"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد دوازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲
(ص ۲۷-۱۳)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 12, No.: 2, Summer 2023
(pp: 13-27)
DOI: 10.22092/ijsst.2022.359985.1452
Research Article

بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز در بذرهای حاصل از ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با استفاده از محلول‌پاشی سیلیسیم و نیکل در خاک شور

محبوبه بهرامی[۱]، محمد رحیم اوجی[۲*]، فرهاد مهاجری[۲]، محمود دژم[۲]

۱. دانشجوی دکتری، رشته زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا
۲. استادیار، گروه کشاورزی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا
(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۶/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵)

چکیده

تنش شوری سبب کاهش کیفیت بذر گیاهان می‌شود، اما غلظت‌های مناسب سیلیسیم و نیکل می‌تواند سبب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در بذرهای تولید شده گردد. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۸ در شهرستان حاجی آباد، هرمزگان، ایران انجام شد. عامل اول شامل چهار رقم گلرنگ صفه، محلی اصفهان، پدیده و گل‌مهر و عامل دوم هفت سطح محلول‌پاشی شامل شاهد و محلول‌پاشی نیکل با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی سیلیسیم با غلظت ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم به ترتیب سبب افزایش ۱۰ و ۱۸ درصدی پتاسیم گردید. محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم سبب افزایش ۱۷ و ۱۲ درصدی فعالیت آنزیم آلفا و بتا آمیلاز گردید. از سوی دیگر رقم گل‌مهر و پس از آن رقم صفه درصد و سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر بیشتری در بذرهای حاصل از گیاه مادری در شرایط تنش شوری نشان دادند، اما رقم پدیده دارای کمترین این صفات بود. محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در مقایسه با شاهد به ترتیب سبب افزایش ۲۳ و ۲۵ درصدی بنیه بذر در ارقام صفه و گل‌مهر شد، اما غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل، سبب کاهش ۲۴ و ۱۹ درصدی در این ارقام شد. در مجموع نتایج این پژوهش تأثیر مثبت محلول‌پاشی غلظت‌های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم را در بهبود کیفیت بذرهای ارقام مختلف گلرنگ تحت تنش شوری نشان داد.

کلمات کلیدی: بنیه بذر، درصد جوانه‌زنی، محتوی سدیم، هدایت الکتریکی

Improvement of alpha- and beta-amylase enzymes activities and germination indices in safflower variety (*Carthamus tinctorius* L.) seeds by foliar application of silicon and nickel in saline soil

M. Bahrami[1], M.R. Owji[2], F. Mohajeri[2], M. Dejam[2]

1. Ph.D Student Of Agronomy, Fasa Islamic azad University
2. Assistant Proffessor, Department of Agricultur, Islamic azad University Fasa branch
(Received: Sept. 11, 2022 – Accepted: Nov. 16, 2022)

Abstract

Salinity stress reduces seed quality, but suitable concentrations of silicon and nickel can improve germination indices in the produced seeds. This study was conducted in a factorial arrangement based on randomized complete block design (RCBD) in 2018 in Haji Abad city, Hormozgan, Iran. The experimental treatments consisted of four safflower varieties as the first factor, including Soffeh, Local Isfahan, Padideh, and Golmehr; and seven spraying levels, including nickel (100, 200 and 300 mg L^{-1}) and silicon (100, 150, and 200 mg L^{-1}) as the second factor. The results demonstrated that the foliar application of 100 mg/l Nickle and 200 mg/l silicon increased potassium by 10% and 18%, respectively. The foliar application of 200 mg/l silicon increased the activity of alpha and beta amylase enzymes by 17% and 12%, respectively. In addition, Golmehr and Safe varieties obtained from a mother plant recorded higher germination and rate percentage, as well as seed vigor, while Padideh variety showed the lowest values of the same traits. The foliar application of 200 mg/l silicon, compared to the control, increased the seed vigor as well as Soffeh and Golmehr cultivars by 23% and 25%, respectively; however, the Nickle concentration of 300 mg/l resulted in a decrease of 24% and 19% in these cultivars.On the other, this trait decreased with increasing nickel concentration significantly. Generally, foliar application of silicon at concentrations of 150 and 200 mg L^{-1} was found to improve seed quality of different safflower varieties under salinity stress.

Keyword: Electrical conductivity, Germination percentage, Seed vigor, Sodium content

* Email: rahimowji@gmail.com

مقدمه

تنش شوری یکی از مهمترین مشکلات بخش کشاورزی است که سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. بنابراین شناخت تکنیک‌های زراعی برای تثبیت رشد و عملکرد گیاه تحت تنش شوری اهمیت فراوانی دارد (Zorb *et al*., 2019). شور شدن خاک به‌طور مستقیم بر فرایندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان موثر است (Yadav *et al*., 2019). تنش‌های محیطی از جمله شوری در طی دوره رشد گیاه مادری بر کمیت و کیفیت بذر تولیدی موثر است (Attarzadeh *et al*., 2019; Nguyen *et al*., 2021). عوامل تنش‌زای محیطی قابلیت تغییر در درصد جوانه‌زنی و بنیه بذرهای حاصل و کاهش عملکرد محصول قابل برداشت در هر زمان از رشد بذر تا استقرار گیاه مادری را دارند. بنابراین، تمام این عوامل محیطی و ژنتیکی در ارزیابی عملکرد بذر اهمیت دارند (Reed *et al*., 2022). به‌دلیل آنکه ممکن است شوری خاک رشد و فرآیندهای نموی گیاه را مختل می‌کند، قابلیت‌های زیستی بذرهای تولید شده گلرنگ تحت تنش شوری در مقایسه با شرایط شاهد متفاوت است (Bassil and Kaffka, 2002). کاهش جوانه‌زنی بذر تولید شده تحت تنش شوری بیش از حد تحمل بر روی گیاه مادری گزارش شده است (Dehshiri and Modares Sanavy, 2015).

گلرنگ (*Carthamus tintorius* L.) از خانواده Asteraceae محصول دانه روغنی چند منظوره ایست که عمدتاً به‌دلیل کیفیت بالای روغن خوراکی کشت می‌شود (Emongor *et al*., 2017). روغن بذرهای این گیاه به‌دلیل وجود میزان کم اسیدهای چرب اشباع (اسیدهای پالمیتیک[1] و استئاریک[2]) و میزان زیاد اسیدهای چرب غیراشباع (اسیدهای اولئیک[3] و لینولئیک[4]) خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی را به میزان زیادی کاهش می‌دهد (Gupta, 2022). گلرنگ گیاهی نسبتاً متحمل به شوری است و بنابراین قابلیت کاشت در مناطق نسبتا شور را دارد (Yeilaghi *et al*., 2015). بر طبق گزارش‌های پیشین محققان، ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش شوری پاسخ متفاوتی از خود نشان می‌دهند. بنابراین شناسایی ارقام متحمل به تنش شوری و سازگار با شرایط هر زیست‌بوم[5] اهمیت خاصی دارد (Salehi and Pourdad, 2021). از سوی دیگر اهمیت تولید بذر باکیفیت در طبقه‌های مختلف در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری و خشکی بیش از پیش مشخص می گردد. بذر اصلاح شده ابزاری برای انتقال تکنولوژی‌های نوین تولید محصول و ابزاری بنیادین برای تحقق امنیت غذایی به ویژه در مناطق در معرض شرایط نا مناسب تولید محسوب می شود (McGuire and Sperling, 2013). گزارش شده است که استفاده از بذر باکیفیت مناسب در هر مرحله از فرآیند تولید بذر بسیار مهم است (Afzal *et al*., 2019).

