Journal of Seed Research

ISSN (Print): 2383-2665
ISSN (Online): 2981-2461

The effect of nutrient seed priming with iron sulfate and zinc sulfate on the germination and seedling growth of lentil seeds

Mohammad Vahdani Rashvanloui[1], Majid Jami Al-Ahmadi[2*], Mohammad Hassan Sayyari-Zahan[3], Hadi Shoorideh[4], Moslem Mostafaee[5]

[1] M.Sc. Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: mohamad.v.6725@gmail.com

[2] Professor, Department of Plant Production and Genetics, University of Birjand, Iran, Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir

[3] Associate Professor, Plant Production and Genetics, Agriculture, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: msayari@birjand.ac.ir

[4] Assistant Professor, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bojnord, Iran, Email: h.shoorideh@areeo.ac.ir

[5] PhD Student in Crop Plant Physiology, Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: moslemmostafaee73@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2023-10-22
Revised: 2024-2-18
Accepted: 2024-3-6

Keywords:
Germination rate
Micronutrients
Nutritional pretreatment
Seed enhancement

ABSTRACT

In a laboratory study, the effect of seed nutritional pretreatment on germination and seedling growth traits of lentil (*Lens culinaris* Med.) in the form of two separate experiments in the form of a completely randomized design with three replications for two pretreatment materials [prime with iron sulfate (FeSO4) and zinc sulfate (ZnSO4)] were investigated. In each experiment and for each prime material, five levels of prime material concentration (30, 60, 90, 120 and 150 mM) were considered. The measured traits were germination percentage and speed, length of root and shoot, wet and dry weight of seedling, and longitudinal root index of seedling. The results of the data showed that in terms of the type of pretreatment, iron sulfate was superior to zinc sulfate and caused the major improvement of the germination indicators, except for the germination speed. Also, by increasing the concentration from 30 to 60 mM, the highest indicators of germination and seedling growth were obtained. However, with a further increase in the concentration of the pre-treatment material, a decreasing trend was observed in all the measured traits, which could possibly be due to the toxicity in the seeds under high concentrations of metals. In general, according to the obtained results, it seems that the use of these two substances, especially iron sulfate, with a maximum concentration of 60 mM, is beneficial for improving the germination and nutritional characteristics of seeds.

Cite this article: Vahdani Rashvanloui, M., Jami Al-Ahmadi, M., Sayyari-Zahan, M.H., Shoorideh, H., Mostafaee M. (2023). The effect of nutrient seed priming with iron sulfate and zinc sulfate on the germination and seedling growth of lentil seeds. *Seed Research*, 13 (2), 1-14.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

تحقیقات بذر
شاپا چاپی: ۲۶۶۵-۲۳۸۳
شاپا الکترونیکی: ۲۴۶۱-۲۹۸۱

تأثیر پرایمینگ تغذیه‌ای بذر با سولفات آهن و سولفات روی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بذرهای عدس

محمدوحدانی رشوانلویی[۱]، مجید جامی الاحمدی[۲*]، محمد حسن سیاری زهان[۳]، هادی شوریده[۴]، مسلم مصطفایی[۵]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، رایانامه: mohamad.v.6725@gmail.com
[۲] استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، رایانامه: mjamialahmadi@birjand.ac.ir
[۳] دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، رایانامه: msayari@birjand.ac.ir
[۴] استادیار. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی، بجنورد، ایران، رایانامه: h.shoorideh@areeo.ac.ir
[۵] دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه بیرجند، رایانامه: moslemmostafaee73@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

واژه‌های کلیدی:
پیش‌تیمار تغذیه‌ای
تقویت بذر
سرعت جوانه‌زنی
عناصر ریزمغذی

چکیده

در یک مطالعه آزمایشگاهی، اثر پیش‌تیمار تغذیه‌ای بذر بر صفات مربوط به جوانه‌زنی و رشد گیاهچه عدس (*Lens culinaris* Med.) در قالب دو آزمایش جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای دو ماده پیش‌تیمار {پرایم با سولفات آهن ($FeSO_4$) و سولفات روی ($ZnSO_4$)} بررسی شد. در هر آزمایش و برای هر ماده پرایم، پنج سطح از غلظت ماده پرایم (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در نظر گرفته شد. صفات موردانداره‌گیری عبارت بودند از درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه وزن تر و خشک گیاهچه و شاخص بنیه طولی گیاهچه. نتایج داده‌ها نشان داد که از نظر نوع ماده پیش‌تیمار، سولفات آهن نسبت به سولفات روی برتری نشان داد و باعث بهبود غالب شاخص‌های جوانه‌زنی، به‌استثنای سرعت جوانه‌زنی، شد. همچنین با افزایش غلظت از ۳۰ به ۶۰ میلی‌مولار، بالاترین شاخص‌های جوانه - زنی و رشد و بنیه گیاهچه به دست آمد. هرچند با افزایش بیشتر غلظت ماده پیش‌تیمار ، یک روند کاهشی در تمامی صفات اندازه‌گیری مشاهده شد که می‌تواند احتمالاً به دلیل ایجاد سمیت در بذرهای تحت غلظت‌های بالای فلزات باشد. در کل با توجه به نتایج کسب‌شده، به نظر می‌رسد استفاده از این دو ماده، به‌ویژه سولفات آهن، حداکثر با غلظت ۶۰ میلی‌مولار برای بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و تغذیه‌ای بذرهای سودمند باشد.

استناد: رشوانلویی، محمدوحدانی؛ جامی الاحمدی، مجید؛ سیاری زهان، محمدحسن؛ شوریده، هادی؛ مصطفایی، مسلم. (۱۴۰۲). تأثیر پرایمینگ تغذیه‌ای بذر با سولفات آهن و سولفات روی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بذرهای عدس. *تحقیقات بذر*، ۱۳ (۲)، ۱۴-۱.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

عدس (*Lens culinaris* Medik) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حبوبات در سطح جهان شناخته شده و به‌موجب برخورداری از پروتئین بالا و نیز ریزمغذی هایی مانند آهن، روی و بتاکاروتن، در تغذیه انسانی و حیوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Erskine et al., 2011).

عناصر کم‌مصرف باوجوداینکه به مقدار کم موردنیاز گیاهان می‌باشند، ولی نقش‌های برجسته‌ای در فرایندهای گیاهی ازجمله در فعالیت آنزیمی، رشد، تمایز سلولی، تشکیل گل، میوه و بهبود کیفیت محصول به عهده دارند (Farooq et al., 2012; Marschner, 2012). بااین‌وجود در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند غالب خاک‌های ایران، برخی از عناصر ریزمغذی، به‌ویژه روی، آهن و منگنز، به‌دلیل عواملی همچون بالا بودن pH و درصد بالای کربنات کلسیم، به‌سرعت به شکل غیر قابل‌جذب برای گیاه تبدیل می‌شوند. عوامل دیگری نیز همچون مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی، عدم رعایت تناوب زراعی، مصرف ناچیز کودهای آلی و بالاخره عدم مصرف کودهای محتوی عناصر ریزمغذی، سبب بروز کمبود این عناصر در خاک و بالطبع در گیاهان شده است (Makkizadeh Tafti et al., 2006; Malakouti et al., 2008; Kamkar et al., 2012; Ghaderifar et al., 2014; Jokar et al., 2015).

