

(OPEN ACCESS)

The response of yield and yield components of different ecotypes of black cumin to seed priming with humic acid and biozinc

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

1. Corresponding Author, Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: fa_zaefarian@yahoo.com
2. Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mohands_mirzaei@yahoo.com
3. Dept. 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: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Seed priming is a common solution to increase the percentage, rate and uniformity of seed germination and sprouting under adverse environmental conditions, which can increase resistance to environmental stress in plants. Recently, the use of biological, organic fertilizers and micro nutrient for priming of seeds to improve the quality and quantity of crops has become popular. The present study was conducted with the aim of investigating the reaction of yield and yield component of different black cumin (<i>Nigella sativa</i> L.) ecotypes to priming of seeds with humic acid and biozinc.
Article history: Received: 09.03.2024 Revised: 09.14.2024 Accepted: 11.17.2024	
Keywords: Indian ecotypes, Phenology, Seed yield, Yield components	Materials and Methods: The experiment was conducted in a factorial form based on randomized complete blocks design in three replications in the research farm of Golestan Agriculture and Natural Resources Research and Training Center during 2022-2023 growing season. The tested factors included seed priming and black cumin ecotypes, where priming included no priming (control), seed priming with humic acid and biozinc and three black cumin ecotypes (Indian, Syrian and Iranian). Taking notes of the phenological stages of the plants twice a week and entering each phenological stage was considered based on the observation of 80% of the plants reaching that stage. Also, after the maturity of the plants, the traits of the number of capsules per plant, the number of seeds per capsule, the weight of seeds per capsule, the total dry weight of a single plant, the weight of 1000 seeds, the number and percentage of hollow and filled capsules per plant, the number follicles per capsule, seed yield and harvest index were measured.
	Results: The results of mean comparisons of simple effects indicated that with the passage of time, different ecotypes of black cumin were different in terms of different phenological stages; so that over time, the Indian ecotypes took the least time necessary (192.33 days) to pass through the phenological stages. Based on the results of analysis variance, the interaction effects of seed priming and ecotype had a positive and significant effect on capsule weight, the number of hollow and filled capsules, total seed weight, single plant dry weight, seed yield and harvest index; so that, the highest number of hollow capsules was found in the

Syrian ecotype without priming and the lowest one was obtained for the priming Indian ecotypes; while the highest number of filled capsules was observed in the priming Indian and Iranian ecotypes. Also, the highest total seed weight per plant and total plant weight were observed in the Indian ecotypes primed with biozinc and humic acid. In addition, the priming of seeds with humic and biozinc acid caused an increase of 2.12 and 1.71% in the weight of one thousand seeds compared to no priming. It is worth mentioning that the maximum and minimum seed yield obtained (163.53 and 71.43 g.m⁻², respectively) were also seen in the Indian ecotypes primed with biozinc and the Iranian ecotype without priming, respectively. The highest estimated harvest index related to the Indian ecotype primed with humic acid with an average of 43.77% and the lowest one with an average of 8.53% was observed in the Iranian ecotype without priming.

Conclusion: If the goal is to achieve the highest grain yield, the Indian ecotypes with priming of biozinc and humic acid can be a suitable option to achieve higher yields.

Cite this article: Zaefarian, Faezeh, Mirzaei, Mohammad Mehdi, Taheri, Shiva. 2025. The response of yield and yield components of different ecotypes of black cumin to seed priming with humic acid and biozinc. *Journal of Plant Production Research*, 32 (3), 181-205.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2024.22758.3180

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد توده‌های مختلف سیاه‌دانه به پیش‌تیمار بذر با اسیدهیومیک و بیوزینک

فائزه زعفریان^{۱*}، محمدمهدی میرزایی^۲، شیوا طاهری^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: fa_zaeefarian@yahoo.com
۲. گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mohands_mirzaei@yahoo.com
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: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: پیش‌تیمار بذر یک راهکار متداول برای افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذور تحت شرایط نامساعد محیطی می‌باشد که می‌تواند مقاومت در برابر تنش‌های محیطی در گیاهان را افزایش دهد. اخیراً، استفاده از انواع کودهای زیستی، آلی و عناصر کم‌مصرف جهت پیش‌تیمار کردن بذر برای بهبود کمی و کیفی محصولات زراعی رواج یافته است. پژوهش حاضر باهدف بررسی واکنش عملکرد اجزای توده‌های مختلف سیاه‌دانه (<i>Nigella sativa</i> L.) به پیش‌تیمار بذر با اسیدهیومیک و بیوزینک انجام پذیرفت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷	
واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، توده هندی، عملکرد دانه، فنولوژی	مواد و روش‌ها: آزمایش 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 انجام شد که عوامل مورد آزمایش شامل پیش‌تیمار بذر و توده سیاه‌دانه بود که پیش‌تیمار در سه سطح عدم پیش‌تیمار (شاهد)، پیش‌تیمار بذر با اسیدهیومیک و بیوزینک و سه توده سیاه‌دانه (هندی، سوری و ایرانی) بود. یادداشت‌برداری مراحل فنولوژیکی بوته‌ها هفته‌ای ۲ بار و ورود به هر مرحله فنولوژیکی، بر اساس مشاهده رسیدن ۸۰ درصد بوته‌ها به آن مرحله در نظر گرفته شد. هم‌چنین، پس از رسیدگی و نمو کامل بوته‌ها، صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن دانه در کپسول، وزن کل خشک تک‌بوته، وزن هزاردانه، تعداد و درصد کپسول پوک و سالم در بوته، تعداد فولیکول در هر کپسول، عملکرد دانه و شاخص برداشت مورداندازه‌گیری قرار گرفت.
	یافته‌ها: نتایج مقایسات میانگین اثرات ساده نشان داد توده‌های مختلف سیاه‌دانه از نظر طی مراحل مختلف فنولوژیکی متفاوت بودند؛ به‌طوری‌که به‌مرورزمان توده هندی کم‌ترین زمان

لازم (۱۹۲/۳۳ روز) را برای طی مراحل فنولوژیکی را به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات متقابل پیش تیمار بذر و توده تأثیر مثبت و معنی داری را روی وزن کپسول، تعداد کپسول پوک و سالم، وزن کل دانه، وزن خشک تک بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت داشت؛ به طوری که بیشترین تعداد کپسول پوک در توده سوری بدون پیش تیمار و کمترین مقدار این صفت برای توده هندی پیش تیمار شده و بالاترین تعداد کپسول سالم در توده هندی و ایرانی پیش تیمار شده مشاهده شد. هم چنین بیشترین وزن کل دانه در هر بوته و وزن کل بوته نیز در توده هندی پیش تیمار شده با بیوزینک و اسیدهیومیک رؤیت شد. شایان ذکر است که بیشینه و کمینه عملکرد دانه به دست آمده (به ترتیب ۱۶۳/۵۳ و ۷۱/۴۳ گرم در مترمربع) نیز در توده هندی پیش تیمار شده با بیوزینک و توده ایرانی بدون پیش تیمار دیده شد. بیشترین شاخص برداشت برآورد شده مربوط به توده هندی پیش تیمار شده با اسیدهیومیک با میانگین ۴۳/۷۷ درصد و کمترین شاخص برداشت نیز با میانگین ۸/۵۳ درصد در توده ایرانی بدون پیش تیمار رؤیت شد.

نتیجه گیری: در صورتی که هدف دستیابی به بالاترین عملکرد دانه باشد؛ توده هندی پیش تیمار شده با بیوزینک و اسیدهیومیک می تواند گزینه مناسبی جهت حصول عملکردهای بالاتر باشد.

استناد: زعفریان، فائزه، میرزایی، محمد مهدی، طاهری، شیوا (۱۴۰۴). پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد توده های مختلف سیاه دانه به پیش تیمار بذر با اسیدهیومیک و بیوزینک. نشریه پژوهش های تولید گیاهی، ۳۲ (۳)، ۱۸۱-۲۰۵.

DOI: 10.22069/jopp.2024.22758.3180



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سیاه‌دانه متعلق به خانواده آلاله^۱، گیاهی دولپه و علفی می‌باشد. این گیاه توده‌های مختلفی دارد و کشت آن اغلب به منظور استفاده از روغن و اسانس آن انجام می‌گیرد؛ که یکی از راه‌های افزایش میزان روغن و اسانس، تغذیه بهینه آن می‌باشد (۱). امروزه با توجه به اثرات جانبی داروهای شیمیایی، مصرف و اهمیت گیاهان دارویی از گسترش روزافزونی برخوردار شده است. گیاهان دارویی مخازن غنی از متابولیت‌های ثانویه یعنی مواد مؤثره اساسی بسیاری از داروها می‌باشند (۲). بنابراین، ارائه راه‌حلی برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه به داشتن عملکردی بهتر در کشت گیاهان دارویی کمک می‌کند. فناوری بهبود کیفیت بذر درواقع آماده‌سازی بذر قبل از کاشت بوده که سبب بهبود جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه و یا در اختیار قرار دادن مواد موردنیاز به بذر در زمان کاشت می‌شود. یکی از روش‌های ساده که می‌تواند سبب افزایش بنیه بذر و استقرار بهتر نهال و به تبع آن عملکرد بهتر گیاهان و پیشرفت فیزیولوژی باشد؛ پیش‌تیمار بذور است (۳). پیش‌تیمار بذر سبب تقویت مراحل جوانه‌زنی مانند آبیگری، جوانه‌زنی اولیه و رشد می‌شود. درواقع پیش‌تیمار بذر با محدود کردن آبیگری بذر به وسیله محلول‌های اسمزی، موجب توسعه مرحله انتقال می‌شود (۴). پیش‌تیمار بذر یک راهبرد متداول برای افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذور تحت شرایط نامساعد محیطی می‌باشد که می‌تواند مقاومت در برابر تنش‌های محیطی در گیاهان را افزایش دهد. پیش‌تیمار بذر عبارت است از جذب آب کنترل‌شده درون بذر که فعالیت سوخت‌وسازی لازم جهت جوانه‌زنی اتفاق بیافتد؛ بدون این‌که ریشه‌چه از بذر خارج شود، درعین 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 (۵، ۶).

