Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

The effects of feeding by silica fertilizer on the reduction of stress caused by salinity in fenugreek plants

Ebrahim Fani*

Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Biology, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.
E-mail: ebrahim_710@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 05.28.2023
Revised: 11.25.2023
Accepted: 11.28.2023

Keywords:
Chlorophyll fluorescence,
Greenness index,
Photosynthetic efficiency index,
Plant height

ABSTRACT

Background and Objectives: The study of the climatic condition of Iran shows that arid and semi-arid areas are often scattered in the central areas of Iran, and salinity in these areas is one of the limiting factors for crop production. Fenugreek is a genus of the Fabaceae family and one of the important products of semi-arid regions. This medicinal plant is used in the treatment of a wide range of diseases, such as diabetes. Fenugreek seeds and their leaves are rich in minerals, protein and carbohydrates. The expansion of fenugreek cultivation in the world has caused this plant to face abiotic environmental stresses during the growing season. Silica plays a role in reducing the amount of sweating and preventing the side paths of sweating. Therefore, this research was conducted with the aim of evaluating the effect of silica fertilizer in increasing the salinity tolerance of fenugreek plants.

Materials and Methods: The present study was conducted in order to investigate the effect of silica fertilizer on some morphological and physiological characteristics of edible and medicinal fenugreek plant in the fall of 2022 in Behbahan city in the form of pots in the form of a completely randomized design with three replications in the open air. The treatments included salt stress at three levels (0, 75 and 150 mM sodium chloride) and silica fertilizer at two levels (0 and 3 g/l) and a total of 18 pots. Fenugreek seeds are obtained from a reputable seed store (Rahimi vegetable seed store in Behbahan city). Fenugreek seeds were planted in small plastic pots with a height of 7 cm and a diameter of 8 cm filled with garden soil, leaf soil and perlite (ratio 1:1:1) so that finally there were five plants in each pot.

Results: The results showed that in the fenugreek plant, the maximum root length (6.95 cm) and the dry weight of the aerial parts (0.046 g) in the treatment without salt stress (control) and the use of silica fertilizer and the lowest root length (2.63 cm) and the dry weight of aerial organs (0.03 g) was observed in the treatment of 150 mM salinity stress and without the use of silica fertilizer. Also, the decrease in chlorophyll fluorescence (Fv/Fm ratio) in response to salinity stress was lower than the decrease observed in salinity stress without using silica fertilizer. In the salinity stress of 150 mM and the use of silica fertilizer 3 g/liter, the amount of chlorophyll fluorescence (Fv/Fm ratio) was 0.09 more than in the treatment of salinity stress of 150 mM and no silica fertilizer. The highest value of the greenness index (SPAD) was obtained in the condition without salinity stress (11.60), and the lowest value was obtained in the salinity stress of

150 mM (2.30), which was significant at the five percent level. Stress causes disturbances in the path of electron transfer and destruction of tissues related to photosynthesis, and in this way, it prevents the optimal energy consumption of the plant. In this study, silica treatment reduced the negative effects of severe salinity on root length, wet and dry weight of shoot and chlorophyll fluorescence. It reduced the harmful effects of salinity on fenugreek plants.

Conclusion: In this experiment, it was observed that the application of silica fertilizer in severe salinity stress significantly reduced the amount of chlorophyll fluorescence in comparison with its non-application. The present study showed that adding silicone fertilizers to saline soils reduces the negative effects of salinity stress in fenugreek plants.

Cite this article: Fani, Ebrahim. 2024. The effects of feeding by silica fertilizer on the reduction of stress caused by salinity in fenugreek plants. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 14 (1), 115-129.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21402.2103
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲٦۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

اثرات کود سیلیس بر کاهش تنش ناشی از شوری بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شنبلیله

ابراهیم فانی*

نویسنده مسئول، استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه: ebrahim_710@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۳/۰۷
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۰۹/۰٤
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۹/۰۷

واژه‌های کلیدی:
ارتفاع بوته،
شاخص سبزینگی،
شاخص کارآیی فتوسنتزی،
کلروفیل فلورسانس

چکیده

سابقه و هدف: بررسی وضعیت اقلیمی ایران نشان می¬دهد که مناطق خشک و نیمه خشک اغلب در نواحی مرکزی ایران پراکنده هستند و شوری در این مناطق یکی از عوامل محدودکننده تولید محصول می¬باشد. شنبلیله یک جنس از خانواده Fabaceae و یکی از محصولات مهم مناطق نیمه¬خشک است. این گیاه دارویی در درمان طیف وسیعی از بیماری¬ها مانند دیابت استفاده می¬شود. دانه¬های شنبلیله و برگ¬های آن سرشار از مواد معدنی، پروتئین و کربوهیدرات هستند. گسترش کشت شنبلیله در جهان باعث شده است که این گیاه در فصل رشد با تنش¬های محیطی غیرزیستی مواجه شود، بنابراین سیلیس در کاهش میزان تعریق و جلوگیری از مسیرهای فرعی تعریق نقش دارد. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی اثر کود سیلیس در افزایش تحمل به شوری گیاه شنبلیله انجام شد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر کود سیلیس بر برخی ویژگی¬های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه خوراکی و دارویی شنبلیله در پاییز ۱٤۰۱ در شهرستان بهبهان به‌صورت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در فضای باز بیرون دانشگاه انجام شد. تیمارها شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی¬مولار کلرید سدیم) و کود سیلیس در دو سطح (صفر و ۳ گرم در لیتر) و در مجموع ۱۸ گلدان بود. بذر شنبلیله از یک فروشگاه معتبر بذر (فروشگاه فروش بذور سبزیجات رحیمی در شهرستان بهبهان) تهیه شده است. بذر شنبلیله در گلدان‌های پلاستیکی کوچک به ارتفاع ۷ سانتی‌متر و قطر ۸ سانتی‌متر پر از خاک باغچه، خاک برگ و پرلیت (نسبت ۱:۱:۱) کاشته شد تا در نهایت در هر گلدان پنج بوته وجود داشته باشد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در گیاه شنبلیله حداکثر طول ریشه (٦/۹۵ سانتی‌متر) و وزن خشک اندام‌های هوایی (۰/۰٤٦ گرم) در تیمار بدون تنش شوری (شاهد) و بدون مصرف کود سیلیس

