



# به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

صفحه‌های ۶۴۳-۶۳۱

DOI: 10.22059/jci.2022.322842.2544

مقاله پژوهشی:

## تأثیر سیلیکون بر ویژگی‌های کمی و فیزیولوژیک گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) تحت رژیم‌های آبیاری

محمدرضا کیمیایی<sup>۱</sup>، علیرضا سیروس‌مه‌ر<sup>۲\*</sup>، براتعلی فخری<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳. استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸

### چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکون بر ویژگی‌های کمی و فیزیولوژیک گاوزبان، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل (زهک) اجرا شد. تیمارها شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (۹۰، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی سیلیکون به‌فرم سیلیکات سدیم ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) (صفر، ۲، ۴ و ۶ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان پرولین از اثر متقابل رژیم آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بدون کاربرد سیلیکون به‌میزان ۰/۷۸۴۷ میلی‌گرم بر وزن تر به‌دست آمد. براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان کلروفیل a (۱۵/۹۱۹ میلی‌گرم در گرم برگ)، کلروفیل b (۷/۱۴ میلی‌گرم در گرم برگ)، از اثر متقابل رژیم آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۲ میلی‌مولار سیلیکون، هم‌چنین تعداد گل در بوته، عملکرد خشک کل بوته (۵۲۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۱۸۷ کیلوگرم در هکتار)، به‌ترتیب از اثر متقابل رژیم آبیاری ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۶ میلی‌مولار سیلیکون به‌دست آمد. به‌طورکلی، سیلیکون اثرات رژیم‌های آبیاری را کاهش و سبب افزایش مقاومت گاوزبان در برابر کم‌آبی می‌شود. بنابراین استفاده از تیمار ۴ میلی‌مولار سیلیکون جهت دستیابی به حداکثر عملکرد گل تحت شرایط کم‌آبی مناسب به‌نظر می‌رسد.

**کلیدواژه‌ها:** پرولین، عملکرد بیولوژیک، عملکرد گل، کاروتنوئید، کلروفیل.

## The Effect of Silicon on Quantitative and Physiological Characteristics of Borage (*Borago officinalis* L.) under Irrigation Regimes

Mohammad Reza Kimiaei<sup>1</sup>, Ali Reza Sirousmehr<sup>2\*</sup>, Barat Ali Fakheri<sup>3</sup>

1. Former M.Sc. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

3. Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

Received: April 28, 2021

Accepted: November 1, 2021

### Abstract

In order to investigate the effects of irrigation regimes and foliar silicon spraying on quantitative and physiological characteristics of borage (*Borago officinalis*), an experiment is conducted as split plot based on randomized complete block design with three replications during 2014 at the University of Zabol research farm in Zahak. Treatments include irrigation regimes at three levels; (90%, 70%, and 50% FC) comprising the main-treatments and four levels of silicon spraying including spraying in the form of sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) (0, 2, 4, and 6 mM) as sub-treatments. The results indicate that the highest amount of proline is obtained from the interaction of irrigation regime with 50% of field capacity, without the use of silicon at the rate of 0.7847 mg.g<sup>-1</sup>. Based on the results of average comparison, the highest amount of chlorophyll a (15.919 mg/g fresh weight), chlorophyll b (7.14 mg/g fresh weight), from the interaction of irrigation regime 70% of field capacity and application of 2 mM silicon, as well as number of flowers per plant, total dry yield of plant (520 kg.ha<sup>-1</sup>) and biological yield (1187 520 kg.ha<sup>-1</sup>) Per hectare, 70% and 50% of field capacity and application of 6 mM silicon are obtained from the interaction effect of irrigation regime, respectively. Overall, the results suggest that silicon application mitigate drought stress impact and led to increasing drought tolerance of borage. Since flower and flowering branches of plant has economic value and application of 4 mM silicon acid is recommended to obtain the greatest flower yield under drought stress conditions.

**Keywords:** Biological yield, carotenoid, chlorophyll, proline, yield.

## ۱. مقدمه

(آفات، حشرات و عوامل بیماریزا) و غیرزیستی (شوری، خشکی، سرما، گرما، سمیت فلزات و عدم تعادل مواد مغذی از طریق تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان) (Yan *et al.*, 2018)، سبب حفظ غشای سلولی و ماکرومولکول‌های سلول‌ها شده و به صورت غیرمستقیم موجب بهبود رشد گیاه می‌شود (Etesami & Jeong, 2018). سیلیکون با سمیت‌زدایی گونه‌های رادیکال‌های آزاد و بهبود سیستم دفاعی گیاه، باعث کاهش و کنترل آثار منفی ناشی از تنش شوری و در نتیجه بهبود محتوای کلروفیل و افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در گیاه نعنای فلفلی شد (Danaee & Abdossi, 2021). براساس نتایج حاصل از پژوهش Mohammadi Azni *et al.* (2020)، تأثیر سیلیسیم بر تمامی رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و کلروفیل کل در گیاه خرفه، معنی‌دار بود. با توجه به بروز پدیده خشک‌سالی طی سال‌های اخیر و محدودیت منابع آب در کشور و هم‌چنین استفاده روزافزون از گیاهان دارویی، این آزمایش با هدف بررسی کاربرد سیلیکون در کاهش اثرات ناشی از رژیم‌های آبیاری در گیاه گاوزبان به اجرا در آمد.

## ۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل (زهک) با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ اجرا شد. به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت، اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری شد (جدول ۱).

با مشخص شدن عوارض جانبی داروهای شیمیایی، استفاده از گیاهان دارویی طی سال‌های اخیر در حال افزایش است (Hecl & Sustrikova, 2006). گاوزبان، از خانواده بوراژیناسه<sup>۱</sup>، گیاهی دارویی، علفی و یک‌ساله، بومی اروپا، آفریقای شمالی و آسیای صغیر است (Zargari, 2006)، که دارای مقادیر کمی اسانس، صمغ، تانن، موسیلاژ، املاح منگنز و منیزیم، ترکیبات فنلی و نیز مقدار جزئی آلکالوئیدها و مواد معدنی پتاسیم و کلسیم ترکیب شده با اسیدهای معدنی است (Davazdah Emami & Majnon Hosseni, 2008). رایج‌ترین تنش غیرزیستی، تنش کم‌آبی است. که با جلوگیری از فتوسنتز گیاهان و هم‌چنین تغییر در محتوا و اجزای کلروفیل و آسیب به دستگاه فتوسنتز (Nayyar & Gupta, 2006)، باعث کاهش رشدونمو، ریزش گل‌ها و کاهش عملکرد می‌شود (Showemimo & Olarewaju, 2007). با بالا رفتن شدت تنش کم‌آبی، عملکرد گل (Heidari & Minaei, 2014)، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در گاوزبان، کاهش یافتند (Zahedchekovary & Gasemov, 2015). گزارش کردند که اثر تنش کم‌آبی، بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، وزن تر بوته، تعداد گل و وزن خشک در گیاه دارویی آویشن دناپی، معنی‌دار بود. صفات عملکرد و اجزای عملکرد، بیش‌تر تحت‌تأثیر تنش قرار گرفتند و با افزایش شدت تنش، این صفات کاهش یافتند. سیلیکون، یک عنصر فعال زیستی است (Torabi *et al.*, 2013)، که علاوه بر تأثیر مستقیم در بهبود ساختارهای گیاهی و برگ و هم‌چنین فرایندهای متابولیکی و فتوسنتز و در نتیجه افزایش رشدونمو و عملکرد گیاه، به‌دلیل کاهش اثرات مضر ناشی از تنش‌های زیستی

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

بافت خاک	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی (ds.m <sup>-1</sup> )	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	نیترژن (%)	لای (%)	رس (%)	شن (%)	ماده آلی (%)
لومی شنی	۸/۲	۱/۶	۱۰/۴	۱۴۸	۰/۰۷	۲۸	۳۰	۴۲	۰/۶۳

مختلف رژیم‌های آبیاری، از دستگاه TDR<sup>۱</sup> استفاده شد. سه شاخه‌های متحرک این دستگاه در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک، نصب شد. امواج تولیدشده توسط دستگاه از طریق شاخه‌ها در محدوده نیمرخ خاک منتشر و عدد به‌دست‌آمده به‌عنوان رطوبت خاک ثبت و زمان آبیاری براساس زمان رسیدن به هر یک از رژیم‌های آبیاری تعیین (Babae *et al.*, 2010) و از مرحله استقرار کامل گیاه و تنک‌کردن اعمال شد. به این ترتیب که برای تیمارهای ۹۰، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه، به‌ترتیب هفت، نه و ۱۱ روز یک‌بار در شرایط مزرعه‌ای و جغرافیایی منطقه به‌دست آمد و زمان آبیاری به این صورت تنظیم شد. یک دوم کود نیترژن قبل از کاشت و بقیه به‌صورت سرک قبل از گل‌دهی استفاده شد. تیمار محلول‌پاشی سیلیکون شامل چهار سطح صفر، دو، چهار و شش میلی‌مولار در یک لیتر آب، بعد از چهاربرگی شدن گیاهان هنگام عصر بر گیاهان اعمال شدند. برداشت اول برای تعیین عملکرد گل در خردادماه، شامل سرشاخه‌های گل‌دار بود که از یک مترمربع وسط هر کرت بعد از حذف حاشیه انجام و بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و صفات موردنظر اندازه‌گیری شدند. برداشت دوم برای تعیین عملکرد بیولوژیکی در تاریخ بیست و پنجم خردادماه که شامل کل اندام‌های هوایی بود، انجام شد. برای تعیین تعداد برگ و گل در بوته، تعداد پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و سپس شمارش انجام شد. جهت تعیین عملکرد وزن تر کل بوته، گیاهان از یک