برنامه‌ریزی مجدد[6] صفات فیزیولوژیکی، مسیرهای متابولیک و جذب عناصر غذایی از جمله سازوکارهای متعدد سلول گیاهی در پاسخ به تنش شوری است (Johnson and Puthur, 2021). صفات فیزیولوژیکی مانند دفع سدیم، نسبت سدیم به پتاسیم و تنظیم میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی به‌عنوان معیارهای تحمل گیاه در برابر تنش شوری ارزیابی می‌شوند (Houshmand *et al*., 2005). روش‌های مختلفی مانند کاربرد عناصر غذایی برای بهبود رشد و بهره‌وری گیاه

[1] Palmitic acid
[2] Stearic acid
[3] Oleic acid
[4] Linoleic acid
[5] Ecosystem
[6] Reprograming

تحت تنش شوری وجود دارد که سبب افزایش تحمل شوری می‌شود (Hu and Schmidhalter, 2005). سیلیسیم همراه با اکسیژن، دومین عنصر اصلی پوسته زمین است و استفاده از سیلیسیم برای بهبود آثار منفی تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش‌های شوری و خشکی بر روی گیاهان گزارش شده است (Alzahrani *et al*., 2018). سیلیسیم ممکن است با بهبود پایداری جذب پتاسیم در مقایسه با سدیم، به جذب عناصر غذایی، فعالیت آنزیم‌های مهارکننده آنتی‌اکسیدانی و بهبود کارایی فتوسنتزی کمک کند و نهایتا منجر به افزایش تحمل شوری در گیاه شود (Al-Garni *et al*., 2019; ؛ Garg and Bhandari 2016 Rios *et al*. 2017). بطور کلی، سیلیسیم می‌تواند رشد گیاه را تحت تنش خشکی و شوری با تنظیم اسمزی و تعادل جذب و توزیع عناصر غذایی بهبود بخشد (Rahmani *et al*., 2022). از سوی دیگر نقش عنصر نیکل به‌عنوان کوفاکتور آنزیم اوره‌آز[1] برای هیدرولیز اوره در گیاه ضروری است. نیکل نقش مهمی در رشد گیاه و جذب نیتروژن دارد. کمبود نیکل سبب پیری زودرس گیاه، اختلال در سوخت و ساز[2] نیتروژن و ذخیره آهن و کاهش کیفیت بذر تولیدی گیاه می‌شود (Ameen *et al*., 2019). از سوی دیگر غلظت بالای نیکل برای موجودات زنده سمی است (Wang *et al*., 2014). غلظت نیکل مورد نیاز برای رشد طبیعی گیاه از ۰/۰۵ تا ۱۰ میکروگرم در وزن تر است و غلظت بالاتر از این محدوده باعث مسمومیت گیاه می‌شود (Yusuf *et al*., 2011). محققان گزارش کردند که غلظت نیکل ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، رشد گندم را با کاهش تنش شوری افزایش داد، اما غلظت ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، رشد گیاه را در شرایط تنش شوری کاهش داد (Ain *et al*., 2016). اگرچه کاربرد سیلیسیم و نیکل روش مناسبی برای بهبود عملکرد گیاه در خاک‌های شور است، اما تحقیقات اندکی در این زمینه انجام شده است (Al-Garni *et al*., 2019; Ameen *et al*., 2019). با توجه به اینکه استفاده از غلظت مناسب سیلیسیم و نیکل تحت تنش شوری قابلیت بهبود رشد گیاه را داشته و کمیت و کیفیت بذر تولیدی موثر است، ضروری است. بنابراین هدف این پژوهش بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای حاصل از گیاه گلرنگ با استفاده از محلول‌پاشی سیلیسیم و نیکل تحت تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

طراحی آزمایش و تیمارها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری استان هرمزگان شهرستان حاجی آباد، با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۳۰ متر از سطح دریا انجام شد. عامل اول شامل چهار رقم گلرنگ صفه، محلی اصفهان، پدیده و گل‌مهر و عامل دوم هفت سطح محلول‌پاشی شامل شاهد (عدم محلول‌پاشی) و محلول‌پاشی نیکل از منبع سولفات نیکل با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی سیلیسیم از منبع سیلیکات کلسیم با غلظت ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود.

اجرای آزمایش

پیش از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). قبل از کاشت عملیات خاک‌ورزی اولیه شامل شخم، دیسک و آماده‌سازی بستر کشت انجام شد. سپس کرت‌هایی[3] با شش خط کاشت به‌فاصله ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متری با طول چهار متر آماده

[1] Ureases
[2] Metabolism
[3] plots

شد. فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بین بلوک‌ها از یکدیگر دو متر در نظر گرفته شد (Soleymanifard *et al.*, 2022). بذرهای طبقه مادر ی[1] که برای کشت و تولید بذرهای طبقه گواهی‌شده[2] در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس در سال ۱۳۹۷ تهیه شده بودند، استفاده شدند. بذرهای گلرنگ با تراکم کشت ۴۰ بوته در متر مربع در عمق سه سانتی‌متری در فروردین‌ماه به‌صورت هیرم‌کاری با دست کشت شدند (Bijanzadeh *et al.*, 2022). ابتدا به منظور اطمینان از تراکم مطلوب مزرعه، سه عدد بذر در هر کپه به‌صورت دستی کشت شد و پس از مرحله دو برگی در مزرعه، یک بوته در هر کپه باقی گذاشته شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم برای هر یک به‌طور جداگانه به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پیش از کشت به زمین داده شد. همچنین جهت تامین نیاز نیتروژن نیز از منبع اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (۴۶ درصد نیتروژن) در سه مرحله (یک سوم قبل از کاشت، یک سوم قبل از ساقه‌دهی و یک سوم قبل از گل‌دهی) به گیاه داده شد. آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای به صورت آبیاری ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد (Attarzadeh *et al.*, 2019). وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد به‌صورت دستی و در چند نوبت انجام گرفت. سولفات نیکل با کد شناسایی[3] ۴۳-۸۱-۷۷۸۶ و سیلیکات کلسیم با کد شناسایی ۲-۹۵-۱۳۴۴ از شرکت ایران شیمی تهیه شد. جهت تهیه ترکیبات مورد نظر میزان مشخص از نیکل و سیلیسیم در آب حل شد. در محلول‌پاشی نیکل و سیلیسیم در سه مرحله شروع ساقه‌دهی، شروع گلدهی و شکل‌گیری طبق انجام شد. محلول‌پاشی با استفاده از سمپاش دستی که از شرکت توان موتور تهیه شده بود، با فشار ۲۰ کیلو پاسکال انجام شد. محلول‌پاشی نیکل و سیلیسیم در آب دیونیزه شده با استفاده از سورفکتانت غیر یونی دامون (Volta-80) با شناسه محصول Gp-24905 که از شرکت نوتریکا تهیه شده بود، به میزان ۰/۰۵ درصد انجام شد (Kumar *et al.*, 2018; Shahzad *et al.*, 2022). در پایان پس از رسیدگی کامل، بذرها جهت اندازه‌گیری صفات لازم برداشت شدند.

