Cereal Biotechnology and Biochemistry
Online ISSN: 2783-5170
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

The effect of concentration and duration of seed priming with zinc on germination and seedling growth of maize

Hossein Abbasi Holasou[1]

[1] Field and Horticultural Crops Science Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran.

Corresponding author. E-mail: h.abbasi@areeo.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: Maize (*Zea mays* L.) is one of the vital cereal in the world, providing essential calories, minerals and vitamins to millions. Despite significant investments in developing high-yielding varieties and hybrids, maize yields remain suboptimal because of various production constraints. One of the problems of producing cereals, such as corn hybrid, is unequal and poor germination and seedling establishment. Seed priming is an effective method for improving seed germination and seedling growth in crops and corns, being considered straightforward, cost-effective, and efficient. But the disappearance of positive priming effects and decrease of seed longevity during storage may limit its application. The present experiment was conducted with the aim of nutrient seed priming and priming duration on the germination and growth parameters of corn as supplementary nutrition methods.

Materials and methods: The current experiment was carried out through laboratory and glasshouse conditions during 2022 at PARS Agro Industry CO, Ardabil, Iran. The experiment was carried as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. Five concentrations of Zn; 0 (control), 50, 80, 100 and 150 mM and three priming durations; 8 h, 12 h and 24 h were used for the laboratory experiment whilst the 150 mM concentration and 8 h duration were excluded in the glasshouse experiment.

Results: Analysis of variance of laboratory data showed that germination percentage (GP), germination rate (GR), germination index (GI), vigor index (VI) and seedling dry weight (DW) were significantly affected by Zn priming. Seed priming duration and Zn × priming duration interaction was also significant on all traits. The highest germination percentage (GP), germination rate (GR), germination index (GI), vigor index (VI) and seedling dry weight (DW) were obtained from 100 mM Zn and 24 h duration-priming seeds, which were significantly higher than control. The results of the glasshouse experiment showed that seed priming had significant ($P < 0.01$) effects on plant fresh weight (PFW), plant dry weight (PDW), plant diameter (PD), plant height (PH), chlorophyll content index (CCI) and root length (RL). Seed priming duration had significant ($P < 0.01$) effects on plant dry weight and plant diameter. These parameters were improved by priming at 100 mM of the Zn for longer (24 h) time.

Conclusion: This suggests that with optimum Zn concentration level and appropriate priming duration can improve germination and seedling growth and hence maximization of the growth parameters. The result should be extended to a wider range of corn varieties under suitable management of Zn fertilizer and priming duration.

Keywords: Priming, Zinc, Generation indices, Root length.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 27 Apr 2025, **Revised:** 19 Jul 2025, **Accepted:** 29 Jul 2025, **Published online:** 23 Sep 2025

Cite this article: Abbasi Holasou, H. (2025). The effect of concentration and duration of seed priming with zinc on germination and seedling growth of maize. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *4*(3), 398-417. DOI: 10.22126/cbb.2026.13448.1129

© The Author(s).
10.22126/cbb.2026.13448.1129

Publisher: Razi University

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات
شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

تأثیر غلظت و مدت زمان پرایمینگ بذر با روی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت

حسین عباسی هولاسو[۱]

[۱] عضو هیئت علمی بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.

نویسنده مسئول. رایانامه: h.abbasi@areeo.ac.ir

چکیده

مقدمه: ذرت (*Zea mays* L.) یکی از غلات حیاتی در جهان است که کالری، مواد معدنی و ویتامین‌های ضروری میلیون‌ها نفر را تأمین می‌کند. با وجود سرمایه-گذاری‌های قابل توجه در توسعه ارقام و هیبریدهای پرمحصول، عملکرد ذرت به دلیل محدودیت‌های مختلف تولید، همچنان کمتر از حد مطلوب است. یکی از مشکلات تولید گیاهان زراعی به ویژه تولید هیبرید در ذرت، جوانه‌زنی غیریکنواخت و استقرار ضعیف گیاهچه‌ها است. پرایمینگ بذر روشی مؤثر جهت بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در گیاهان زراعی به ویژه ذرت است، که ساده، مقرون‌به‌صرفه و کارآمد در نظر گرفته می‌شود، اما از بین رفتن اثرات مثبت پرایمینگ و کاهش طول عمر بذر در طول انبارداری ممکن است کاربرد آن را محدود کند. آزمایش حاضر با هدف پرایمینگ تغذیه‌ای بذر و مدت زمان پرایمینگ بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت به عنوان شیوه‌های تغذیه‌ای تکمیلی اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش حاضر در سال ۱۴۰۱ در آزمایشگاه و گلخانه شرکت ملی کشت و صنعت و دامپروری پارس واقع در دشت مغان به اجرا در آمد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در فاز آزمایشگاهی پنج پیش تیمار غلظت روی شامل ۰ (شاهد)، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار و سه مدت زمان پرایمینگ شامل ۸، ۱۲ و ۲۴ ساعت مورد استفاده قرار گرفت که غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار و مدت زمان ۸ ساعت در شرایط گلخانه‌ای حذف شدند.

یافته‌ها: نتایج آزمون آزمایشگاهی نشان داد که درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و وزن خشک گیاهچه به طور معنی‌داری تحت تأثیر پرایمینگ بذر با عنصر روی قرار گرفتند. مدت زمان پرایمینگ بذر و اثر متقابل روی × مدت زمان پرایمینگ نیز برای تمام صفات مورد مطالعه در شرایط آزمایشگاهی معنی‌دار بود. بیشترین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و وزن خشک گیاهچه از بذرهای پیش تیمار با ۱۰۰ میلی-مولار روی و ۲۴ ساعت پرایمینگ به دست آمد که به طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرهای شاهد بودند. تحت شرایط گلخانه‌ای، سطوح غلظت روی تأثیر معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) روی وزن تر بوته، وزن خشک بوته، قطر بوته، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل برگ و طول ریشه داشت. مدت زمان پرایمینگ تنها بر روی صفات وزن خشک بوته و قطر بوته تأثیر معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) داشت. این پارامترها با پرایمینگ در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار روی برای مدت طولانی‌تری بهبود یافتند.

نتیجه‌گیری: نتایج بدست آمده نشان داد که با بهینه‌کردن غلظت روی و مدت زمان پرایمینگ مناسب می‌توان جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را بهبود بخشید و در نتیجه پارامترهای رشدی را به حداکثر رساند. این نتایج باید به طیف وسیع‌تری از ارقام مختلف ذرت تحت مدیریت مناسب کودی روی و مدت زمان پرایمینگ تعمیم داده شود.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ، روی، شاخص‌های جوانه‌زنی، طول ریشه.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷ **اصلاح:** ۱۴۰۴/۰۴/۲۸ **پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۵/۰۷، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

استناد: عباسی هولاسو، ح. (۱۴۰۴). تأثیر غلظت و مدت زمان پرایمینگ بذر با روی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۴(۳)، ۳۹۸-۴۱۷. DOI: 10.22126/cbb.2026.13448.1129

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از محصولات زراعی راهبردی بسیار مهم در سراسر جهان است (Singh *et al.*, 2023). این گیاه به عنوان یک غله گرمسیری و دارا بودن ارزش غذایی بالا، کاربردهای متنوعی دارد؛ به طوریکه ۶۶ درصد ذرت تولید شده در جهان به عنوان خوراک دام، ۲۰ درصد به عنوان غذای مستقیم انسان، هشت درصد برای مصارف صنعتی و شش درصد به عنوان بذر یا ضایعات مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wazeer *et al.*, 2025). به دلیل اهمیت این محصول چند منظوره، در مناطق مختلف با شرایط آب و هوایی متنوع کشت می‌شود. یکی از مزایای اصلی گیاهان C_4 تحمل به تنش‌های محیطی می‌باشد. اگر چه ذرت جزء گیاهان C_4 محسوب می‌شود، اما این گیاه استراتژیک همچنان در برابر شرایط آب و هوایی تنش‌زا، آسیب‌پذیر بوده که در نهایت می‌تواند به اندام‌های تولید مثلی گیاه آسیب برساند و عملکرد را کاهش دهد (Guidi *et al.*, 2019). ذرت دانه‌ای در بیش از ۱۴۳ هزار هکتار از اراضی کشور کشت می‌شود و تولید سالیانه آن حدود ۱/۰۳ میلیون تن است (Ministry of Jihad-e-Agriculture, 2024)، در حالی که نیاز سالانه کشور به ذرت دانه‌ای حدود ۹/۵ میلیون تن می‌باشد. ضریب خودکفایی ۱۲ درصدی این محصول، ایران را به یکی از کشورهای عمده وارد کننده ذرت تبدیل نموده است؛ به طوریکه با وارد کردن ۸/۵ میلیون تن دانه ذرت (۴/۷ درصد از کل واردات جهانی ذرت) در سال ۲۰۲۲، ایران در بین کشورهای وارد کننده ذرت جایگاه هشتم را داشته است (National Corn Growers Association, 2023).