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (۹۰، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) به‌عنوان عامل اصلی و سیلیکون به‌فرم سیلیکات سدیم (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) در چهار سطح (صفر، ۲، ۴ و ۶ میلی‌مولار) (Khodabandelo *et al.*, 2014)، به‌عنوان عامل فرعی بودند. بذر موردنیاز از شهرستان اردبیل تهیه شد. عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم، دیسک و تسطیح انجام و سپس کرت‌هایی به ابعاد ۲×۲/۵ ایجاد شد. فاصله بین تکرارها ۱/۵ متر، بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر و بین کرت‌های اصلی یک متر در نظر گرفته شد. کودهای پایه شامل نیترژن به‌مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۵۰ گرم برای هر کرت)، فسفر و پتاسیم هر کدام به‌مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار (۳۵ گرم برای هر کرت) و ۱۰ تن کود دامی پوسیده گاوی (۵ کیلوگرم برای هر کرت) قبل از کاشت و هنگام تسطیح کرت‌ها با خاک مخلوط شدند. فاصله بین ردیف‌های کاشت، ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ یازدهم اسفندماه در عمق یک سانتی‌متری خاک، به‌صورت دستی انجام و بلافاصله آبیاری صورت گرفت. آبیاری‌های بعدی هر هفت روز یک‌بار به‌صورت غرقابی و تا زمانی که بذرها جوانه‌زده و گیاهان سبز شدند، انجام شد. با توجه به رشد بسیار کند و بطئی گیاهان، وجین علف‌های هرز در این مرحله به‌صورت دستی و تنک‌کردن بوته‌ها طی مرحله چهاربرگی انجام شد. جهت اعمال سطوح

#### 1. Time Domain Reflectometry

استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌های a, b، کاروتنوئید و کلروفیل کل، از روش Ranganna (1977) استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC (نسخه ۲/۱) و مقایسه میانگین‌های صفات مورد ارزیابی با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۱.۳. تعداد گل در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر سیلیکون و هم‌چنین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و سیلیکون، در سطح احتمال یک درصد بر تعداد گل در بوته، معنی‌دار شد. بیش‌ترین تعداد گل، در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و با کاربرد سیلیکون به‌میزان شش میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۳). تحت تأثیر تنش خشکی، تعداد گل در گیاه گاوزبان کاهش یافت (Mirzaei et al., 2019). Maleki Farahani & Abdolahi (2014) گزارش دادند که با کاهش مقدار رطوبت قابل استفاده خاک، تعداد گل در بوته در بالنگو کاهش یافت. هم‌چنین مصرف سالیسیلیک‌اسید سبب بهبود رشد و افزایش تعداد گل در گیاه آویشن دنیایی شد (Khaghani et al., 2020).

مترمربع وسط کرت برداشت و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد وزن خشک (سرشاخه‌های گل‌دار و بوته بدون گل)، گل‌ها و گیاهان در مرحله رسیدگی کامل از یک مترمربع وسط کرت‌ها برداشت و به‌صورت جداگانه در اتاق و در سایه روی پارچه توری پهن و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور طبیعی خشک و ۱۰ روز پس از برداشت با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. عملکرد بیولوژیک نیز از مجموع وزن گل‌های خشک‌شده و اندام‌های هوایی گیاهان خشک‌شده به‌دست آمد. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل (SPAD)، با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج اسپد (مدل SPAD-502 Plus، ساخت کارخانه Minolta، کشور ژاپن)، هم‌زمان با مرحله گلدهی در برگ‌های تازه تکامل‌یافته وسط شاخه و بر روی سه برگ میانی انجام شد. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، از دستگاه فلورومتر (مدل Hansatech-V.D.C12، ساخت کشور انگلستان)، بعد از اعمال تنش خشکی استفاده شد. اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول، به‌روش اسپکتوفتومتری انجام شد (Irigoyen et al., 1992). جهت اندازه‌گیری پرولین از روش Bates et al. (1973)

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثرات رژیم آبیاری و سیلیکون بر ویژگی‌های کمی اندازه‌گیری‌شده در گیاه گاوزبان