جدول ۱- نتایج تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Table 1- The results of the chemical and physical analysis of the soil at the experiment location.

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	Cu	Fe	Zn	Mn	K	P	N (%)	کربن آلی O.C. (%)
			($mg.kg^{-1}$)							
loam	6.22	7.96	0.20	0.98	0.86	1.0	220	6.2	0.1	0.67

اندازه‌گیری صفات

تعداد ۲۵ عدد بذر سالم به‌طور تصادفی از هر تیمار انتخاب شد. بذرها پس از ضدعفونی، با محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت ۳۰ ثانیه که از شرکت کیمیا تجارت تات تهیه شده بود، درون پتری‌های ۹۰ میلی‌متری استریل شده با کاغذ صافی قرار گرفتند. درون هر پتری‌دیش، به وسیله‌ی پیپت پنج سی‌سی آب مقطر ریخته شد. براساس انجمن قوانین بین‌المللی آزمون بذر، پتری‌ها به مدت ۱۴ روز در داخل ژرمیناتور با

[1] Registered seed
[2] Certifed seed
[3] Cas No

مطلوب‌ترین شرایط دمایی برای گلرنگ (دمای ۲۵ درجه سلسیوس) قرار گرفتند (Anonymus, 2010; Ostadian Bidgoli *et al*., 2017).

غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم

به‌منظور اندازه‌گیری عناصر ابتدا گیاهچه‌های به‌دست آمده از این بذرها، با آب مقطر کاملاً شسته شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند. سپس ۰/۵ گرم از گیاهچه‌های خشک شده در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس تبدیل به خاکستر شد. خاکستر بدست آمده عصاره‌گیری شد و میزان غلظت عناصر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر[1] (مدل Jenway 7, German) خوانده شد. در نهایت اعداد خوانده شده با استفاده از نمودار حاصل از نمونه‌های استاندارد، متعادل‌سازی شدند. از تقسیم سدیم اندام هوایی به پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم بدست آمد (Patterson *et al*., 1984).

هدایت الکتریکی بذرها[2]

از هر تیمار ۳ تکرار ۱۰۰ عدد بذری به‌صورت تصادفی برای انجام آزمون هدایت الکتریکی استفاده شد. ابتدا وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و نمونه‌ها به‌طور جداگانه در داخل ظرف‌های سربسته با فویل آلومینیومی حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده، به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند. همچنین ظرفی محتوی آب دو بار تقطیر شده نیز به‌عنوان شاخص شاهد در نظر گرفته شد. بعد از مدت زمان ۲۴ ساعت با استفاده از دستگاه EC متر مدل Con110 ساخت شرکت Lovibond آلمان، هدایت الکتریکی با واحد میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم در هر ظرف اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان هدایت الکتریکی هر نمونه بذر با استفاده فرمول هدایت الکتریکی محاسبه شد، به‌طوری که عدد خوانده شده از EC متر تقسیم بر وزن خشک ۱۰۰ عدد بذر شد (ISTA. 2003).

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز

جهت اندازه‌گیری فعالیت آلفا و بتا آمیلاز بذر جوانه زده شده، نمونه‌ها در هاون چینی ساییده و پس از آن با ۱۲۰۰۰ دور در دمای ۴-۲ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ (مدل یونیور شرکت Hettich آلمان با ۴۰۰۰ دور در دقیقه) شدند. سپس از کاغذ صافی عبور داده شدند و محلول حاصل برای اندازه‌گیری آنزیم آلفا و بتا آمیلاز استفاده شد. مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی در هر لوله آزمایش ریخته شده و پس از آن به هر لوله آزمایش ۰/۵ میلی‌لیتر نشاسته یک درصد افزوده شد. پس از سه دقیقه به میزان یک میلی‌لیتر شناساگر دی نیتروسالیسیلیک اسید[3] با شناسه محصول ۴-۹۹-۶۰۹ که از شرکت مرک آلمان تهیه شده بود، به هر لوله آزمایش اضافه شد. همچنین برای تهیه نمونه شاهد عصاره‌ی آنزیمی حذف شد. لوله‌های آزمایش به مدت پنج دقیقه در دستگاه حمام آب گرم یا بن ماری (مدل WNB14 شرکت MEMMERT آلمان) قرار داده شدند. پس از سرد شدن در دمای اتاق، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به لوله‌های آزمایش افزوده شد. در نهایت میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Vis 2100 شرکت UNICO آمریکا) در ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bernfeld, 1955).

شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد

بذری جوانه‌زده تلقی شد که ریشه‌چه آن دو میلی‌متر از پوسته‌ی بذر خارج شده بود و تعداد بذور جوانه‌زده هر روز شمارش گردید. پس از شمارش بذرهای جوانه‌زده، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن خشک گیاهچه شامل وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه، پس از قرارگیری در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد. در پایان درصد و سرعت جوانه‌زنی، با استفاده از روابط

[1] Flame Photometery
[2] Seed electrical conductivity
[3] Dinitrosalicylic acid

شماره یک و دو محاسبه شد (Nichols and Heydecker, Maguire, 1962; 1986).

رابطه ۱ $GP= (NG/NT)\times 100$

GP درصد جوانه‌زنی، NG تعداد بذرهای جوانه‌زده و NT تعداد کل بذرها بود.

رابطه ۲ $RS=\Sigma^{n}_{i=1}(S_i/D_i)$

RS سرعت جوانه‌زنی بذر، S_i تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، D_iتعداد روز تا شمارش n ام بود.

شاخص بنیه گیاهچه با استفاده از رابطه شماره سه اندازه‌گیری شد (Copeland and McDonald, 2001).

رابطه ۳ بنیه گیاهچه =
(میانگین طول گیاهچه × درصد جوانه‌زنی استاندارد) /۱۰۰

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی (مقایسه میانگین در هر سطح از فاکتور اول برای سطوح مختلف فاکتور دوم به طور جداگانه انجام می‌شود) انجام و مقایسه میانگین براساس آزمون[1] L.S.Means انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم

اثر ساده رقم و محلول‌پاشی بر غلظت پتاسیم معنی‌دار بود، همچنین اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی، غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۲). در رقم صفه غلظت سدیم گیاهچه در تیمار محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در مقایسه با شاهد کاهش ۲۰ درصدی نشان داد (جدول ۳). همچنین در رقم محلی اصفهان، تیمارهای محلول‌پاشی ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم سبب کاهش غلظت سدیم گیاهچه در مقایسه با شاهد شد. در رقم پدیده، محلول‌پاشی نیکل ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۱۶ درصدی سدیم گیاهچه در مقایسه با شاهد شد، اما محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم سبب کاهش معنی‌دار غلظت سدیم شد (جدول ۳). محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل و غلظت ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم سبب کاهش معنی‌دار سدیم گیاهچه در رقم گل‌مهر شد (جدول ۳).

محتوی پتاسیم گیاهچه در ارقام صفه و گل مهر در مقایسه با ارقام پدیده و محلی اصفهان افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). از سوی دیگر محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل سبب افزایش غلظت پتاسیم گیاهچه شد، اما غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل سبب کاهش این صفت شد (جدول ۵). همچنین محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار محتوی پتاسیم گیاهچه شد.