و کم‌ترین طول ریشه (۲/۶۳ سانتی‌متر) و وزن خشک اندام¬های هوایی (۰/۰۳ گرم) در تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و بدون مصرف کود سیلیس مشاهده شد. هم‌چنین میزان کاهش فلورسانس کلروفیل (نسبت Fv/Fm) در پاسخ به تنش شوری در شرایط مصرف کود سیلیس کم‌تر از میزان کاهش مشاهده شده در تنش شوری بدون مصرف کود سیلیس بود. در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و استفاده از کود سیلیس ۳ گرم در لیتر، میزان فلورسانس کلروفیل (نسبت Fv/Fm) ۰/۰۹ نسبت به تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و عدم مصرف کود سیلیس بیش‌تر بود. بیش‌ترین مقدار شاخص سبزی (SPAD) در شرایط بدون تنش شوری (۱۱/۶۰) و کم‌ترین مقدار در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (۲/۳۰) به‌دست آمد که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. تنش باعث ایجاد اختلال در مسیر انتقال الکترون و تخریب بافت‌های مرتبط با فتوسنتز شده و به این ترتیب از مصرف بهینه انرژی گیاه جلوگیری می¬کند. در این مطالعه، تیمار سیلیس با کاهش اثرات منفی شوری شدید بر طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و کلروفیل فلورسانس، سبب کاهش اثرات مضر شوری بر روی گیاه شنبلیله شد.

نتیجه‌گیری: در این آزمایش مشاهده شد که کاربرد کود سیلیس در تنش شوری شدید، میزان کاهش فلورسانس کلروفیل را در مقایسه با عدم کاربرد آن به‌طور معنی‌دار کاهش داد. مطالعه حاضر نشان داد که افزودن کودهای سیلیکونی به خاک‌های شور اثرات منفی تنش شوری را در گیاه شنبلیله کاهش می‌دهد.

استناد: فانی، ابراهیم (۱۴۰۳). اثرات کود سیلیس بر کاهش تنش ناشی از شوری بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شنبلیله. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۴ (۱)، ۱۲۹-۱۱۵.

DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21402.2103

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

شنبلیله یک جنس از خانواده *Fabaceae* و یک محصول مهم در مناطق نیمه‌خشک جهان است (۱). این گیاه به‌عنوان داروی گیاهی در درمان طیف وسیعی از بیماری‌ها مانند دیابت کاربرد دارد. دانه‌های شنبلیله و برگ‌های آن غنی از مواد معدنی، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها است (۲). شنبلیله علاوه بر مصرف به شکل سبزی و کود سبز، گیاهی است که مصرف دارویی، آرایشی و ادویه‌ای دارد (۳). گستردگی کشت شنبلیله در جهان، باعث شده این گیاه با تنش‌های غیرزنده محیطی در طول فصل رشد مواجه شود (۳ و ٤).

مطالعه وضعیت اقلیمی ایران نشان می‌دهد که مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب در قسمت‌های مرکزی ایران پراکنده‌اند و شوری در این مناطق یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی به شمار می‌رود (۵). بر اساس مطالعات حسنوزمان و همکاران (۲۰۱۳)، از نظر متابولیکی شوری موجب آسیب غشا، عدم توازن مواد غذایی، تغییر سطوح تنظیم‌کنندگان رشد و مهار آنزیمی می‌گردد. غلظت‌های بالای نمک می‌تواند اثر مخربی بر متابولیسم گیاه، از بین‌رفتن هومئوستازی سلولی و عدم جفت شدن فرایندهای عمده فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی داشته باشد (٦). مطالعات نشان می‌دهد که شنبلیله از گیاهان دارویی است که از نظر تحمل به شوری مورد توجه بوده و پژوهش‌های متعددی بر روی آن انجام شده است. در آزمایش آرچانگی و همکاران (۲۰۱۲)، اثر سطوح مختلف شوری (صفر، ٤۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱٦۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر رشد و تجمع برخی عناصر در سه توده شنبلیله بررسی و معلوم شد که افزایش شوری موجب کاهش ارتفاع، طول ریشه، تعداد برگ و وزن ریشه و اندام هوایی گردید (۷). بررسی تغییرات رشد هشت توده بومی شنبلیله در تنش شوری نشان داد که شوری موجب کاهش ارتفاع، تعداد انشعاب، طول و وزن ریشه، اندام هوایی و میوه گردید و توده مشهدی بیش‌ترین ارتفاع بوته را دارا بود (۸). بررسی اثرات سطوح مختلف شوری (صفر، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر برخی گونه‌های شنبلیله نشان داد که شوری موجب افزایش قندهای احیاکننده و قندهای محلول و کاهش وزن تر وخشک گردید (۹). پژوهش‌های انجام شده بر روی شنبلیله نشان از اثرات منفی شوری بر رشد گیاه و عملکرد دانه دارد. در مرحله جوانه‌زنی، هنگامی که شوری خاک از ٤ دسی‌زیمنس بر متر بالاتر رفت، میزان تلفات دانه‌رست‌های شنبلیله به مقدار زیادی تحت‌تأثیر قرار گرفت. با این وجود، در مراحل بعدی رشد تا زمان رسیدگی، شنبلیله توانست شوری‌های بالاتر (٤-۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) را تحمل کند (۱۰). غلظت بالای سدیم کلرید، معمولاً منجر به کاهش نسبت پتاسیم/ سدیم و افزایش پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای پلاسمایی می‌شود. نشت غشایی موجب کمبود پتاسیم و بسته‌شدن روزنه و درنتیجه کاهش فتوسنتز می‌گردد. در گیاهانی که در طولانی‌مدت در معرض محیط شور قرار می‌گیرند، تحمل شوری معمولاً همراه با کاهش زیست‌توده است (۱۱). یکی از راه‌های کاهش اثرات تنش شوری استفاده از موادی است که توانایی تعدیل اثرات مخرب شوری را دارا می‌باشند. از جمله این مواد می‌توان به سیلیس اشاره کرد. سیلیس دومین عنصر فراوان هم در پوسته زمین و هم در خاک‌ها می‌باشد (۱۲). اگر چه سیلیس به‌عنوان یک عنصر ضروری در تغذیه گیاهان عالی مورد توجه قرار نگرفته است، اما تأثیر مفید آن در رشد و نمو سالم بسیاری از گونه‌های گیاهی، به‌خصوص گیاهان گرامینه[1] ثابت شده است (۱۳). مطالعات بر روی گیاه کاهوپیچ نشان داد که کاربرد