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد بیولوژیک	عملکرد خشک گل	عملکرد خشک کل بوته بدون گل آذین	تعداد گل در بوته		
۷۱۸۰/۴۴۴ns	۶۰۰۸/۳۳۲ns	۷۵/۴۴۴ns	۱۰۵۶/۳۰۶ns	۲	تکرار
۷۹۲۶۷/۷۷۸*	۵۳۳۵۸/۳۳۳**	۸۲۲۶۵/۴۴۴*	۵۸۹/۴۸۰ns	۲	رژیم آبیاری
۹۲۹۴/۶۱۱	۹۱۶/۶۶۷	۲۱۹۲/۱۱۱	۲۵۸/۹۲۳	۴	خطای اصلی
۲۵۴۳۵۲/۱۱۱**	۲۷۰۲۵**	۱۱۷۴۰۲/۶۶۷**	۴۵۸۷/۰۲۴**	۳	سیلیکون
۹۹۵۱۳/۲۲۲**	۳۱۴۲۵**	۲۳۱۹۴/۳۳۳**	۱۵۰۶/۲۱۱**	۶	رژیم آبیاری × سیلیکون
۴۳۵۵/۰۷۴	۱۲۱۳/۸۸۹	۲۱۶۲/۱۱۱	۳۷۶/۰۸۸	۱۸	خطای فرعی
۶/۹۴	۱۰/۹۲	۷/۳۶	۱۴/۱۲		ضریب تغییرات (%)

ns, \* و \*\* به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۳. اثرات متقابل رژیم آبیاری و سیلیکون بر برخی صفات کمی اندازه‌گیری شده گیاه گاوزبان

رژیم آبیاری (ظرفیت زراعی) (%)	سیلیکون (mM)	تعداد گل (n)	عملکرد خشک کل بوته بدون گل آذین (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد خشک گل (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد بیولوژیک (kg.ha <sup>-1</sup> )
۹۰	صفر (شاهد)	۱۳۱c-e	۶۹۰ab	۳۷۰bc	۱۰۶۰b-d
	۲	۱۵۵/۳a-c	۷۳۳/۳ab	۳۲۰cd	۱۰۵۳b-e
	۴	a-d۱۴۸/۳	۷۰۰ab	۲۴۳/۳ef	۹۴۳/۳ef
۷۰	۶	۱۲۲de	۷۵۳/۳a	۳۳۶/۷b-d	۱۰۹۰a-c
	صفر (شاهد)	ef۱۰۲/۷	۴۰۰d	۲۰۰fg	۶۰۰g
	۲	b-d۱۳۸/۳	۶۷۰b	۲۳۰ef	۹۰۰f
۵۰	۴	a-d۱۵۵	۷۲۶/۷ab	۲۸۰de	۱۰۰۷c-f
	۶	a۱۷۷/۳	۶۹۰ab	۳۰۳/۳d	۹۹۳/۳c-f
	صفر (شاهد)	f۸۷/۹۷	۳۰۳/۳e	۱۶۳/۳g	۴۶۶/۷h
۵۰	۲	c-e۱۲۵/۷	۵۵۸c	۳۹۳/۳b	۹۵۱/۳d-f
	۴	ab۱۶۷/۷	۶۶۶/۷b	۵۲۰a	۱۱۸۷a
	۶	b-d۱۴۳/۳	۶۹۰ab	۴۷۰a	۱۱۶۰ab

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

### ۲.۳. عملکرد خشک کل بوته بدون گل آذین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر رژیم‌های آبیاری، سیلیکون و اثرات متقابل این دو در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد خشک کل بوته بدون گل آذین بود. با افزایش تنش رطوبتی و در شرایط عدم استفاده از سیلیکون در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، کم‌ترین مقدار عملکرد به‌دست آمد. در سایر شرایط و با کاربرد سیلیکون، رشد گیاهان و به‌تبع آن عملکرد بهبود یافت (جدول ۳). Jalilzadeh *et al.* (2018) گزارش دادند محلول‌پاشی سیلیسیم موجب افزایش تعداد و ضخامت برگ‌ها و همچنین وزن‌تر و خشک بوته در گیاه رز<sup>۱</sup> رقم بورلی واتسون شد. Khaghani *et al.* (2020) نیز گزارش کردند که تنش کم‌آبی، باعث کاهش وزن خشک در گیاه آویشن دناپی شد. اما مصرف سالیسیلیک اسید بر وزن تر و خشک، معنی‌دار و سبب بهبود رشد گیاه شد.

### ۳.۳. عملکرد خشک گل

اعمال هر یک از تیمارهای رژیم‌های آبیاری، سیلیکون و برهم‌کنش این دو تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خشک گل در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان عملکرد خشک گل (۵۲۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و با کاربرد سیلیکون به‌میزان چهار میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۱۶۳/۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، بدون کاربرد سیلیکون به‌دست آمد. در مطالعه بررسی تأثیر سیلیکون بر گاوزبان<sup>۲</sup>، اثرات مثبت استفاده از سیلیکون، بر وزن اندام‌های هوایی و هم‌چنین کلروفیل کل مشاهده شد (Torabi *et al.*, 2013). Zare *et al.* (2018) نیز در مطالعه‌ای گزارش دادند که با افزایش غلظت سیلیسیم، وزن‌تر و خشک اندام‌های هوایی در گیاه دارویی سرخار گل<sup>۳</sup> تحت تأثیر تنش شوری بهبود یافتند.