پیش‌تیمار بذر روشی است که از دز کم مواد فعال برای ایجاد یک‌لایه نازک در اطراف بذر استفاده می‌کنند. در این روش می‌توان از مواد فعال به‌ویژه محافظ‌های شیمیایی در گستره وسیعی استفاده کرد (۷). استفاده از روش‌هایی مانند پیش‌تیمار با استفاده از کودهای زیستی، محرک‌های زیستی و نانوذرات، افزایش قابل‌توجهی در بهره‌وری کشاورزی ایجاد کرده است (۸، ۹، ۱۰).

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 مهمی که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است، اسیدهیومیک می‌باشد. این ترکیب از تجزیه بقایای گیاهی یا حیوانی به‌دست می‌آید (۱۱). مواد هیومیک بخش اصلی مواد آلی تشکیل‌دهنده خاک هستند که شامل اسیدهیومیک و اسیدفولیک می‌باشند (۱۲). اسیدهیومیک به‌عنوان کود آلی دوست‌دار طبیعت نیز نام‌برده می‌شود (۱۳). مواد هیومیکی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلف هستند که از باقی‌مانده گیاهان و حیوانات حاصل می‌شوند (۱۴). از مزایای مهم اسیدهیومیک 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 (۱۵). با توجه به این‌که ماده آلی خاک بر خصوصیات شیمیایی، فیزیکی، زیستی و به‌طور کلی سلامت خاک تأثیرگذار است (۱۶)، بنابراین اسیدهیومیک که یک ترکیب پلیمری آلی طبیعی می‌باشد؛ می‌تواند با بهبود این صفات، موجب افزایش عملکرد و کیفیت محصول گردد (۱۷).

می‌تواند بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و گياهچه تأثیر مثبت بگذارد و ویژگی‌های رشد اولیه، توسعه ریشه و بهبود زیست‌توده و بهره‌وری محصول ذرت را افزایش دهد (۲۷). در مطالعه‌ای مزایای مشابهی از پیش‌تیمار بذر روی ارتفاع گیاه و طول ریشه هنگام استفاده از عصاره جلبک در گونه‌های گوجه‌فرنگی و کاهو مشاهده شد (۲۸). گزارش شده است که پیش‌تیمار بذر با باکتری‌های آزوسپیریلوم و پوشش‌دار کردن آن با عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه و اسانس زیره سبز تأثیر مثبت دارد (۲۹).

هریس و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که افزایش مقدار روی بذر از طریق پیش‌تیمار بذور با محلول‌های سولفات روی در افزایش عملکرد ذرت بسیار مؤثر بوده است (۳۰). کاربرد مقادیر متفاوت پیش‌تیمار کودهای آلی و معدنی سبب افزایش تعداد کپسول در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد و درصد روغن دانه سیاه‌دانه شد. این پژوهش‌گران بیان نمودند که مصرف هم‌زمان کودهای معدنی و آلی در مقایسه با استفاده جداگانه هر یک از آن‌ها برتری دارد (۳۱). پژوهش‌های متعدد نشان داده است کودهای آلی با اثرهای مطلوبی که در خاک ایجاد می‌نمایند هم باعث افزایش عملکرد کمی در گیاهان دارویی شده و هم درصد روغن و اسانس را تا حد زیادی بالا می‌برند (۳۲). پژوهش‌گران گزارش کردند ترکیبات هیومیکی به واسطه فعالیت‌های هورمونی با افزایش وزن ریشه، راندمان فوتوشیمیایی و سطح آنتی‌اکسیدان‌ها باعث افزایش تحمل گیاه به تنش موجود خواهند شد (۱۱). علاوه‌براین، افزودن این ترکیبات به خاک مزایای زیادی برای خاک زراعی فراهم می‌کند؛ ازجمله، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و افزایش فعالیت‌های میکروبی در خاک. همچنین با افزایش نیروی چسبندگی ذرات بسیار ریز خاک، سبب بهبود ساختمان خاک و ویژگی‌های فیزیکی آن می‌گردند (۳۳). علاوه‌براین، اسید هیومیک موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، افزایش

پیش‌تیمار بذر 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 (۱۸). پیش‌تیمار بذر علاوه بر این‌که استقرار و رشد گیاه را افزایش می‌دهد، حفاظت گیاه را تضمین می‌کند و استرس را نیز کاهش می‌دهد (۱۹، ۲۰). اخیراً، استفاده از انواع کودهای زیستی، آلی و عناصر کم‌مصرف جهت پیش‌تیمار کردن بذر برای بهبود کمی و کیفی محصولات زراعی رواج یافته است. در شرایط نامساعد خاک‌های ایران ازجمله اسیدیته بالای خاک، کمبود ماده آلی و میزان بالای کلسیم توانایی جذب عناصر کم‌مصرف کاهش می‌یابد که منجر به کاهش رشد گیاه نیز می‌شود (۲۱).

پیش‌تیمار بذر با زیست‌توده ریزجلبک‌ها به‌طور قابل‌توجهی بر رشد گشنیز و سوخت‌وساز ثانویه آن تأثیر می‌گذارد و موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، ارتفاع بوته و طول ریشه می‌شود؛ این نتایج را می‌توان به دلیل وجود ترکیبات آلی در زیست‌توده ریزجلبک‌ها، مانند کربوهیدرات‌ها، لیپیدها و پروتئین‌ها که باعث واکنش‌های زیست‌شیمیایی در سوخت‌وساز گیاه می‌شود، نسبت داد که موجب افزایش رشد گیاهی و تولید ترکیبات فعال زیستی می‌شود (۲۲). همچنین یک ارتباط قوی در ویژگی‌های رویشی، نسبت عملکرد، مواد مغذی خاک و ویژگی‌های میکروبیولوژیکی با پیش‌تیمار بذر از منبع روی به‌ویژه نانوذرات اکسید روی (ZnONPs) مشاهده شد (۲۳). نحوه کاربردها ZnONP شامل تیمارهای خاک، محلول‌پاشی و بذر است که در میان این حالت‌های کاربردی، تیمارهای تقویت بذر، ازجمله پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار با ZnONP نسبتاً ایمن و از نظر اقتصادی به‌صرفه می‌باشد (۲۴، ۲۵).

پیش‌تیمار با عوامل زیستی بذر برنج می‌تواند کیفیت بذر و رشد گیاهچه را بهبود بخشد و بیماری بلاست را کاهش دهد (۲۶). همچنین پیش‌تیمار بذر

تهویه خاک، بهبود دانه‌بندی خاک، بهبود مقاومت به خشکی، افزایش تبدیل عناصر به فرم‌های قابل‌دسترس برای گیاه و افزایش درصد نیتروژن خاک می‌گردد (۳۴). گوگرد یکی از عناصر غذایی پرمصرف و ضروری برای گیاه می‌باشد که کمبود آن نه تنها عملکرد را در نتیجه تغذیه نامناسب کاهش می‌دهد، بلکه ارزش کیفی محصول را مانند درصد پروتئین و روغن نیز می‌کاهد (۳۵). عملکرد محصول و ارزیابی کیفیت بذر ارتباط نزدیکی با محتوای گوگرد دانه دارد (۳۶، ۳۷، ۳۸). مشاهده شده است که بدون حضور گوگرد کافی، گیاهان نمی‌توانند به اندازه کافی چرخه زندگی خود را از نظر عملکرد، کیفیت یا محتوای پروتئین در بذر کامل کنند و همچنین نمی‌توانند از نیتروژن عرضه شده استفاده بهینه کنند (۳۹). در مطالعه‌ای دیگر، اثر تیمارهای مختلف گوگرد بر عملکرد، میزان پروتئین و روغن کلزا بررسی شد. نتایج نشان داد که محتوای روغن دانه و همچنین محتوای پروتئین در اثر تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش یافت (۴۰).

در مطالعات انجام شده روی گیاه دارویی زوفا مشخص گردید، اسید هیومیک میزان اسانس، شاخص‌های رشد و وزن خشک گیاه را افزایش داده است (۴۱). در مطالعه‌ای روی سیاه‌دانه گزارش شد که استفاده از اسید هیومیک صفات ریخت‌شناسی گیاه را تحت تأثیر قرارداد و موجب بهبود این صفات گردید (۳۳). حیدری و مینایی (۱۳۹۳) کاربرد اسید هیومیک را در گیاه گاوزبان مورد مطالعه قراردادند و به این نتیجه دست یافتند که اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار در میزان عملکرد گل، عملکرد زیست‌توده و تعداد شاخه‌های جانبی گیاه شده است (۴۲). در پژوهش دیگری که روی گیاه دارویی چای ترش انجام شد، این نتیجه حاصل شد که اسید هیومیک موجب بهبود میزان عملکرد دانه و گل در قیاس با نمونه شاهد می‌شود (۴۳). نتایج یک پژوهش نشان داد اثر گوگرد

بر محتوای کربوهیدرات، فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه کلزا بیانگر این بود که افزایش تیمارهای گوگرد اثر مستقیم بر محتوای کربوهیدرات برگ دارد که به دنبال آن اثر تسریع‌کننده در افزایش عملکرد را نیز نشان می‌دهد (۴۴). همچنین، اثر سه عنصر گوگرد، روی و آهن بر رشد و عملکرد گیاه گلرنگ نشان داد که کاربرد توأم گوگرد با عناصر روی و آهن سبب افزایش معنی‌دار رشد، عملکرد و مقدار روغن دانه شد (۴۵). در پژوهشی مشخص شد که مقدار اسانس و نیز مقدار ترکیب‌های ضروری گیاه دارویی بابونه در شرایط کشت ارگانیک به مراتب بالاتر از کشت رایج آن بود (۴۶). با توجه به خصوصیات آهکی و قلیایی بودن اغلب خاک‌های کشاورزی کشور و حلالیت کم برخی عناصر غذایی و از طرفی کاهش مواد آلی خاک‌ها، بهبود سرعت جوانه‌زنی، استقرار و رشد اولیه گیاهچه در این خاک‌ها با مشکلاتی مواجه است. بنابراین، به منظور کاهش این اثرات منفی، داشتن سطح سبز یکنواخت و بنیه قوی بذور و گیاهچه جهت بهبود شاخص‌های عملکردی و افزایش عملکرد در گیاهان دارویی خصوصاً سیاه‌دانه، از فناوری پیش‌تیمار بذر روی عملکرد و اجزای عملکرد سه توده سیاه‌دانه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه، آزمایشی به صورت 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.

