0.30f	0.03g	0.33f
	بیوزینک Bio-zinc	0.25g	0.02h	0.28h
سوری Syrian	شاهد Control	0.33d	0.14c	0.46d
	اسید هیومیک Humic acid	0.35c	0.23b	0.58c
	بیوزینک Bio-zinc	0.26g	0.05f	0.30g
هندی Indian	شاهد Control	0.38b	0.25a	0.63b
	اسید هیومیک Humic acid	0.43a	0.23b	0.67a
	بیوزینک Bio-zinc	0.32e	0.06e	0.38e

* میانگین های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

جدول ۹- تجزیه واریانس اثرات توده و پیش تیمار بذر بر شاخص جوانه زنی

Table 9- Analysis of variance of the ecotype and priming effect on germination index

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	شاخص طولی بنیه بذر Seedling length vigour index	ضریب آلومتریکی Allometric coefficient	محتوای آب بافتی گیاهچه Seedling tissue water content
توده Ecotype (E)	2	6339.63**	0.33**	0.04**
پیش تیمار Priming (P)	2	93668.79**	0.38**	0.01**
توده × پیش تیمار E×P	4	18696.62**	0.09**	0.02**
خطای آزمایش Error	27	182.83	0.0002	0.0001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.40	4.01	7.34

**، معنی داری در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

**، significance at 5% probability level.

غشاها در اثر پیش تیمار باشد.

با بررسی محتوای آب بافتی گیاهچه مشاهده شد که بیشترین محتوای آب بافتی گیاهچه در توده ایرانی بدون پوشش (۰/۲۹ درصد) و کمترین آن از توده سوری همراه با بیوزینک (۰/۰۶ درصد) مشاهده شد (جدول ۱۰). هیدروپرایمینگ که در آن تنها از آب برای پیش تیمار استفاده می‌گردد (Jafar et al., 2011) از طریق افزایش قابلیت دسترسی به ATP، افزایش میزان یکپارچگی غشای سلولی، تغییر برخی از اجزای غشاء مانند اسیدهای چرب و جلوگیری از نشست مواد به خارج از بذر در طول پرایمینگ بذر و در نتیجه افزایش توان رشدی گیاهچه موجب افزایش محتوای آب نسبی گیاهچه می‌گردد. رادیکال‌های آزادی که در غشاء سلول‌ها در طی پیش تیمار به وجود می‌آیند ممکن است تأثیر نامطلوبی روی سلول‌ها و بذر پیش تیمار شده داشته باشند (Ward & Poweel, 1983). همچنین تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال سبب خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود (Fu & Huang, 2001; Kabiri et al., 2013).

ضریب آلومتریکی بیانگر نسبت بین میانگین وزن خشک ریشه‌چه به میانگین وزن خشک ساقه‌چه است (Hussain, 1989). افزون بر این برخی منابع از این ضریب به‌عنوان شاخص تحمل به تنش‌ها یاد نموده‌اند. اگرچه نسبت بین قسمت‌های هوایی و ریشه تحت کنترل ژنتیکی است (Balouchi et al., 2014)؛ ولی غلظت و نوع پیش تیمار می‌تواند نقش بسزایی را در میزان ضریب آلومتریکی و محتوای آب بافتی گیاهچه ایفاء نماید؛ به‌طوری‌که در توده سوری پیش تیمار با اسید هیومیک بیشترین ضریب آلومتریکی (۰/۶۸ گرم) را موجب شد؛ حال آنکه در دو توده ایرانی و هندی بدون اعمال پیش تیمار منجر به افزایش ضریب آلومتریکی به ترتیب (۰/۳۰ و ۰/۶۶ گرم) شد؛ اما پیش تیمار با بیوزینک موجب کاهش این ضریب گردید (جدول ۱۰). Malekzade et al. (2017) اظهار داشتند غلظت ۰/۳ و ۰/۵ درصد سولفات روی باعث کاهش ضریب آلومتری نسبت به شاهد در بذر سیاهدانه گردید. اثرات منفی پیش تیمار بر شاخص‌های جوانه‌زنی چه در اثر غلظت نامناسب و چه مدت زمان نادرست شاید در اثر تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد روی