2. *Borago officinalis* L.  
3. *Echinacea purpurea* L.

1. *Rosa hybrida* L.

### ۴.۳. عملکرد بیولوژیک

دو رقم گندم در شرایط تنش آبی آخر فصل شد. هم‌چنین، کاربرد برگی سیلیکون، از طریق کاهش اثرات ناشی از تنش کم‌آبی، موجب مقاومت بیش‌تر گیاه در برابر تنش، بهبود شاخص کلروفیل، افزایش فتوسنتز، عملکرد زیست‌توده و در نتیجه افزایش شاخص برداشت و عملکرد دانه در تریتیکاله شد (Barati & Bijanzadeh, 2021). طی مطالعات انجام‌شده، محلول‌پاشی مواد محافظت‌کننده رشد گیاهی (از جمله سیلیکون) می‌تواند باعث کاهش آثار ناشی از تنش خشکی و بهبود عملکرد برنج شود (Abbasian & Aminpanah, 2021).

براساس نتایج، اثر رژیم‌های آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و اثرات سیلیکون و متقابل رژیم‌های آبیاری و سیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج بررسی کاربرد سیلیکون بر عملکرد بیولوژیک تحت رژیم‌های آبیاری، نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک (۱۱۸۷ کیلوگرم در هکتار)، در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، با کاربرد سیلیکون به‌میزان چهار میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی سبب بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش میزان فتوسنتز، تأثیر بر فعالیتهای آنزیمی و هم‌چنین فرایندهای مربوط به آن، باعث کاهش عملکرد بیولوژیک در گیاه می‌شود (Farokhinia et al., 2011). اثر مفید سیلیکون به تغییرات آناتومیکی را به‌دلیل انباشت سیلیس در دیواره‌های سلولی مرتبط دانسته‌اند (Ma & Takahashi, 2002). که باعث قرارگرفتن بهتر برگ‌ها در برابر نور خورشید و افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Gottardi et al., 2012). Rezabeigi et al. (2020b) گزارش دادند که کاربرد سیلیکون باعث افزایش عملکرد

### ۵.۳. کربوهیدرات محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات رژیم‌های آبیاری و برهم‌کنش تنش خشکی و سیلیکون و هم‌چنین اثر سیلیکون به‌ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد، تأثیر معنی‌داری بر میزان کربوهیدرات داشته است (جدول ۴). تحت شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی گیاهان با سیلیکون سبب افزایش مقدار کربوهیدرات محلول نسبت به شرایط عدم استفاده از سیلیکون شد (جدول ۵).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس آثار رژیم آبیاری و سیلیکون بر ویژگی‌های کیفی اندازه‌گیری شده در گیاه گاوزبان

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییرات
کلروفیل کل	کاروتنوئید	کلروفیل b	کلروفیل a	فلورسانس کلروفیل	شاخص کلروفیل	پرولین	کربوهیدرات محلول		
۳/۱۵۰ns	۰/۰۱۵ns	۰/۵۸۲ns	۴/۹۶۶ns	۰/۰۰۰**	۰/۱۳۸ns	۰/۰۱۴ns	۰/۰۰۹ns	۲	تکرار
۱۴/۴۰۶**	۱/۰۵۵**	۱۶/۲۰۱**	۲۸/۳۶۷*	۰/۳۹۹**	۵۹/۲۷۵**	۰/۰۸۴**	۰/۰۹۹**	۲	رژیم آبیاری
۱/۰۴۸	۰/۰۱۰	۰/۹۷۱	۳/۹۲۰	۰/۰۰۰	۴/۳۳۱	۰/۰۰۳	۰/۰۹۱	۴	خطای اصلی
۱۷/۰۰۱**	۰/۵۷۸**	۱/۱۸۴ns	۶/۵۹۸ns	۰/۰۰۹**	۵۱/۳۶۴**	۰/۱۹۴**	۰/۱۰۶*	۳	سیلیکون
۵/۲۵۲ns	۰/۰۷۲**	۴/۱۶۰**	۲۶/۱۳۱**	۰/۰۰۴**	۱۷/۲۹۳ns	۰/۰۷۳**	۰/۱۰۷**	۶	رژیم آبیاری × سیلیکون
۲/۸۴۶	۰/۰۱۰	۰/۹۴۹	۵/۲۷۵	۰/۰۰۰	۷/۰۳۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲۶	۱۸	خطای فرعی
۱۲/۳۹	۱۲/۲۱	۹/۱۸	۱۹/۵۷	۱/۹۷	۱۴/۱۲	۲۰/۷۳	۵/۰۵		ضریب تغییرات (%)

ns, \*\* و \*: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۵. اثرات متقابل رژیم آبیاری و سیلیکون بر برخی صفات کیفی اندازه‌گیری شده گیاه گاوزبان