کمبود عناصر ریزمغذی در خاک یکی از عواملی است که ممکن است کارایی بذرها و رشد گیاهچه‌های حاصله را تحت تأثیر قرار دهد. پیش‌تیمار تغذیه‌ای به‌عنوان یک راه‌حل مناسب و کم‌هزینه‌تر برای حل این مشکل پیشنهاد شده است که به‌طور هم‌زمان اثرات مثبت پیش‌تیمار و افزایش سطح عناصر غذایی در بذر را همراه دارد (Al-Mudaris and Jutzi, 1999; Asgedom and Becker, 2001; Harris et al., 2007). طی پیش‌تیمار تغذیه‌ای بذرها با محلول حاوی ریزمغذی‌هایی مانند آهن و روی تیمار می‌شوند. انتظار می‌رود که این روش موجب بهبود وضعیت ریزمغذی‌ها و بهبود قدرت رشد و استقرار گیاهچه‌ها و به دنبال آن رشد و عملکرد گیاه شود (Ahmadi et al., 2016). اثر مثبت پیش‌تیمار بذرهای ذرت با عناصر غذایی بر سرعت رشد اولیه و تولید گیاهچه قوی‌تر و هم‌چنین استقرار بهتر گزارش شده است (Arif et al., 2005).

روی و آهن ازجمله مهم‌ترین ریزمغذی‌های موردنیاز گیاه هستند (Farooq et al., 2012). روی جزئی از ساختار چندین آنزیم بوده و همچنین به‌عنوان کوفاکتور برای فعالیت برخی آنزیم‌ها موردنیاز است. این عنصر همچنین در فرآیندهای بیوشیمیایی مختلفی همچون سنتز سیتوکروم و نوکلئوتیدها، متابولیسم اکسین، تولید کلروفیل و یکپارچگی غشا، نقش دارد (Marschner, 2012; Adhikari et al., 2016). آهن نیز کوفاکتور فعالیت چندین آنزیم گیاهی بوده و همچنین از اجزای دخیل در بیوسنتز کلروفیل است. علاوه بر آن، آهن در تنظیم تنفس، فتوسنتز، احیای نیترات‌ها و سولفات‌ها نیز دخالت دارد (Shinde et al., 2016) بیشتر گیاهان در مراحل اولیه رشد حساسیت بیش‌تری به کمبود آهن دارند و این کمبود باعث می‌شود گیاهچه‌ها پاکوتاه شوند (Kamkar et al., 2012).

پیش‌تیمار بذرهای با روی، منجر به بهبود جوانه‌زنی و بنیه بذر در ذرت (Harris et al., 2007)، بهبود شاخص‌های سبز شدن و افزایش محتوی ریزمغذی‌ها در سویا (Imran et al., 2008)، بهبود رشد کلئوپتیل و نمو گیاهچه (Ozturk et al., 2006) و کاهش زمان رسیدن به ۵۰٪ جوانه‌زنی (Aboutalebian and Mohagheghi, 2015) در عدس می‌شود. احتمالاً افزایش رشد گیاهچه ناشی از تأثیر روی بر افزایش

ساخت اکسین است (Cakmak, 2008). در عدس گزارش شده است که چنین بهبودی در خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه با پیش‌تیمار بذر با سولفات روی افزایش عملکرد و اجزای عملکرد را در پی داشته است (Farooq et al., 2012; Aboutalebian and Mohagheghi, 2015). پیش‌تیمار بذر لوبیا قرمز توسط سولفات روی نیز خصوصیات سرعت جوانه‌زنی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف، میزان پروتئین دانه و عملکرد دانه در گیاه را بهبود بخشید (Tahmasebi et al., 2017). در خصوص آهن نیز دیده شده است که استفاده از سولفات آهن جهت پیش‌تیمار بذر فلفل باعث بهبود معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک ریشه‌چه گردید (Ameri et al., 2011). افزایش درصد جوانه‌زنی به دنبال پیش‌تیمار با آهن در بارهنگ (Badiri, 2013) و روی و منگنز در گل همیشه‌بهار (Mirshekari, 2013) نیز گزارش شده است. همچنین دیده شده است که سولفات آهن در مقایسه با سولفات روی تأثیر بیش‌تری بر طول گیاهچه (Hoseinpur Askarian et al., 2019) و شاخص بنیه گیاهچه (Mirshekari, 2013) دارد

یکی از نکات مهمی که در پیش‌تیمار تغذیه‌ای باید موردتوجه قرار گیرد، تعیین غلظت مناسب عنصر مورداستفاده برای پیش‌تیمار است، زیرا غلظت‌های بالا ممکن است تأثیر منفی بر جوانه‌زنی بگذارند. برای مثال نتایج پژوهش حسین‌پور عسکریان و همکاران (Hoseinpur Askarian et al., 2019) نشان داد با افزایش غلظت سولفات روی سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه روند کاهشی داشتند به‌طوری‌که در ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات‌روی مقادیر این دو صفت حتی از شاهد هم کم‌تر بود. سولفات آهن یک درصد نیز گرچه سرعت جوانه‌زنی را نسبت به شاهد افزایش داد اما تفاوت معنی‌داری با غلظت ۰/۵ درصد نداشت و با افزایش بیشتر غلظت سولفات آهن، سرعت جوانه‌زنی روند کاهش داشت. در نخود نیز دیده شده است که افزایش غلظت عنصر روی در محلول پرایم از ۰/۰۵ به ۰/۰۷۵ درصد سبب کاهش رویش و تولید بیومس گردید (Arif et al.,, 2007). کاهش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه تحت تأثیر غلظت‌های بالای سه عنصر بور، مولیبدن و روی در نخود، عدس و لوبیا چشم‌بلبلی نیز گزارش شده است (Johnson et al., 2005) که این اثرات احتمالاً به دلیل سمیت ناشی از غلظت‌های بالای عناصر غذایی است (Bradford, 1995).

عموماً گیاهانی که در شرایط کمبود عناصر ریزمغذی مانند آهن و روی سبز می‌شوند دارای شاخص بنیه و استقرار ضعیف‌تری هستند (Prasad et al., 2003) و ازاین‌رو ممکن است نتیجه‌گیری شود که پیش‌تیمار بذر با این عناصر می‌تواند سبب بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه شود. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف تعیین اثر پیش‌تیمار تغذیه‌ای بذرهای عدس با سولفات روی و آهن بر خصوصیات جوانه‌زنی و تعیین بهترین غلظتی از هر یک از این مواد که بیشترین اثر مثبت را بر روی بذر داشته انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق به‌صورت دو آزمایش مجزا برای دو ماده سولفات روی و سولفات آهن، هریک با پنج سطح غلظت (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی مولار) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه بذر دانشگاه بجنورد انجام گرفت. قبل از انجام آزمایش، پیش آزمایش جهت سنجش درصد جوانه‌زنی بذر انجام و درصد جوانه‌زنی بذرهای محلی که به‌صورت دیم کاشت می‌شدند، محاسبه شد که حدود ۷۰ درصد بود.