جدول ۱۰- مقایسات میانگین اثر متقابل توده و پیش تیمار بذر بر شاخص جوانه‌زنی

Table 10- Mean comparisons interaction effect of ecotype and priming on germination index

توده Ecotype	پیش تیمار Priming	شاخص طولی بنیه بذر Seedling length vigour index	ضریب آلومتریکی Allometric coefficient	محتوای آب بافتی گیاهچه (درصد) Seedling tissue water content
ایرانی Iranian	شاهد Control	396.84a	0.30d	0.29a
	اسید هیومیک Humic acid	400.21a	0.11f	0.23b
	بیوزینک Bio-zinc	174.99d	0.08g	0.10d
سوری Syrian	شاهد Control	316.17bc	0.44c	0.14c
	اسید هیومیک Humic acid	347.36b	0.68a	0.15c
	بیوزینک Bio-zinc	113.01e	0.19e	0.06e
هندی Indian	شاهد Control	300.58c	0.66a	0.08e
	اسید هیومیک Humic acid	306.07bc	0.55b	0.08e
	بیوزینک Bio-zinc	156.62d	0.18e	0.14c

* میانگین‌های در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

Afzal, I., Basra, S. M. A., Cheema, M. A., Farooq, M., Jafar, M. Z., Shahid, M., & Yasmeen, A. (2013). Seed priming: A shotgun approach for alleviation of salt stress in wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15(6), 1199-1203. <https://sqa.elsevierpure.com/en/publications/seed-priming-a-shotgun-approach-for-alleviation-of-salt-stress-in>

Afzal, I., Javed, T., Amirkhani, M., & Taylor, A. G. (2020). Modern seed technology: Seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance. *Agriculture*, 10(11), 526. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110526>

Ajouri, A., Asgedom, H., & Becker, M. (2004). Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167, 630-636. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420425>

Akhgari, H., & Kaviani, B. (2019). Effect of priming on seed and seedling vigor in two rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Seed Sciences and Technology*, 8(1), 1-17. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2019.109014.1043>. [In Persian]

Amiri, M. B., Rezvani Moghadam, P., & Jahan, M. (2017). Effect of organic acids, mycorrhiza, and rhizobacteria on yield and some phytochemical characteristics of *Echium amoenum* in low input cropping systems. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1), 45-61. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_6075.html?lang=en. [In Persian]

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. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10913-16>

AOCS. (1993). *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society*. AOCS Press.

Association of Official Seed Analysts. (1983). *Seed vigor testing handbook* (Handbook No. 32). AOSA.

Balouchi, H. R., Bagheri, F., Kayednezami, R., Movahedi Dehnavi, M., & Yadavi, A. R. (2014). Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *Brassica napus* L. *Plant Research*, 26(4), 397-411. <https://www.researchgate.net/publication/264553091>. [In Persian]

Batmani, S., Tajbakhsh, M., & Ghiyasi, M. (2016). The effect of pre-sowing treatments on germination and its indicators in fenugreek. In *Proceedings of the 4th International Conference on Applied Research in Agricultural Sciences*. Tehran, Iran. <https://www.researchgate.net/publication/317681065> [In Persian]

نتیجه گیری کلی

در مطالعه حاضر تأثیر پیش تیمار بذر با استفاده از اسید هیومیک در بسیاری از شاخص‌ها از قبیل شاخص طولی بینه بذر و گیاهچه، ضریب آلومتریک، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، یکنواختی جوانه‌زنی مثبت بود؛ اما پیش تیمار بذرها با استفاده از بیوزینک تأثیر منفی بر اکثر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر سیاه‌دانه داشته است که ممکن است در اثر انتخاب غلظت یا مدت زمان نامناسب پیش تیمار صورت گرفته باشد. چرا که در غلظت نامناسب بر اثر تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال سبب خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود. همچنین ذکر این نکته لازم است که اثر پیش تیمار بذر علاوه بر شاخص‌های جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه، باید بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه در شرایط مزرعه نیز مورد مطالعه قرار گیرد؛ چرا که ممکن است اثرات مثبت پیش تیمار در شرایط مزرعه نمود یابد.