کاروتنوئید (mg/g fresh weight)	کلروفیل b (mg/g fresh weight)	کلروفیل a (mg/g fresh weight)	فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm)	پرولین (mm/g fresh weight)	کربوهیدرات محلول (mg/g fresh weight)	سیلیکون (mM)	رژیم آبیاری (ظرفیت زراعی) (%)
۱/۱۷۵b	۶/۴۰۲ab	۱۴/۶۰۴ab	۰/۷۸۲۳a	۰/۱۷۵۳cd	۲/۹۶۸c	صفر (شاهد)	۹۰
۱/۳۹۷b	۶/۰۱۳ab	۱۳/۵۰۹a-c	۰/۷۷۸۷ab	۰/۱۹۷۷cd	۳/۰۷۷bc	۲	
۱/۸۳۳a	۴/۸۸۶bc	۹/۳۸۲de	۰/۷۷۸۷ab	۰/۱۹۶۲cd	۳/۲۲۶bc	۴	
۱/۲۷۰a	۷/۱۹۹a	۱۵/۳۵۶ab	۰/۷۵۹۰b	۰/۱۹۰۷cd	۳/۳۲۳b	۶	۷۰
۰/۷۲۳c	۴/۷۶۳bc	۱۱/۵۷۱b-e	۰/۵۳۳۷e	۰/۵۵۸۰b	۳/۰۷۳bc	صفر (شاهد)	
۱/۳۰۳b	۷/۱۴۵a	۱۵/۹۱۹a	۰/۶۳۴۰d	۰/۲۴۲۰cd	۳/۳۴۵b	۲	
۱/۱۸۳b	۵/۹۷۴ab	۱۰/۵۲۸c-e	۰/۶۴۱۳d	۰/۲۷۱۰c	۳/۷۰۶a	۴	۵۰
۰/۸۲۹c	۴/۲۸۲cd	۹/۳۵۹de	۰/۶۶۴۰c	۰/۲۵۸۳cd	۳/۱۶۶bc	۶	
۰/۵۶۱d	۳/۰۸۲d	۹/۴۶۵de	۰/۳۴۵۷c	۰/۷۸۴۷a	۳/۲۱۶bc	صفر (شاهد)	
۰/۷۳۰cd	۳/۷۰۹cd	۹/۲۳۳e	۰/۴۲۴۷g	۰/۱۵۸۰d	۳/۱۷۸bc	۲	۵۰
۱/۲۹۱b	۴/۹۳۱bc	۱۳/۲۲۲a-d	۰/۴۲۵۳g	۰/۱۶۵۰cd	۳/۱۰۹bc	۴	
۰/۷۵۸cd	۳/۸۱۸cd	۸/۶۵۵e	۰/۴۴۹۳f	۰/۲۴۰۰cd	۳/۲۵۳b	۶	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

رشد اثرات مفیدی داشته و باعث افزایش میزان آن می‌شود. هم‌چنین ذخیره کربوهیدراتی در گیاهان تحت تنش را برای فرایندهای متابولیک و حفظ متابولیسم پایه در حد مناسب نگه داشته و از طریق افزایش کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش، گیاهان را از تخریب اکسیداتیو محافظت کرده و باعث حفظ بقای ساختار غشای پروتئین‌ها خواهد شد (Verma & Dubey, 2001). تحت شرایط تنش شوری، گیاهان تغذیه‌شده با سیلیکون نسبت به گیاهان شاهد، رشد بهتری داشتند. سیلیکون با افزایش قندهای احیایی و میزان آب نسبی در گیاهان تحت تنش، سبب بهبود وضعیت آب گیاهان و با کاهش تنش اکسیداتیو، باعث کاهش اثرات مضر تنش شوری در گیاه آراییدوپسیس تالیانا شده است (Shams et al., 2019).

قندهای محلول در نقش تنظیم‌کننده‌های اسمزی، ثبات‌دهنده غشاهای سلولی و حفظ‌کننده تورژسانس سلول‌ها عمل می‌کنند و در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به شرایط تنش خشکی انباشته می‌شوند، تنظیم اسمزی در آن‌ها بهتر صورت گرفته (Slama et al., 2007) و موجب پایداری غشاهای زیستی، پروتئین‌ها، افزایش فتوسنتز و مقاومت به تنش خشکی می‌شود (Sato et al., 2004). Askarnejad et al. (2019b) گزارش دادند که کاربرد سیلیکون سبب افزایش میزان قندهای محلول و کاهش اثرات ناشی از تنش رطوبتی بر گیاه دارویی استویا<sup>۱</sup> تحت تنش خشکی شد. سیلیکون بر متابولیسم قندها و هم‌چنین پخش مواد فتوسنتزی در گیاهان در حال