عوامل مورد آزمایش شامل پیش‌تیمار بذر و توده سیاه‌دانه بود که پیش‌تیمار در سه سطح عدم پیش‌تیمار (شاهد)، پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک و بیوزینک و سه توده سیاه‌دانه (هندی، سوری و ایرانی) بود که

اسیدهیومیک (تولید شرکت زیست‌فن‌آور سبز حاوی اسیدهیومیک ۱۲ درصد، اسیدفولویک دو درصد، پتاسیم محلول چهار درصد وزنی) و بیوزینک (تولید شرکت کیمیا سبز یاخته حاوی روی محلول ۱۴ درصد، گوگرد محلول هشت درصد) بود. جهت شناسایی وضعیت خاک محل انجام آزمایش، نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد که بر اساس نتایج حاصله از تجزیه خاک در آزمایشگاه، بافت خاک سیلت-لومی، واکنش خاک ۷/۶، کربن آلی ۱/۷ درصد و شوری خاک ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر تعیین گردید. بر اساس نتایج آزمون خاک به‌صورت قبل از کاشت کودهای پایه اوره (۲۵ کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۵۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک اضافه شدند و مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت سرک در طی دو مرحله ۸-۶ برگی و شروع غنچه‌دهی به‌کاربرده شدند. 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 ذکرشده آغشته شدند و پس‌از آن در محیطی تمیز در زیر دستگاه لامینارفلو (مدل NSTHC2-120، کشور ایران)، جهت نفوذ بهتر ترکیبات به بذور به‌طور جداگانه پهن شدند و بعد از گذشت نیم ساعت بذور جهت کاشت به مزرعه موردنظر منتقل گردیدند.

پس از عملیات آماده‌سازی شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین نقشه آزمایشی تهیه شد که ابعاد هر کرت ۱×۲/۵ متر، 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 به‌صورت دست‌پاش روی ردیف بر اساس تراکم مطلوب ۱۰۰ بوته در مترمربع در نیمه دوم

آذرماه انجام شد و کلیه عملیات داشت مانند آبیاری براساس نیاز آبی گیاه، وجین دستی در دو مرحله ۶-۴ و ۱۰-۸ برگی گیاه و مبارزه با آفات و بیماری‌ها در طول فصل رشد انجام گردید.

یادداشت‌برداری مراحل فنولوژیکی هفته‌ای دو بار و ورود به هر مرحله فنولوژیکی بر اساس مشاهده رسیدن ۸۰ درصد بوته‌ها به آن مرحله (۴۷) در نظر گرفته شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک کل و عملکرد دانه، پس از رسیدگی و نمو کامل بوته‌ها، به‌وسیله پلات یک مترمربعی از وسط هر کرت و بافاصله از ردیف‌های کناری (حذف اثر حاشیه‌ای)، برداشت به‌صورت دستی انجام شد. به‌منظور بررسی اجزاء عملکرد از هر کرت تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب (به‌جز ردیف‌های کناری) و برای هر پنج بوته اندازه‌گیری صفات صورت گرفت.

صفات موردبررسی شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن دانه در کپسول، وزن کل خشک تک‌بوته، وزن هزاردانه، تعداد و درصد کپسول پوک و سالم در بوته، تعداد فولیکول (خانه) در هرکپسول، عملکرد دانه و شاخص برداشت بود.

پس‌ازاندازه‌گیری ویژگی‌های یادشده، به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از رویه Proc univariate در نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد و در صورتی‌که داده‌ها نرمال نبودند، برای تبدیل داده‌ها از روش لگاریتم استفاده گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه 9.4) و رویه Proc GLM و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج‌درصد انجام شد و نمودارها در محیط Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

صفات فنولوژیکی: نتایج تجزیه واریانس حاصل از تأثیر نوع توده و پیش‌تیمار بذر با اسیدهیومیک و

با مشاهده نتایج مقایسه میانگین اثر ساده نوع توده، این‌طور به نظر می‌رسد که به‌مرور زمان نیز توده هندی کم‌ترین زمان لازم برای طی مراحل فنولوژیکی را به خود اختصاص داد، به‌طوری‌که کم‌ترین طول مدت رسیدن به مراحل ۸ تا ۱۰ برگی، غنچه‌دهی کامل، گلدهی و رسیدگی کامل به‌ترتیب ۱۰۸/۲۲، ۱۳۴، ۱۵۰ و ۱۹۲/۳۳ روز بود که در توده هندی مشاهده شد و این‌درحالی بود که بین دو رقم ایرانی و سوری تفاوتی دیده نشد و حتی باگذشت زمان بعد از غنچه‌دهی کامل توده ایرانی و سوری مراحل فنولوژیکی مشابه هم داشتند (جدول ۲). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در ابتدای رشد (مراحل دو تا چهار و هشت تا ده برگی) پیش‌تیمار بذور طول دوره رسیدن در گیاهچه‌ها را کاهش داد، اما باگذشت زمان تأثیری در مدت‌زمان رسیدن به مراحل غنچه‌دهی، گلدهی و رسیدگی کامل توده‌های مختلف سیاه‌دانه نداشت. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، در ابتدای رشد پیش‌تیمار بذر با بیوزینک سبب کاهش طول دوره مذکور گردید (جدول ۲).

بیوزینک بر صفات فنولوژیکی گیاه سیاه‌دانه در جدول ۱ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس، اثر نوع توده، پیش‌تیمار بذر و اثر متقابل آن‌ها روی مدت‌زمان رسیدن گیاهچه سیاه‌دانه به مرحله دو تا چهار برگی به لحاظ آماری معنی‌دار نگردید (جدول ۱)؛ اما باگذشت زمان توده‌های مختلف سیاه‌دانه از نظر طی مراحل مختلف فنولوژیکی متفاوت بودند و مراحل فنولوژیکی توده‌های مختلف سیاه‌دانه تا گلدهی و هم‌چنین رسیدگی کامل (برداشت نهایی) باهم تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۲) و این‌درحالی بود که پیش‌تیمار بذر نتوانست تفاوت معنی‌داری در مراحل مختلف فنولوژیکی سیاه‌دانه داشته باشد (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین، کم‌ترین مدت‌زمان ثبت‌شده (۷۶/۶۷ روز) در مرحله ۲ تا ۴ برگی در دو توده ایرانی و هندی مشاهده شد (جدول ۲). با توجه به مقایسات میانگین هرچند پیش‌تیمار تأثیر معنی‌داری روی این مرحله از نمو گیاه نداشت؛ اما سبب کاهش طول دوره رسیدن به این مرحله شد (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع توده و پیش‌تیمار بذر بر برخی صفات فنولوژیکی سیاه‌دانه (تعداد روز از کاشت).

Table 1. Analysis of variance (mean square) of the effect of ecotype and seed priming on some phenological traits of black cumin (number of days after sowing).

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	مرحله ۲ تا ۴ برگی 2 to 4 leaves stage	مرحله ۸ تا ۱۰ برگی 8 to 10 leaves stage	غنچه‌دهی کامل Complete budding	گلدهی کامل Complete flowering	رسیدگی کامل (برداشت) Complete maturity (Harvest)
تکرار Repetition	2	2.37 ^{ns}	26.8 ^{ns}	21.33 ^{**}	1.46 ^{ns}	16.33 [*]
توده Ecotype (E)	2	2.37 ^{ns}	29.04 [*]	2133.33 ^{**}	1875.00 ^{**}	560.33 ^{**}
پیش‌تیمار Priming (P)	2	4.15 ^{ns}	0.70 ^{ns}	1.70 ^{ns}	1.05 ^{ns}	1.12 ^{ns}
توده × پیش‌تیمار Ecotype × Priming	4	4.15 ^{ns}	5.98 ^{ns}	1.50 ^{ns}	1.00 ^{ns}	1.19 ^{ns}
خطای آزمایش Error	16	3.04	7.65	1.33	3.15	4.08
ضریب تغییرات CV (%)		2.26	2.52	3.76	2.12	3.03

^{ns}، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد
^{ns}, * and ** indicate non-significance and significance at the level of 5 and 1%, respectively

جدول ۲- مقایسات میانگین اثر ساده توده بر برخی صفات فنولوژیکی سیاه‌دانه (تعداد روز از کاشت).

Table 2. Mean comparisons of the simple effect of ecotype on some phenological traits of black cumin (number of days after planting).