سیاسگزاری

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 ۱۴۰۱-۰۱ به واسطه حمایت‌های مالی اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Abdual-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. *Crop Science*, 13, 222-226. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300020023x>
- Abedi, T., & Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46(1), 27-34. <https://doi.org/10.17221/67/2009-CJGPB>

- Bayat, M., Rahmani, A., Amirnia, R., & Alavi Siney, S. M. (2014).** Determining the best method and time of priming of *Echinacea purpurea* seed in vitro and pot conditions. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 1(1), 1-15. [In Persian]
- Cakmak, I. (2008).** Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Caravaca, F., Figueroa, D., Alguacil, M. M., & Rolan, A. (2003).** Application of composted urban residue enhanced the performance of afforested shrub species in a degraded semiarid land. *Bioresource Technology*, 90(1), 65-70. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00087-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00087-7)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.208>
- Cheng, Z., & Bradford, K. J. (1999).** Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *Journal of Experimental Botany*, 50(330), 89-99. <https://doi.org/10.1093/jxb/50.330.89>
- Matthews, S. (2002).** Copeland, L. O., & McDonald, M. B. *Principles of seed science and technology* (4th ed.). *Annals of Botany*, 89(6), 798-798. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf127>
- Dalvand, M., Solgi, M., & Khaleghi, A. (2018).** Effects of foliar application of humic acid and drought stress on growth and physiological characteristics of marigold (*Tagetes erecta*). *Journal of Soil and Plant Interactions*, 9(2), 67-80. [In Persian]
- Egamberdiyeva, D. (2005).** Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: Biochemical characterization and effectiveness. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 94-99. <https://doi.org/10.1002/jpln.200321283>
- Ehteshami, S. M. R., & Kianinezhad, H. (2017).** Effect of nutrimpriming on seed germination percentage and seedling establishment of crops: A review. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 3(4), 117-131. <https://civilica.com/doc/888248> [In Persian]
- Farooq, M., Wahid, A., & Kadambot Siddique, H. M. (2012).** Micronutrient application through seed treatments: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(1), 125-142. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011>
- Farzaneh, S., Khodadadi, S. H., Khomari, S., & Barmaki, M. (2021).** Effect of seed coating with compounds of micronutrient elements, growth stimulants, and regulators on the emergence and early stages of sugar beet growth. *Iranian Journal of Seed Sciences and Technology*, 10(1), 103-122. <https://doi.org/10.22092/ijst.2021.123801> [In Persian]
- Fu, J., & Huang, B. (2001).** Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environment and Experimental Botany*, 45(2), 105-114. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(00\)00084-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(00)00084-8)
- Gorim, L. Y. (2014).** *Effects of seed coating on germination and early seedling growth in cereals* (Doctoral dissertation). University of Hohenheim.
- Harris, D., Joshi, A., Khan, P. A., Gothkar, P., & Sodhi, P. S. (1999).** On-farm seed priming in semi-arid agriculture: Development and evaluation in maize, rice, and chickpea in India using participatory methods. *Experimental Agriculture*, 35(1), 15-29. <https://doi.org/10.1017/S0014479799001027>
- Hussain, F. (1989).** *Field and laboratory manual of plant ecology*. National Academy of Higher Education, University Grants Commission.
- International Seed Testing Association. (2008).** *Handbook of vigor test methods* (2nd ed.). International Seed Testing Association.
- Jafar, M. Z., Farooq, M., Cheema, M. A., Afzal, I., Basra, S. M. A., Wahid, M. A., Aziz, T., & Shahid, M. (2011).** Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. *Agronomy and Crop Science*, 20, 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00485.x>
- Jamal, A., Moon, Y. S., & Zainul-Abdin, M. (2010).** Sulfur: A general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7), 523-529. <https://www.researchgate.net/publication/228481225>
- Kabiri, R., Nasibi, F., & Farahbakhsh, H. (2013).** Study of some oxidative parameters induced by drought stress in *Nigella sativa* under hydroponic culture. *Journal of Plant Process and Function*, 2(3), 11-19. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-82-fa.html> [In Persian]
- 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(3), 521-531. <https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.3.09>
- Kimmelshue, C., Goggi, A. S., & Cademartiri, R. (2019).** The use of biological seed coatings based on bacteriophages and polymers against *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis* in maize seeds. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54068-3>
- Maguire, J. D. (1962).** Seed germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