1. *Stevia rebaudiana* Bertoni

احتمال یک درصد، معنی دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین-ها نشان داد که با بالا رفتن میزان تنش از تیمار ۹۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، از میزان کلروفیل کاسته شد (جدول ۶). بیشترین مقدار کلروفیل (۳۹/۳۹) از تیمار سیلیکون به میزان شش میلی مولار به دست آمد (جدول ۷). براساس پژوهش انجام شده توسط Hamidi Moghaddam et al. (2021) روی گلرنگ، شاخص کلروفیل در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و در شرایط تنش شدید، از میزان کلروفیل کاسته شد. کاهش میزان کلروفیل تحت تنش کم آبی، می تواند به دلیل فتواکسیداسیون کلروفیل توسط گونه های اکسیژن فعال، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، انتقال دوباره نیتروژن از برگ به دانه و همچنین تغییر فعالیت آنزیم های موجود در متابولیسم نیتروژن باشد (Jiang & Huang, 2001). استفاده از سیلیکون، فعالیت برخی آنزیم های ضد اکسنده، میزان رنگدانه های فتوسنتزی، همچنین اسیدهای چرب اشباع نشده لیپیدها و پروتئین های محلول تحت تنش خشکی را افزایش می دهد (Gong et al., 2005). کاربرد سیلیسیم بر شاخص کلروفیل برگ گیاه استویا، معنی دار بود. نتایج نشان داد سطوح مختلف سیلیسیم سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ نسبت به تیمار شاهد شد (Malmir et al., 2020).

#### جدول ۶. مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری بر برخی صفات

##### اندازه گیری شده گیاه گاوزبان

کلروفیل کل (mg/g fresh weight)	شاخص کلروفیل (SPAD)	رژیم آبیاری (ظرفیت زراعی) (%)
۱۳/۱۴۸b	۳۹/۰۹a	۹۰
۱۴/۸۶۲a	۳۷/۹۰a	۷۰
۱۲/۸۲۲b	۳۴/۷۹b	۵۰

حروف مشابه در هر ردیف بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال مربوطه در جدول تجزیه واریانس است.

همچنین در بررسی تأثیر سیلیکون بر گیاه سورگوم، مشاهده شد که با کاربرد سیلیکون در شرایط تنش، محتوای کربوهیدرات ها افزایش یافت (Yin et al., 2013).

#### ۶.۳. پرولین

اعمال تیمارهای رژیم آبیاری، سیلیکون و هم چنین اثرات متقابل این دو بر میزان پرولین، اثر معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشته است (جدول ۴). افزایش تنش کم آبی در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، سبب افزایش تجمع معنی دار پرولین نسبت به سایر تیمارها شد. در این تیمار، در شرایط عدم استفاده از سیلیکون، بیشترین و با کاربرد سیلیکون به میزان دو میلی مولار، کمترین میزان پرولین مشاهده شد (جدول ۵). افزایش میزان پرولین با افزایش شدت تنش خشکی، در گاوزبان ایرانی (Bagheri et al., 2020)، نعنای فلفلی (Saedi et al., 2020)، رزماری (Shamsai et al., 2021)، ریحان (Askarnejad et al., 2019a) و بادرشبو (Esmailpour et al., 2020)، توسط پژوهشگران گزارش شده است. پرولین تأثیرات مثبتی بر ساختمان آنزیم ها و ساختار غشای سلولی دارد. هم چنین تحت شرایط تنش، در ایجاد تعادل اسمزی در گیاهان رشد یافته نقش داشته و به مقدار زیادی در پاسخ به تنش های محیطی تجمع می یابد (Ashraf & Foolad, 2007) و سبب تنظیم فشار اسمزی، کاهش خارج شدن آب از سلول و حفظ آماس سلولی می شود (Kafi et al., 2012). (Bagheri et al., 2020) گزارش دادند که سیلیکون سبب کاهش محتوای پرولین اندام های هوایی در شرایط تنش خشکی در گیاه گاوزبان ایرانی شد.

#### ۷.۳. شاخص کلروفیل

اثر رژیم های آبیاری و سیلیکون بر میزان کلروفیل در سطح



جدول ۷. مقایسه میانگین اثر سیلیکون بر برخی صفات

اندازه‌گیری شده گیاه گاوزبان

سیلیکون (mM)	شاخص کلروفیل (SPAD)	کلروفیل کل (mg/g fresh weight)
صفر (شاهد)	۳۵/۵b	۱۱/۷۵۵b
۲	۳۴/۹۱b	۱۴/۸۱۳a
۴	۳۹/۲۵a	۱۴/۴۶۹a
۶	۳۹/۳۹a	۱۳/۴۰۸a-b

حروف مشابه در هر ردیف بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال مربوطه در جدول تجزیه واریانس است.

که بیانگر تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیکون بر حداکثر عملکرد فتوسنتز II در گیاه دارویی کلمو بود.