1- Geramineae

سیلیس باعث بهبود تحمل به تنش شوری می‌شود (۱٤). سیلیس در القای کاهش میزان تعرق و ممانعت از مسیرهای فرعی تعرق شرکت می‌کند. افزایش جذب و انتقال K^+ و کاهش جذب و انتقال Na^+ از ریشه به اندام‌های هوایی جو از طریق تحریک القای سیلیس در H^+-ATPase غشا پلاسمایی ریشه تحت تنش شوری انجام می‌گیرد (۱۲). اضافه کردن سیلیس نفوذپذیری غشا پلاسمایی سلول‌های برگ را کاهش داده و به‌طور معنی‌داری ساختار فوقانی کلروپلاست‌ها را که خسارت زیادی در اثر کلرید سدیم اضافی و ناپدید شدن غشا دو لایه و فرو ریختن گرانا در غیاب سیلیس به آن وارد شده را بهبود می‌بخشد (۱۲). در حال حاضر تنش شوری مهم‌ترین تنش غیرزیستی بوده، بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی اثر کود سیلیس در افزایش تحمل به شوری گیاه خوراکی و دارویی شنبلیله انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌منظور بررسی تأثیر کود سیلیس بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه خوراکی و دارویی شنبلیله در پاییز سال ۱٤۰۱ در شهرستان بهبهان با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱٤٤٦ متر از سطح دریا در فضای باز بیرون دانشگاه اجرا شد. ویژگی‌های هواشناسی مکان آزمایش در طی دوره کشت، مطابق جدول ۱ بود. تیمارهای آزمایشی شامل شوری در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و کود سیلیس در دو غلظت (صفر و ۳ گرم در لیتر مطابق با توصیه مصرف بر روی پاکت کود تهیه شده از فروشگاه آریا شیمی) بود (۱۵ و ۱٦). بذر شنبلیله از فروشگاه فروش بذر رحیمی در شهرستان بهبهان تهیه شد. بذور شنبلیله در گلدان‌های پلاستیکی کوچک به ارتفاع ۷ و قطر ۸ سانتی‌متری پر شده با خاک باغی، خاک‌برگ و پرلیت (نسبت ۱:۱:۱) طوری کاشته شدند که در نهایت در هر گلدان پنج گیاه وجود داشت. برای تیمار گیاه با کود سیلیس بعد از رشد گیاهچه‌ها و در مرحله ۳ برگ حقیقی، تیمار گلدان‌ها با کود سیلیس (صفر و ۳ گرم در لیتر) در ۳ مرحله همراه با آب آبیاری در یک بازه زمانی ۷ روزه انجام شد و بعد از آن طی یک دوره ۱۰ روزه، ٤ مرحله اعمال تیمار شوری برای گلدان‌های دارای تنش شوری به‌صورت آبیاری با آب شور ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار و هم‌زمان آبیاری گلدان‌های دارای آبیاری معمولی (شوری صفر) اعمال گردید. سه روز بعد از اعمال آخرین مرحله تنش شوری و ۳۹ روز بعد از کاشت گیاه شنبلیله، صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه بررسی شد (۱۷). طول ریشه به‌وسیله خط‌کش و از محل اتصال بخش هوایی به ریشه تا انتهای ریشه و ارتفاع بوته به‌وسیله خط‌کش و از سطح خاک تا انتهای گیاه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه وزن تر اندام هوایی و ریشه از ترازوی دیجیتالی (AND مدل GT-100 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم) استفاده شد. برای به‌دست آوردن وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و سپس به وسیله ترازوی دیجیتالی (AND مدل GT-100 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند. از دستگاه کلروفیل‌متر قابل حمل (CCM -200 plus Opti-sciences, Tyngsboro, Massachusetts, USA) برای تعیین شاخص سبزینگی (SPAD) استفاده شد. دستگاه کلروفیل فلوریمتر (Hansatech Poket PEA, England) برای اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm) و

شاخص کارآیی دستگاه فتوسنتز (PI) استفاده شد (۱۸). داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ مورد تجزیه آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی شهرستان بهبهان در طی دوره کشت.

Table 1. Weather characteristics of Behbahan city during the cultivation period.

ماه Month	حداقل دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد) Minimum monthly temperature (ºC)	حداکثر دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد) Maximum monthly temperature (ºC)	میانگین دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد) Average monthly temperature (ºC)	مجموع بارش ماهیانه (میلی‌متر) Total precipitation monthly (mm)
آبان November	12.2	38.1	30	75.8
آذر December	5.4	30.8	24.9	27.9
دی January	4.4	23.3	18.1	200.5

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی: نتایج این آزمایش نشان داد که شاخص‌های مورفولوژیکی در گیاه دارویی شنبلیله در شرایط شوری در مقایسه با شرایط طبیعی (شاهد) کاهش یافتند. هم‌چنین کاربرد کود سیلیس در شرایط تنش شوری به ویژه در تنش شدید ۱۵۰ میلی‌مولار باعث بهبود اثرات مضر تنش شوری بر صفت طول ریشه به میزان ٤١ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کود سیلیس در این شرایط گردید. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده تنش شوری و کود سیلیس، بیش‌ترین ارتفاع بوته (۳ سانتی‌متر)، طول ریشه (۵/۲۵ سانتی‌متر)، وزن تر ریشه (۰/۰۷ گرم) و وزن خشک ریشه (۰/۰٤ گرم) در تیمار بدون تنش شوری (شاهد) مشاهده شدند. هم‌چنین کم‌ترین میزان صفات مورفولوژیکی تحت تنش شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار) به‌دست آمدند (جدول ۲). بر اساس همین نتایج بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی (۰/۲۵ گرم) و وزن خشک اندام هوایی (۰/۰٤) گرم در تیمار کاربرد کود سیلیس ۳ گرم در لیتر به‌دست آمدند (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای شوری و کود سیلیس بر صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه در گیاه شنبلیله، بیش‌ترین طول ریشه (٦/٩٥ سانتی‌متر) و وزن خشک اندام‌های هوایی (۰/۰٤٦ گرم) در تیمار بدون تنش شوری (شاهد) و بدون کاربرد کود سیلیس و کم‌ترین طول ریشه (۲/٦۳ سانتی‌متر) و وزن خشک اندام‌های هوایی (۰/۰۳ گرم) در تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و بدون کاربرد کود سیلیس مشاهده گردید. هم‌چنین در تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کاربرد کود سیلیس ۳ گرم در لیتر در مقایسه با تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و بدون کاربرد کود سیلیس، میزان افزایش طول ریشه و وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب ۲۹/۱۱ و ۲۵ درصد افزایش نشان داد که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (شکل‌های ۱ و ۲). هم‌چنین وزن تر