جهت انجام آزمایش ابتدا بذرهای عدس با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد، به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و پس از سه بار شستشو با آب مقطر استریل، برای اعمال تیمارها آماده شدند. برای اعمال تیمارهای پیش‌تیمار ، بذرهای ضدعفونی شده در بطری‌های شیشه‌ای با حجم یک ویال (۱۲۰ میلی‌لیتر) ریخته و سپس محلول‌های پیش‌تیمار به آن‌ها اضافه شد و در دمای محیط (۲۰ –۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۷ ساعت تحت عمل پیش‌تیمار (۱۲۰،۹۰،۶۰،۳۰ و ۱۵۰ میلی مولار) قرار داده شدند. در تمام مدت پرایم، محلول‌ها جهت اجتناب از کمبود اکسیژن هوادهی می‌شدند. بعد از اتمام مدت پیش‌تیمار جهت حذف نمک‌ها از سطح بذر، بذرها سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد. سپس بذرهای در محیط عاری از آلودگی و در سایه جهت خشک‌کردن به مدت ٤٨ ساعت قرار گرفتند. به‌منظور انجام آزمایش‌های جوانه‌زنی تعداد ۲۰ عدد بذر درون پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر که حاوی ۲ لایه کاغذ صافی واتمن است قرار داده شد که مقدار ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به هر پتری اضافه گردید. جهت حفظ رطوبت، درب پتری‌دیش‌ها با پارافیلم پوشیده شد. سپس به ژرمیناتوری با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تناوب نوری ۱۲ ساعت (روشنایی و تاریکی) منتقل شدند. ارزیابی بذرهای جوانه‌زده هر ٢٤ ساعت یک‌بار به مدت ۱۰ روز صورت گرفت. بذرهایی که ریشه‌چه‌ی آن‌ها به‌اندازه ۲ میلی‌متر و بیشتر از بذر خارج شده بود به‌عنوان بذرهای جوانه‌زده مدنظر قرار گرفت (Soltani et al., 2001).

جهت محاسبه شاخص‌های جوانه‌زنی شمارش تعداد بذرهای جوانه‌زده طی انجام آزمون جوانه‌زنی به‌طور روزانه صورت گرفت و پس‌ازآن با استفاده از رابطه‌های زیر شاخص‌های جوانه‌زنی محاسبه شد. در پایان دوره آزمایش تعداد بذرهای جوانه‌زده شمارش و برحسب درصد گزارش شد (رابطه ۱).

رابطه ۱: (تعداد کل بذرها / تعداد بذرهای جوانه‌زده تا روز آخر)×۱۰۰=درصد جوانه‌زنی

به‌منظور اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی **(بذر در روز)** از روش ماگویر (۱۹٦۲) استفاده گردید (رابطه ۲)

رابطه ۲: $$Rs = \sum_{i-1}^{n} \frac{Si}{Di}$$

که در این فرمول Rs سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر در روز)، S_i تعداد بذر جوانه‌زده در هر شمارش، D_i تعداد روز در هر شمارش تا شمارش nام هستند.

در پایان آزمایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تمام بذرهای جوانه‌زده پتری‌دیش‌ها با استفاده از خط کش برحسب میلی‌متر تعیین شد. سپس با داده‌های به‌دست‌آمده، شاخص طولی بنیه بر اساس رابطه ۳ تعیین شد (عبدل‌الباقی و اندرسون، ۱۹۷۳).

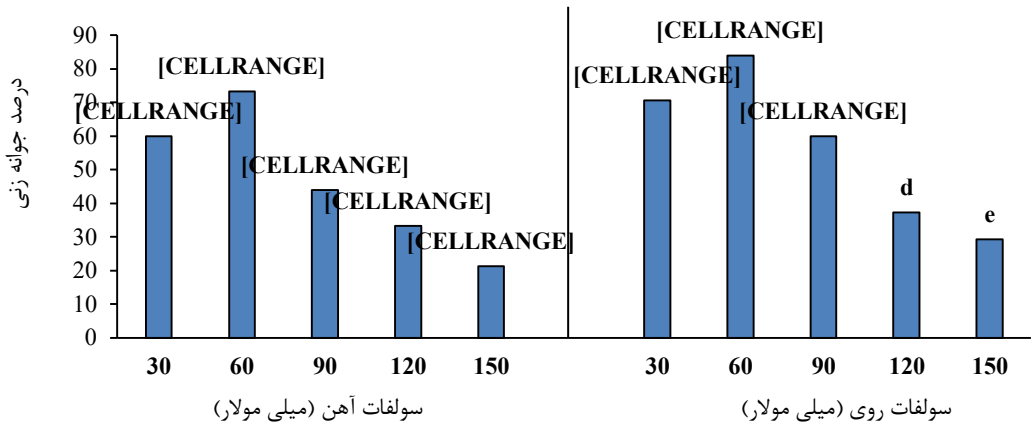
رابطه ۳: $$VL=(RL+SL)\times GP$$

که در آن RL: طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)، SL: طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) و GP: درصد جوانه‌زنی هستند.

درنهایت، به‌منظور تعیین وزن تر، گیاهچه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شده و برای تعیین وزن خشک گیاهچه، نمونه‌ها در پاکت کاغذی پیچیده و در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت خشک و مجدد توزین شد. در پایان، محاسبات آماری با استفاده از ماکروی DSAASTAT Ver.l.101 در محیط اکسل و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام گردید. میانگین صفات موردمطالعه نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD محافظت‌شده در سطح پنج درصد با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد جوانه‌زنی در هر دو ماده پیش‌تیمار، تحت تأثیر غلظت پیش‌تیمار قرار گرفت (جدول ۱). به‌طورکلی، میانگین درصد جوانه‌زنی در زمان پرایم با سولفات آهن، ۵٦/۲۷ درصد و در پرایم با سولفات روی، ٤٦/٤ درصد بود. مقایسه میانگین اثر تیمار غلظت پیش‌تیمار بر درصد جوانه‌زنی بوته عدس نشان داد که با افزایش غلظت هر دو ماده پرایم (سولفات آهن و روی) از ۳۰ به ٦۰ میلی مولار، بالاترین درصد جوانه‌زنی حاصل شد؛ هرچند افزایش بیشتر غلظت ماده پرایم، منجر به کاهش جوانه‌زنی شد به‌نحوی‌که کمترین درصد جوانه‌زنی در تیمار پرایم با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۱). اضافه کردن مواد مغذی با بهره‌گیری از تکنیک پیش‌تیمار سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک (افزایش کارایی متابولیسم مواد ذخیره‌ای بذر) و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در ابتدای فعالیت جوانه‌زنی و درنتیجه کاهش حساسیت بذرهای به عوامل محیطی و بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (Mohammad et al., 1999). علاوه بر این، وجود عنصر روی در بذر طی مدت جوانه‌زنی، با توجه به نقش کوآنزیمی آن در آنزیم‌های متعدد، باعث افزایش فعالیت‌های متابولیسمی جهت تقسیم سلول‌ها و نیز افزایش سرعت وقوع فرآیندهای متابولیسمی نظیر تجزیه ذخایر بذر و آزادسازی انرژی آن‌ها به همراه تأمین سوبسترای اولیه بیوسنتز سایر بیومولکول‌ها مانند پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک شده و این عمل منجر به جوانه‌زنی زودتر و با بنیه بیشتر می‌شود (Abdoli and Esfandiari, 2014). اثرات مثبت پیش‌تیمار سولفات آهن نیز بر درصد جوانه‌زنی بذرهای فلفل (Ameri et al., 2011)، گل همیشه‌بهار (Mirshekari, 2015) و بارهنگ (Badiri, 2013) قبلاً گزارش شده است. در آزمایشی که حسین‌پور عسکریان و همکاران (Hoseinpur Askarian et al., 2019) در مورد تأثیر سولفات روی و آهن بر بهینه‌سازی شکست خواب و شاخص جوانه‌زنی موسیر انجام دادند، بیان نمودند که در بین غلظت‌های مورد کاربرد (۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار سولفات روی و سولفات آهن ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد)، بالاترین درصد جوانه‌زنی با کاربرد سولفات روی ۵ میلی‌مولار حاصل شد و با افزایش غلظت روند کاهشی داشت. اثر بازدارنده و کاهشی غلظت‌های بالا مواد پرایم بر جوانه‌زنی احتمالاً به دلیل سمیت ناشی از غلظت‌های بالای مواد مغذی است (Johnson et al., 2005).