عامل Factor	سطوح levels	مرحله ۲ تا ۴ برگ 2 to 4 leaves stage	مرحله ۸ تا ۱۰ برگ 8 to 10 leaves stage	غنچه‌دهی کامل Complete budding	گلدهی کامل Complete flowering	رسیدگی کامل (برداشت) Complete maturity (Harvest)
ایرانی Iranian		76.67 ^a	111.78 ^a	160.67 ^a	175.00 ^a	206.00 ^a
توده Ecotype	سوری Syria	77.56 ^a	109.56 ^{ab}	160.67 ^a	175.00 ^a	206.00 ^a
	هندی Indian	76.67 ^a	108.22 ^b	134.00 ^b	150.00 ^b	192.33 ^b

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.
* In each column means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)

توده‌های مورد مطالعه سیاه‌دانه تفاوت معنی‌داری از نظر ثبت مراحل فنولوژیک باهم‌دیگر داشتند (جدول ۲). به‌طوری‌که در مراحل ابتدایی (مرحله دو تا چهار برگی) توده هندی و ایرانی تفاوت معنی‌داری با توده سوری داشتند؛ اما باگذشت زمان این توده هندی بود که مراحل فنولوژیکی خود را در زمان کوتاه‌تری ثبت کرد که دلیل احتمالی تفاوت قابل‌توجه مشاهده‌شده در بین توده‌های مختلف گیاه سیاه‌دانه در روز تا شروع گلدهی، به دلیل پاسخ ژنتیکی به محیط اطراف است. نتایج هم‌چنین نشان داد که توده‌های ایرانی و سوری از نظر طول مراحل مختلف فنولوژیکی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲).

صفات عملکردی و اجزای عملکرد

وزن کپسول در بوته: نتایج تجزیه واریانس در رابطه با صفت وزن کپسول در بوته نشان می‌دهد که نوع توده و اثر متقابل توده و پیش‌تیمار بذور تأثیر معنی‌داری بر این صفت در گیاه سیاه‌دانه داشتند، اما اثر ساده پیش‌تیمار بذور به‌تنهایی معنی‌دار نگردید (جدول ۳). براساس مقایسه میانگین بیش‌ترین وزن

پوشش‌دهی بذور سازوکاری است که با فراهم آوردن مواد ارتقاءدهنده رشد گیاه در اطراف بذور سبب بهبود کیفیت بذور می‌گردد (۴۸). مطالعات متعددی گزارش کردند که پوشش‌دار کردن بذور گیاهان زراعی با مواد طبیعی یا شیمیایی سبب بهبود عملکرد و رشد گیاهان مربوطه گردید (۴۹، ۵۰، ۵۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پیش‌تیمار بذور تأثیری در مدت‌زمان رسیدن به مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه سیاه‌دانه نداشت (جدول ۲). پیش‌تیمار بذور با غلظت مناسب ترکیبات مورد کاربرد به‌ویژه عناصر ریزمغذی می‌تواند بر رشد و فیزیولوژی محصولات زراعی مختلف تحت شرایط محیطی متغیر اثرگذار باشد (۵۲). نتایج مشابهی در رابطه با بهبود بنيه و فیزیولوژی در کلزا تحت تأثیر پیش‌تیمار بذور در شرایط تنش آبی مشاهده شد (۵۳). بهبود استقرار و بنيه گیاه هم‌چنین درکشت مستقیم بذورهای برنج که با پراکسید کلسیم پیش‌تیمار شده بود، مشاهده گردید (۵۴). کاربرد عناصر ریزمغذی به‌عنوان پیش‌تیمار بذور سبب افزایش رشد و توسعه گیاهچه‌های گندم نان (۵۵) و نخود (۵۶) در مقایسه با شاهد گردید.

کپسول در بوته در توده ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک به‌دست آمد که نسبت به توده سوری با همین پیش‌تیمار ۱۳۰/۷۷ درصد افزایش نشان داد، البته وزن کپسول در توده ایرانی پیش‌تیمار شده با بیوزینک اختلاف معنی‌داری با پیش‌تیمار با اسیدهیومیک و بدون پیش‌تیمار در توده ایرانی و هم‌چنین با توده هندی بدون پیش‌تیمار و پیش‌تیمار شده با اسیدهیومیک و بیوزینک نداشت. از طرف دیگر، کم‌ترین وزن کپسول اندازه‌گیری شده در توده سوری چه بدون پیش‌تیمار و چه پیش‌تیمار با بیوزینک و اسیدهیومیک مشاهده گردید (شکل ۱).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع توده و پیش‌تیمار بذر بر برخی صفات زایشی سیاه‌دانه.

Table 3. Analysis of variance (mean square) of the effect of ecotype and seed priming on some reproductive traits of black cumin.

وزن هزاردانه TGW (g)	وزن دانه در کپسول Weight of seeds in capsule (g)	تعداد دانه در کپسول Number of seeds in capsule	تعداد فولیکول در کپسول Number of follicles in capsule	تعداد کپسول سالم در بوته Number of filled capsule per plant	تعداد کپسول پوک در بوته Number of hollow capsule per plant	وزن کپسول در کل بوته capsule weight per plant (g)	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.02 ^{ns}	0.001 ^{ns}	9.01 ^{ns}	0.12 ^{ns}	1.34 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.05 ^{ns}	2	تکرار Repetition
0.82 ^{**}	0.002 [*]	189.36 ^{**}	1.57 ^{**}	14.33 ^{**}	20.54 ^{**}	2.21 ^{**}	2	توده Ecotype
0.006 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	62.01 ^{ns}	0.2 ^{ns}	27.24 ^{**}	1.31 ^{**}	0.02 ^{ns}	2	پیش‌تیمار بذر Priming
0.02 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	24.75 ^{ns}	0.10 ^{ns}	7.05 ^{**}	1.05 ^{**}	0.18 ^{**}	4	توده × پیش‌تیمار بذر Ecotype × Priming
0.02	0.0005	17.75	0.12	0.68	0.14	0.03	16	خطای آزمایش Error
8.86	7.57	5.98	5.78	4.64	7.72	4.76		ضریب تغییرات CV (%)

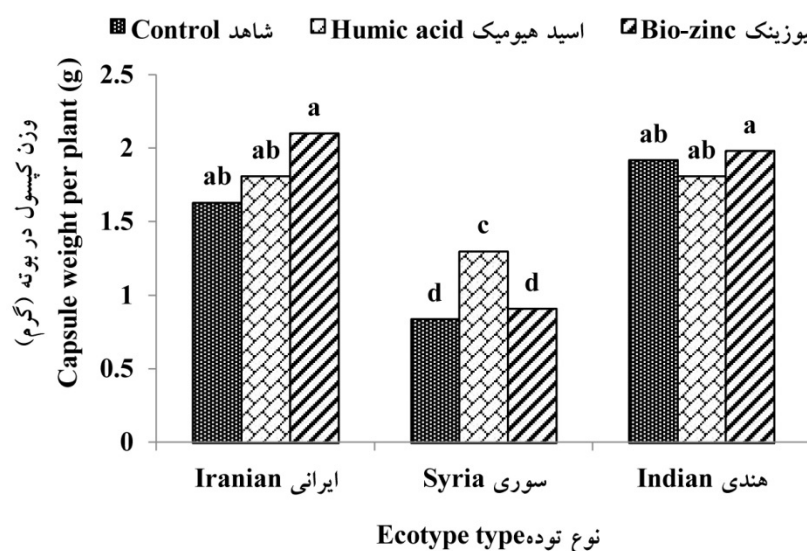
^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد
ns, * and ** indicate non-significance and significance at the level of 5 and 1%, respectively

(جدول ۶). در پژوهش انجام‌شده روی توده‌های مختلف سیاه‌دانه در ایران گزارش شد که توده‌های مورد مطالعه (اردبیل، بوکان و بافت) اختلاف معنی‌داری از نظر وزن کپسول داشتند و توده اردبیل بیش‌ترین وزن کپسول را در مقایسه با دو توده دیگر حاصل آورد. یافته‌های به‌دست آمده از پژوهش حاضر نیز

نتایج بیانگر آن بود که توده‌های هندی و ایرانی همراه با پیش‌تیمار با اسیدبیوزینک و هیومیک توانستند وزن کپسول در بوته سیاه‌دانه بالاتری را موجب شوند که احتمالاً به دلیل اندازه یا سبزی فولیکول و خصوصیات ژنتیکی دو توده هندی و ایرانی در واکنش یا اسیدهیومیک و بیوزینک باشد

پیش‌ تیمار بذور سبب کاهش وزن کپسول در بوته گردید. نظری و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان نمودند که پیش‌ تیمار بذور برنج با سولفات روی سبب افزایش معنی‌ داری در وزن خوشه برنج گردید. این اختلاف مشاهده‌ شده می‌ تواند به واکنش متفاوت گیاهان زراعی به پیش‌ تیمار بذور و تأثیر متفاوت ترکیبات مورد مطالعه نسبت داده شود (۵۹). حال آن‌ که شریفی و همکاران (۱۳۹۷) بیان داشتند که پیش‌ تیمار بذور گندم با اسید هیومیک، اسید فولیک و جیبرلین تأثیر معنی‌ داری بر وزن سنبله در بوته نداشت (۶۰).

اثبات می‌ کند که نوع توده تأثیر معنی‌ داری بر وزن کپسول در بوته دارد که در توافق با نتایج مطالعه عبدالرحیمی و همکاران (۲۰۱۲) می‌ باشد (۵۷). مهری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی بیان داشتند وزن کپسول توده‌ های اردبیل ۱، کرج، همدان، لردگان و تاکستان بیش‌ ترین و توده‌ های بروجن، شیراز، اصفهان ۱ و ۲ و کاشمر کم‌ ترین مقدار را داشتند. هرچه قطر طولی و عرضی فولیکول بیش‌ تر باشد؛ تعداد دانه در فولیکول، وزن فولیکول و در نتیجه عملکرد دانه بیش‌ تر خواهد شد (۵۸). مطابق یافته‌ های این پژوهش عدم



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش‌ تیمار بذور بر وزن کپسول در بوته.