عملکرد ذرت تا حد زیادی به استقرار بهینه گیاهچه‌های قوی بستگی دارد که به نوبه خود به تأمین کافی مواد مغذی ضروری گیاه بستگی دارد (Finch-Savage & Bassel, 2016). گیاهچه‌های قوی که سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته دارند، بهتر می‌توانند شرایط کمبود ریزمغذی‌ها و سایر تنش‌های زیستی و غیرزیستی را تحمل کنند (Harris, 2006; Dimkpa & Bindraban, 2016).

در حالی که بسیاری از فن‌آوری‌های مدیریت حاصلخیزی خاک برای بهینه‌سازی استقرار گیاهچه‌های قوی ابداع شده‌اند، پذیرش چنین فن‌آوری‌هایی توسط کشاورزان فقیر بسیار محدود است، زیرا چنین فن‌آوری‌هایی یا برای کشاورزان فقیر منابعی بسیار گران هستند یا نامناسب. معرفی نهاده‌های زراعی کم‌هزینه و کم‌خطر که بتواند به راحتی توسط کشاورزان فقیر به کار گرفته شود، می‌تواند به طور قابل توجهی استقرار و عملکرد گیاهان را بهبود بخشد (Harris *et al.*, 2005). یکی از این فناوری‌ها که می‌تواند عملکرد را برای کشاورزان فقیر در خاک‌هایی با حاصلخیزی پایین افزایش دهد، پرایمینگ (پیش‌تیمار) بذرها با استفاده از کودهای ماکرو و میکرو است. پرایمینگ بذر روشی امیدوارکننده، سریع، کارآمد و کم-هزینه است که ویژگی‌های کلیدی کیفی بذر از جمله سرعت جوانه‌زنی، قدرت رشد، سبز شدن یکنواخت و رشد قوی گیاهچه را حتی در شرایط تنش‌زا بهبود می‌بخشد

(Sary & Abd El-Aziz, 2025). علاوه بر این، پرایمینگ بذر فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند آمیلازها، پروتئازها و لیپازها را که برای رشد و نمو جنین بسیار مهم هستند، افزایش می‌دهد (Acharya *et al.*, 2020). اساساً پرایمینگ تغذیه‌ای بذر، تکنیکی است که در آن بذرها به جای آب خالص، در محلول غذایی حاوی ریزمغذی‌های ضروری مانند روی، بور، مولیبدن و ماکرو کودهایی همانند پتاسیم و فسفر خیس می‌شوند (Farooq *et al.*, 2019). هدف از پرایمینگ تغذیه‌ای بذر، افزایش محتوای مواد مغذی بذر به همراه اثر پرایمینگ به منظور بهبود کیفیت بذر برای استقرار بهتر محصول زراعی است (Wazeer *et al.*, 2025). این امر به طور ویژه مهم است زیرا رشد گیاهچه تا زمانی که جذب ریشه شروع به تأمین مواد مغذی از خاک کند، توسط ذخایر مواد مغذی معدنی بذر حفظ می‌شود (Muhammad *et al.*, 2015).

پرایمینگ تغذیه‌ای بذر اخیراً در برنامه‌های تحقیقاتی مختلف شتاب بیشتری گرفته است (Kumar *et al.*, 2020). پرایمینگ بذر با استفاده از ریزمغذی‌ها به طور گسترده در بخش‌هایی از آسیا مورد استفاده قرار می‌گیرد و مطالعات در بنگلادش، نپال، هند و پاکستان نشان می‌دهد که پرایمینگ بذر با استفاده از کودهای ماکرو و میکرو می‌تواند عملکرد ذرت را پس از افزودن مواد مغذی همچون آهن، روی، بور و فسفات نسبت به عدم کاربرد کودهای ماکرو و میکرو به طور محسوس افزایش دهد (Houmani *et al.*, 2024; Choukri *et al.*, 2022). هریس و همکاران (Harris *et al.*, 2007) پاسخ مثبت نخود و گندم را به پرایمینگ با سولفات روی ($ZnSO_4$) در خاک‌هایی با کمبود متوسط روی نشان دادند. علاوه بر افزایش عملکرد به دنبال پرایمینگ با $ZnSO_4$، غلظت روی دانه ۱۲ درصد در گندم و ۲۹ درصد در نخود افزایش یافت. از طرف دیگر، پرایمینگ بذر با استفاده از ریزمغذی‌ها بسیار مقرون به صرفه بود، به‌طوریکه نسبت سود خالص به هزینه برای گندم ۷۵ و برای نخود ۷۸ مشاهده شد. به طور مشابه، حیدر و همکاران نیز (Haider *et al.*, 2020) بهبود عملکرد دانه و محتوای دانه در ماش را پس از پرایمینگ بذر با محلول ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مولار روی در مقایسه با شاهد مشاهده کردند. در پژوهشی دیگر ذوالفقار و همکاران (Zulfiqar *et al.*, 2020) نشان دادند که پرایمینگ بذر به وسیله آهن، مؤثرترین روش در بهبود عملکرد دانه در گندم و نسبت سود به هزینه در سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم و بدون خاک‌ورزی در مقایسه با استفاده مستقیم آهن در خاک و محلول‌پاشی است. به همین ترتیب سیم و آین (Sime & Aune, 2019) بهبود عملکرد زراعی و بازده اقتصادی در تولید ذرت را پس از استفاده از پرایمینگ بذر با ریزمغذی‌ها در اتیوپی گزارش کردند.

مزایای پرایمینگ بذر با استفاده از ریزمغذی‌ها در مراحل اولیه رشدی گیاه بارزتر است. رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 2014) در مطالعه‌ای جوانه‌زنی بسیار بالایی در بذرهای پرایم شده ذرت را در مقایسه با بذرهای غیر پرایم شده در بنگلادش گزارش کردند. به طور مشابه، در مطالعه‌ای در زیمباوه نشان داده شد که بذور پنبه و

ذرت پرایم شده در پتانسیل‌های اسمزی ۱۰-، ۱۰۰-، ۲۰۰-، ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال باعث درصد جوانه‌زنی بالایی در قیاس با دانه‌های غیرپرایم شده گردید (Murungu *et al.*, 2005). اوچه و همکاران (Uche *et al.*, 2016) نیز نشان دادند که پرایمینگ بذر، جوانه‌زنی بذر فلفل سبز را بهبود می‌بخشد. پارامترهای رشدی همانند میانگین جوانه‌زنی، زمان جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی پس از پرایمینگ بذر چاودار بهبود یافت (Ansari *et al.*, 2013). بنابراین پرایمینگ تغذیه‌ای بذرها در مقایسه با روش‌های گران‌قیمت همانند محلول‌پاشی، روشی ارزان‌تر برای افزایش ریزمغذی‌ها در گیاهان است. محتوای بالای عناصر ضروری مانند روی دانه نیز ممکن است روش ارزان‌تری به منظور بهبود تغذیه انسان باشد (Velu *et al.*, 2018). از مزایای دیگر پرایمینگ بذر می‌توان به افزایش تحمل گیاهچه‌ها در برابر تنش‌ها اشاره کرد. به عنوان مثال، مطالعات اقبال و همکاران (Iqbal *et al.*, 2020) کاهش اثرات منفی شوری را از طریق پرایمینگ بذر با $CuSO_4$ و $ZnSO_4$ در دو سطح غلظت (۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام) نشان دادند.

در حالی‌که مطالعات زیادی مبنی بر اثربخشی پرایمینگ بذر با استفاده از کودهای ماکرو و میکرو در برخی از کشورها وجود دارد (Kumar *et al.*, 2020)، با این وجود تلاش کمی به منظور تصحیح و استانداردسازی این فناوری برای خاک‌های حاشیه‌ای در مزارع کشاورزی با منابع ضعیفی از ریزمغذی‌ها در منطقه مغان (شمال‌غرب ایران) صورت گرفته است. این امر به طور ویژه مهم و اساسی است زیرا پاسخ جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه به استفاده از کودهای ماکرو و میکرو ممکن است نسبت به نوع محصول، نوع رقم، نوع پرایمینگ، غلظت و مدت زمان پرایمینگ متغیر باشد. در نتیجه، نیاز به بهینه‌سازی غلظت و مدت زمان پرایمینگ این عناصر در مزارعی با کمبود کودهای ماکرو و میکرو وجود دارد. این امر به طور ویژه مهم و اساسی است زیرا اطلاعات کمی در مورد بهینه‌سازی بذور پرایم شده ذرت با ریزمغذی‌ها همچون روی در اراضی منطقه مغان (شمال‌غرب ایران) وجود دارد. با توجه به مطالب فوق، تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ کودی با استفاده از روی و مدت زمان پرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی و رویشی بذر ذرت هیبرید ۷۰۴ و انتخاب بهترین تیمار تدوین و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی ذرت هیبرید ۷۰۴ در دو شرایط آزمایشگاه و گلخانه شرکت ملی کشت و صنعت و دامپروری پارس (واقع در مغان استان اردبیل) در سال ۱۴۰۱ صورت پذیرفت. پژوهش آزمایشگاهی شامل ارزیابی تأثیر پرایمینگ بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و آزمایش گلخانه‌ای شامل بررسی تأثیر تیمار پرایمینگ بذر در سطوح مختلف تیمارهای کودی بر رشد و خصوصیات مورفولوژیک گیاهچه‌ای ذرت بود. بذر ذرت هیبرید ۷۰۴ از شرکت ملی کشت و صنعت و دامپروری پارس تهیه گردید. این رقم به دلیل داشتن عملکرد بالا و سازگاری

وسیع، به طور گسترده در ایران، به ویژه در شمال غرب کشور (منطقه مغان) کاشته می‌شود.