شکل ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف پیش‌تیمار با سولفات آهن و یا سولفات روی بر درصد جوانه‌زنی بذر عدس. برای هر ماده پیش‌تیمار، حروف نامشابه بر روی ستون‌ها نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر غلظت مواد مورداستفاده برای پیش‌تیمار بر صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذر عدس

ماده پرایم	منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه
سولفات آهن	غلظت پیش‌تیمار	٤	۱۵۵۵/۷۳**	۵۷۲/۷۵**	٤/۷۹**	٤/۱٤**
	خطا	۱۰	۱۹/۲	۱/۷۳	۰/۰۲۳	۰/۱۱
	ضریب تغییرات (٪)		۷/۷۸	٤/۵۰	۳/٤٦	۹/٦۳
سولفات روی	غلظت پیش‌تیمار	٤	۱۲۸٦/٤ **	٦٦۹/۳**	٤/٦۱**	٤/۷۷**
	خطا	۱۰	۳۵/۲	۲	۰/۱۵	۰/۰۱
	ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۷۹	٤/۷٦	۹/۷۲	٤/۳۱

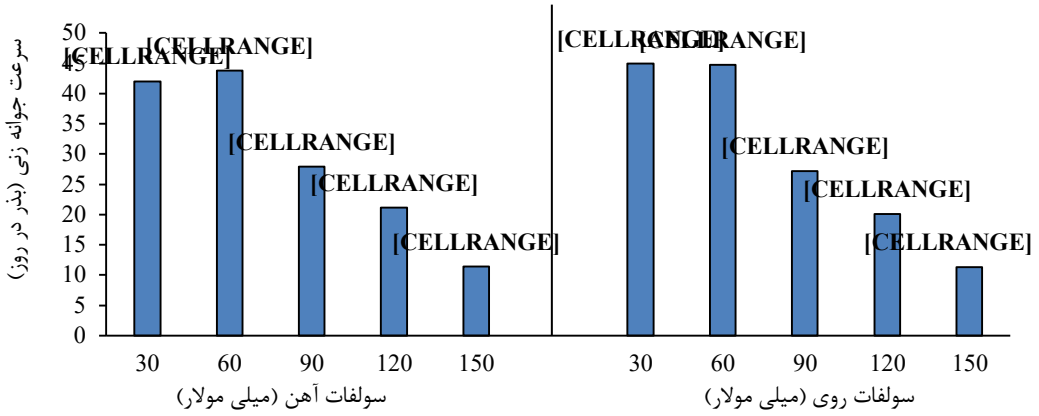
جدول ۱. ادامه

ماده پرایم	منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص طولی بنیه	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	وزن خشک گیاهچه
سولفات آهن	غلظت پیش‌تیمار	٤	۲۷۸۳۲۵/۹**	۰/۵۳*	۱/٦۸**	۸/۳۲E-۰۵**
	خطا	۱۰	۸٤۸/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۲	٤/۱۵E-۰٦
	ضریب تغییرات (٪)		۵/۹٦	۲۷/۱۳	۹/۱۰	۱۰/۲٤
سولفات روی	غلظت پیش‌تیمار	٤	۱۸٤۷۷۹/٦**	۰/۳۵**	۱/٤۳**	۰/۰۰۰۱**
	خطا	۱۰	۱٤٦۱/٦	۰/۰٤	۰/۰۱	۱/۱۹E-۰۵
	ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۳۸	۱۸/۵٦	۹/۰۷	۲۰/۲۸

*، ** و n.s به‌ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

سرعت جوانه‌زنی: اثر غلظت پیش‌تیمار بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که به‌طور میانگین سرعت جوانه‌زنی در شرایط پرایم با سولفات آهن ۲۹/۲۲ بذر در روز و در پرایم با سولفات روی ۲۹/٦۵ بذر در روز بود. مقایسه میانگین اثر تیمار غلظت پیش‌تیمار بر سرعت جوانه‌زنی بوته عدس نشان داد که پرایم با غلظت‌های ۳۰ و ٦۰ میلی‌مولار با تفاوت معنی‌دار نسبت به سایر سطوح، موجب بالاترین سرعت جوانه‌زنی شدند. افزایش بیشتر غلظت هر دو ماده پرایم اثر بازدارنده و کاهشی بر سرعت جوانه‌زنی داشت، به‌نحوی‌که کمترین سرعت جوانه‌زنی در شرایط پرایم با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۲). گرچه گزارش شده است که استفاده از سولفات آهن به‌طور معنی‌داری سبب بهبود سرعت جوانه‌زنی بذر فلفل شده است (Ameri et al., 2011)، اما هم‌راستا با نتایج ما، حسین‌پور عسکریان و همکاران (Hoseinpur Askarian et al., 2019)، گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی با افزایش غلظت سولفات روی روند کاهشی داشت و در ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات روی به

کمتر از سطح شاهد رسید. همچنین گرچه افزایش سولفات آهن تا غلظت ۱ درصد سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی شد، ولی با افزایش بیشتر غلظت سرعت جوانه‌زنی روند کاهش داشت که چنین کاهشی احتمالاً به دلیل جذب زیاد نمک‌های موجود در این محلول‌ها و متعاقب آن بروز سمیت ناشی از غلظت‌های بالای عناصر غذایی باشد (Bradford, 1995; Johnson et al.,, 2005). گرزی و همکاران (Gorzi et al., 2020) نیز غلظت مناسب سولفات آهن و سولفات روی برای پیش‌تیمار بذر استویا تحت تنش خشکی را ۰/۵ درصد عنوان نمودند.