اندام‌های هوایی در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کاربرد کود سیلیس ۳ گرم در لیتر در مقایسه با تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و بدون کاربرد کود سیلیس افزایش ٤۷/۸۲ درصدی را نشان داد که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (شکل ۳).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شنبلیله در شرایط شوری و کود سیلیس.

Table 2. Comparison of simple mean effects of morphological and physiological traits of fenugreek plant under salinity and silica fertilizer conditions.

تیمارها Treatments		ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	وزن تر اندام هوایی (گرم در بوته) Fresh weight of shoot (g plant^{-1})	وزن تر ریشه (گرم در بوته) Fresh weight of root (g plant^{-1})	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) Dry weight of shoot (g plant^{-1})
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	0	3^{a}	5.25^{a}	0.24^{a}	0.07^{a}	0.04^{a}
	75	2.52^{b}	3.93^{b}	0.27^{a}	0.05^{b}	0.04^{a}
	150	2.63^{b}	3.17^{b}	0.17^{b}	0.04^{b}	0.03^{a}
سیلیس (گرم در لیتر) Si (g/l)	0	2.81^{a}	4.63^{a}	0.21^{b}	0.06^{a}	0.03^{a}
	3	2.62^{a}	3.60^{b}	0.25^{a}	0.05^{a}	0.04^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P≤0.05)

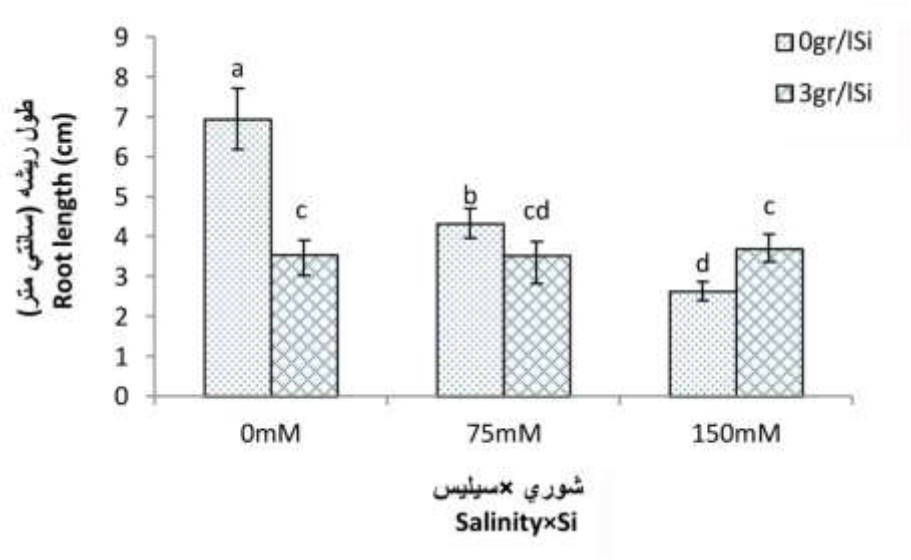
ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

تیمارها Treatments		وزن خشک ریشه (گرم در بوته) Dry weight of root (g plant^{-1})	کلروفیل فلورسانس Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)	شاخص کارآیی فتوسنتزی Photosynthetic efficiency index (PI)	شاخص سبزینگی greenness index (SPAD)
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	0	0.04^{a}	0.77^{a}	2.48^{a}	11.60^{a}
	75	0.03^{b}	0.77^{a}	2.50^{a}	3.90^{b}
	150	0.03^{b}	0.69^{b}	1.16^{b}	2.30^{b}
سیلیس (گرم در لیتر) Si (g/l)	0	0.03^{a}	0.73^{b}	1.76^{b}	4.63^{b}
	3	0.03^{a}	0.76^{a}	2.33^{a}	7.23^{a}

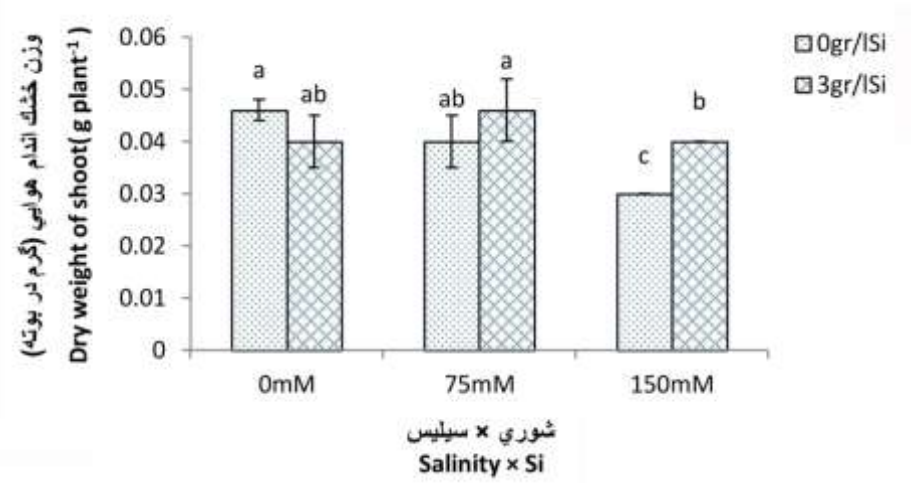
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's multiple range test (P≤0.05)