پژوهش آزمایشگاهی

تیمارهای آزمایش، پرایمینگ بذر با غلظت‌های ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار روی از منبع سولفات روی ($ZnSo_4$) به همراه شاهد (آب مقطر) برای سه دوره مختلف (۸، ۱۲ و ۲۴ ساعت) بودند. آزمون آزمایشگاهی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. قبل از شروع آزمایش، به منظور کنترل آلودگی‌های قارچی احتمالی در طی عمل پرایمینگ، بذرهای ذرت با هیپوکلریت سدیم ۰/۱ درصد (وایتکس) به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی و سپس بذور سه تا چهار مرتبه با آب مقطر آبشویی شدند. برای اعمال تیمارهای پرایمینگ، بذور ضدعفونی شده در بطری‌های شیشه‌ای با حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر ریخته و حجم تعیین شده از محلول‌های پرایمینگ به بطری‌ها اضافه شده و در مدت معین و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد درون انکوباتور شیکردار قرار گرفته و پرایم شدند. برای اکسیژن‌رسانی به بذور غوطه‌ور در طول پرایم از پمپ آکواریوم استفاده شد (Esper Neto *et al.*, 2021). بعد از اتمام مدت پرایمینگ، بذرها از بطری‌ها خارج و به صافی منتقل شده و سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند تا محلول‌ها کاملاً از سطح بذرها پاک شود. سپس بذور تا رسیدن به رطوبت اولیه در محیط عاری از آلودگی، در سطح کاغذ صافی استریل و در سایه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد جهت خشک کردن به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند.

نمونه‌برداری و ارزیابی خصوصیات گیاهچه‌ها

تعداد بذور جوانه‌زده هر ۲۴ ساعت برای مدت هفت روز ثبت شد و درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص قدرت بذر و وزن خشک گیاهچه به روش لی و همکاران (Li *et al.*, 2017) محاسبه شد. مجموع درصد گیاهچه‌های جوانه‌زده به عنوان درصد بذرهای زنده در نظر گرفته شد. به منظور تعیین شاخص‌های جوانه‌زنی بذرها، از هر تیمار سه تکرار ۵۰ عددی انتخاب و به روش بین کاغذی در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد جوانه‌دار شدند. تعداد بذرهای جوانه‌زده به طور روزانه شمارش و ثبت شد. ظهور ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر، به عنوان معیار جوانه‌زنی در نظر گرفته شد. بذرهای جوانه‌زده روزانه مورد شمارش قرار گرفتند. از روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برای اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و شاخص قدرت بذر استفاده شد.

رابطه (۱)

$$GP= (n/N)\times 100$$

GP: درصد جوانه‌زنی، n: تعداد بذر جوانه‌زده و N: تعداد کل بذرها

رابطه (۲)

$$GR= \Sigma (Ni/Ti)$$

GR: سرعت جوانه‌زنی، Ni: مجموع بذرهای کاشته شده و Ti: تعداد روزهای پس از جوانه‌زنی

رابطه (۳)

$$GI= \Sigma (Gt/Tt)$$

GI: شاخص جوانه‌زنی، Gt: تعداد بذرهای جوانه‌زده در طی t روز و Tt: تعداد روزها پس از شروع معیار جوانه‌زنی

رابطه (۴)

$$VI = GI \times DW$$

VI: شاخص بنیه بذر، GI: شاخص جوانه‌زنی و DW: وزن خشک گیاهچه

جهت تعیین وزن خشک گیاهچه، در پایان آزمون جوانه-زنی، گیاهچه‌های جوانه‌زده از هر تیمار و تکرار به صورت جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند و در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشکانیده شدند (ISTA, 2017).

آزمایش گلخانه‌ای

از نتایج آزمایش آزمایشگاهی برای تنظیم کردن تیمارهای آزمایش گلخانه‌ای استفاده شد. این کار با انتخاب بهترین غلظت‌های ریز مغذی روی با بهترین عملکرد برای روی و در دو مدت زمان انجام گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل غلظت‌های مختلف ریزمغذی روی (صفر،۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) از منبع سولفات روی ($ZnSO_4$) و عامل دوم مدت زمان پرایمینگ بذور در دو سطح یعنی ۱۲ و ۲۴ ساعت بود. نحوه اعمال پرایمینگ تغذیه‌ای بذور همانند روش فاز آزمایشگاهی برای فاز گلخانه‌ای نیز صورت گرفت.

به منظور تهیه خاک گلدان‌ها، نمونه خاک از ۱۰ کیلومتری نزدیک شهر جعفرآباد (بیله سوار) تهیه گردید. ذرت رقم ۷۰۴ در این مکان نمونه‌برداری شده به مدت چندین سال توسط کشاورزان محلی کشت شده بود. خاک مورد نیاز به منظور مطالعه گلخانه‌ای به طور تصادفی از یک قطعه ۱ هکتاری جمع‌آوری شد. تعداد۲۰ نمونه خاک جمع‌آوری شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری باهم مخلوط و به عنوان نمونه خاک مرکب در گلدان‌ها استفاده شد. نمونه‌های خاک به منظور ارزیابی خاک به آزمایشگاه منتقل و در دمای اتاق خشک شدند. این نمونه‌های خاک تهیه شده برای تجزیه و تحلیل بعدی از الک دو میلی-متری عبور داده شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (عمق نمونه‌برداری ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical characteristics of the farm soil (0-30 cm sampling depth)

درصد اشباع SP (%)	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی EC (ds/m)	ماده آلی Organic matter (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	ذرات خاک Soil particles			بافت خاک Soil texture
					سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	
24.63	7.36	1.33	0.23	0.8	40	44	16	لومی

غلظت ریزمغذی‌ها (ppm) Micronutrient concentration (ppm)			محتوای عناصر پر مصرف (ppm) Content of essential elements (ppm)			
Mn	Cu	روی Zinc	آهن Iron	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphor	ازت Nitrogen (%)
17.72	1.34	0.5	7.72	378.4	0.8	0.08

گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر با خاک تهیه شده از محل مورد نظر پر شدند. پنج بذر در هر گلدان در عمق پنج سانتی‌متری کاشته شد. پس از سبزشدن و استقرار کامل گیاه، عمل تنک کردن بوته‌ها انجام گرفت و تعداد بوته‌ها به سه بوته کاهش یافت. هر گلدان با ۵۰۰ میلی‌لیتر آب شهری به فاصله سه روز یکبار آبیاری گردید. آزمایش به مدت چهار هفته (تا مرحله پنج برگی) به طول انجامید. گلدان‌ها در شرایط مشابه در گلخانه در دمای ۳±۲۵ و ۳±۱۷ درجه سانتی‌گراد (روز/شب) با میانگین رطوبت نسبی ۵۰ درصد و طول روز حدود ۱۴ ساعت نگهداری شدند.

صفات مورد مطالعه در شرایط گلخانه‌ای شامل وزن تر بوته (FSW)، وزن خشک بوته (DSW)، شاخص محتوای کلروفیل (CCI)، قطر ساقه (SD)، ارتفاع بوته (SH) و طول ریشه نهایی (RL) بود. برای اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه از خط‌کش با دقت یک میلی‌متر و برای اندازه-گیری قطر ساقه، از کولیس استفاده شد. وزن خشک بوته با استفاده از آون الکتریکی و خشک کردن آن‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و سپس توزین آن‌ها با ترازوی دیجیتال (مدل EK-610i ساخت کشور آلمان) با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. صفت شاخص کلروفیل برگ (غلظت کلروفیل) که برآوردی از مقدار نسبی کلروفیل کل برگ می‌باشد. از این رو، اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ معیار مناسبی برای تخمین کارایی فتوسنتزی گیاهان است. در مرحله پنج برگی، اندازه‌گیری کلروفیل در برگ انتهایی بوته و سه نقطه تصادفی از پهنک به وسیله دستگاه کلروفیل‌سنج همراه، (Hansatech model CL01) به صورت غیرتخریبی برای تمامی بوته‌ها انجام شد.

آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با استفاده از روش کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) انجام شد. پس از آزمون نرمال بودن توزیع خطاها، تجزیه واریانس صفات مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

پژوهش آزمایشگاهی

تجزیه واریانس داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که اثر پرایمینگ بذر با غلظت‌های مختلف روی، مدت زمان پرایمینگ و اثر متقابل هر دو بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود (جدول ۲). این موضوع بیانگر آن است که تمامی صفات تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفته و تغییر کرده‌اند.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر غلظت و مدت زمان پرایمینگ بذر با روی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر ذرت در شرایط آزمایشگاهی

Table 2- Analysis of variance (ANOVA) for the effect of concentration and duration of priming with zinc on corn seed germination indices under in vitro conditions

منابع تغییرات Sources of variance	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی GP	سرعت جوانه‌زنی GR	شاخص جوانه‌زنی GI	شاخص بنیه بذر VI	وزن خشک گیاهچه DW
غلظت پرایمینگ Priming Concentration (PC)	4	109.80**	427.09**	239.86**	4.92**	0.0026**
مدت زمان پرایمینگ Priming Time (PT)	2	45.62**	176.09**	44.82**	1.53**	0.0006**
غلظت × مدت زمان PC ×PT	8	13.65**	50.05**	14.28**	0.59**	0.0003*
اشتباه آزمایشی Experimental error	30	1.65	3.47	1.44	0.09	0.0001
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	1.36	4.10	4.67	20.81	16.26

ns، *و ** : به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

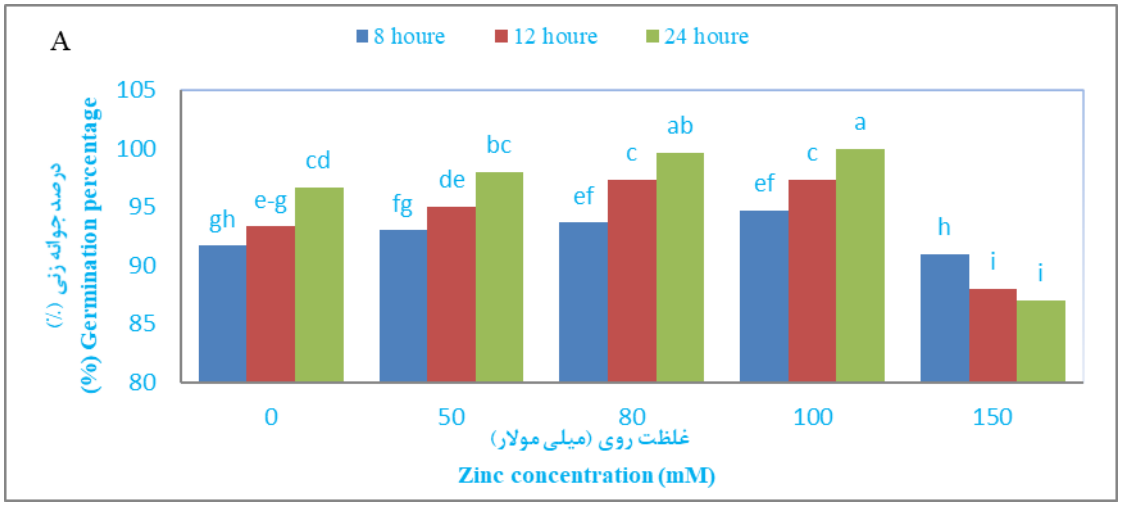
GP: درصد جوانه‌زنی، GR: سرعت جوانه‌زنی، GI: شاخص جوانه‌زنی، VI: شاخص بنیه بذر، DW: وزن خشک گیاهچه

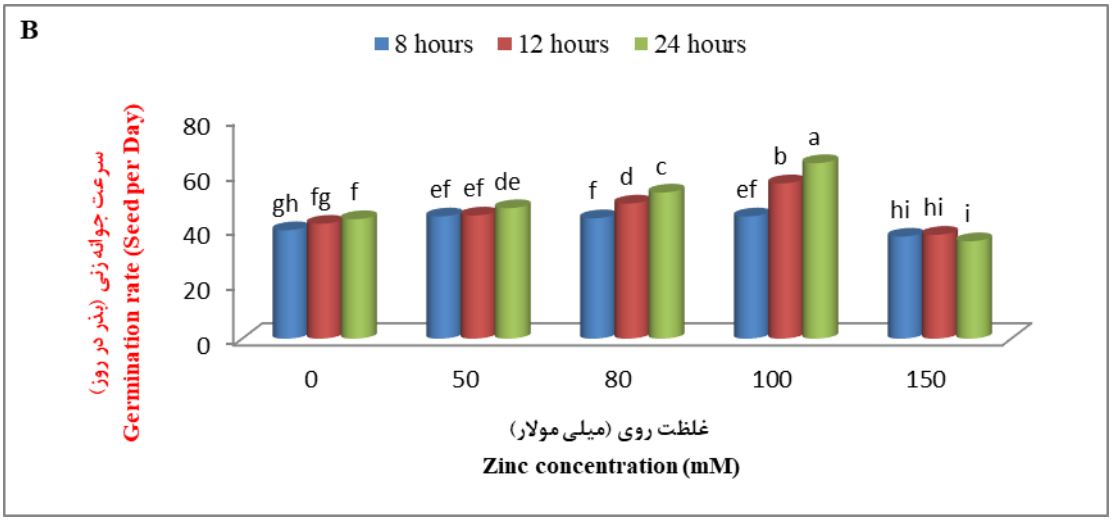
ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the probability levels of 5 and 1 percent, respectively

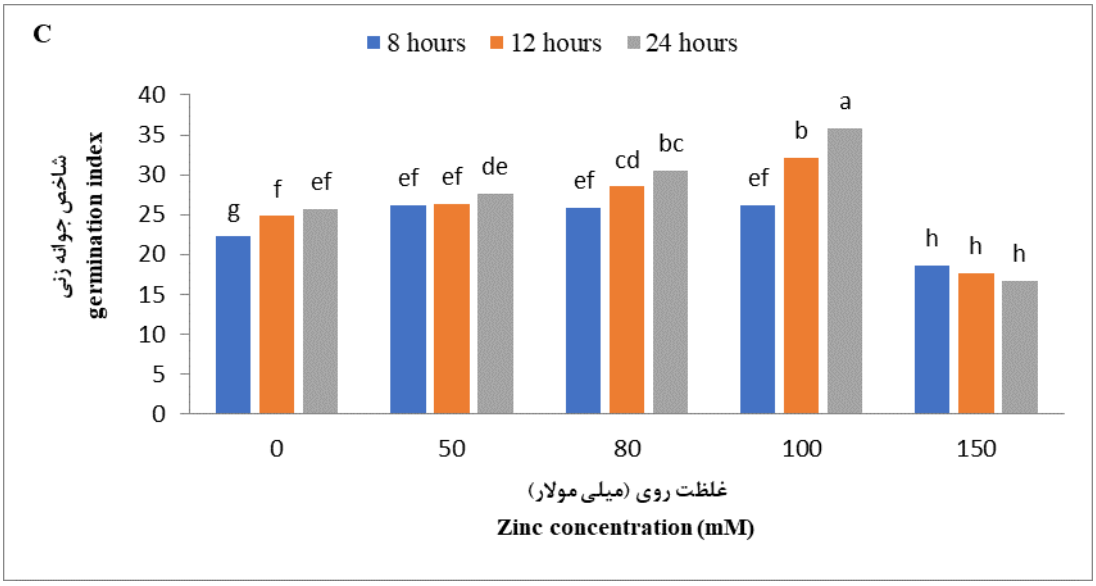
GP: Germination percentage, GR: Germination rate, GI: Germination index, VI: Vigor index and DW: seedling dry weight