Fig. 1. Mean comparison of the interaction effect of ecotype and seed priming on capsule weight per plant. میانگین‌ هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌ داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌ دار (LSD) ندارند

Means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)

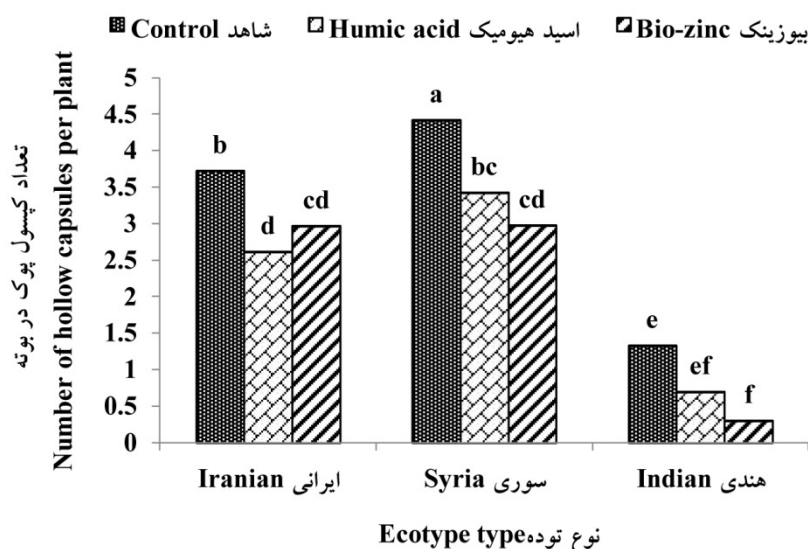
دو توده دیگر داشت و کم‌ ترین کپسول‌ های پوک در توده هندی مشاهده شد و توده ایرانی پس از توده هندی کم‌ ترین کپسول‌ های پوک را به خود اختصاص داد (شکل ۲) و این‌ در حالی بود که توده سوری با و بدون پیش‌ تیمار کم‌ ترین تعداد کپسول سالم در بوته را به خود اختصاص داد و بیش‌ ترین کپسول سالم در بوته در توده ایرانی پیش‌ تیمار شده با بیوزینک و

تعداد کپسول پوک و سالم در بوته: نتایج در رابطه با تعداد کپسول پوک و سالم در بوته نشان داد که نوع توده، پیش‌ تیمار بذور و اثر متقابل این دو عامل تأثیر معنی‌ داری بر این دو صفت در گیاه سیاه‌ دانه داشت (جدول ۳). بر این اساس، بیش‌ ترین کپسول‌ های پوک در توده‌ های سوری چه بدون پیش‌ تیمار و چه پیش‌ تیمار شده مشاهده شد که اختلاف معنی‌ داری با

مطالعات در این مورد نیز نشان می‌دهد که توده‌های مورد مطالعه سیاه‌دانه اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد کپسول در بوته با یکدیگر داشتند (۶۲). هم‌چنین نتایج نشان داد که پیش‌تیمار بذور در مقایسه با شاهد تأثیر کاهشی بر تعداد کپسول پوک و تأثیر افزایشی بر تعداد کپسول سالم در بوته داشت، هرچند بین اسیدهیومیک و بیوزینک اختلاف معنی‌داری در این رابطه مشاهده نشد (جدول ۴). این در حالی است که یافته‌های مطالعه انجام‌شده روی سویا در لهستان نشان داد که پیش‌تیمار بذور با کیتوزان و آلزینات سبب کاهش تعداد غلاف در بوته گردید هرچند که این کاهش معنی‌دار نبود (۶۳).

اسیدهیومیک و هم‌چنین توده هندی با و بدون پیش‌تیمار دیده شد (شکل ۳). در هر سه توده بین پیش‌تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد؛ اما در دو توده ایرانی و سوری کاهش معنی‌داری بین بذور پیش‌تیمار شده و پیش‌تیمارنشده مشاهده شد و پیش‌تیمار بذور منجر به افزایش معنی‌دار تعداد کپسول سالم در بوته در مقایسه با شاهد شد (شکل ۳).

براساس یک پژوهش در ترکیه، ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه از نظر تعداد کپسول در بوته اختلاف معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که ژنوتیپ جمیلی بیش‌ترین تعداد کپسول در بوته (۴/۴۵ عدد) را حاصل و از این نظر تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ‌های اوشاک، هاتای و دیاربکر داشت (۶۱) که در توافق با یافته‌های مطالعه حاضر می‌باشد.

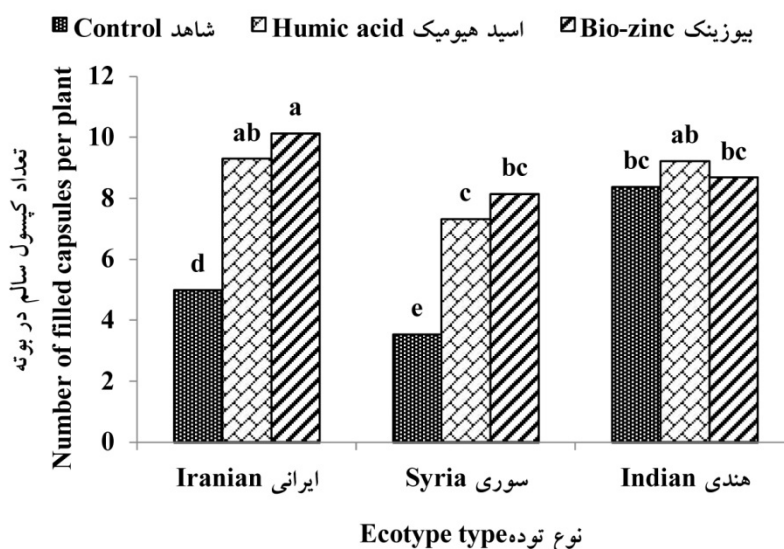


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش‌تیمار بذور بر تعداد کپسول پوک در بوته.

Fig. 2. Mean comparison of the interaction effect of ecotype and seed priming on number of hollow capsule per plant.

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند

Means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش تیمار بذر بر تعداد کپسول سالم در بوته.

Fig. 3. Mean comparison of the interaction effect of ecotype and seed priming on number of filled capsules per plant.

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند

Means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)

توده سوری اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۴). علی‌رغم معنی‌دار نشدن اثر پیش تیمار بذر سیاه‌دانه، پیش تیمار بذر سبب افزایش تعداد فولیکول در کپسول گردید؛ هرچند این افزایش در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۴).

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر ساده نوع توده بر تعداد دانه در کپسول، بیش‌ترین مقدار این صفت برای توده هندی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با توده ایرانی نداشت، اما این دو توده مذکور تفاوت معنی‌داری در این صفت با توده سوری داشتند به‌طوری‌که کم‌ترین تعداد دانه در کپسول در توده سوری مشاهده شد که نسبت به توده هندی و ایرانی به‌ترتیب ۱۲/۰۵ و ۸/۵۶ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). در رابطه با تعداد دانه در کپسول اثر پیش تیمار بذر سیاه‌دانه با ترکیبات مورد آزمایش، سبب افزایش تعداد دانه در کپسول گردید اما این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۴).

بنابراین، پیش تیمار بذر به‌دلیل اثرات مثبت بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد مطلوب گیاه و فرار از تنش‌های محیطی به‌واسطه داشتن عناصری مثل اسید هیومیک و بیوزینک در بذر می‌تواند مرحله زایشی و تلقیح را با موفقیت بیش‌تری سپری نماید و دانه‌های بیش‌تری در درون کپسول تشکیل گردد و در نهایت تعداد کپسول پوک کم‌تری مشاهده شود.

تعداد فولیکول (خانه) در کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن دانه در کپسول: تجزیه واریانس تعداد فولیکول (خانه) در کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن دانه در کپسول نشان داد که تنها نوع توده بر این صفات تأثیر معنی‌داری داشت، درحالی‌که پیش تیمار بذر و اثر متقابل توده و پیش تیمار بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). بر این اساس، بیش‌ترین تعداد فولیکول شمارش شده در کپسول مربوط به توده ایرانی بود که اختلاف معنی‌داری با توده هندی نداشت، اما این دو توده در این صفت با

نتایج در رابطه با تعداد فولیکول در کپسول نشان داد که کم‌ترین تعداد فولیکول در توده سوری به‌دست آمد. همچنین پیش‌تیمار بذور سبب افزایش تعداد فولیکول در کپسول گردید؛ هرچند این افزایش در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود. براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین تعداد دانه در کپسول در توده هندی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با توده ایرانی نداشت (جدول ۴). تفاوت در تعداد دانه در خوشه برای توده مختلف برنج گزارش شده است که آن را به پتانسیل ژنتیکی و کیفیت فیزیولوژیکی توده نسبت دادند (۶۴). همچنین پتانسیل ژنتیکی توده بهبود تعداد دانه در گیاه گلرنگ نیز ثابت‌شده است (۶۵).

در رابطه با تعداد دانه در کپسول نیز پیش‌تیمار بذور سبب افزایش تعداد دانه در کپسول گردید

هرچند این افزایش در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود. شریفی و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیان نمودند که پرایمینگ بذور گندم با اسیدهیومیک، اسیدفولیک و جیبرلین تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله گندم نداشت، اما نسبت به شاهد موجب افزایش مقدار این صفت گردید که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (۶۰). نتایج یک مطالعه روی ذرت نشان داد که فعالیت کلروفیل و به دنبال آن میزان فعالیت فتوسنتزی گیاه تحت تأثیر پیش‌تیمار بذور قرار می‌گیرد (۶۶)؛ بنابراین می‌توان علت افزایش تعداد دانه در کپسول گیاه سیاه‌دانه در اثر پیش‌تیمار بذور را به فعالیت فتوسنتزی در نتیجه استقرار زودهنگام و بهره‌گیری مناسب از منابع محیطی گیاه زراعی دانه روغنی نسبت داد (۶۷).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده نوع توده بر برخی صفات زایشی سیاه‌دانه.

Table 4. Mean comparison of simple effect of ecotype on some reproductive traits of black cumin.