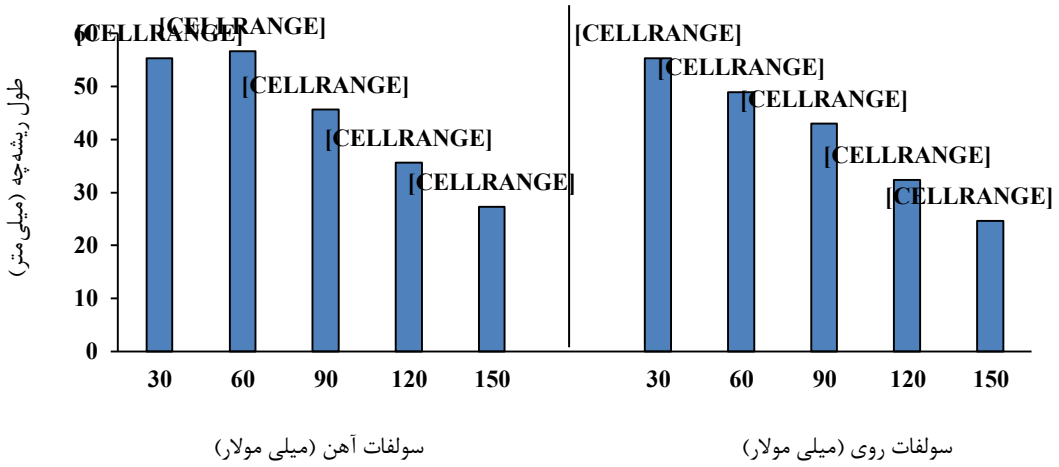


شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف پیش‌تیمار با سولفات آهن و یا سولفات روی بر سرعت جوانه‌زنی بذر عدس. برای هر ماده پیش‌تیمار، حروف نامشابه بر روی ستون‌ها نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

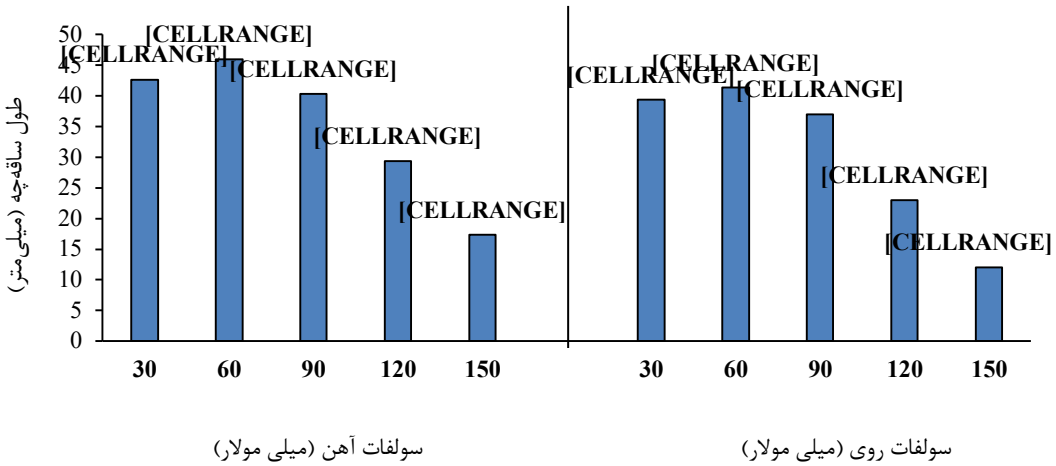
طول ریشه‌چه: طول ریشه‌چه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت‌های مختلف پیش‌تیمار قرار گرفت (جدول ۱). طول ریشه‌چه به‌طور متوسط در زمان پرایم با سولفات آهن و سولفات روی به ترتیب برابر با ٤٤/١ و ٤٠/٩ میلی‌متر بود. مقایسه میانگین اثر غلظت پیش‌تیمار بر طول ریشه‌چه بوته عدس نشان داد که پرایم با غلظت‌های ۳۰ و ٦٠ میلی‌مولار در زمان کاربرد سولفات روی و آهن بیشترین طول ریشه‌چه را حاصل نمودند؛ اما با افزایش غلظت این عناصر ریزمغذی، یک اثر بازدارنده و کاهشی بر طول ریشه‌چه مشاهده شد (شکل ۳) و کمترین طول ریشه‌چه نیز در تیمار پرایم با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار این دو ماده مشاهده شد. رحیمی و همکاران (Rahimi, Heidari and Eftekhari, 2012) در بررسی اثر غلظت‌های صفر تا ۲ درصد سولفات آهن را بر طول ریشه‌چه گیاهچه لوبیا چشم‌بلبلی مشاهده کردند که طول ریشه‌چه در غلظت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ درصد سولفات آهن به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار آن در غلظت‌های پایین‌تر بود. حسین پور عسکریان و همکاران (Hoseinpur Askarian, Abbasi Surki, and Danesh Shahraki, 2019) نیز کاهش طول گیاهچه با افزایش غلظت سولفات روی را گزارش کردند.

طول ساقه‌چه: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که طول ساقه‌چه تحت تأثیر غلظت پیش‌تیمار قرار گرفت. به‌طور میانگین، طول ساقه‌چه در پرایم با سولفات آهن و روی به ترتیب معادل ۳۵/۲ و ۳۰/٦ میلی‌متر بود. طبق نتایج حسین‌پور عسکریان و همکاران (Hoseinpur Askarian et al., 2019) نیز سولفات آهن در مقایسه با سولفات روی تأثیر بیشتری بر طول گیاهچه موسیر داشت. برای هر دو ماده، پرایم با غلظت ٦٠ میلی‌مولار منجر به بالاترین طول ساقه‌چه شد؛ مانند سایر صفات، با افزایش غلظت این مواد یک

اثر بازدارنده و کاهشی مشاهده شد و کمترین طول ساقه‌چه نیز در تیمار پرایم با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار حاصل آمد (شکل ٤). اثر مثبت و معنی‌دار غلظت‌های پایین‌تر سولفات آهن بر طول ساقه‌چه در لوبیا چشم‌بلبلی (Rahimi et al., 2012) و سولفات روی بر طول گیاهچه موسیر (Hoseinpur Askarian et al., 2019) نیز گزارش شده است. بر اساس نظر پراساد و همکاران (Prasad et al., 2003)، روی به‌واسطه نقش مؤثر خود در سنتز تریپتوفان به‌عنوان پیش ماده‌ای برای تولید اکسین، نقش فیزیولوژیکی مهمی در طول گیاهچه ایفا می‌کند. یکی از کارکردهای اصلی اکسین، افزایش انبساط پذیری دیواره‌های سلولی است و به دنبال آن افزایش رشد سلول‌ها است؛ هرچند افزایش بیش‌ازحد غلظت اکسین اثر عکس بر رشد گیاهچه می‌گذارد که خود می‌تواند دلیل احتمالی کاهش طول گیاهچه و شاخص بنیه در اثر افزایش غلظت سولفات روی باشد (Vojodi et al., 2016).