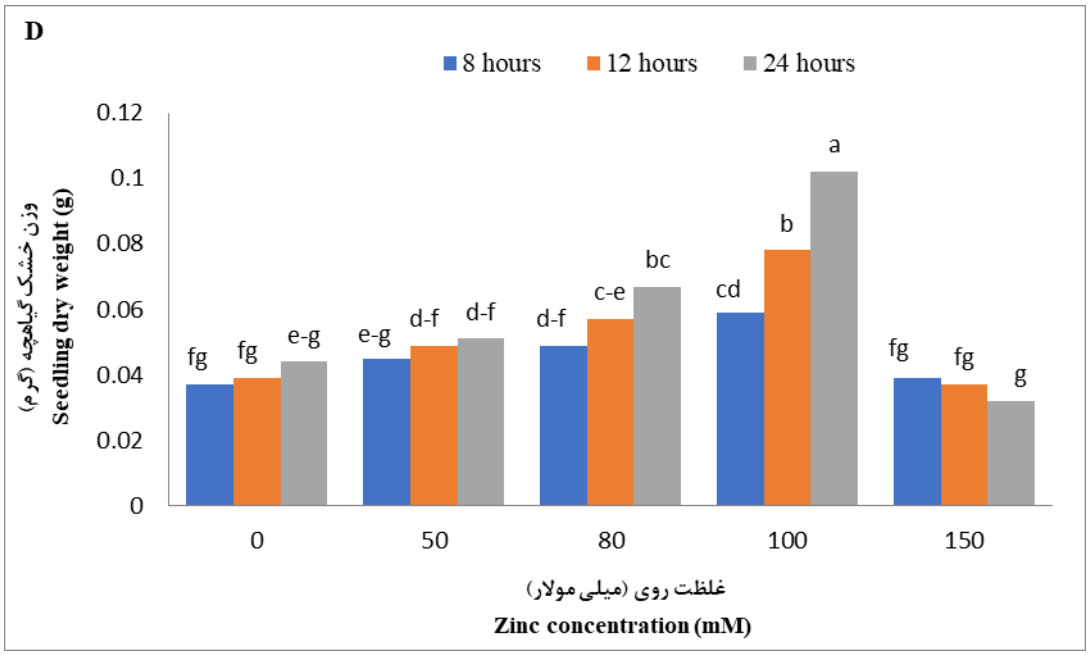
مقایسه میانگین صفات در اثر پرایمینگ بذر در غلظت‌های مختلف روی نشان داد که بیش‌ترین میزان صفات مذکور در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار و کم‌ترین میزان آنها در تیمار با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار حاصل شده است. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه نشان داد که افزایش غلظت روی تا میزان ۱۰۰ میلی‌مولار منجر به بهبود تمامی صفات مورد مطالعه شد (شکل ۱). روند افزایشی برای صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و وزن خشک گیاهچه با افزایش مدت زمان پرایمینگ مشاهده شد، به طوری‌که بیشترین و کم‌ترین میزان صفات مذکور به‌ترتیب در مدت زمان ۲۴ ساعت و ۸ ساعت پرایم به دست آمد. این نتایج حاکی از آن است که زمان ۸ ساعت برای انجام بهینه فرآیند جذب آب مورد نیاز برای شروع مراحل اولیه جوانه‌زنی، از مدت زمان مورد نیاز کمتر بوده و مدت زمان ۲۴ ساعت سبب انجام بهتر پرایمینگ بذر این گیاه شده است. در گونه‌های مختلف گیاهی، تأثیر مدت زمان پرایمینگ بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی متفاوت است، به عنوان مثال افزایش مدت زمان پرایمینگ سبب کاهش جوانه‌زنی *Aquilegia Canadensis* شد در حالی‌که درصد جوانه‌زنی در گیاه مذکور با افزایش مدت زمان پرایمینگ افزایش پیدا کرد (Finnerty *et al.*, 1992). در مطالعه دیگر در

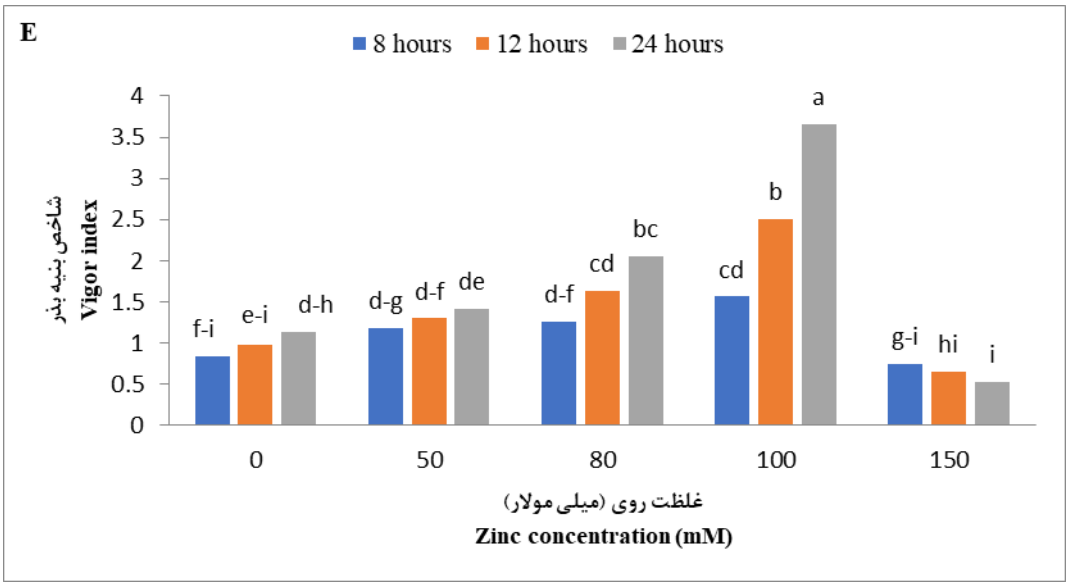
گیاه استویا (*Stevia rebaudiana*) گزارش شد که بالاترین سرعت جوانه‌زنی در پرایمینگ بذر به مدت ۸ و ۲۴ ساعت در غلظت دو درصد سلنیوم با میانگین ۴/۵۰ و ۴/۳۳ بذر در روز بدست آمد. در مطالعه دیگر گزارش شد که با افزایش زمان پرایمینگ بذر صفات یکنواختی جوانه‌زنی و بنیه بذر افزایش یافت و بیشترین میانگین این دو صفت در تیمارهای ۲۴ و ۳۲ ساعت پرایمینگ بود (Aghighi Shahverdi & Omidi, 2017). بابائی و همکاران (Babaei *et al.*, 2019) در مطالعه‌ای اثرات پرایمینگ (آب معمولی، هومیوپاتی اوره، سولفات روی، آب مغناطیسی، آمینول فورته و شاهد) و مدت زمان ماندگاری بذر (بدون ماندگاری، به مدت یک، دو، سه، چهار و پنج هفته) بر بهبود جوانه‌زنی و عملکرد ذرت سینگل کراس ۲۶۰ (فجر) را در دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای بررسی و گزارش کردند که با افزایش مدت زمان ماندگاری بذر، شاخص‌های جوانه‌زنی نظیر درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه به طور معنی‌داری کاهش یافتند. همچنین مطالعه این محققین نشان داد که تیمارهای پرایمینگ تأثیری بر درصد جوانه‌زنی نداشتند، اما در مقابل تیمارهای پرایمینگ آب معمولی و هومیوپاتی اوره در شرایط بدون ماندگاری به ترتیب با ۳۷/۹۶ و ۳۷/۵۶ دارای بیشترین مقدار از نظر سرعت جوانه‌زنی بودند و همچنین برای صفت طول گیاهچه نیز تیمارهای پرایمینگ با آب معمولی، هومیوپاتی اوره، سولفات روی و آب مغناطیسی در شرایط بدون ماندگاری به ترتیب با ۲۷/۳۰، ۲۵/۷۹، ۲۸/۹۶ و ۲۷/۴۱ سانتی‌متر به دست آمد.




B
8 hours
12 hours
24 hours
سرعت جوانه زنی (بذر در روز)
Germination rate (Seed per Day)
80
60
40
20
0
gh fg f
ef ef de
f d c
ef b a
hi hi i
0
50
80
100
150
غلظت روی (میلی مولار)
Zinc concentration (mM)


C
8 hours
12 hours
24 hours
شاخص جوانه زنی
germination index
40
35
30
25
20
15
10
5
0
g f ef
ef ef de
ef cd bc
ef b a
h h h
0
50
80
100
150
غلظت روی (میلی مولار)
Zinc concentration (mM)


D
8 hours
12 hours
24 hours
وزن خشک گیاهچه (گرم)
Seedling dry weight (g)
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
fg fg e-g
e-g d-f d-f
d-f c-e bc
cd b a
fg fg g
0
50
80
100
150
غلظت روی (میلی مولار)
Zinc concentration (mM)



شکل ۱- اثر متقابل غلظت‌های مختلف روی (۰، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و مدت زمان پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی (A)، سرعت جوانه‌زنی (B)، شاخص جوانه‌زنی (C)، وزن خشک گیاهچه (D) و شاخص بنیه بذر (E)

Figure 1- Interaction of concentration of zinc (0, 50, 80, 100 and 150 mM) and priming duration (8, 12 and 24 hour) on germination percentage (A), germination rate (B), germination index (C), seedling dry weight (D) and vigor index (E)