عامل Factor	سطوح Levels	تعداد فولیکول در کپسول Number of follicles in capsule	تعداد دانه در کپسول Number of seeds in capsule	وزن دانه در کپسول Weight of seeds in capsule (g)	وزن هزاردانه TWG (g)
توده Ecotype	ایرانی Iranian	6.24 ^a	71.58 ^a	0.141 ^b	2.23 ^b
	سوری Syria	5.43 ^b	65.45 ^b	0.139 ^b	2.18 ^b
	هندی Indian	6.02 ^a	74.42 ^a	0.167 ^a	2.73 ^a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند
* In each column means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)

یافته‌های حاصل از این پژوهش همچنین نشان داد که بیش‌ترین وزن دانه در کپسول اندازه‌گیری‌شده به‌ترتیب در توده‌های هندی، ایرانی و سوری مشاهده شد که توده هندی با میانگین ۰/۱۶۷ گرم، اختلاف معنی‌داری با دو توده دیگر داشت (جدول ۴).

پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش دادند که نوع توده سیاه‌دانه تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه داشته (۵۷) که در توافق با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد. در مطالعه انجام‌شده دیگری نیز مشخص شد که ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه (جمیلی، اوشاک،

دیاربکر و بوردور) از نظر وزن دانه در کپسول با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (۶۱). نتایج هم‌چنین آشکار ساخت که پیش‌تیمار بذور با اسیدهیومیک و بیوزینک سبب افزایش وزن دانه در کپسول در مقایسه با شاهد شد هرچند این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۴).

وزن هزاردانه: نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن بود که تنها نوع توده بر وزن هزاردانه تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بر این اساس، بیش‌ترین وزن هزاردانه به‌دست آمده مربوط به توده هندی (۲/۷۳ گرم) بود که اختلاف معنی‌داری با دو توده دیگر داشت، اما بین توده‌های سوری و ایرانی تفاوت معنی‌داری در رابطه با این صفت مشاهده نشد (جدول ۴). تعدادی از پژوهش‌گران در مطالعه خود روی توده مختلف سیاه‌دانه گزارش دادند که نوع توده بر وزن هزاردانه اثر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که توده اردبیل بیش‌ترین وزن هزاردانه را در مقایسه با توده بوکان و بافت حاصل آورد (۵۷). هم‌چنین در مطالعه انجام‌شده دیگری نیز مشخص شد که ژنوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه (جمیلی، اوشاک، دیاربکر و بوردور) از نظر وزن هزاردانه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (۶۱). پژوهش‌گران اتیوپی نیز نشان دادند که توده مورد مطالعه سیاه‌دانه اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزاردانه با یکدیگر داشتند (۶۲).

علی‌رغم معنی‌دار نشدن اثر پیش‌تیمار بذور سیاه‌دانه با ترکیبات مورد مطالعه، اما پیش‌تیمار بذور با

اسیدهیومیک و بیوزینک سبب افزایش ۱/۷۱ و ۲/۱۲ درصدی وزن هزاردانه نسبت به عدم پیش‌تیمار شد (جدول ۴). پژوهش‌گران در لهستان نیز نشان دادند که پیش‌تیمار بذور سویا با کیتوزان و آلزینات سبب افزایش وزن هزاردانه گیاه سویا گردید؛ اما این افزایش معنی‌دار نبود (۵۱)؛ اما شریفی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش دادند که پیش‌تیمار بذور گندم با اسیدهیومیک و اسیدفولیک اثر معنی‌داری بر وزن هزاردانه گندم نداشت و حتی سبب کاهش مقدار این صفت در مقایسه با شاهد گردید (۶۰).

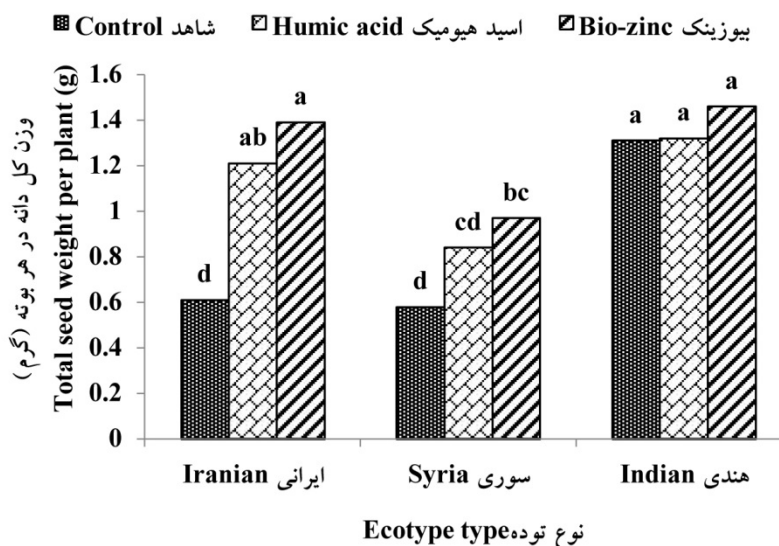
وزن کل دانه در هر بوته: نوع توده، پیش‌تیمار بذور و اثر متقابلشان تأثیر معنی‌داری بر وزن کل دانه در هر بوته سیاه‌دانه داشت (جدول ۵). براساس مقایسه میانگین بیش‌ترین وزن کل دانه توزین شده مربوط به توده هندی پیش‌تیمار شده با بیوزینک با میانگین ۱/۴۶ گرم بود اما اختلاف معنی‌داری در این توده با و بدون پیش‌تیمار و هم‌چنین با توده‌های ایرانی پیش‌تیمار شده نیز وجود نداشت. کم‌ترین وزن کل دانه در هر بوته نیز با میانگین ۰/۵۸ گرم مربوط به توده سوری بدون پیش‌تیمار بود؛ درحالی‌که اختلاف معنی‌داری با توده‌های ایرانی بدون پیش‌تیمار و سوری با پیش‌تیمار اسیدهیومیک نداشت (شکل ۴). در پژوهشی دلیل افزایش وزن دانه را به افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در سوخت‌وساز ساکارز سینتتاز، اینورتازها و ساکارز فسفات سینتتاز در اثر پیش‌تیمار نسبت دادند (۶۸).

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع توده و پیش تیمار بذر بر برخی صفات کمی سیاه‌دانه.

Table 5. Analysis of variance (mean square) effect of ecotype and seed priming on some quantitative traits of black cumin.

شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Seed yield (g/m ²)	وزن کل خشک تک بوته Total dry weight of plant (g)	وزن هزار دانه TWG (g)	وزن کل دانه در هر بوته Total seed weight per plant (g)	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
12.71 ^{ns}	13.07 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.03 ^{ns}	2	تکرار Repetition
1787.70 ^{**}	11574.40 ^{**}	4.60 ^{**}	0.82 ^{**}	0.75 ^{**}	2	توده Ecotype
70.07 ^{**}	1608.65 ^{**}	3.51 ^{**}	0.006 ^{ns}	0.26 ^{**}	2	پیش تیمار بذر Priming
35.88 ^{**}	622.29 ^{**}	2.51 ^{**}	0.02 ^{ns}	0.18 ^{**}	4	توده × پیش تیمار بذر Ecotype × Priming
7.26	72.02	0.27	0.02	0.03	16	خطای آزمایش Error
12.81	7.09	12.74	5.81	16.86		ضریب تغییرات CV (%)

^{ns}, * and ** indicate non-significance and significance at the level of 5 and 1%, respectively



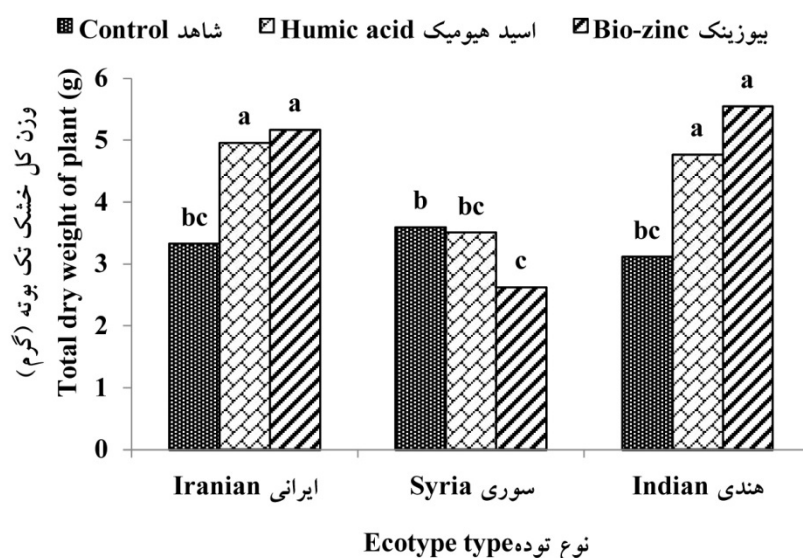
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش تیمار بذر بر وزن کل دانه در هر بوته.

Fig. 4. Mean comparison of the interaction effect of ecotype and seed priming on total seed weight per plant. میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند

Means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)

معنی‌داری با توده ایرانی پیش‌ تیمار شده با بیوزینک و اسید هیومیک و هم‌چنین توده هندی پیش‌ تیمار شده با اسید هیومیک نداشت. از طرف دیگر، کم‌ترین مقادیر وزن کل خشک تک‌بوته سیاه‌دانه در توده‌های سوری با و بدون پیش‌ تیمار و هم‌چنین توده ایرانی بدون پیش‌ تیمار دیده شد (شکل ۵).

وزن کل خشک تک بوته: وزن کل خشک تک‌بوته سیاه‌دانه تحت تأثیر اثر ساده نوع توده، پیش‌ تیمار بذور و اثر متقابل این دو عامل قرار گرفت (جدول ۵). همان‌طور که از مقایسه میانگین اثر متقابل توده و پیش‌ تیمار در شکل ۵ مشخص است، بیش‌ترین وزن کل خشک تک‌بوته سیاه‌دانه (۵/۵۵ گرم) در توده هندی پیش‌ تیمار شده با بیوزینک بود که اختلاف



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش‌ تیمار بذور بر وزن کل خشک تک‌بوته.