تیمار محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل سبب کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در ارقام مختلف شد، هر چند که نسبت سدیم به پتاسیم در غلظت ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). در رقم صفه، تیمارهای محلول‌پاشی ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم سبب کاهش نسبت سدیم به پتاسیم شد. همچنین در رقم محلی اصفهان، پدیده و گل‌مهر کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در محلول‌پاشی سیلیسیم ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

از میان سازوکارهای تحمل به شوری در گیاهان، قابلیت جذب کمتر سدیم توسط اندام‌های گیاه در سطوح

[1] Least Squares Means

گیاه، سلولی و مولکولی بررسی شده است (Kordrostami and Rabiei, 2019). شوری خاک به‌دلیل دخالت در دسترسی به عناصر غذایی، رقابت برای جذب عناصر غذایی و انتقال منجر به عدم تعادل تغذیه‌ای می‌شود (Wu *et al*., 2018). نتایج آزمایش ما نشان داد که کمترین تجمع یون سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل و یا غلظت‌های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم مشاهده می‌شود. وجود نیکل به گیاه کمک می‌کند تا با جذب پتاسیم، جذب سدیم را تنظیم کند (Ain *et al*. 2016). همچنین کاهش نسبت سدیم به پتاسیم با اسپری‌پاشی یون سیلیسیم را می‌توان به افزایش فعالیت پمپ‌های H-ATPase غشای پلاسمایی ریشه مرتبط دانست (Naveed *et al*., 2020). بنابراین غلظت‌های مناسب نیکل و سیلیسیم می‌تواند جذب سدیم را در ریشه محدود کند و سبب افزایش جذب پتاسیم، تنظیم اسمزی و هموستازی یونی تحت تنش شوری شود (Kumar *et al*., 2018; Ali *et al*., 2021).

هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی بذر گلرنگ تحت تاثیر رقم و محلول پاشی قرار گرفت، همچنین اثرمتقابل عوامل آزمایش بر روی هدایت الکتریکی بذر معنی‌داری بود (جدول ۲). تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم سبب کاهش معنی‌دار هدایت الکتریکی در ارقام محلی اصفهان، پدیده و گل‌مهر شد (جدول ۳). همچنین در این ارقام، افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل در مقایسه با شاهد مشاهده شد. از سوی دیگر در رقم پدیده، محلول پاشی نیکل ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سبب کاهش ۸ درصدی هدایت الکتریکی در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نیکل تاثیر معنی‌داری بر روی هدایت الکتریکی بذر رقم صفه نداشت (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد بررسی.

Table 2- Analysis of variance of investigated traits.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square											
		سدیم Sodium	پتاسیم Potassium	نسبت سدیم به پتاسیم Sodium to potassium	هدایت الکتریکی بذر Seed electrical conductivity	آلفا آمیلاز Alpha- amylase	بتا آمیلاز Beta- amylase	درصد جوانه‌زنی Germination percent	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Stem length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	بنیه بذر Seed vigor
تکرار Replication	2	2.22 ns	18.64 **	0.056 ns	4.56 ns	0.005 **	0.004 **	17 ns	0.001 ns	0.0008 ns	0.22 *	0.023 ns	0.08 ns
رقم Variety	3	80.70 **	5.11 **	1.491 **	63.01 **	0.013 **	0.007 **	914 **	** 0.021	1.49 **	0.21 *	0.941 **	2.48 **
محلول‌پاشی Foliar application	6	76.24 **	15.56 **	2.494 *	102.01 **	0.018 **	0.013 **	293 **	0.019 **	2.20 **	0.44 **	0.368 **	1.83 **
رقم × محلول‌پاشی Variety × Foliar application	18	14.14 *	0.25 ns	0.171 *	12.06 *	0.0004 ns	0.0003 ns	44 **	0.0004 ns	0.08 ns	0.02 ns	0.114 *	1.04 **
خطا Error	54	3.76	1.38	0.047	4.21	0.0015	0.0009	18	0.0006	0.12	0.05	0.018	0.051
ضریب تغییرات C.V. (٪)	_	8.4	10.5	10.3	6.0	6.3	10.0	10.3	13.5	9.0	12.2	12.8	9.32

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری.

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل مرتبه اول برهمکنش رقم و محلول‌پاشی بر روی سدیم، نسبت سدیم به پتاسیم، هدایت الکتریکی بذر، درصد جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و بنیه بذر گلرنگ

Table 3- Mean comparison of first order interaction of variety and foliar application for sodium, sodium to potassium, seed electrical conductivity, germination percent, seedling dry weight and seed vigor of *Carthamus tintorius* L.

رقم Variety	محلول‌پاشی Foliar application	سدیم Sodium ($mg.g^{-1}$ .dw)	نسبت سدیم به پتاسیم Sodium to potassium	هدایت الکتریکی بذر Seed electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	درصد جوانه‌زنی Germination percent (%)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	بنیه بذر Seed vigor
صفه Sofeh	Control	22.86 b	2.04 bc	35.20 ab	83.63 ab	1.15 ab	2.50 cd
	Nickel100	21.13 bc	1.72 d	34.66 ab	87.93 a	1.21 ab	2.74 bc
	Nickel200	24.06 ab	2.24 b	36.93 a	81.46 ab	1.03 bc	2.37 d
	Nickel300	27.16 a	2.72 a	38.26 a	74.50 b	0.826 c	1.89 e
	Silicon100	21.83 b	1.84 cd	33.80 ab	84.76 a	1.30 ab	2.79 b
	Silicon150	20.56 bc	1.69 d	32.10 ab	89.03 a	1.37 a	2.96 ab
	Silicon200	18.16 c	1.41 e	30.06 b	90.46 a	1.39 a	3.09 a
اصفهان Esfahan	Control	27.26 ab	2.79 b	34.10 c	77.23 bc	0.830 cd	2.04 d
	Nickel100	23.60 bcd	2.16 cd	33.26 c	77.66 bc	0.910 bc	2.18 cd
	Nickel200	25.46 abc	2.63 bc	35.50 b	75.13 cd	0.726 cd	1.94 de
	Nickel300	28.36 a	3.30 a	36.83 a	70.86 d	0.656 d	1.66 e
	Silicon100	22.96 cd	2.06 d	33.80 c	80.70 abc	0.920 bc	2.40 bc
	Silicon150	22.73 cd	1.93 d	30.96 d	83.10 ab	1.103 ab	2.63 ab
	Silicon200	19.76 d	1.65 d	30.96 d	84.16 a	1.183 a	2.85 a
پدیده Padideh	Control	25.66 b	3.03 a	38.40 b	70.90 cd	0.783 bc	1.85 cd
	Nickel100	23.50 bc	2.20 cd	35.46 c	74.83 bc	0.920 ab	2.10 bc
	Nickel200	24.56 bc	2.57 bc	38.36 b	70.30 d	0.706 cd	1.70 d
	Nickel300	29.76 a	2.76 ab	40.36 a	65.83 e	0.626 d	1.62 d
	Silicon100	23.46 bc	2.06 de	35.23 c	74.46 bcd	0.850 bc	2.20 abc
	Silicon150	23.36 bc	1.96 de	34.06 c	76.40 ab	0.926 ab	2.29 ab
	Silicon200	21.40 c	1.72 e	32.60 d	79.33 a	1.060 a	2.52 a
گل مهر Golmehr	Control	23.03 a	2.14 b	33.50 bc	85.33 bcd	1.223 ab	2.62 bc
	Nickel100	18.96 b	1.62 cd	30.33 cd	90.73 abc	1.143 bc	2.89 ab
	Nickel200	22.36 a	2.13 b	35.90 ab	83.56 cd	1.383 ab	2.29 cd
	Nickel300	22.76 a	2.41 a	38.90 a	79.06 d	0.913 c	2.11 d
	Silicon100	20.16 ab	1.77 c	30.93 cd	90.70 abc	1.333 ab	3.09 ab
	Silicon150	18.03 b	1.41 de	28.20 d	92.80 ab	1.476 a	3.25 a
	Silicon200	17.16 b	1.32 e	27.66 d	94.16 a	1.450 a	3.28 a

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار هستند.

Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر رقم بر روی پتاسیم، آلفا آمیلاز، بتا آمیلاز، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه گلرنگ

Table 4- Mean comparison effect of variety on potassium, alpha- amylase, beta- amylase, germination rate, root length weight and stem length of *Carthamus tintorius* L.

رقم Variety	پتاسیم Potassium ($mg.g^{-1}$ .dw)	آلفا آمیلاز Alpha- amylase ($\mu moles.ml^{-1}.min^{-1}$)	بتا آمیلاز Beta- amylase ($\mu moles.ml^{-1}.min^{-1}$)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (per day)	طول ریشه‌چه Root length (cm)	طول ساقه‌چه Stem length (cm)
صفه Sofeh	11.62 a	0.360 b	0.516 a	0.427 a	4.12 a	2.04 ab
اصفهان Esfahan	10.58 b	0.341 c	0.518 a	0.373 b	3.78 b	1.91 bc
پدیده Padideh	10.78 b	0.330 c	0.487 b	0.370 b	3.65 b	1.88 c
گل مهر Golmehr	11.40 a	0.389 a	0.532 a	0.426 a	4.20 a	2.08 a

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار هستند.

Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر روی پتاسیم، آلفا آمیلاز، بتا آمیلاز، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه گلرنگ

Table 5- Mean comparison effect of foliar application on potassium, alpha- amylase, beta- amylase, germination rate, root length weight and stem length of *Carthamus tintorius* L.

محلول‌پاشی Foliar application ($mg.\ L^{-1}$)	پتاسیم Potassium ($mg.g^{-1}$ .dw)	آلفا آمیلاز Alpha- amylase ($\mu moles.ml^{-1}.min^{-1}$)	بتا آمیلاز Beta- amylase ($\mu moles.ml^{-1}.min^{-1}$)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (per day)	طول ریشه‌چه Root length (cm)	طول ساقه‌چه Stem length (cm)
Control	10.39 c	0.340 c	0.498 c	0.390 c	3.79 c	1.85 cd
Nickel100	11.43 b	0.379 ab	0.496 c	0.392 c	3.78 c	1.90 bc
Nickel200	10.17 c	0.329 cde	0.492 c	0.368 d	3.55 c	1.77 d
Nickel300	9.43 d	0.287 d	0.459 d	0.330 e	3.25 d	1.74 d
Silicon100	11.48 b	0.364 b	0.515 bc	0.410 bc	4.10 b	2.07 ab
Silicon150	12.16 a	0.389 a	0.542 ab	0.430 ab	4.25 ab	2.14 ab
Silicon200	12.60 a	0.398 a	0.556 a	0.449 a	4.48 a	2.24 a

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار هستند.

Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

نیکل تاثیری روی کیفیت بذرها نشان نداد، چرا که عمدتا برابر با شاهد و نهایتا در کمترین غلظت محلول‌پاشی یک گروه بهتر از شاهد بود، ولی سیلیسیم مخصوصا در غلظت‌های بالاتر تاثیر مثبت و معنی‌دار بر روی کیفیت بذر نشان می‌دهد. بالا بودن نشت‌پذیری غشای سلولی به‌دلیل افزایش پراکسیداسیون لیپیدها با تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن انجام می گیرد (Kanellou *et al.*, 2016). تنش های محیطی از جمله تنش شوری و غلظت بالای فلزات سنگین سبب شده که پیوندهای هیدروژنی و دی‌سولفیدی در پروتئین‌ها و چربی‌ها تغییر کرده و ساختار غشای سلولی بذر را تحت تاثیر قرار دهد. در نتیجه ساختار غشای بذر تخریب شده و باعث افزایش هدایت الکتریکی بذر می شود (Lowry and Smith, 2018). استفاده از سیلیسیم و سطوح پایین نیکل با کاهش نسبت سدیم به

پتاسیم سبب بهبود رشد گیاه و کاهش اثرات منفی تنش شوری می‌شود (Ain *et al*. 2016; Rahmani *et al*., 2022). از سوی دیگر، غلظت بالای نیکل باعث اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی و آنزیمی می‌شود. مهمتر از همه، سطوح بالای نیکل در جذب مواد مغذی و آب توسط گیاه اختلال ایجاد می کند، بنابراین سبب کاهش کمیت و کیفیت بذرهای تولیدی در سطوح بالای مصرف نیکل شده که منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه زنی می‌شود (Ameen *et al*., 2019; Czajka *et al*., 2019).

فعالیت آنزیم آلفا و بتا آمیلاز

اثر رقم و محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم آلفا و بتا آمیلاز بذر گلرنگ معنی‌دار بود، اما اثرمتقابل رقم و محلول‌پاشی، بر روی این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۲). فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در رقم گل‌مهر و پس از آن رقم صفه در مقایسه با ارقام محلی اصفهان و پدیده افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۴). همچنین کمترین فعالیت آنزیم بتا آمیلاز در رقم پدیده مشاهده شد. محلول پاشی نیکل ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سبب افزایش ۱۱ درصدی آنزیم آلفا آمیلاز در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵). از سوی دیگر کاهش ۱۵ و ۸ درصدی آنزیم های آلفا و بتا آمیلاز در مقایسه با شاهد در محلول‌پاشی نیکل ۳۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده شد. محلوپاشی سیلیسیم خصوصا در غلظت‌های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سبب افزایش فعالیت آنزیم آلفا و بتا آمیلاز در بذر گلرنگ شد (جدول ۵).

فعالیت آنزیم های موثر در جوانه زنی بذر از جمله آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز تحت تاثیر تیمار محلول پاشی سیلیسیم و نیکل قرار گرفت. احتمالا افزایش در فعالیت این آنزیم‌ها به‌دلیل کاهش هدایت الکتریکی و کمتر شدن تخریب ساختار یاخته‌ای به دلیل آثار موثر محلول پاشی بوده است. بنابراین در شرایط تنش شوری، افزایش نشت‌پذیری غشاهای یاخته بر سوخت و ساز یاخته آثار مخربی دارد و سبب تغییر ماهیت و فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (Morales-Cedillo *et al*., 2015). به نظر می‌رسد بخش زیادی از واکنش‌های متابولیک سلولی بذر گیاهان تحت تأثیر تیمار محلوپاشی سیلیسیم و نیکل قرار گرفته و در نهایت روی کیفیت بذر تولیدی موثر است (Ameen *et al*., 2019; Shahzad *et al*., 2022). آنزیم های آلفا و بتا آمیلاز از آنزیم های حیاتی در فرایند جوانه زنی هستند که کاهش فعالیت آنها می تواند باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر شود (Gimbi and Kitabatake, 2002).