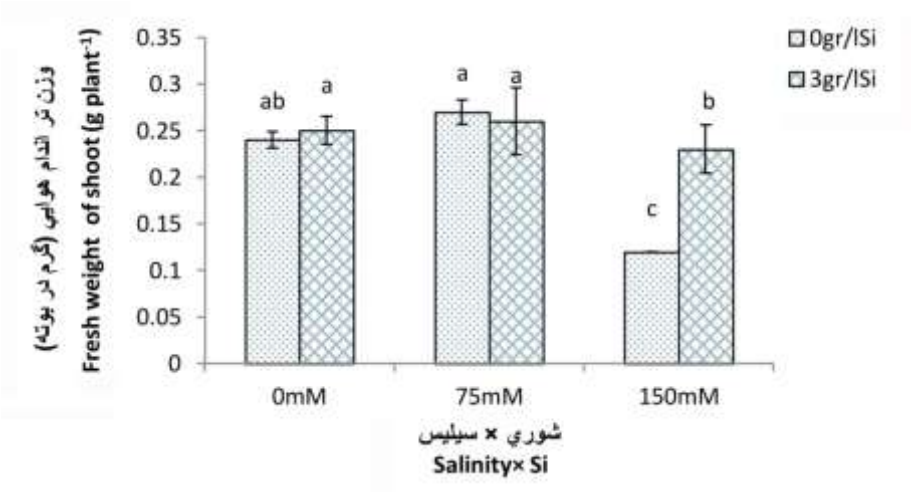
شکل ۱- اثر متقابل تنش شوری و کود سیلیس بر طول ریشه گیاه شنبلیله (ستون‌های دارای حروف مشترک مطابق با آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).
میله‌های روی شکل نشان‌دهنده تغییرات داده‌ها و دقت اندازه‌گیری می‌باشند.

Figure 1. Interaction effect of salinity stress and silica fertilizer on root length of fenugreek plant (columns with common letters have no significant difference according to Duncan's test at the five percent level). The bars on the figure indicate the data changes and measurement accuracy.



شکل ۲- اثر متقابل تنش شوری و کود سیلیس بر وزن خشک اندام هوایی گیاه شنبلیله (ستون‌های دارای حروف مشترک مطابق با آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).
میله‌های روی شکل نشان‌دهنده تغییرات داده‌ها و دقت اندازه‌گیری می‌باشند.

Figure 2. Interaction effect of salinity stress and silica fertilizer on dry weight of shoot of fenugreek plant (columns with common letters have no significant difference according to Duncan's test at the five percent level). The bars on the figure indicate the data changes and measurement accuracy.



شکل ۳- اثر متقابل تنش شوری و کود سیلیس بر وزن تر اندام هوایی گیاه شنبلیله (ستون‌های دارای حروف مشترک مطابق با آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

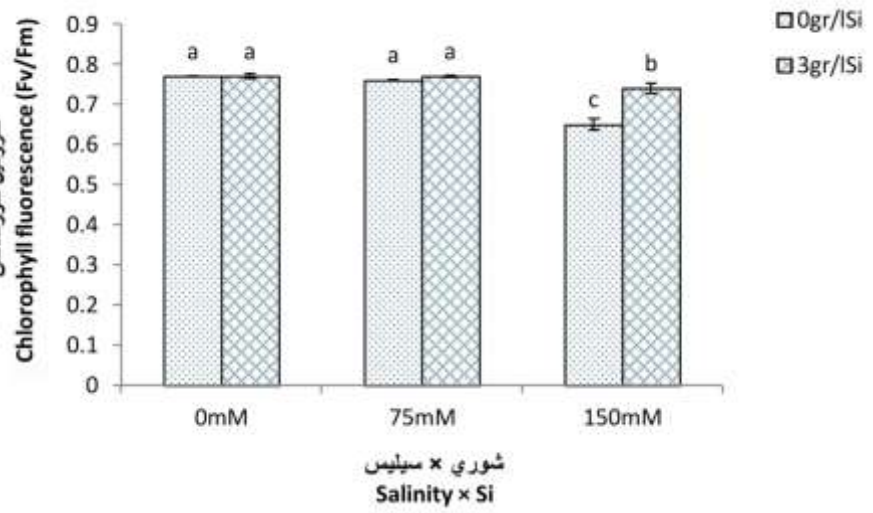
میله‌های روی شکل نشان‌دهنده تغییرات داده‌ها و دقت اندازه‌گیری می‌باشند.

Figure 3. Interaction effect of salinity stress and silica fertilizer on fresh weight of shoot of fenugreek plant (columns with common letters have no significant difference according to Duncan's test at the five percent level). The bars on the figure indicate the data changes and measurement accuracy.

کاربرد کود سیلیس (۳ گرم در لیتر) در تنش شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار) تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه شنبلیله داشت به‌طوری‌که میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب ٤/۸۲ و ۲۵ درصد نسبت به عدم کاربرد کود سیلیس در این شرایط افزایش یافت. زارع و همکاران (۲۰۱۸) در گیاهی مانند سرخارگل گزارش کردند که کاربرد سیلیس باعث افزایش وزن تر وخشک اندام هوایی می‌شود که مطابق با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش بود (۱۹). از دلایل اصلی کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در تنش شوری می‌توان به کم شدن سطح برگ در وهله اول و سپس به تجمع یون‌های سمی در برگ‌ها و پیری زودرس اشاره نمود (۲۰). کاربرد سیلیس در این شرایط آثار منفی تنش شوری بر وزن تر و خشک اندام هوایی را کاهش داد که با نتایج مهدیه و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی داشت (۲۱). در تنش شوری شدید وزن تر ریشه و خشک ریشه کاهش یافت، اما میزان کاهش در شرایط کاربرد کود سیلیس در مقایسه با عدم کاربرد آن به‌ترتیب ٦/۵۲ و ۹/۰۹ کم‌تر بود که نشان‌دهنده اثرات مثبت سیلیس در تحمل تنش شوری در گیاه شنبلیله بود که با نتایج پژوهش زارع و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت (۱۹). طول ریشه در گیاهان مختلف پاسخ‌های متفاوتی به تنش شوری می‌دهد. در این پژوهش، با افزایش تنش شوری طول ریشه در گیاه شنبلیله کاهش یافت که این کاهش در تنش شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار) زیاد بود. در تنش شوری شدید، در گیاهان تیمارشده با کود سیلیس در شوری شدید در مقایسه با گیاهانی که کود سیلیس را در شوری شدید دریافت نکردند، کاهش طول ریشه به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود (۳/۷۱ در مقایسه با ۲/٦۳). کاهش رشد ریشه در تنش شوری مطابق با پژوهش‌های جمیل و همکاران (۲۰۰٦) می‌تواند ناشی از تجمع یون‌های کلرید و سدیم و اثرات اسمزی ناشی از آن باشد که با یافته‌های این آزمایش مطابقت داشت (۲۲). کاربرد کود سیلیس در مقایسه با عدم کاربرد آن در تنش شوری شدید، با افزایش طول ریشه باعث کاهش آثار منفی شوری در این آزمایش شد که با نتایج به‌دست

آمده از پژوهش‌های مهدیه و همکاران (۲۰۱۵) که نشان دادند تغذیه سیلیکونی باعث بهبود رشد ارقام برنج در تنش شوری می‌گردد، همخوانی داشت (۲۱).