- Malekzade, S., Fallah, S., & Azari, A. (2017).** The role of zinc sulfate and potassium nitrate on seed germination parameters improvement of black cumin (*Nigella sativa*) medicinal plant. *Plant Production Technology*, 8(2), 139-151. <https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1861> [In Persian]
- Marschner, H. (1995).** *Mineral nutrition of higher plants* (2nd ed.). Academic Press.
- McDonald, M. B. (2000).** Seed priming. In M. Black & J. D. Bewley (Eds.), *Seed technology and its biological basis* (pp. 287-325). Sheffield Academic Press.
- Mohammad, A., & Rafiei, M. (2011).** The effect of different concentrations of humic acid on seed germination behavior and vigor of barley. *Journal of Basic and Applied Science*, 5(12), 610-613.
- Mohammadpour, M., & Nabipour, A. (2011).** Investigating the effect of light and temperature on the germination characteristics of black seed (*Nigella sativa* L). In *Proceedings of the National Conference of Medicinal Plants* (March 1). Sari, Iran. <https://civilica.com/doc/342117> [In Persian]
- Mondal, S., & Bose, B. (2019).** Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status, and yield aspects of plants. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19), 2577-2599. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655032>
- Nascimento, W. M., & Aragão, F. A. S. (2004).** Muskmelon seed priming in relation to seed vigor. *Scientia Agricola*, 61(1), 663-669. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000100019>
- Nascimento, W. M. (2003).** Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming. *Scientia Agricola*, 60(1), 71-75. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000100011>
- Ncizah, A. D., Rapetsoa, M. C., Wakindiki, I. I., & Zerizghy, M. G. (2020).** Micronutrient seed priming improves maize (*Zea mays*) early seedling growth in a micronutrient deficient soil. *Heliyon*, 6(8), e04766. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04766>
- Nouriyani, H. (2019).** Effect of seed priming on germination characteristics, biochemical changes, and early seedling growth of sesame (*Sesamum indicum*). *Seed Research*, 5(2), 43-58. <http://dx.doi.org/10.29252/yjujs.5.2.43> [In Persian]
- Pedrini, S., Merritt, D. J., Stevens, J., & Dixon, K. (2017).** Seed coating: Science or marketing spin? *Trends in Plant Science*, 22(2), 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.002>
- Peñaloza, A. P. S., & Eira, M. T. S. (1993).** Hydration-dehydration treatments on tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Seed Science and Technology*, 21, 309-316.
- Rehman, A., & Farooq, M. (2016).** Zinc seed coating improves the growth, grain yield, and grain biofortification of bread wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(10), 238. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2250-3>
- Rehman, A., Farooq, M., Naveed, M., Öztürk, L., & Nawaz, A. (2018a).** Pseudomonas-aided zinc application improves the productivity and biofortification of bread wheat. *Crop and Pasture Science*, 69(7), 659-672. <https://doi.org/10.1071/CP17441>
- Rehman, A., Farooq, M., Öztürk, L., Asif, M., & Siddique, K. H. M. (2018b).** Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant and Soil*, 422(1-2), 283-315. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3507-3>
- Roberts, W. O. (1948).** Prevention of mineral deficiency by soaking seed in nutrient solution. *Journal of Agricultural Science*, 38, 458-468. <https://doi.org/10.1017/S0021859600006250>
- Salcedo, M. F., Colman, S. L., Mansilla, A. Y., Martínez, M. A., Fiol, D. F., Álvarez, 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. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101785>
- Samavat, S., & Malakuti, M. (2005).** *The necessity of using organic acid (humic and folic) to increase the quality and quantity of agricultural products*. Technical publication, Tehran the Senate, 463 p. [In Persian]
- Scott, D. (1998).** Effects of seed coating on establishment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 18, 59-67.
- Soltani, A., Galeshi, S., Zenali, E., & Latif, N. (2001).** Germination seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Science and Technology*, 30, 51-60.
- Terzi, A., Çoban, S., Yıldız, F., Ateş, M., Bitiren, M., Taşkın, A., & Aksoy, N. (2010).** Protective effects of black cumin (*Nigella sativa* L.) on intestinal ischemia-reperfusion injury in rats. *Journal of Investigative Surgery*, 23(1), 21-27. <https://doi.org/10.3109/08941930903469375>
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010).** Humic substances biological activity at the plant-soil interface. *Plant Signaling & Behavior*, 5(6), 635-643. <https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11211>
- Tsonev, T. D., Lazova, G. N., Stoinova, Z. G., & Popova, L. P. (1998).** A possible role for jasmonic acid in adaptation of barley seedlings to salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 17, 153-159. <https://doi.org/10.1007/PL00007029>