Fig. 5. Mean comparison of the interaction effect of ecotype and seed priming on total dry weight of plant.

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند

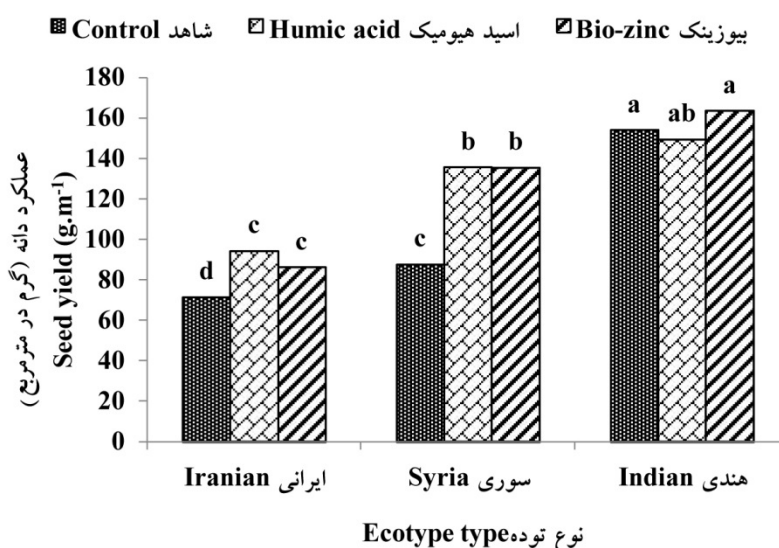
Means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)

درصد و سرعت ظهور گیاهیچه نسبت دادند (۶۹). هم‌چنان که پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش کردند افزایش عملکرد ز در نتیجه پیش‌ تیمار بذور می‌تواند به‌دلیل بهبود ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، رشد سریع گیاهیچه، استقرار مناسب و در نهایت استفاده مطلوب از عوامل محیطی نور، رطوبت، خاک و عناصر غذایی باشد (۶۷ و ۷۰). در برنج نیز پیش‌ تیمار بذور با فسفر و روی موجب افزایش زیست‌توده گردید (۷۱) که در توافق با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

نتایج مطالعه‌ای روی سیاه‌دانه نشان داد که میزان زیست‌توده (برگ + ساقه + کپسول + دانه) به‌طور معنی‌داری در توده‌های مختلف اختلاف داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این صفت به‌ترتیب در توده بافت و اردبیل رؤیت گردید که از نظر اثرگذار بودن عامل توده بر زیست‌توده با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد (۵۷). پژوهش‌گران دیگری نیز بیان داشتند که پیش‌ تیمار با محلول سولفات روی، اوره و آب معمولی سبب افزایش زیست‌توده لوبیا گردید. آن‌ها این افزایش را به افزایش

اسید هیومیک پیش‌ تیمار شده بود و یا هیچ پیش‌ تیماری نشده بود مشاهده نشد؛ اما افزایش عملکرد دانه در توده هندی پیش‌ تیمار شده با بیوزینک، اسید هیومیک و بدون پیش‌ تیمار موجب افزایش ۱۲۸/۹۴، ۱۰۹/۴۱ و ۱۱۵/۶۵ درصدی نسبت به توده ایرانی بدون پیش‌ تیمار شدند (شکل ۶).

عملکرد دانه: عملکرد دانه سیاه‌دانه تحت‌ تأثیر نوع توده، پیش‌ تیمار بذور و اثر متقابل نوع توده و پیش‌ تیمار بذر قرار گرفت (جدول ۵). بیش‌ترین عملکرد دانه در توده هندی پیش‌ تیمار شده با اسید بیوزینک (۱۶۳/۵۳ گرم در مترمربع) به‌ دست آمد؛ هر چند اختلاف معنی‌ داری در این توده که با



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش‌ تیمار بذر بر عملکرد دانه.

Fig. 6. Mean comparison of the interaction effect of ecotype and seed priming on seed yield.

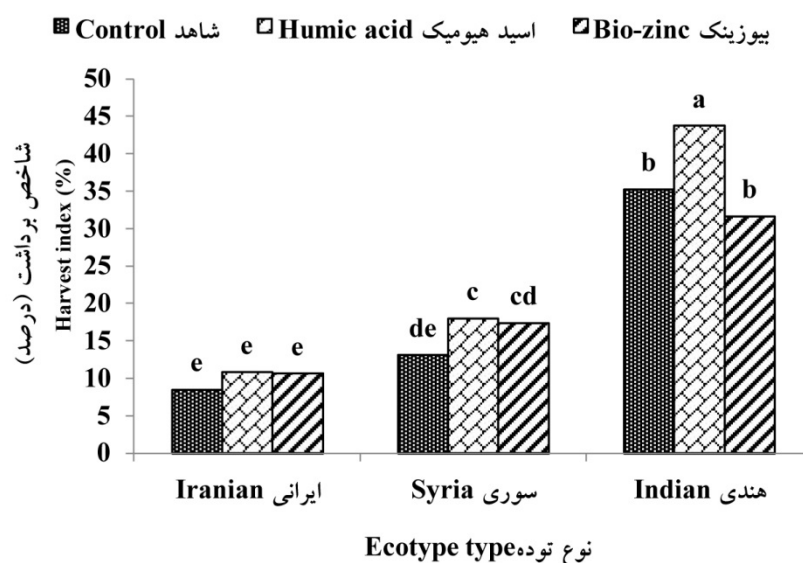
میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌ داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌ دار (LSD) ندارند

Means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)

(جدول ۵). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین شاخص برداشت برآورد شده مربوط به توده هندی پیش‌ تیمار شده با اسید هیومیک با میانگین ۴۳/۷۷ درصد بود که اختلاف معنی‌ داری بین این تیمار و سایر تیمارها وجود داشت. کم‌ترین شاخص برداشت نیز با میانگین ۸/۵۳ درصد در توده ایرانی بدون پیش‌ تیمار رؤیت شد؛ درحالی‌ که بین این تیمار با تیمارهای ایرانی پیش‌ تیمار شده و نیز توده سوری بدون پیش‌ تیمار اختلاف معنی‌ داری مشاهده نشد (شکل ۷).

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 می‌ گردد (۷۱). در برنج نیز، پیش‌ تیمار بذور با فسفر و روی موجب افزایش عملکرد اقتصادی گردید (۷۲) که در توافق با یافته‌ های پژوهش حاضر می‌ باشد.

شاخص برداشت: بر اساس نتایج تجزیه واریانس نوع توده، پیش‌ تیمار بذور و اثر متقابل این دو عامل تأثیر معنی‌ داری بر شاخص برداشت گیاه سیاه‌دانه داشتند



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع توده و پیش‌تیمار بذری بر شاخص برداشت.

Fig. 7. Mean comparison of the interaction effect of ecotype and seed priming on harvest index.
 میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند
 Means that have at least one letter in common do not have a significant difference based on the least significant difference test (LSD)

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، پیش‌تیمار بذری با اسیدهیومیک و بیوزینک با افزایش رشد گیاه و تولید زیست‌توده بیشتر منجر به حصول اجزاء عملکرد بالاتری شد که این امر موجب ارتقاء عملکرد توده‌های مختلف سیاه‌دانه به‌خصوص توده هندی گشت؛ بنابراین جهت دستیابی به عملکرد بالاتر، استفاده از توده هندی همراه با پیش‌تیمار بیوزینک و اسیدهیومیک می‌تواند گزینه مناسبی باشد.

هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و ارزش غذایی و دارویی آنها، تأثیر پیش‌تیمار با کودهای زیستی و ارگانیک، مایکوریزا و سایر عناصر غذایی کم‌مصرف نیز بر صفات کمی، اسانس و درصد روغن با غلظت‌های مختلف روی بذور گیاهان دارویی به‌خصوص سیاه‌دانه بررسی گردد.

نتایج پژوهشی روی سیاه‌دانه نیز نشان داد که سه توده مورد مطالعه (اردبیل، بوکان و بافت) اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در شاخص برداشت داشتند (۵۷). نتایج هم‌چنین نشان داد که پیش‌تیمار کردن بذور سبب افزایش در شاخص برداشت در مقایسه با شاهد شد اما این افزایش تنها با پیش‌تیمار کردن با اسیدهیومیک در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود؛ پیش‌تیمار با اسیدبیوزینک نیز موجب افزایش شاخص برداشت شد اما این افزایش در مقایسه با عدم پیش‌تیمار معنی‌دار نبود. شریفی و همکاران (۱۳۹۷) بیان داشتند که پرایمینگ بذور گندم با اسیدهیومیک تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت در گیاه گندم نداشت و سبب کاهش جزئی در این صفت در مقایسه با شاهد گردید (۶۰). اختلاف مشاهده‌شده بین یافته‌های مطالعه حاضر و پژوهش فوق می‌تواند به سبب نوع متفاوت گیاهان زراعی مورد مطالعه و اختلاف در کیفیت اسیدهیومیک مورداستفاده در این دو پژوهش بوده باشد.

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

برنامه تحقیقاتی با کد مصوب ۱۵-۱۴۰۱-۰۱ به‌واسطه حمایت‌های مالی اعلام می‌دارند.