صفات فیزیولوژیکی: نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل داده‌ها نشان داد که میزان کلروفیل فلورسانس (نسبت Fv/Fm) با افزایش تنش شوری و مصرف کود سیلیس افزایش یافت. در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و مصرف کود سیلیس ۳ گرم در لیتر، مقدار کلروفیل فلورسانس (نسبت Fv/Fm) ۰/۰۹ نسبت به تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و عدم کاربرد کود سیلیس به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود (شکل ٤). نتایج مقایسه میانگین تأثیر شوری بر شاخص کارآیی فتوسنتزی (PI) نشان داد که شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار) اثر منفی و معنی‌داری بر شاخص کارآیی فتوسنتزی (PI) داشت به‌طوری‌که باعث کاهش این شاخص به میزان ۵۳/۲۲ درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری شد (۲/٤۸ در شرایط بدون تنش شوری در مقایسه با ۱/۱٦ در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار). با این‌حال تفاوت معنی‌داری بین شرایط بدون تنش شوری و شوری ۷۵ میلی‌مولار مشاهده نشد (جدول ۲). بر اساس همین نتایج، کاربرد کود سیلیس در مقایسه با عدم کاربرد آن تفاوت معنی‌داری را در رابطه با شاخص کارآیی فتوسنتزی (PI) ایجاد نمود (۲/۳۳ در مقایسه با ۱/۷٦ و افزایش ۲٤/٤٦ درصدی) (جدول ۲). نتایج میانگین اثرات ساده نشان داد که بیش‌ترین میزان شاخص سبزینگی (SPAD)[1] در شرایط بدون تنش شوری (۱۱/٦۰) و کم‌ترین میزان در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (۲/۳۰) به‌دست آمد که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین در شرایط کاربرد کود سیلیس ۳ گرم در لیتر میزان شاخص سبزینگی (SPAD) ۲/۳۳ نسبت به ۱/۷٦ شرایط عدم کاربرد کود سیلیس به‌دست آمد که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).



شکل ٤- اثر متقابل تنش شوری و کود سیلیس بر فلورسانس کلروفیل گیاه شنبلیله (ستون‌های دارای حروف مشترک مطابق با آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

میله‌های روی شکل نشان‌دهنده تغییرات داده‌ها و دقت اندازه‌گیری می‌باشند.

Figure 4. Interaction effect of salinity stress and silica fertilizer on Chlorophyll fluorescence of fenugreek plant (columns with common letters have no significant difference according to Duncan's test at the five percent level). The bars on the figure indicate the data changes and measurement accuracy.

1- Soil and Plant Analyser Development

تنش شوری به‌ویژه شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار) میزان کلروفیل فلورسانس (نسبت Fv/Fm) را در این آزمایش در گیاه شنبلیله به‌طور معنی‌داری کاهش داد که می‌تواند به‌دلیل کاهش میزان حفاظت نوری و تقلیل کارایی فتوسنتزی باشد (شکل ٤). مقدار Fv/Fm نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون از فتوسیستم II است (۲۳). تنش باعث ایجاد اختلال در مسیر انتقال الکترون و تخریب بافت‌های مرتبط با فتوسنتز گشته و از این طریق، گیاه را از استفاده مطلوب از انرژی باز می‌دارد (٢٤). پژوهش‌های حاجی هاشمی و همکاران (۲۰۲۲) بر روی گیاه تربچه نشان داد که تیمار سیلیس باعث بهبود کلروفیل فلورسانس (نسبت Fv/Fm) در تنش شوری گردید (۲۵). تنش شوری سبب کاهش بازدهی کلروفیل فلورسانس (نسبت Fv/Fm) به‌دلیل کاهش انتقال االکترون در فتوسیستم‌ها می شود (٢٦). گزارش‌هایی مبنی بر بهبود عملکرد فتوسیستم‌ها در گیاهان تیمار شده با سیلیس در شرایط تنش وجود دارد (۲۷). مطابق با نتایج حاجی هاشمی و همکاران (۲۰۲۲) میزان Fv/Fm و PI_{ABS} در تنش شوری توأم با سیلیس بیش‌تر از تنش شوری بدون سیلیس بود (۲۵). تیمار کود سیلیس ۳ گرم در لیتر منجر به کاهش معنی‌دار اثرات مضر تنش شوری بر میزان کلروفیل‌ها در گیاه شنبلیله در مقایسه با عدم کاربرد کود سیلیس در این شرایط شد (جدول ۲). سبزینه گیاه اصلی‌ترین رنگدانه نورساختی است و تحت شرایط وجود تنش‌های محیطی (به‌ویژه شوری) تغییرپذیری‌های متفاوتی را نشان می‌دهد (۲۸). شاخص سبزینگی (SPAD) گیاه شنبلیله در این پژوهش متأثر از تنش شوری کاهش یافت، اما کاربرد کود سیلیس در تنش شوری باعث کاهش اثرات منفی شوری بر شاخص سبزینگی (SPAD) گردید، به‌طوری‌که در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کاربرد کود سیلیس شاخص سبزینگی (SPAD) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از زمانی بود که کود سیلیس استفاده نشد (۳/۰٦ در شرایط کاربرد کود سیلیس در مقایسه با ۱/۵۳ در شرایط عدم کاربرد کود سیلیس). افزایش شوری و اثرات مخرب آن بر ساختار کلروفیل و در نتیجه تخریب کلروپلاست‌ها، باعث کاهش شاخص سبزینگی (SPAD) می‌گردد اما کاربرد سیلیس این اثرات را تعدیل می‌کند. نتیجه این آزمایش با یافته‌های لیانگ و همکاران (۲۰۰۷) که نشان دادند سیلیس استحکام برگ‌ها را افزایش و پیری برگ را به تأخیر انداخته و میزان کلروفیل را افزایش می‌دهد همخوانی داشت (۱۲). در تأیید اثرات منفی تنش شوری بر شاخص سبزینگی و محتوای کلروفیل برگ گیاهان، فلاح و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که سطوح مختلف تنش شوری سبب کاهش شاخص سبزینگی و محتوای کلروفیل در برگ ارقام مختلف برنج می‌شود که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت (۲۹). هم‌چنین یانگ و همکاران (۲۰۰۲) طی مطالعاتی بر روی برنج بیان کردند که اثرات منفی تنش‌های محیطی بر میزان کلروفیل و شاخص سبزینگی گیاهان به‌علت تخریب لاملای کلروفیل برگ‌ها می‌باشد (۳۰). استفاده از ترکیبات حاوی سیلیس، نفوذپذیری غشای پلاسمایی سلول‌های برگ را کاهش داده و به‌طور معنی‌داری ساختار کلروپلاست‌هایی که در تنش شوری آسیب دیده و ساختار غشای دو لایه آن‌ها ازبین رفته است را بهبود بخشیده و در صورت عدم وجود سیلیس، ساختار گراناهای کلروپلاست از هم پاشیده می‌شوند (۳۱).