درصد و سرعت جوانه‌زنی

درصد و سرعت جوانه‌زنی تحت تاثیر اثر ساده رقم و محلول پاشی قرار گرفت. همچنین اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی درصد جوانه‌زنی را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد، اما بر روی سرعت جوانه زنی معنی دار نبود (جدول ۲). تیمار محلول پاشی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی در ارقام محلی اصفهان، پدیده و گل‌مهر شد. همچنین در این ارقام، کاهش معنی دار درصد جوانه‌زنی با غلظت ۳۰۰ میلی گرم در لیتر نیکل در مقایسه با شاهد مشاهده شد. محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیلیسیم و نیکل نتوانست تاثیر معنی‌داری بر روی درصد جوانه زنی بذرهای رقم صفه داشته باشد. از سوی دیگر رقم گل‌مهر و پس از آن رقم صفه درصد جوانه زنی بالاتری در بذرهای حاصل از گیاه مادری تحت تنش شوری داشتند و رقم پدیده دارای کمترین درصد جوانه‌زنی بود (جدول ۳).

سرعت جوانه زنی بذرهای گلرنگ در ارقام صفه و گل مهر در مقایسه با ارقام پدیده و محلی اصفهان افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۴). محلول‌پاشی غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر نیکل سبب کاهش این صفت شد. از سوی دیگر محلول پاشی غلظت های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی شد (جدول ۵).

کیفیت بذر و قدرت جوانه‌زنی توسط خصوصیات توارثی و محیط گیاه مادری که بذر در آن توسعه یافته

تعیین می‌شود (Rajjou *et al*., 2012). عدم شرایط مطلوب محیطی منجر به کاهش قدرت جنین و در نهایت کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر در ارقام مختلف می‌شود (Dornbos, 2020). همچنین اختلاف در تحمل ارقام متفاوت در مواجه شدن با شرایط نامساعد محیطی از جمله دلایلی است که گزارش شده است (Kheybari *et al*., 2019). از جمله دلایل اثرگذار در کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی، کاهش سنتز هورمون‌ها و اختلال در آنزیم‌های موثر در جوانه‌زنی است (Miransari and Smith, 2014). سیلیسیم و غلظت‌های پایین نیکل برای فعال کردن سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی اهمیت بسزایی دارد (Chahardoli *et al*., 2020; Souri *et al*., 2021)، از سوی دیگر هدایت روزنه‌ای، حرکت آب از ریشه به اندام هوایی و جذب عناصر غذایی تحت تاثیر منفی سطوح بالای نیکل قرار می‌گیرد (Barcelo and Poschenrieder 2004). گزارش شده است که استفاده از سیلیسیم به‌طور قابل توجهی باعث افزایش بهبود رشد گیاه و شاخص جوانه‌زنی بذر تولیدی می‌شود (Sun *et al*., 2021).

شاخص‌های رشدی و بنیه بذر

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه تحت تاثیر رقم و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). همچنین اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی وزن خشک گیاهچه را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد، اما روی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بذر گلرنگ در ارقام صفه و گل مهر مشاهده شد (جدول ۴). طول ریشه‌چه با محلول‌پاشی غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل کاهش یافت، از سوی دیگر افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بذرهای گلرنگ با محلول‌پاشی غلظت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم ایجاد شد (جدول ۵).

در رقم صفه و پدیده وزن خشک گیاهچه در محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل در مقایسه با شاهد به‌ترتیب کاهش ۲۸ و ۲۰ درصدی نشان داد (جدول ۳). همچنین محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک گیاهچه در رقم گل‌مهر شد. از سوی دیگر در رقم محلی اصفهان، تیمارهای محلول‌پاشی ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم سبب افزایش ۳۳ و ۴۲ درصدی وزن خشک گیاهچه در مقایسه با شاهد شد. رقم گل‌مهر و رقم پدیده بیشترین و کمترین وزن خشک گیاهچه در بذرهای حاصل از گیاه مادری گلرنگ تحت تنش شوری را داشتند (جدول ۳).

اثر رقم و محلول‌پاشی روی بنیه بذر معنی دار بود، همچنین بنیه بذر تحت تاثیر اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در مقایسه با شاهد به ترتیب سبب افزایش ۲۳ و ۲۵ درصدی بنیه بذر در رقم صفه و گل‌مهر شد. همچنین افزایش بنیه بذر با محلول‌پاشی سیلیسیم در ارقام محلی اصفهان و پدیده مشاهده شد. از سوی دیگر با افزایش غلظت نیکل (محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل) بنیه بذر در ارقام مختلف کاهش معنی‌داری یافت، اما در رقم پدیده از دیدگاه آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). سایر نتایج بیانگر آن است که رقم گل‌مهر و پس از آن رقم صفه بنیه بیشتری در بذرهای حاصل از گیاه مادری تحت تنش شوری داشتند و رقم پدیده دارای کمترین بنیه بذر بود.

کاهش صفات مرتبط با کیفیت بذر و کاهش وزن گیاهچه تحت تنش‌های محیطی، تحرک کم مواد غذایی و انتقال کمتر آنها به جنین به‌دلیل خسارت به بخش‌های مختلف بذر و افزایش نفوذپذیری غشا سلولی است که منجر به ضعیف‌تر شدن گیاهچه‌ها می‌شود (Nikobin *et al*., 2009). تفاوت ژنتیکی ارقام مختلف در شرایط نامساعد محیطی در گیاه مادری باعث تغییر هدایت الکتریکی و فعالیت آنزیم‌های موثر در جوانه‌زنی بذر می‌شود که قابلیت تاثیرگذاری بر رشد گیاهچه را دارد (Sadeghi *et al*., 2017). از سوی دیگر استفاده از سیلیسیم تحت تنش شوری به‌دلیل حفظ ظرفیت‌های سوخت و ساز

و فعالیت‌های فیزیولوژیکی تا حدودی نقش حفاظتی دارد، اما غلظت بالای نیکل در برگ به‌دلیل بیان ژن سنتز آبسیزیک اسید که مسئول بسته شدن روزنه‌ها می باشد باعث شده که سرعت تعرق و جذب آب کاهش یابد و بر روی رشد و تولید بذر اثر منفی دارد (Ameen *et al*., 2019; Shahzad *et al*., 2022). محققان گزارش کردند که سیلیسیم ممکن است از زوال ساختاری بذر و غشای سلولی در گونه‌های گیاهی که در معرض تنش شوری قرار گرفتند، جلوگیری کند (Haghighi *et al*., 2012). همچنین سیلیسیم ممکن است به دلیل کاهش سطح اسید آبسیزیک و بالا بردن اسید جیبرلیک نقش بسزایی در میزان فعالیت آلفاآمیلاز داشته باشد و بنابراین بنیه و کیفیت بذر را تحت تنش شوری بهبود بخشد (Gou *et al*., 2020).