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که بذرهای پرایم شده با ریزمغذی روی نه تنها سرعت جوانه‌زنی بذر را تسریع بخشیده، بلکه به طور قابل توجهی بنیه بذر را افزایش داد. به نظر می‌رسد پرایمینگ بذر طیف وسیعی از فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی مرتبط با جوانه‌زنی گیاه ذرت را بهبود می‌بخشد. میزان کافی جوانه‌زنی بذر به قابل دسترس بودن روی در خاک و غلظت بالای چنین ریزمغذی‌هایی در بذرها بستگی دارد تا منجر به رشد کافی ریشه و محافظت از سیستم ریشه‌ای در برابر عوامل بیماری‌زای خاکزی شود (Neto *et al.*, 2020; Houmani *et al.*, 2024; Janah *et al.*, 2025). قنبری و سعیدی پور (Ghanbari & Saeedipour, 2022) گزارش کردند که پرایمینگ بذر ذرت هیبرید فجر با دو هورمون جیبرلین و اکسین، اثر معنی‌داری بر جوانه‌زنی نهایی بذر داشت و تیمار ۲۰ پی‌پی‌ام جیبرلین بیشترین تأثیر را بر شاخص‌هایی نظیر میانگین زمان جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه، زمان رسیدن تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی و سبز شدن، درصد نهایی جوانه‌زدن و سبز شدن، طول ریشه و ساقه را در این گیاه داشت. به طور کلی، علت تسریع جوانه‌زنی در بذور پرایم‌شده می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده‌ای مثل آلفا-آمیلاز، افزایش سطح انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز RNA و DNA و در عین حال ارتقاء عملکرد میتوکندری‌ها باشد (Afzal *et al.*, 2002). هریس و همکاران (Harris *et al.*,

2007) گزارش نمودند که پرایمینگ بذور با محلول سولفات روی موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی ذرت گردید. با توجه به نقش عنصر روی در ساخت پروتئین، طویل شدن سلول و کمک به حذف گونه‌های فعال اکسیژن دور از انتظار نیست که بذور پرایم شده با محلول روی بنیه بالاتری داشته باشند (Cakmak, 2000).

نتایج حاصل از این تحقیق این فرضیه را تأیید کرد که کاربرد روی از طریق پرایمینگ بذر می‌تواند شاخص‌های جوانه‌زنی ذرت را بهبود بخشد، اما افزایش غلظت روی تا حد بهینه‌ای موجب افزایش چنین صفاتی خواهد شد و افزایش غلظت ریزمغذی روی بیشتر از این حد باعث سمیت و به تبع آن کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی خواهد شد. با این حال، غلظت بالاتر روی با استفاده از روش پرایمینگ ممکن است در مرحله جوانه‌زنی برای گیاهچه سمی بوده و فعالیت‌های بعدی رشدی گیاه را مختل نماید (Ali *et al.*, 2018). در همین راستا عارف و همکاران (Arif *et al.*, 2007) گزارش کردند که افزایش غلظت عنصر روی از ۰/۰۵ به ۰/۰۷۵ درصد در محلول پرایم سبب کاهش محسوس رشد گیاه نخود گردید. همچنین کاهش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه تحت تأثیر غلظت‌های بالای سه عنصر بور، مولیبدن و روی در نخود، عدس و لوبیا چشم بلبلی گزارش شده است (Johnson *et al.*, 2005). در مطالعه‌ای همسو با این مطالعه، تأثیر بذرهای پرایم شده ذرت با ریزمغذی‌هایی همچون روی، بور و مولیبدن در مدت زمان‌های مختلف گزارش شد که سمیت مقادیر بالای ریزمغذی روی پس از پرایمینگ بذر ذرت با غلظت ۰/۵ درصد از منبع سولفات روی اتفاق می‌افتد و کاهش جوانه‌زنی بذر را در این میزان غلظت مورد استفاده نسبت به بذرهای شاهد مشاهده گردید. تحت شرایط سمیت ریزمغذی‌ها، تقسیم سلولی در گیاه دچار مشکل شده و در نتیجه درصد جوانه‌زنی با کاهش محسوسی روبرو گردید (Nciizah *et al.*, 2020). برادفورد (Bradford, 1986) دلیل اصلی اثر منفی غلظت‌های بالای عناصر غذایی در محلول‌های پرایمینگ را جذب زیاد نمک‌های موجود در این محلول‌ها دانست که سبب بروز اثرات سمی در برخی موارد می‌گردد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به بخش گلخانه‌ای نشان داد که پرایمینگ بذور ذرت با غلظت‌های مختلف روی، بر تمام صفات مورد مطالعه شامل وزن تر بوته، وزن خشک بوته، محتوای کلروفیل برگ، قطر بوته، ارتفاع بوته و طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مدت زمان پرایمینگ بر وزن خشک بوته و قطر بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر برهم‌کنش غلظت روی و مدت زمان پرایمینگ بذر برای هیچکدام از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود (جدول ۳). رشیدی فرد و همکاران (Rashidifard *et al.*, 2022) نشان دادند که اثرات ساده پیش تیمار بذر با استفاده از اسید هیومیک و سولفات روی و شوری و اثرات متقابل هر دو تأثیر معنی‌داری بر صفات رویشی گیاهچه ذرت ۷۰۴ همچون طول اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و سطح برگ داشتند.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر غلظت و مدت زمان پرایمینگ بذر با روی بر پارامترهای رشد گیاهچه‌ای بذر ذرت در شرایط گلخانه‌ای

Table 3- Analysis of variance (ANOVA) for the effect of concentration and duration of priming with zinc on corn growth parameters under glasshouse conditions.

منابع تغییرات Sources of variance	درجه آزادی df	وزن تر بوته PFW	وزن خشک بوته PDW	شاخص کلروفیل برگ CCI	قطر بوته PD	ارتفاع بوته PH	طول ریشه RL
غلظت پرایمینگ Priming Concentration (PC)	3	85.92**	2.25**	14.18**	0.015**	99.61**	38.68**
مدت زمان پرایمینگ Priming Time (PT)	1	7.39 ns	0.17**	1.16 ns	0.0035**	3.02 ns	5.38 ns
غلظت × مدت زمان PC ×PT	3	0.69 ns	0.01 ns	0.53 ns	0.0009 ns	0.14 ns	3.92 ns
اشتباه آزمایشی Experimental error	16	1.71	0.02	0.32	0.0004	0.96	3.78
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	8.36	6.54	5.26	4.67	3.97	8.85

ns، *و ** : به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد

PFW: وزن تر بوته، PDW: وزن خشک بوته، CCI: شاخص کلروفیل برگ، PD: قطر بوته، PH: ارتفاع بوته، RL: طول ریشه

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of 5 and 1 percent probability, respectively

PFW: plant fresh weight, PDW: plant dry weight, CCI: chlorophyll content index, PD: plant diameter, PH: plant height and RL: root length

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین وزن تر بوته، وزن خشک بوته، قطر بوته و ارتفاع بوته در تیمار پرایمینگ با ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده گردید. کلیه غلظت-های پرایمینگ تغذیه‌ای نسبت به شاهد، پارامترهای وزن تر بوته، وزن خشک بوته، قطر بوته، ارتفاع بوته و طول ریشه را به طور معنی‌داری افزایش دادند. بیشترین میزان قطر بوته و طول ریشه به ترتیب در پرایمینگ با غلظت-های ۱۰۰ و ۸۰ میلی‌مولار روی مشاهده گردید که در مورد هر دو صفت بین اعمال پرایمینگ با غلظت ۱۰۰ و ۸۰ میلی‌مولار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها برای صفت کلروفیل برگ نشان داد که با افزایش غلظت روی از میزان کلروفیل کل برگ ذرت کاسته شد، به طوری‌که بیشترین مقدار کلروفیل کل برگ در سطح شاهد (عدم پرایمینگ) به دست آمد که با تیمار ۵۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

اضافه کردن مواد مغذی با بهره‌گیری از تکنیک پرایمینگ، این بستر را برای بذر فراهم می‌کند تا در آغاز فعالیت آنزیم‌های خود در فاز دوم جوانه‌زنی به منبع غنی از عنصر روی دسترسی داشته باشد (Neto *et al.*, 2020). احتمالاً همین موضوع دلیل افزایش ارتفاع بوته و طول ریشه در استفاده از سولفات روی باشد. نتایج حاصل از پژوهش‌ها نشان داده است که افزایش صفات رویشی ذرت حاصل از بذرهای پرایم شده، ناشی از افزایش سنتز آنزیم‌های