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش مشاهده شد تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیکی مانند طول ریشه، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک اندام هوایی،

صفات فیزیولوژیکی مانند کلروفیل فلورسانس و شاخص سبزینگی مورد اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این پژوهش، نشان‌دهنده اثرات مفید سیلیس در شرایط تنش شوری بر گیاه شنبلیله بود. به‌نظر می‌رسد نقش سیلیس در پایداری دیواره سلول و حفظ انسجام غشاء سلول‌های ریشه باعث کاهش جذب، انتقال و انباشتگی یون سدیم در بافت‌های حساس می‌شود. پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از کود سیلیس در مقایسه با عدم کاربرد آن در تنش شدید شوری (۱۵۰ میلی‌مولار) سبب بهبود معنی‌دار صفاتی مانند طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و کلروفیل فلورسانس در گیاه شنبلیله می‌شود. اگرچه اثرات مفید کود سیلیس در شرایط مطلوب نیز محسوس بود، اما زمانی که گیاه در معرض تنش شوری قرار گرفت، اثرات سودمند سیلیس آشکارتر بود.

منابع

1. Noohpisheh, Z., Amiri, H., Mohammadi Gholami, A., & Farhadi, S. (2019). Investigating the application of zinc oxide nanoparticles on the morphological and physiological characteristics of two varieties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, 9 (35), 423-438. **dor: 20.1001.1. 23222727.1399.9.35.24.5.** [In Persian]
2. Pasandi Pour, A., Farahbakhsh, H., & Saffari, M. (2014). Response of fenugreek to short-term salinity stress in relation to lipid peroxidation, antioxidant activity and protein content. *Ethno-Pharmaceutical Products*, 1 (1), 45-52. **dorl.net/dor/ 20.1001.1.23833017.2014.1.1.7.6.**
3. Bairwa, R. C., & Kaushik, M. K. (2010). Response of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) varieties to fertility levels and growth regulators on productivity, profitability and quality. *Journal of Progressive Agriculture*, 1 (1), 65-67. **www.indianjournals.com/ ijor.aspx?target=ijor:jpa&volume=1&issue=1&article=019.**
4. Dadrasan, M., Chaichi, M. R., Pourbabaee, A. A., Yazdani, D., & Keshavarz Afshar, R. (2015). Deficit irrigation and biological fertilizer influence on yield and trigonelline production of fenugreek. *Industrial Crops and Products*, 77, 156-162. **doi.org/ 10.1016/j.indcrop.2015.08.040.**
5. Banakar, M. H., Ranjbar, G. H., & Soltani, V. (2013). Physiological response of some salt-loving grass plants under saline conditions. *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 5 (1), 55-65. **doi.org/10.22077/ escs.2012.114.** [In Persian]
6. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. P. 25-87. In: P., Ahmad, M. M. Azooz, and M. N. V. Prasad (eds), Ecophysiology and responses of plants under salt stress, Springer, New York.
7. Archangi, A., Khodambashi, M., & Mohammadkhani, A. (2012). The effect of salinity stress on the morphological characteristics and the amount of sodium, potassium and calcium elements in the medicinal plant Trigonella foenum gracum under hydroponic cultivation conditions. *Journal of Science and Techniques of Greenhouse Crops*, 3 (10), 33-40. **dor: 20.1001.1.20089082. 1391.3.2.3.3.** [In Persian]
8. Farhadi, H., Azizi, M., & Nemati, S. H. (2015). Effect of Salinity Stress on Morphological and Proline Content of Eight Landraces Fenugreek (*Trigonella foenum - graecum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13 (2), 411-419. **doi: 10.22067/gsc.v13i2.36600.** [In Persian]
9. Sorahinobar, M., Niknam, V., & Moradi, B. (2010). Effect of NaCl salinity on protein, pigments, sugars and phenolic compounds contents in calli of some Trigonella species. *Journal of Science*

University of *Tehran*, 36 (2), 53-59. **jos.ut.ac.ir/issue_2153_2164.html?lang=en.** [In Persian]