نتیجه‌گیری کلی

اثر تنش شوری بر روی گیاه مادری قابلیت ایجاد اختلال در انتقال مواد ذخیره‌ای به بذر و تخریب ساختار غشای سلول را دارد. از سوی دیگر، محلول پاشی غلظت‌های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم و یا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل روی گیاه مادری گلرنگ، می‌تواند کیفیت بذر گیاه را بهبود بخشد. احتمالاً محلول پاشی سیلیسیم و نیکل با تأثیر بر ساختار غشا و کاهش جذب سدیم سبب افزایش کیفیت صفات جوانه‌زنی شد. با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل، جوانه‌زنی و بنیه بذر در ارقام مختلف کاهش معنی‌داری یافت. نتایج نشان می‌دهد که رقم گل‌مهر و پس از آن رقم صفه درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر بیشتری تحت تنش شوری داشتند، اما کمترین شاخص‌های جوانه‌زنی در رقم پدیده مشاهده شد. افزایش فعالیت آنزیم آلفا و بتا آمیلاز با استفاده از غلظت مطلوب سیلیسیم سبب بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای گلرنگ شد. از سوی دیگر، با توجه به گیاه و شرایط محیطی، هنوز در دانش سطوح بهینه، ضروری و سمی نیکل شکاف وجود دارد. علاوه بر این، سازوکارهای ایجاد شده توسط یون نیکل در گیاهان در سطوح سلولی و ژنتیکی در مقایسه با سایر عناصر غذایی ضروری به‌طور کامل بررسی نشده است. در مجموع با توجه به تأثیر مثبت محلول پاشی غلظت های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیسیم در بهبود کیفیت بذر ارقام گلرنگ، می‌توان این دو محلول را تحت تنش شوری توصیه کرد. همچنین رقم گل مهر و پس از آن رقم صفه در شرایط تنش شوری قابل توصیه می‌باشد.

منابع

Reference

Afzal, I., R. Shabir, and S. Rauf. 2019. Seed production technologies of some major field crops. Pp 655-678. *In* M. Hasanuzzaman(eds.)Agronomic Crops. Springer, Singapore.

Ain, Q., J. Akhtar, M. Amjad, M. Haq, and Z. Saqib. 2016. Effect of enhanced nickel levels on wheat plant growth and physiology under salt stress. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 47: 2538–2546.

Al-Garni, S.M.S., M.M.A. Khan, and A. Bahieldin. 2019. Plant growth-promoting bacteria and silicon fertilizer enhance plant growth and salinity tolerance in Coriandrum sativum. J. Plant Interact. 14: 386-396.

Ali, M., S. Afzal, A. Parveen, M. Kamran, M.R. Javed, G.H. Abbasi, Z. Malik, M. Riaz, S. Ahmad, and M.S. Chattha. 2021. Silicon mediated improvement in the growth and ion homeostasis by decreasing Na^+ uptake in maize (*Zea mays* L.) cultivars exposed to salinity stress. Plant Physiol. Biochem. 158: 208-218.

Alzahrani, Y., A. Kuşvuran, H.F. Alharby, S. Kuşvuran, and M.M. Rady. 2018. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium. Ecotoxicol. Environ. Saf. 154: 187–196.

Ameen, N., M. Amjad, B. Murtaza, G. Abbas, M. Shahid, M. Imran, M. A. Naeem, and N. K. Niazi. 2019. Biogeochemical behavior of nickel under different abiotic stresses: toxicity and detoxification mechanisms in plants. Environ. Sci. Pollut. Res. 26: 10496–10514.

Anonymus. 2010. International rules for seed testing. International Seed Testing Association (ISTA). Seed Science and Technology. Zurich, Switzerland.

Attarzadeh, M., H.R. Balouchi, M. Dehnavi, A. Salehi, and, M. Rajaie2019. Response of germination and electrical conductivity of seeds produced by *Echinacea purpurea*'s mother plants under the influence of biological fertilizers and drought stress. Iranian J. Seed Sci. Technol. 8: 185-200. (In Persian, with English Abstract)

Barcelo, J., and C. Poschenrieder. 2004. Structural and ultrastructural changes in heavy metal exposed plants. Pp 223–248. *In* M.N.V. Prasad (ed.) Heavy metal stress in plants, 3rd ed. Springer, Berlin, Germany.

Bassil, E.S., and S. R. Kaffka. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation: I. Consumptive water use. Agric. Water. Manage. 54: 67-80.

Bernfeld, P. 1955. Amylase α and β. Methods in Enzymology. 1: 149-158.

Bijanzadeh, E., S. M. Moosavi, and F. Bahadori. 2022. Quantifying water stress of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by crop water stress index under different irrigation regimes', Heliyon. 8: e09010.

Chahardoli, A., N. Karimi, X. Ma, and F. Qalekhani. 2020. Effects of engineered aluminum and nickel oxide nanoparticles on the growth and antioxidant defense systems of *Nigella arvensis* L. Sci. Rep. 10: 1-11.

Copeland, L.O., and M.B. McDonald, 2001. Seed vigor and vigor tests. Pp 121-144. *In* L.O. Copeland and M.B. McDonald (eds.). Principles of Seed Science and Technology. 4th ed. Kluwer Academic Publishing Group, Norwell, Massachusetts, U.S.

Czajka, K.M., P. Michael, and K. Nkongolo. 2019. Differential effects of nickel dosages on in vitro and in vivo seed germination and expression of a high affinity nickel-transport family protein (AT2G16800) in trembling aspen (*Populus tremuloides*). Ecotoxicology. 28: 92-102.

Dehshiri, A., and A. Modares Sanavy. 2015. Assessment of seed germination and seedling early growth characteristics of canola (*Brassica napus* L.) produced from original plants under salinity stress. Iranian J. Seed Sci. Technol. 4: 97-106. (In Persian, with English Abstract)

Dornbos, D. L. 2020. Production environment and seed quality. Pp 119-152. *In* R.E. Gough (ed.) Seed quality. CRC Press, Boca Raton, U.S.

Emongor, V., O. Oagile, D. Phuduhudu, and P. Oarabile. 2017. Safflower production. Botsawana University of Agriculture and Natural Resources. Impression House Publishers. Industrial West, Gaborone, Botswana.

Garg, N. and P. Bhandari. 2016. Silicon nutrition and mycorrhizal inoculations improve growth, nutrient status. K^+ /Na^+ ratio and yield of *Cicer arietinum* L. genotypes under salinity stress. J. Plant Growth Regul. 78: 371–387.

Gimbi, D. M., and N. Kitabatake. 2002. Changes in alpha-and beta-amylase activities during seed germination of African finger millet. Int. J. Food Sci. Nutr. 53(6): 481-488.

Gou, T., X. Chen, R. Han, J. Liu, Y. Zhu, and H. Gong. 2020. Silicon can improve seed germination and ameliorate oxidative damage of bud seedlings in cucumber under salt stress. Acta Physiol. Plant. 42: 1-11.

Gupta, A. 2022. Mainstreaming of underutilized oilseed safflower crop through biotechnological approaches for improving economic and environmental sustainability. Pp 397-418. A. Sudipti, K. Ashwani, O. Shinjiro, Y. Yuan –Yeu (eds.) Biotechnological Innovations for Environmental Bioremediation. Springer, Singapore.

Haghighi, M., Z. Afifipour, and M. Mozafarian. 2012. The alleviation effect of silicon on seed germination and seedling growth of tomato under salinity stress. Veg. Crops Res. Bull. 76: 119-126.