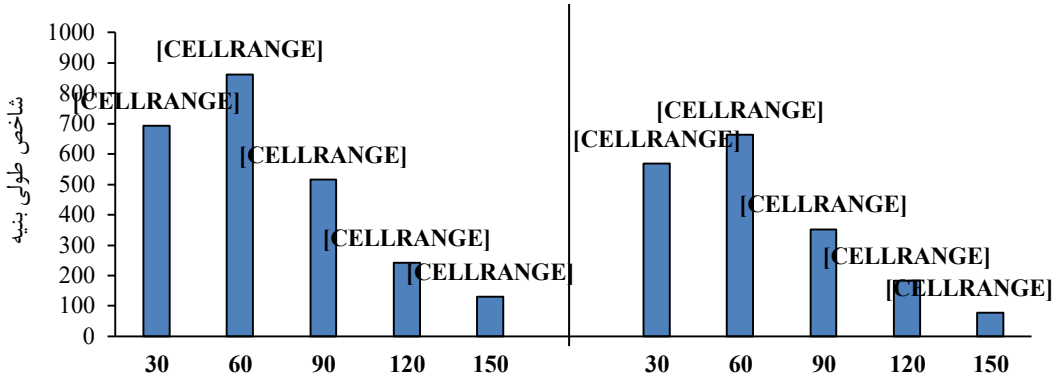


شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف پیش‌تیمار با سولفات آهن و یا سولفات روی بر طول ریشه‌چه بذر عدس. برای هر ماده پیش‌تیمار، حروف نامشابه بر روی ستون‌ها نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ٤. تأثیر غلظت‌های مختلف پیش‌تیمار با سولفات آهن و یا سولفات روی بر طول ساقه‌چه بذر عدس.
برای هر ماده پیش‌تیمار، حروف نامشابه بر روی ستون‌ها نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

شاخص طولی بنیه: شاخص طولی بنیه در زمان کاربرد هر دو نوع ماده پیش‌تیمار تحت تأثیر غلظت ماده پرایم قرار گرفت (جدول ۱). میانگین کلی شاخص طولی بنیه بذر در پرایم با سولفات آهن و سولفات روی به‌ترتیب ٤٨٨/٥١ و ٣٦٨/٣٠ به دست آمد. برای هر دو ماده سولفات روی و سولفات آهن، پرایم با غلظت ٦٠ میلی‌مولار منجر به بالاترین شاخص طولی بنیه گیاهچه عدس شد. با افزایش بیشتر غلظت ماده پرایم، شاخص بنیه روند کاهش نشان داد و کمترین شاخص طولی بنیه در تیمار پرایم با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار حاصل شد (شکل ۵). گرچه بیان شده است که گیاهانی که در شرایط کمبود روی سبز می‌گردند دارای شاخص بنیه و استقرار ضعیف‌تری هستند (Prasad et al., 2003)، ولی مشابه نتایج ما، حسین پور عسکری و همکاران (Hoseinpur Askarian et al., 2019) نیز گزارش کردند که بیشترین شاخص بنیه گیاهچه، مربوط به غلظت ۱ درصد آهن و کمترین آن مربوط به غلظت‌های بالای روی و شاهد بود.

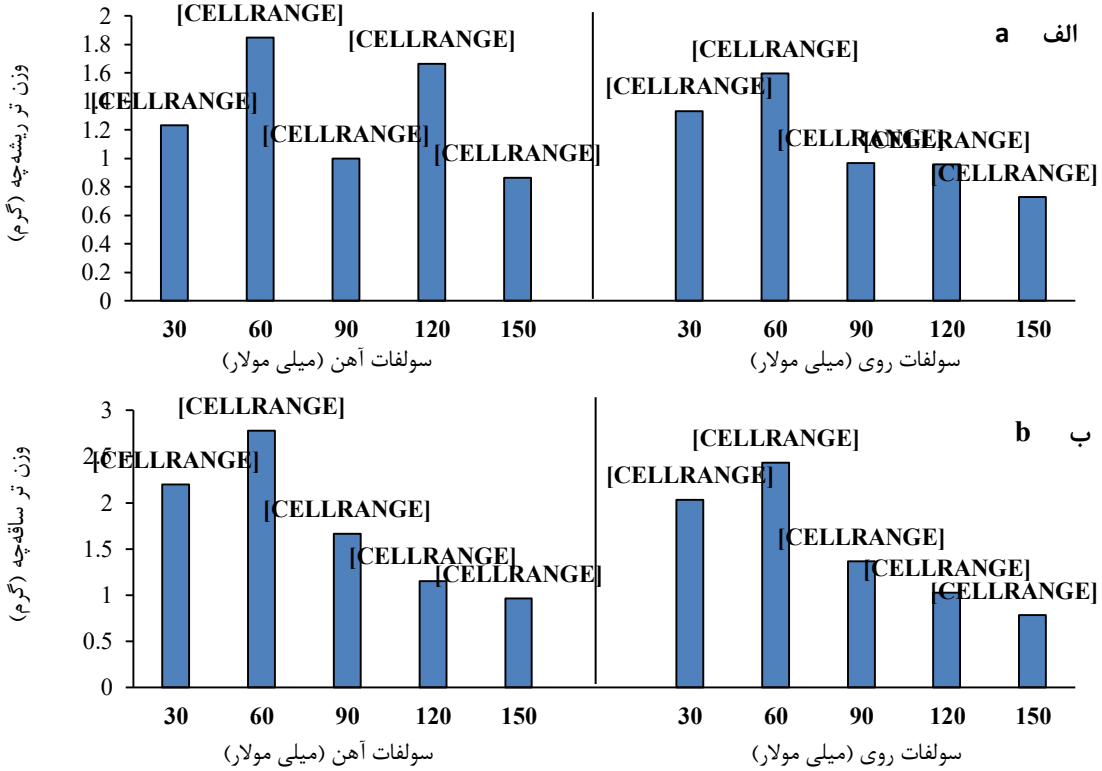


شکل ۵. تأثیر غلظت‌های مختلف پیش‌تیمار با سولفات آهن و یا سولفات روی بر شاخص طولی بنیه گیاهچه عدس.
برای هر ماده پیش‌تیمار، حروف نامشابه بر روی ستون‌ها نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه: هر دو وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر اثر غلظت دو ماده پیش‌تیمار قرار گرفتند (جدول ۱). به‌طور متوسط، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه در زمان پرایم با سولفات آهن به‌ترتیب ۱/۳۲ و ۱/۷۵ گرم و در پرایم با سولفات روی ۱/۱۲ و ۱/۵۳ گرم بودند. مقایسه میانگین اثر غلظت پیش‌تیمار بر وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه عدس نشان داد که غلظت ٦٠ میلی‌مولار هر دو ماده پرایم منجر به بالاترین میزان این دو صفت شد. بالاتر از این غلظت در کل روند کاهشی بود و کمترین میزان این صفات در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار هر دو ماده پرایم مشاهده شد (شکل ٦).