هیدرولیتیک و به دنبال آن افزایش میزان پویایی ذخایر بذر هستند. به نظر می‌رسد افزایش درصد و سرعت سبز شدن در نتیجه اعمال تیمار پرایمینگ روی، ممکن است ناشی از این واقعیت باشد که پرایمینگ بذر موجب القای تغییرات بیوشیمیایی همانند هیدرولیز، فعال کردن آنزیم-ها، همانندسازی DNA، افزایش سنتز RNA و سنتز پروتئین‌ها می‌گردد که این امر سبب افزایش رشد جنین و کاهش نشت متابولیت‌ها و در نهایت بهبود قدرت بذر و جوانه‌زنی بذرها می‌گردد و همچنین می‌تواند ناشی از آزادسازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده کربوهیدرات و پروتئین در داخل بذر باشد (Huang *et al.*, 2017; Cao *et al.*, 2019; Neto *et al.*, 2020). پرایمینگ بذر از طریق کاهش مدت زمان لازم برای جذب آب، موجب بهبود جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار سریع و مطلوب گیاهچه‌ها در دامنه وسیعی از شرایط محیطی می‌شود (Neto *et al.*, 2020; Houmani *et al.*, 2024; Janah *et al.*, 2025). کلوفاک و همکاران (Klofac *et al.*, 2023) در تحقیقی دریافتند که محلول‌پاشی عنصر روی می‌تواند موجب افزایش کلروفیل، پارامترهای فلورسانس کلروفیل، سیستم ریشه و وزن زیست توده در گیاه ذرت شود که این امر می‌تواند به علت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و سنتز پروتئین و ساخت کلروفیل باشد. این محققین نیز بیان کردند که عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در باز و بسته شدن روزنه‌ها، بهبود وضعیت آبی و بهبود فرایند فتوسنتز دارد، موجب بهبود رشد و افزایش وزن ریشه می‌شود (Klofac *et al.*, 2023). در این راستا تاندی و همکاران (Tondey *et al.*, 2021) بیان کردند که پرایمینگ بذر با استفاده از ذرات نانو روی، با افزایش محتوای کلروفیل و بهبود حجم و وزن ریشه، موجب افزایش عملکرد علوفه و کیفیت فیبر ذرت علوفه‌ای شد. ریزوان و همکاران (Rizwan *et al.*, 2019) مشاهده کردند که بذرهای پرایم شده گندم با روی و آهن باعث افزایش خصوصیات رشدی گیاه از جمله ارتفاع، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گردید. رشیدی فرد و همکاران (Rashidifard *et al.*, 2022) نشان دادند که پرایمینگ بذور با اسید هیومیک و روی به ویژه ترکیب این دو در زمان بروز تنش شوری باعث کاهش خسارت شوری و افزایش صفات طول اندام هوایی، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در گیاهچه ذرت شد. برخی از پژوهشگران نیز افزایش عملکرد دانه ذرت به واسطه پرایمینگ روی را به بهبود وزن و حجم ریشه، شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری نسبت دادند (Neto *et al.*, 2020). تعیین زمان مناسب پرایمینگ موجب جلوگیری از تأثیر منفی آن می-شود. با افزایش غلظت و زمان پرایمینگ بذر، ممکن است تولید مواد سمی در بذر صورت گیرد که اثرات منفی بر سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر خواهد گذاشت.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده غلظت‌ها و مدت زمان پرایمینگ بذر با روی از نظر صفات مورد بررسی در ذرت تحت شرایط گلخانه‌ای

Table 4- Mean comparisons of the simple effects of concentrations and durations of seed priming with zinc in terms of the traits in corn under glasshouse conditions.

	وزن تر بوته (گرم) FSW (g)	وزن خشک بوته (گرم) DSW (g)	محتوای کلروفیل برگ CCI	قطر بوته (سانتی متر) SD (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) PH (cm)	طول ریشه (سانتی‌متر) RL (cm)
شاهد Control	10.49^{d}	1.14^{c}	12.02^{a}	0.35^{c}	19.68^{d}	18.54^{c}
Zn 50 mm	14.89^{c}	1.75^{b}	11.99^{a}	0.38^{b}	23.41^{c}	21.57^{b}
Zn 80 mm	17.60^{b}	2.38^{a}	10.69^{b}	0.45^{a}	26.32^{b}	23.99^{a}
Zn 100 mm	19.58^{a}	2.45^{a}	8.76^{c}	0.46^{a}	29.20^{a}	23.79^{ab}
Priming Duration						
12 h	15.08^{a}	1.84^{b}	11.08^{a}	0.40^{a}	24.29^{a}	21.49^{a}
24 h	16.19^{a}	2.01^{a}	10.64^{a}	0.42^{a}	25.01^{a}	22.45^{a}

PFW: وزن تر بوته، PDW: وزن خشک بوته، CCI: شاخص کلروفیل برگ، PD: قطر بوته، PH: ارتفاع بوته، RL: طول ریشه

PFW: plant fresh weight, PDW: plant dry weight, CCI: chlorophyll content index, PD: plant diameter, PH: plant height and RL: root length

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد غلظت‌های مختلف روی، عامل مؤثری برای پرایمینگ بذر در گیاه ذرت است که به طور قابل توجهی ویژگی‌های جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه را افزایش می‌دهد. مطالعه حاضر نشان داد که پرایمینگ بذر با روی، به عنوان یک راه‌حل عالی برای افزایش روی در بذر و عملکرد رشد گیاهچه توصیه می‌شود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پرایمینگ بذر با ریزمغذی روی یک تکنیک امیدوارکننده و پایدار برای افزایش جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و بنیه کلی محصول است و یک رویکرد عملی برای بهبود بهره‌وری کشاورزی و تاب‌آوری در برابر تنش‌های محیطی ارائه می‌دهد و در نتیجه به کشاورزی پایدار و امنیت غذایی کمک می‌کند. اعمال پرایمینگ بذر با غلظت ۱۰۰ میلی مولار روی در مدت زمان ۲۴ ساعت برای جوانه‌زنی سریع و تقویت شده بذر با گیاهچه‌های قوی ذرت ۷۰۴ بهینه بود. علاوه بر این، افزایش غلظت روی نه تنها غیراقتصادی است، بلکه تأثیر مخربی بر جوانه‌زنی دارد. در نتیجه، مطالعات بیشتری باید در کاربرد میزان محتوای روی و زمان‌های اعمال تیمار به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی انجام گیرد تا شیوه کشاورزی سازگارتر با محیط زیست تشویق شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت تحقیق و توسعه شرکت ملی کشت و صنعت و دامپروری پارس جناب آقای دکتر مرزبان و مجموعه زحمت‌کش شرکت قدردانی به عمل می‌آید.

References

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. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61696-7

Afzal, I., Ahmad, B., Basra, S. M. A., Ahmad, R. & Iqbal, A. 2002. Effect of different seed vigor enhancement techniques on hybrid maize (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Agriculture Science, (39), 109-112.

Aghighi Shahverdi, M., & Omidi, H. 2017. Determination of optimum concentration and time of Stevia (*Stevia rebuadiana* Bertoni) seed priming by Selenium. Iranian Journal of Seed Science and Research, 4(3), 39-51. https://doi.org/10.22124/jms.2017.2506. [In Persian]

Ali, N., Farooq, M., Hassan, M. A., Ashraf, M. Sh., Saleem, M. K., & Faran, M. 2018. Micronutrient seed priming improves stand establishment, grain yield and biofortification of bread wheat. Crop and Pasture Science, 69, 479-487.

Ansari, O., Azadi, M. S., Sharif Zadeh, F., & Younesi, E. 2013. Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 9(3), 61-71.

Arif, M., Waqas, M., Nawab, K., & Shahid. M. 2007. Effect of seed priming in Zn solutions on chickpea and wheat. African Crop Science Conference Proceed, 8, 237-240.

Babaei, K., Tajbakhsh, M., & Siosemardeh, A. 2019. Effect of Seed Priming and Durability on Germination characteristics and Yield in Maize Cultivar S.C 260 (Fajr). Iranian Journal of Seed Science and Research, 6(1), 47-65. https://doi.org/10.22124/jms.2019.3587. [In Persian]

Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Hort-planting depths in summer fallow. Breed Science, 21, 1105–1112.

Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytology, 146, 185-205.

Cao, Q., Li, G., Cui, Z., Yang, F., Jiang, X., Diallo, L., & Kong, F. 2019. Seed priming with melatonin improves the seed germination of waxy maize under chilling stress via promoting the antioxidant system and starch metabolism. Scientific Reports, 9,15044. https://doi.org/10.1038/s41598-019-51122-y

Choukri, M., Abouabdillah, A., Bouabid, R., Abd-Elkader, O.H., Pacioglu, O., Boufahja, F., & Bourioug, M. 2022. Zn application through seed priming improves productivity and grain nutritional quality of silage corn. Saudi Journal of Biological Sciences, https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103456.

Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. 2016. Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. Agronomy for Sustainable Development, 36, 7. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0346-6.

Esper Neto, M., Britt, D. W., Jackson, K. A., Coneglian, C. F., Inoue, T. T., & Batista, M. A. 2021. Early growth of corn seedlings after seed priming with magnetite nanoparticles synthetized in easy way. Acta Agricultural Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science, 71(2), 91-97. https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1852304.

Farooq, M., Usman, M., Nadeem, F., Rehman, H., Wahid, A., Basra, S. M. A., & Siddique, K. H. M. 2019. Seed priming in field crops – potential benefits, adoption and challenges. Crop and Pasture Science, 70(9), 731-771. https://doi.org/10.1071/CP18604.

Finch-Savage, W. E., & Bassel, G. W. 2016. Seed vigor and crop establishment: extending performance beyond adaptation. Journal of Experimental Botany, 67(3), 567-591.