Houshmand, S., A. Arzani, S. A. Maibody, and M. Feizi. 2005. Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiments. Field Crop Res. 91: 345-354.

Hu, Y., and U., Schmidhalter, 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 541-549.

ISTA. 2003. Handbook for seedling evaluation (3rd.ed). International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland.

Johnson, R., and J.T. Puthur. 2021. Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. Plant Physiol. Biochem. 162: 247-257.

Kanellou, E., M. Papafotiou, G. Economou, and N. Ntoulas. 2016. Testing soil solarization as an alternative method for weed, suppression at archaeological sites. Presented in VIth International Conference on Landscape and Urban Horticulture. Athens, Greece on 20-25th June 2016. ISHS Acta Hortic.1189: 69-72.

Kheybari, M., A.H. Shirani Rad, S. Seyfzadeh, I. Hadidi, and H.R. Zakerin. 2019. Investigation of sowing date of mother plant effect on germination indices of autumn rapeseed cultivars and lines. Iranian J. Seed Sci. Technol. 7: 237-246. (In Persian, with English Abstract)

Kordrostami, M., and B. Rabiei. 2019. Salinity stress tolerance in plants: physiological, molecular, and biotechnological approaches. Pp 101-127. *In* M. Hasanuzzaman, Kh. Rehman Hakeem, K. Nahar, H.F. Alharby. Plant abiotic stress tolerance. Springer, Cham.

Kumar, O., S. K. Singh, A. M. Latare, and S. N. Yadav. 2018. Foliar fertilization of nickel affects growth, yield component and micronutrient status of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown on low nickel soil, Arch. Agron. Soil Sci. 64: 1407-1418.

Lowry, C. J., and R.G. Smith. 2018. Weed Control Through Crop Plant Manipulations. Pp 73-96. *In* Kh. Jabran, and B. Chauhan (eds.) Non-Chemical Weed Control. Academic Press, Amsterdam.

Maguire, J. D. 1962. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Sci. 2: 176-177.

McGuire, S., and L. Sperling. 2013. Making seed systems more resilient to stress. Global Environ. Change. 23: 644-653.

Miransari, M., and D. Smith. 2014. Plant hormones and seed germination. Environ. Exp. Bot. 99: 110-121.

Morales-Cedillo, F., A. Gonzalez-Solis, L. Gutiérrez-Angoa, D. L. Cano-Ramírez, and M. Gavilanes-Ruiz. 2015. Plant lipid environment and membrane enzymes: the case of the plasma membrane H^+-ATPase. Plant Cell Rep. 34: 617-629.

Naveed, M., H. Sajid, A. Mustafa, B. Niamat, Z. Ahmad, M. Yaseen, M. Kamran, M. Rafique, S. Ahmar, and J. Chen. 2020. Alleviation of salinity-induced oxidative stress, improvement in growth, physiology and mineral nutrition of canola (*Brassica napus* L.) through calcium-fortified composted animal manure. Sustainability. 12 (3): 846. https://doi.org/10.3390/su12030846

Nguyen, C.D., J. Chen, D. Clark, H. Perez, and H. Huo. 2021. Effects of maternal environment on seed germination and seedling vigor of Petunia× hybrida under different abiotic stresses. Plants. 10: 581.

Nichols, M. A., and W. Heydecker. 1986. Two approaches to the study of germination date. Proc. Int. Seed Test. 33: 531-540.

Nikobin, M., A. Soltani, A. Faraji, and D.F. Mirdavar. 2009. Effect of sowing date at seed filling period on canola (*Brassica Napus*) seed vigor. J. Plant Prod. 16: 87-100.

Ostadian Bidgoli, R., H.R. Balouchi, E. Soltani, and A. Moradi. 2017. Effects of temperature and water potential on seed germination characteristics in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Sofeh var. Iranian J. Seed Sci. Technol. 6: 11-22. (In Persian, with English Abstract)

Patterson, B., E. Macrae. and I. Ferguson. 1984. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). Annu. Biochem. 139: 487-492.

Rahmani, V., M Movahhedi Dehnavi, H.R. Balouchi, A. R. Yadavi, and M. Hamidian. 2022. Silicon can improve nutrient uptake and performance of black cumin under drought and salinity stresses. Commun. Soil Sci. Plant Anal, DOI: 10.1080/00103624.2022.2112590

Rajjou, L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job, and D. Job. 2012. Seed germination and vigor. Annu. Rev. Plant Biol. 63: 507-533.

Reed, R.C., K.J. Bradford, and I. Khanday. 2022. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. Heredity. 1-10.

Rios, J.J., M.C. Martínez-Ballesta, J.M. Ruiz, B. Blasco, and M. Carvajal. 2017. Silicon-mediated improvement in plant salinity tolerance: the role of aquaporins. Front. Plant Sci. 8: 948.

Sadeghi, H., H.H. Sharifabad, A. Hamidi, G. Nourmohammadi, and H. Madani. 2017. Evaluation the effects of mother plant planting date and density on germination and vigor of soybean seed. Seed Sci. Technol. 6: 219-233.

Salehi, M., and S. Pourdad. 2021. Evaluation and selection of safflower (*Carthamus tinctorius* L) genotypes under salinity stress conditions. Seed and Plant. 37: 83-102

Shahzad, S., S. Ali, R. Ahmad, S. Ercisli, and M.A. Anjum. 2022. Foliar application of silicon enhances growth, flower yield, quality and postharvest life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) under saline conditions by improving antioxidant defense mechanism. Silicon. 14: 1511-1518.

Soleymanifard, A., M. Mojaddam, S. Lack, and M. Alavifazel. 2022. Effect of azotobacter chroococcum and nitrogen fertilization on some morphophysiological traits, grain yield, and nitrogen use efficiency of safflower genotypes in rainfed conditions. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 53 (6): https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2028815.

Souri, Z., K. Khanna, N. Karimi, and P. Ahmad. 2021. Silicon and plants: current knowledge and future prospects. J. Plant Growth Regul..40: 906-925.

Sun, Y., J. Xu, X. Miao, X. Lin, W. Liu, and H. Ren. 2021. Effects of exogenous silicon on maize seed germination and seedling growth. Sci. Rep. 11: 1-13.

Wang, C., Z. Wei, M. Feng, L. Wang, and Z. Wang. 2014. The effects of hydrox-ylated multiwalled carbon nanotubes on the toxicity of nickel to Daphnia magna under different pH levels. Environ. Toxicol. Chem. 33: 2522–2528.

Wu, H., X. Zhang, J.P. Giraldo, and S. Shabala. 2018. It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. Plant and soil. 431: 1-17.

Yadav, S. P., R. Bharadwaj, H. Nayak, R. Mahto, R. K. Singh, and S. K. Prasad. 2019. Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: Int. J. Chem. Stud. 7: 1793-1798.

Yeilaghi, H., A. Arzani, and M. Ghaderian. 2015. Evaluating the contribution of ionic and agronomic components toward salinity tolerance in safflower. Agron. J. 107: 2205-2212.

Yusuf, M., Q. Fariduddin, S. Hayat, and A. Ahmad. 2011. Nickel: an overview of uptake, essentiality and toxicity in plants. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 86: 1–17.

Zorb, C., C-M. Geilfus, and K-J. Dietz. 2019. Salinity and crop yield. Plant Biol. 21: 31-38.