وزن خشک گیاهچه: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که وزن خشک گیاهچه نیز تحت تأثیر غلظت پیش‌تیمار قرار گرفت ($P \leq 0.01$). وزن خشک گیاهچه به‌طور متوسط در پرایم با سولفات آهن، ۰/۰۱۹۹ گرم و در پرایم با سولفات روی ۰/۰۱۷ گرم بود. مقایسه میانگین اثر غلظت پیش‌تیمار بر وزن خشک گیاهچه بوته عدس نشان داد که همانند سایر صفات، در اینجا نیز برای هر دو ماده پرایم با غلظت

۶۰ میلی‌مولار بیشترین و پرایم با غلظت ۱۵۰ میلی-مولار کمترین وزن خشک را به دست دادند (شکل ۷). در مطالعه عطار و همکاران (Atar et al., 2020) نیز گزارش شد که کاربرد ۰/۵ درصد روی نسبت به ۰/۳ درصد روی، اثر منفی بر صفات گیاهچه‌ای در گندم و جو داشت و همین نتیجه برای کاربرد آهن در مطالعه افضل و همکاران (Afzal et al., 2021) مشاهده شد. عطار و همکاران (Atar et al., 2020) با بررسی پیش‌تیمار بذرهای گندم و جو دو سطح روی (۰/۳ و ۰/۵ درصد ZnSO4) گزارش نمودند که وزن خشک بوته تحت تأثیر روی قرار نگرفت به‌نحوی‌که در تیمار شاهد، وزن خشک گیاهچه در جو و گندم به ترتیب ۰/۱۲۰ و ۰/۱۲۹ گرم بود و مقدار همین صفت در زمان کاربرد ۰/۳ درصد روی به ترتیب و در زمان کاربرد ۰/۵ درصد روی به ترتیب گرم مشاهده شد. هریس و همکاران (Harris et al., 2007) نیز با بررسی پیش‌تیمار بذر با روی بیان نمودند که افزایش روی موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه‌چه گردید. افضل و همکاران (Afzal et al., 2021) نیز در بررسی اثر غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ آهن گزارش کردند که وزن خشک گیاهچه در زمان کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر FeSO4، حدود ۰/۰۲۷ و ۰/۰۱۸ گرم در بوته بود که سطح ۴۰ میلی‌گرم، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت.

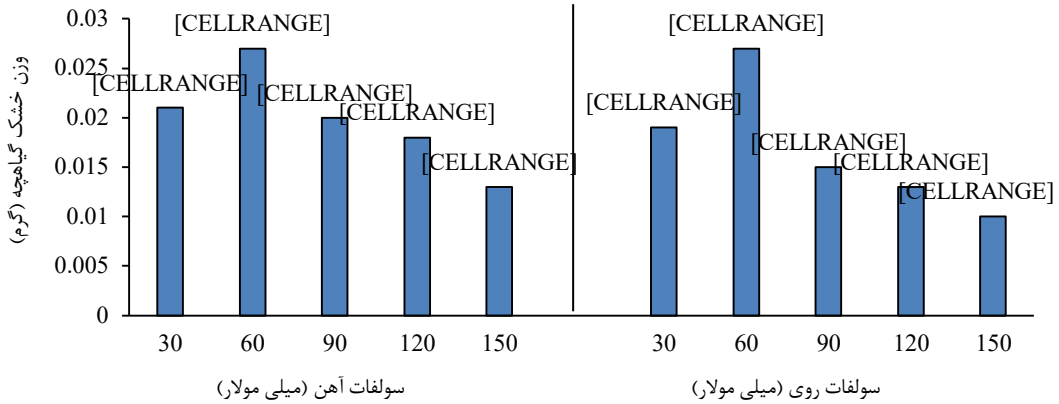


شکل ۶- تأثیر غلظت‌های مختلف پیش‌تیمار با سولفات آهن و یا سولفات روی بر (الف) وزن تر ریشه‌چه و (ب) وزن تر ساقه‌چه گیاهچه عدس. برای هر ماده پیش‌تیمار ، حروف نامشابه بر روی ستون‌ها نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

نتیجه‌گیری

جوانه‌زنی و استقرار ضعیف یکی از موانع پیش رو برای کشت و کار و تولید عدس به‌خصوص در خاک‌های فقیر مانند غالب زمین‌های دیم ایران است و به‌کارگیری فناوری‌های بذر نظیر پیش‌تیمار با مواد مغذی ممکن است راهکاری مناسب جهت بهبود

شاخص‌های جوانه‌زنی و استقرار این گیاه به شمار آید. در این تحقیق پیش‌تیمار با مواد مغذی (سولفات آهن و سولفات روی) اثر معنی‌داری بر صفات مربوط به جوانه‌زنی و رشد گیاهچه داشت و به نظر می‌رسد که استفاده از سولفات آهن نسبت به سولفات روی برتری دارد. همچنین در غلظت ۶۰ میلی‌مولار نسبت به سایر غلظت‌های موردمطالعه، بالاترین شاخص‌های جوانه‌زنی به دست آمد که می‌توان آن را به‌عنوان حداکثر غلظت مناسب این مواد پیشنهاد داد، به‌ویژه آنکه احتمال می‌رود غلظت‌های بالاتر دو ماده پیش-تیمار سبب ایجاد سمیت در بذرهای شده و اثر عکس بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده بگذارند.



شکل ۷- تأثیر غلظت‌های مختلف پیش‌تیمار با سولفات آهن و یا سولفات روی بر وزن خشک گیاهچه عدس.

برای هر ماده پیش‌تیمار ، حروف نامشابه بر روی ستون‌ها نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

References

Abdoli, M., and Esfandiari, E. 2014. Effect of zinc foliar application on the quantitative and qualitative yield and seedlings growth characteristics of bread wheat (cv. Kohdasht). Iranian Dryland Agronomy Journal. 3(1): 77-90. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2014.100557

Abdul-Baki, A.A., and Anderson, J.D. 1973. Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria. Crop Science 13: 630-633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x

Aboutalebian, M.A., and Mohagheghi, A. 2015. Influence of different seed priming treatments on yield and yield components of lentil under terminal drought stress condition. Journal of Crop Production and Processing 5(15):129-141. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.15.129

Adhikari, T., Kundu, S., and Rao, A.S. 2016. Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. Journal of Plant Nutrition. 39(1): 136-146 https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1087562

Afzal, S., Sharma, D., and Singh, N.K. 2021. Eco-friendly synthesis of phytochemical-capped iron oxide nanoparticles as nano-priming agent for boosting seed germination in rice (*ryza *sativa* L.). Environmental Science and Pollution Research. 28(30): 40275-40287. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12056-5

Ahmadi, K., Parsa, S., Mahmoodi, S., and Gazanchian, G. 2016. Evaluation of effect of nutrient priming on the Galbanum (*Ferula gummosa* Boiss.) germination and seedling growth. Seed Ecophysiology Journal. 1(2): 137-151. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/sej.2016.426

Al-Mudaris, M.A., and Jutzi, S.C. 1999. The Influence of Fertilizer-based Seed Priming Treatments on Emergence and Seedling Growth of *Sorghum bicolor* and *Pennisetum*

glaucum in Pot Trials under Greenhouse Conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 182: 135-142. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.1999.00293.x

Ameri, A., Fatemi, H., Aroiee, H., and Teixeira da Silva, J.A. 2011. What's the Effect of Saline Priming on Germination Factors of *Capsicum annuum* var.'California Wonder'Seeds. Seed Science and Biotechnology. 5(1): 47-49.