منابع

1. 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, 65-70.
2. Davazdahemami, S., & Majnoon Hosseini, N. (2007). *Cultivation and Production of Some Medicinal Plants and Spices*. Tehran: Tehran University Publications. [In Persian]
3. McDonald, M. B. (2000). *Seed Priming*. In: *Seed Technology and its Biological Basis*, (Eds. Black, M., Bewley, J.D.). Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, pp. 287-325.
4. Hosseini Chaleshtari, M., & Nazari, Sh. (2021). *Rice Seed Pretreatment Technology*. Tehran Publications. Raze nznhan. [In Persian]
5. 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, 15-29.
6. Hill, H. J. (1999). Advances in seed technology. *Seed Dynamics, Inc* "originally published in *Journal of New Seeds*, 1(1).
7. 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, 1-11.
8. 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.
9. 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.
10. Venkatachlam, P., Priyanka, N., Manikandan, K., Ganeshbabu, I., Indiraarulseli, 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.
11. Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface. *Plant Signaling and Behavior*, 5(6), 635-643.
12. Egamberdiyeva, D. (2005). Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: Biochemical characterization and effectiveness. *Journal of the Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 94-99.
13. Samavat, S., & Malakuti, M. (2005). *The Necessity of using organic acid (humic and folic) to the increase the quality and quantity of agricultural products*. Technical Publication, Tehran the Senate, 463p. [In Persian]
14. Liu, C., & Cooper, R. J. (2000). Humic substances influence creeping bentgrass

- growth. *Golf Course Management*, 12, 49-53.
15. 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.
16. Rahimi, Z., Mozafari, H., & Hassanpour Darvishi, H. (2016). Investigation the effect of humic acid in irrigation water on yield and yield components of rapeseed. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 12(1), 95-106. [In Persian]
17. 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]
18. Pedrini, S., Merritt, D. J., Stevens, J., & Dixon, K. (2017). Seed coating: science or marketing spin?. *Trends in Plant Science*, 22(2), 106-116.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Yasmin, B. T., Fonsecanicoe, M., Almeidaile, C., Caldasgabriel, N., Moraisisaac, M. J., Silvavaleria, B., Riattowallter, N. L., Santosfernando, L. B., & Moutinho, F. L. B. (2022). Effect of the seed coating with biomass of *Dunaliella salina* on early plant growth and in the secondary metabolites content of *Coriandrum sativum*. *Crop Science*, *nais da Academia Brasileira de Ciencias*, 94(4), e20201735.
23. Popović, V., Ljubičić, N., Kostić, M., Radulović, M., Blagojević, D., Ugrenović, V., Popović, D., & Ivošević, B. (2020). Genotype×environment interaction for wheat yield traits suitable for selection in different seed priming conditions. *Plants*, 9(12), 18004.
24. Acharya, P., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., & Patil, B. S. (2020). Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Scientific Reports*, 10, 1-16.
25. Ittroutwar, P. D., Govindaraju, K., Tamilselvan, S., Kannan, M., Raja, K., & Subramanian, K. S. (2020). Seaweed-based biogenic ZnO nanoparticles for improving agromorphological characteristics of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 717-728.
26. Palupi, T., & Riyanto, F. (2020). Seed coating with biological agents to improve the quality of rice seeds contaminated with blast pathogens and increase seedling growth. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(2), 683-688.
27. Moradtalab, N., Ahmed, A., Geistlinger, J., Walker, F., Höglinger, B., Ludwig, U., & Neumann, G. (2020). Synergisms of microbial consortia, N forms, and micronutrients alleviate oxidative damage and stimulate hormonal cold stress adaptations in maize. *Frontiers in Plant Science*, 11, 396.
28. Torres, P., Novaes, P., Ferreira, L. G., Santos, J. P., Mazepa, E., Duarte, M. E. R., Nosedá, M. D., Chow, F., & Santos, D. Y. A. C. (2018). Effects of extracts and isolated molecules of two species of Gracilaria (*Gracilariaceae*, *Rhodophyta*) on early growth of lettuce. *Algal Research*, 32, 142-149.
29. Mirshekari, B., Asadi Rahmani, H., & Mirmozafari Roodsari, A. (2009). The effect of seed inoculation with

- Azospirillum* strains and coating with micronutrients on seed yield and essence of cumin (*Cuminum yimum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 25(4), 470-481. [In Persian]
30. Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., & Shah, H. (2007). Priming seeds with zinc sulphate solution increases yields of maize (*Zea mays* L.) on zinc-deficient soils. *Field Crops Research*, 102, 119-127.
31. 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.
32. Gurav, S., Katwate, S., Patel, S., Patel, M., Singh, B., Mirra, R., & Missa, S. (2010). Fertigation of roses under natural ventilated polyhouse conditions. *Floriculture Research Trend in India*, 222-223.
33. Terzi, A., Coban, S., Yildiz, F., Ates, M., Bitiren, M., Taskin, 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.
34. Abedini, T., Moradi, P., & Hani, A. (2015). Effect of organic fertilizer and foliar application of humic acid on some quantitative and qualitative yield of pot marigold. *Journal of Novel Applied Sciences*, 10, 1100-1103.
35. Dong, Y., Silberman, M., Speiser, A., Forieri, I., Linster, E., Poschet, G., Samami, A. A., Wanatabe, M., Sticht, C., Telemann, 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.
36. 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.
37. Henriot, 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.
38. 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.
39. Zenda, T., Liu, S., Dong, A., & Duan, H. (2021). Revisiting sulphur-The once neglected nutrient: It's roles in plant growth, metabolism, stress tolerance and crop production. *Agriculture*, 11(7), 626.
40. Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Jahandideh Mahjen Abadi, V. A., Ramezani, M. R., Mirzapour, M. H., & Mirzashahi, K. (2018). Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and phosphorus on the yield and nutrient uptake of canola and the chemical properties of calcareous soils in Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(14), 1671-1683.
41. Khazaie, H. R., EyshiRezaie, E., & Bannayan Aval, M. (2011). Application times and concentration of humic acid impact on above ground biomass and oil production of hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Medicinal Plants Research*, 5(20), 5148-5154.
42. Heidari, M., & Minaei, A. (2014). Effects of drought stress and humic acid application on quantitative yield and content of macro-elements in medical plant Borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Plant Production*, 21(1), 168-182. [In Persian]
43. Heidari, M., & Khalili, S. (2014). Effect of humic acid and phosphorus fertilizer on seed and flower yield, photosynthetic

- pigments and mineral elements concentration in sour tea (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(2), 191-199. [In Persian]
44. Rameeh, V., Niakan, M., & Mohammadi, M. H. (2019). Sulfur effects on sugar content, enzyme activity and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Agronomía Colombiana*, 37(3), 311-316.
45. Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., Patil, B. N., & Dharmatti, P. R. (2008). Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karantaka Journal of Agriculture Science*, 21(3), 382-385.
46. Vildova, A., Stolcova, M., Kloucek, P., & Orsak, P. M. (2006). Quality characterization of chamomile (*Matricaria recutita* L.) in organic and traditional agricultures in organic and traditional agricultures. *International Symposium on Chamomile Research Development and Production*. Presov, Slovak Republic, 7-10 June. 81-82.
47. Amirmoradi, SH., & Rezvani Moghaddam, P. (2012). Effect of plant density and time of nitrogen application on morphological, phenological characteristics, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Horticultural Science*, 25(3), 251-260. [In Persian]
48. Rocha, I., Ma, Y., Souza-Alonso, P., Vosátka, M., Freitas, H., & Oliveira, R. S. (2019). Seed coating: a tool for delivering beneficial microbes to agricultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1357.
49. Haj Seyed Hadi, M. R., Darzi, M. T., & Riazi, G. H. (2016). Black cumin (*Nigella sativa* L.) yield affected by irrigation and plant growth promoting bacteria. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 2, 125-133.
50. Javed, T., & Afzal, I. (2020). Impact of seed pelleting on germination potential, seedling growth and storage of tomato seed. *Acta Horticulture*, 1273, 417-424.
51. Jarecki, W., & Wietecha, J. (2021). Effect of seed coating on the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr). *Plant, Soil and Environment*, 67, 468-473.
52. 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.
53. Qiu, J., Wang, R., Yan, J., & Hu, J. (2005). Seed film coating with uniconazole improves rape seedling growth in relation to physiological changes under waterlogging stress. *Plant Growth Regulation*, 47(1), 75-81.
54. Sato, T., & Maruyama, S. (2002). Seedling emergence and establishment under drained conditions in rice direct-sown into puddled and leveled soil effect of calcium peroxide seed coating and sowing depth. *Plant Production Science*, 5(1), 71-76.
55. 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.
56. 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.
57. Abdollahimi, B., Mehdikhani, P., & Hassanzadeh Gort Tappe, A. (2012). The effect of harvest index, yield and yield component of three varieties of black cumin (*Nigella sativa* L.) in different planting densities. *International Journal of AgriScience*, 2(1), 93-101.
58. Mehri, N., Mohebodini, M., & Behnamian, M. (2018). Morphological diversity of black cumin (*Nigella sativa* L.) accessions using multivariate analysis methods. *Journal of Crop Breeding*, 10(26), 32-42. [In Persian]
59. 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]
60. Sharifi, H. R., Gazanchian, G. H., & Anahid, S. (2018). Effects of planting date and seed priming on partitioning coefficients, grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7(1), 257-280. [In Persian]
61. 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.
62. 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.
63. Jarecki, W. (2021). Soybean response to seed coating with chitosan + alginate/PEG and/or inoculation. *Agronomy*, 11(9), 1737.
64. Dastan, S., Noormohamadi, G., & Madani, H. (2014). Comparison of agronomical traits of four rice genotypes in cropping systems at Neka region. *Journal of Crops Improvement*, 16(2), 231-246. [In Persian]
65. Taheri, S., Gholami, A., Abbas Dokht, H., & Makarian, H. (2018). Response of yield, yield components and seed quality of safflower cultivars to water deficit tension and seed priming. *Crop Physiology*, 10(38), 39-58. [In Persian]
66. 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]
67. 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]
68. Kaur, S., Gupta, A. K., & Kaur, N. (2005). Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(2), 81-87.
69. Latifzadeh, M., Aboutalbani, M. A., Zavareh, M., & Rabiei, M. (2013). Effects of seed priming and sowing dates on seedling emergence, yield and yield components of a local genotype bean as a double crop in Rasht. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 44(1), 23-33. [In Persian]
70. Seyami, R., Mirshekari, B., Farahvash, F., Rashidi, V., & Tarinejad, 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]
71. 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.
72. 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.