10. Chowdhury, M. M. U., Bhowal, S. K., Farhad, I. S. M., Choudhury, A. K., & Khan, A. S. M. M. R. (2014). Productivity of fenugreek varieties (*Trigonella foenum-graecum* L.) in the coastal saline areas of noakhali. *The Agriculturists*, 12 (2), 18-23. **doi: 10.3329/agric.v12i2.21726.**
11. Lee, M. H., Cho, E. J., Wi, S. G., Bae, H., Kim, J. E., Cho, J. Y., Lee, S., Kim, J. H., & Chung, B. Y. (2013). Divergences in morphological changes and antioxidant responses in salt-tolerant and salt-sensitive rice seedlings after salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70, 325-335. **doi: 10. 1016/j.plaphy.2013.05.047.**
12. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.G., & Christie , P. (2007). Mechanisms of silicon mediated alleviation of a biotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, 147 (2), 422-428. **doi: org/10.1016/j.envpol.2006.06.008.**
13. Seyed Lor Fatemi, L., Tabatabei, S. J., & Falahi, E. (2009). Effect of silicon on the growth and performance of strawberry plants under salt stress conditions. *Journal of Horticultural Sciences* (*Agricultural Sciences and Industries*), 23 (1), 88-95. **doi: 10. 22067/jhorts4.v1388i1.1915.** [In Persian]
14. Peyvast, GH., Zaree, M. R., & Samizadeh, H. (2009). Interaction of silicon and on salinity stress on Lettuce growth under NFT system condition. *Journal of Agricultural Sciences and Industries, Especially Horticultural Sciences*, 22 (1), 79-88. **sid.ir/paper/ 142239/fa.** [In Persian]
15. Haghighi, M., & Masoumi, Z. (2021). Effect of caffeic acid on growth and reducing the destructive effects of salinity on greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* var. Super daminos). *Journal of Vegetables Sciences*, 4 (2), 35-51. **doi: 10.22034/iuvs.2021. 131965.1114.** [In Persian]
16. Payamani, R., Nosratti, I., & Amerian, M. (2021). Effect of different levels of salinity, nitrogen and Torilis arvensis competition on growth characteristics and leaf yield of coriander (*Coriandrum sativum*). *Journal of Vegetables Sciences*, 5 (1), 51-62. **doi: 10.22034/ iuvs.2021.526940.1153.** [In Persian]
17. Gholamnia, A., Mosleh Arany, A., Sodaeizadeh, H., Tarkesh Esfahani, S., & Ghasemi, S. (2021). The effects of salinity and heat stress on some physiological and vegetative characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) at different time intervals. *Iranian Journal of Plant Biology*, 13 (2), 39-52. **doi: 10.22108/ijpb. 2021.127818.1243.** [In Persian]
18. Kalaji, H. M., Govindjee, B., Bosac, K., Koscielniakd, J., & Zuk-Gołaszewskae, K. (2011). Effects of salt stress on photosystem II efficiency and co_2 assimilation of two syrian barley landraces. *Environmental and Experimental Botany*, 73, 64-72. **doi:10.1016/j.envexpbot.2010.10.009.**
19. Zare, F., Khorasaninejad, S., & Hemmati, Kh. (2018). The effect of silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10 (3), 55-68. **doi: 10.22108/ijpb.2018.105683.1044.** [In Persian]
20. Mancarella, S., Orsini, F., Van Oosten, M. J., Sanoubar, R., Stanghellini, C., Kondo, S., Gianquinto, G., & Maggio, A. (2016). Leaf sodium accumulation facilitates salt stress adaptation and preserves photosystem functionality in salt stressed *Ocimum basilicum*. *Environmental and Experimental Botany*, 130, 162-173. **doi.org/10.1016/j. envexpbot.2016.06.004.**
21. Mahdieh, M., Habibollahi, N., Amirjani, M., Abnosi, M., & Ghorbanpour, M. (2015). Exogenous silicon nutrition ameliorates salt-induced stress by improving growth and efficiency of PS_{II} in *Oryza sativa* L. *cultivars. Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15 (4), 1050-1060. **doi.org/10.4067/ S0718-95162015005000073.**

22.Jamil, M., Lee, D. B., Jung, K. Y., Ashraf, M., Lee, S. C., & Rha, E. S. (2006). Effect of salt (NaCI) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. *Journal of Central European Agriculture*, 7 (2). 273-282. **jcea.agr.hr/en/issues/ volume/21.**

23.Paknejad, F., Majidi Heravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A., & Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Sciences*, 7 (6), 841-847. **doi: 10.3923/ jbs.2007.841.847.**

24.Scantsciarnugnozza, G., Deangelis, P., Matteucci, G., & Valentini, R. (1996). Long term exposure to elevated CO_2 in a natural quercus ilex L. community. Net photosynthesis and photochemical efficiency of psn at different levels of water stress. *Plant, Cell and Environment*, 19 (6), 643-654. **doi.org/ 10.1111/j.1365-3040.1996.tb00399.x.**

25.Haji Hashemi, Sh., Jahan Tigh, A., & Fani, I. (2022). The effect of silicon treatment on improving the physiological response of radish (*Raphanus sativus* L.) to salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 11 (47), 21-36. **dor: 20.1001.1.23222727. 1401.11. 47. 3.2.** [In Persian]

26.Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S., & Bharti, S. (2010). Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48 (1), 16-20. **doi: 10.1016/j.plaphy.2009.10.006.**

27.Zhang, Y., Yu, S., Gong, H. J., Zhao, H. L., Li, H. L., Hu, Y. H., & Wang, Y. C. (2018b). Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 17 (10), 2151-2159. **doi.org/10.1016/ S2095-3119 (18) 62038-6.**

28.Amirul Alam, M. D., Juraimi, A. S., Rafii, M. Y., & Abdul Hamid, A. (2015). Effect of salinity on biomass yield and physiological and stem-root anatomical characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions. *BioMed Research International*, 1, 1-15. **doi: 10.1155/2015/105695.**

29.Falah, A., Farahmandfar, E., & Moradi, F. (2015). Effect of salinity stress in different growth stages on some morphophysiological traits of two rice cultivars in Greenhouse conditions. *Journal of Agronomy*, 28 (107), 175-182. **doi: 10.22092/aj.2015.105720.** [In Persian]

30.Yang, J., Zhang, J., wang, Z., Zhu, Q., & Liu, L. (2002). Carbon remobilization and grain filling in two line hybrid rice. Subject to postanthesis water deficits. *Agronomy Journal*, 94 (1), 102-109. **doi.org/10.2134/agronj2002.1020a.**

31.Ghoreishiasl, S. S., Zahedi, H., Sharghi, Y., Modarres Sanavy, S. A. M., & Moradi Ghahderijani, M. (2016). Effect of zeolite and calcium silicate on salt stress tolerance of two canola varieties. *Iranian Journal of Soil Research*, 31 (3), 353-362. **doi: 10.22092/ijsr. 2017.113730.** [In Persian]