Arif, M., Ali, S., Shah, A., Javad, N. and Rashid, A. 2005. Seed priming maize for improving emergence and seedling growth. Sarhad Journal of Agriculture. 21: 539-543.

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

Asgedom, H., and Becker, M. 2001. Effects of seed priming with nutrient solutions on germination, seedling growth and weed competitiveness of cereals in Eritrea. In: Proceeding of Deutscher Tropentag 2001, University of Bonn and ATSAF, Margraf Publishers Press, Weickersheim, 282p.

Atar, B., Uygur, V., and Sukuşu, E. 2020. Effects of priming with copper, zinc and phosphorus on seed and seedling composition in wheat and barley. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences. 7(1): 104-111. https://doi.org/10.30910/turkjans.680021

Badiri, A. 2013. The effect of seed priming with micronutrient elements on the germination indicators, growth and yield of the medicinal plant plantain. MSc. Thesis. Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran. (In Persian).

Bradford, J. K. 1995. Water relations in seed germination. In: J. Kigel and G. Galili (Eds.).Seed development and germination. Marcel Dekker, New York. pp. 351-396.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil. 302: 1-17. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3

Erskine, W., Sarker, A., and Kumar, S. 2011. Crops that feed the world 3. Investing in lentil improvement toward a food secure world. Food Security. 3: 127–139. https://doi.org/10.1007/s12571-011-0124-5

Farooq, M., Wahid, A., and Siddique, K.H. 2012. Micronutrient application through seed treatments – a review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 12(1): 125-142. https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011

Ghaderifar, F., Kamkar, B., and Soltani, A. 2014. Seed Science and Technology. Jahad University Press of Mashhad, 512 p. (In Persian).

Gorzi, A., Omidi, H., and Bostani, A. 2020. Effect of Stevia (*Stevia rebaudiana*) Seed Priming Treatments with Salicylic Acid, Iron, and Zinc on Some Germination Traits and Photosynthetic Pigments under Drought Stress. Iranian Journal of Seed Research. 6(2): 125-135. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/yujs.6.2.125

Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., and Shah, H. 2007. 'On-farm' seed priming with zinc sulphate solution—A cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. Field Crops Research. 102(2): 119-127. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.005

Hoseinpur Askarian, E., Abbasi Surki, A., Danesh Shahraki, A. 2019. Effect of Seed Priming with ZnSO4 and FeSO4 on Dormancy Break Optimization and Germination Traits of Shallot (*Allium hirtifolium*). Iranian Journal of Seed Research. 6(1): 33-49. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/yujs.6.1.33

Imran, M., Neuman, G., and Rombeld, V. 2008. Nutrient seed priming improves germination rate and seedling growth under subemergence stress at low temperature. In: Proceedings of Tropentag 2008, Competition for Resources in a Changing World: New Drive for Rural Development. October 7-9, 2008. Hohenheim, Germany.

Johnson, S., Layren, J., Welch, R., and Duxbury, J. 2005. A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), Lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. Experimental Agriculture. 41(4): 427-448. https://doi.org/10.1017/S0014479705002851

Jokar, L., Ronaghi, A., Karimian, N., and Ghasemi-Fasaei, R. 2015. Effects of different Fe levels from Fe-nano-chelate and Fe-EDDHA sources on growth and some nutrients

concentrations in cowpea in a calcareous soil. Journal of Soil and Plant Interactions 6(2): 9-19. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.9

Kamkar, B., Safahani Langeroudi, A.R., and Mohammadi, R. 2012. The Use of Nutrients in Crop Plants. Jahad University Press of Mashhad, Iran. 500 p. (In Persian).

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science. 2: 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Makkizadeh Tafti, M., Tavakol Afshari, R., Majnoon Hosseini, N., Naghdi Badi, H., and Mehdizadeh, A. 2006. Effect of Osmopriming on Seed Germination of Borage (*Borago officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 22(3): 216-222. (in Persian with English abstract).

Malakouti, M.J., Keshavarz, P., and Karimian, N. 2008. A Comprehensive Approach towards Identification of Nutrient Deficiencies and Optimal Fertilization for Sustainable Agriculture. 7th ed. Tarbiat Modares University Publication. Tehran, Iran. (in Persian).

Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Academic Press, London. https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9

Mirshekari, B. 2015. Effects of seed priming with microelements of Fe and B on some germination parameters and yield of marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 30(6): 879-888. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.11923

Mirshekari, B., 2013. Effect of seed priming with microelements on germination speed, seedling vigor and flower yield of marigold (*Calendula officinalis* L.). Agroecology Journal. 9(4): 69-76. (in Persian with English abstract).

Mohammad, W., Shah, S.M., Nawas, H., and Iqbal, M.M. 1999. Interactive effect of nitrogen, zinc and boron on yield and nutrient uptake by rapeseed. Pakistan Journal of Soil Science. 16(1-2): 111-114.

Ozturk, L., Yazici, M.A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H.-J., Sayers, Z. and Cakmak, I. 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. Physiologia Plantarum. 128: 144-152. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00737.x

Prasad, A.S. 2003. Zinc deficiency. British Medical Journal 326: 409-410. https://doi.org/10.1136/bmj.326.7386.409

Rahimi, M., Heidari, M., and Eftekhari, S.A. 2012. Effects of Iron sulphate and iron chelate on seed germination and early seedling growth of *Vigna unguiculata*. 1st National Conference on Agriculture in Hard Environmental Conditions, May 9, 2012. Islamic Azad University, Ramhormoz Branch, Iran. (in Persian with English abstract).

Shinde, P., Doddagoudar, S.R., Vasudevan S.N. 2016. Influence of seed polymer coating with micronutrients and foliar sprayon seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Legume Research. 40(4): 704-709. https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.10760

Soltani, A., Gholipoor, M., and Zeinali, E. 2001. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environmental and Experimental Botany. 55(1): 195-200. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.10.012

Tahmasebi, R., Sajedi, N.A., and Shoaei, S. 2017. Evaluation effect of different solutions and seed priming treatments on germination, agronomic and quality characteristics of red bean genotypes. Iranian Journal Pulses Research. 8(1): 60-72. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.26145

Vojodi, M.L., Hassanpouraghdam, M.B., Ebrahimzadeh, A., and Valizadeh, K.R. 2016. Effects of ZnSO4 foliar application on vegetative growth and phenolic and essential oil content of geranium (*Pelargonium odoratissimum* L.). Journal of Ornamental Plants. 6: 193-199.