Finnerty, T. L., Zajicek, J. M., & Hussey, M. A., 1992. Use of seed priming to bypass stratification requirements of three Aquilegia species. Horticultural Science, 27 (4), 310-313.

Ghanbari, A., & Saeedipour, S. 2022. Effect of seed priming hormone on germination characteristics and seedling growth of *Zea mays* L. Iranian Journal of Seed Science and Research, 9(1), 39-49. https://doi.org/10.22124/jms 2022.6144 [In Persian]

Guidi, L., Lo Piccolo, E., & Landi, M. 2019. Chlorophyll fluorescence, photoinhibition and abiotic stress: Does it make any difference the act to be a C3 or C4 Species? Frontiers in Plant Science, https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00174

Haider, M. U., Hussain, M., Farooq, M., & Nawaz, A. 2020. Optimizing zinc seed priming for improving the growth, yield and grain biofortification of mungbean (*Vigna radiata* (L.) wilczek). Journal of Plant Nutrition, 43(10), 1438-1446. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1730895.

Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., & Shah. H. 2007. Priming seeds with zinc sulphate solution increases yield of maize (*Zea mays* L.) on zinc-deficient soils. Field Crops Research, 102, 119-127.

Harris, D. 2006. Development and testing of ‘on-farm’ seed priming. Advances Agronomy, 90, 129-178.

Harris, D., Breese, W. A., & Kumar Rao, J. V. D. K. 2005. The improvement of crop yield in marginal environments using ‘on-farm’ seed priming: nodulation, nitrogen fixation and disease resistance. Australian Journal of Agricultural Research, 56(11), 1211-1218. https://doi.org/10.1071/AR05079.

Houmani, H., Debez, I. B. S., Turkan, I., Mahmoudi, H., Abdelly, C., Koyro, H-W., & Debez, A. 2024. Revisiting the Potential of Seed Nutri-Priming to Improve Stress Resilience and Nutritive Value of Cereals in the Context of Current Global Challenges. Agronomy, 14, 1415.

Huang, Y., Lin, C., He, F., Li, Z., Guan, Y., Hu, Q., & Hu, J. 2017. Exogenous spermidine improves seed germination of sweet corn via involvement in phytohormone interactions, H_2O_2 and relevant gene expression. BMC Plant Biology, 17,1. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0951-9

International Seed Testing Association (ISTA). 2017. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland. (Handbook).

Iqbal, S., Khan, A. M., Dilshad, I., Moatter, K., Ahmed, T., & Gilani, S. A. 2020. Influence of seed priming with CuSO4 and ZnSO4 on germination and seedling growth of oat under NaCl stress. Pure and Applied Biology, 9, 897-912.

Janah, I., Elhasnaoui, A., Laouane, R. B., Ait-El-Mokhtar, M., & Anli, M. 2025. Exploring Seed Priming as a Strategy for Enhancing Abiotic Stress Tolerance in Cereal Crops. Stresses, 5, 39.

Johnson, S. E., Lauren, J. G., Welch, R. M., & Duxbury, J. M. 2005. A comparision of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arientinum*), Lentil (*Lens culinaris*), Rice (*Oryza sativa*) and Wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. Experimental Agriculture, 41, 427-448.

Klofac, D., Antosovsky, J., & Skarpa, P. 2023. Effect of Zinc Foliar Fertilization Alone and Combined with Trehalose on Maize (*Zea mays* L.) Growth under the Drought. Plants, 12(13), 2539.

Kumar, D., Patel, K. P., Ramani, V. P., Shukla, A. K., & Meena, R. S. 2020. Management of micronutrients in soil for the nutritional security. In: Ram, Meena (Ed.), Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production Springer Nature, Singapore, pp. 103-134.

Li, Zh., Xu, J., Gao, Y., Wang, Ch., Guo, G., Luo, Y., Huang, Y., Hu, W., Guan, Y., & Hu, J. 2017. The Synergistic Priming Effect of Exogenous Salicylic Acid and H2O2 on Chilling Tolerance Enhancement during Maize (*Zea mays* L.) Seed Germination. Frontiers in Plant Science, 8, 1153. https://doi.org/ 10.3389/fpls.2017.01153.

Ministry of Jihad-e-Agriculture, 2024. Statistics report of 2023-2024 years. Statistics and Information Office, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran. [In Persian].

Muhammad, I., Kolla, M., Volker, R., & Gunter, N. 2015. Impact of nutrient seed priming on germination, seedling development, nutritional status and grain yield of maize. Journal of Plant Nutrition, 38(12), 1803-1821. https://doi.org/10.1080/01904167.2014.990094.

Murungu, F.S., Nyamugafata, P., Chiduza, C., Clark, L. J., & Whalley, W. R. 2005. Effects of seed priming and water potential on germination of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in laboratory assays. South African Journal of Plant and Soil, 22(1), 64-70. https://doi.org/10.1080/02571862.2005.10634683.

National Corn Growers Association. 2023. World of corn 2023. Retrieved December 4, 2023, from https://ncga.com/world-of-corn-iframe/pdf/WOC-2023.pdf.

Nciizah, A., Rapetsoa, M. G., Wakindiki, I. I. G., & Zerizghy, M. G. 2020. Micronutrient seed priming improves maize (*Zea mays*) early seedling growth in a micronutrient deficient soil. Heliyon, 6, e04766. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04766.

Neto, M. E., Britt, D. W., Lara, L. M., Cartwright, A., Dos Santos, R. F., Inoue, T. T., & Batista, M. A. 2020. Initial development of corn seedlings after seed priming with nanoscale synthetic zinc oxide. Agronomy, 10, 307. https://doi.org/10.3390/agronomy10020307.

Rahman, M. M., Ahammad, K. U., & Ahmed, M. 2014. Effect of seed priming on maize (*Zea mays* L.) seedling emergence under different sowing dates. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 39, 693-707.

Rashidifard, A., Chorom, M., Norouzi Masir, M., & Roshanfekr, H. 2022. Effect of seed priming by humic acid and zinc on some morpho-physiological traits of maize (*Zea mays* L.) seedlings under saline conditions. Environmental Stress in Crop Sciences, 14(4), 1115-1125. [In Persian].

Rizwan, M., Ali, S. H., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hassain, A., Rehman, M. Z., & Waris, A. A., 2019. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. Chemosphere. 6535, 31776-4.

Sary, D. H., & Abd El-Aziz, M. E. 2025. Synthesis and characterization of nano-micronutrient fertilizer and its effect on nutrient availability and maize (*Zea mays* L.) productivity in calcareous soils. Scientific Reports, 15, 25838. https://doi.org/10.1038/s41598-025-11273-7.

Sime, G., & Aune, J. B. 2019. On-farm seed priming and fertilizer micro-dosing: agronomic and economic responses of maize in semi-arid Ethiopia. Food and Energy Security, 9(1), e190. https://doi.org/10.1002/fes3.190.

Singh, A., Pandey, H., Pandey, S., Lal, D., Chauhan, D., Antre, S. H., & Kumar, A. 2023. Drought stress in maize: stress perception to molecular response and strategies for its improvement. Functional and Integrative Genomics. 23(4), 296. https://doi.org/10.1007/s10142-023-01226-6.

Tondey, M., Kalia, A., Singh, A., Singh Dheri, G., Sachdeva Taggar, M., Nepovimova, E., Krejcar, O., & Kuca, K. 2021. Seed Priming and Coating by Nano-Scale Zinc Oxide Particles Improved Vegetative Growth, Yield and Quality of Fodder Maize (*Zea mays*). Agronomy, 11(4), 729. https://doi.org/10.3390/agronomy11040729.

Uche, O. J., Adinde, J. O., Omije, T. E., Ager, C. J., & Anieke, U. J. 2016. Influence of Hydropriming on germination and seedling emergence of green bell pepper (*Capsicum annuum* cv. Goliath). International Journal of Science Nature, 7(1), 70-75.

Velu, G., Singh, R. P., Crespo-Herrera, L., Juliana, P., Dreisigacker, S., Valluru, R., Stangoulis, J., Sohu, V. S., Mavi, G. S., Mishra, V. K., Balasubramaniam, A., Chatrath, R., Gupta, V., Singh, G. P., & Joshi, A. K. 2018. Genetic dissection of grain zinc concentration in spring wheat for mainstreaming biofortification in CIMMYT wheat breeding. Scientific Reports, 8, 13526. https://doi.org/10.1038/s41598-018-31951-z.

Wazeer, H., Zeidan, A., Allevi, J., Pagano, A., Duenas C., Marocco, A., Stagnati, L., Doria, E., & Macovi A. 2025. Seed priming with plant waste extracts enhances maize drought tolerance in a genotype-specific manner. Frontiers in Plant Science, 16, 1717255. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1717255.

Zulfiqar, U., Maqsood, M., Hussain, S., & Anwar-ul-Haq, M. 2020. Iron nutrition improves productivity, profitability, and biofortification of bread wheat under conventional and conservation tillage systems. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20, 1298-1310. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00213-1.