Ullah, A., Farooq, M., Nadeem, F., Rehman, A., Nawaz, A., Naveed, M., Wakeel, A., & Hussain, M. (2020). Zinc seed treatments improve productivity, quality, and grain biofortification of desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum*). *Crop and Pasture Science*, 71(7), 668-678. <https://doi.org/10.1071/CP19266>

Venkatachalam, P., Priyanka, N., Manikandan, K., Ganeshbabu, I., Indira-Arulsevi, 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. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.004>

Ward, F. H., & Powell, A. A. (1983). Evidence for repair processes in onion seeds during storage at high seed moisture contents. *Journal of Experimental Botany*, 34, 277-282. <https://doi.org/10.1093/jxb/34.3.277>

Weitbrecht, K., Müller, K., & Leubner-Metzger, G. (2011). The first off, the mark: Early seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 62(10), 3289-3309. <https://doi.org/10.1093/jxb/err030>

Yadegari, M. (2013). Foliar application of Fe, Cu, Mn, and B on growth, yield, and essential oil yield of marigold (*Calendula officinalis*). *Journal of Applied Science and Agriculture*, 8(5), 559-567.

Ya-jing, G., Jin, H., Xian-ju, W., & Chen-xia, S. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Journal of Zhejiang University*, 10(6), 427-433. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0820373>

Zare, A. R., Solouki, M., Omid, M., Irvani, N., Oladad Abasabadi, A., & Mahdi Nezaad, N. (2011). Effect of various treatments on seed germination and dormancy breaking in *Ferula assa-foetida* L., a threatened medicinal herb. *Journal of Sciences*, 9, 57-61. <https://www.researchgate.net/publication/261098818>

Zulfiqar, U., Hussain, S., Ishfaq, M., Matloob, A., Ali, N., Ahmad, M., Alyemeni, M. A., & Ahmad, P. (2020). Zinc-induced effects on productivity, zinc use efficiency, and grain biofortification of bread wheat under different tillage permutations. *Agronomy*, 10(10), 1566. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101566>