۹.۳. رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و کلروفیل کل)

اثر رژیم‌های آبیاری و برهم‌کنش رژیم‌های آبیاری و سیلیکون بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار کلروفیل a (۱۵/۹۱۹ میلی‌گرم در گرم برگ) در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد سیلیکون به میزان ۲ میلی‌مولار به-دست آمد (جدول ۵). Taheri (2014) گزارش داد که افزایش شدت تنش کم‌آبی، موجب کاهش میزان کلروفیل a در گیاه زنیان شد. هم‌چنین طی مطالعات انجام‌شده، با افزایش شدت تنش خشکی، از میزان کلروفیل a، در نعنای فلفلی (Saedi et al., 2020)، گاوزبان ایرانی (Bagheri et al., 2020) و رزماری (Shamsai et al., 2021) کاسته شد. تیمار ریحان با سیلیکون، میزان خسارت حاصل از تنش خشکی را کاهش داده و سبب افزایش میزان کلروفیل a شد (Askarnejad et al., 2019a). Bagheri et al. (2020) نیز اثر مثبت سیلیکون در بهبود میزان کلروفیل a، در گیاه گاوزبان ایرانی تحت تنش کم‌آبی را گزارش دادند.

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات رژیم‌های آبیاری و برهم‌کنش رژیم‌های آبیاری و سیلیکون در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل b، معنی‌دار بود (جدول ۴). تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد سیلیکون به میزان شش میلی‌مولار، بیش‌ترین مقدار کلروفیل b (۷/۱۹ میلی‌گرم در گرم برگ) را به خود اختصاص داد (جدول ۵). طی پژوهش‌های انجام‌شده توسط Bagheri et al. (2020) بر روی گاوزبان ایرانی، Saedi et al. (2020) بر گیاه ریحان و Shamsai et al. (2021) بر گیاه رزماری، از

۸.۳. فلورسانس کلروفیل

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات رژیم‌های آبیاری، سیلیکون و هم‌چنین اثرات متقابل این دو بر فلورسانس کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی از میزان فلورسانس کلروفیل کاسته شد. هم‌چنین بیش‌ترین (۰/۷۸۲۳) و کم‌ترین (۰/۳۴۵۷) مقدار فلورسانس کلروفیل به‌ترتیب در تیمار ۹۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون کاربرد سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۵). فلورسانس کلروفیل از جمله تکنیک‌هایی است که برای ارزیابی عملکرد گیاهان در مقابل تنش‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد (Percival & Sheriffs, 2002). که تابعی از میزان فعالیت فتوسنتزی برگ است که می‌تواند در تشخیص مدت تنش‌های محیطی مورداستفاده قرار گیرد (Lichtenthaler & Babani, 2000). Mehraban Joubani et al. (2019) گزارش کردند که میزان فلورسانس کلروفیل، با کاربرد سیلیکون در شرایط آهن زیاد در محیط رشد برنج، افزایش یافت. هم‌چنین Fani & Hajhashemi (2020) نیز گزارش دادند که حداکثر عملکرد فتوسنتز II در شرایط محلول‌پاشی در مقایسه با تیمار شاهد، بیش‌تر بود.

میزان کلروفیل b، تحت شرایط تنش خشکی کاسته شد. استفاده از سیلیکون در گاوزبان ایرانی (Bagheri et al., 2020) و ریحان (Askarnejad et al., 2019a)، سبب افزایش میزان کلروفیل b شد. Barati et al. (2016) نیز بیان کردند که کاربرد سیلیکون باعث کاهش آثار ناشی از تنش کم آبی و افزایش میزان کاروتنوئید، کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاه خرفه<sup>۱</sup> شد.

طبق جدول تجزیه واریانس، اثرات رژیم های آبیاری، سیلیکون و هم چنین اثرات متقابل این دو بر محتوای کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). بیشترین مقدار کاروتنوئید با مقدار ۷/۱۹۹ مربوط به تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد سیلیکون به میزان چهار میلی مولار و کمترین آن (۳/۰۸۲) مربوط به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون کاربرد سیلیکون بود (جدول ۵). تنش خشکی، میزان رنگیزه های فتوستتزی و کاروتنوئیدها را به طور معنی داری در گیاه گاوزبان ایرانی کاهش داد. براساس نتایج به دست آمده، سیلیکون سبب افزایش محتوای رنگیزه های فتوستتزی شد (Bagheri et al., 2020). سیلیکون از طریق فرایند مقاوم سازی، سبب کاهش آثار مخرب ناشی از تنش بر میزان کاروتنوئیدها شده و هم چنین به عنوان گیرنده نوری و حفاظت کننده فتوسیستم، عمل می کند (Koyro, 2006). Setayeshmehr & Ganjali (2014) نیز گزارش کردند که با افزایش شدت تنش کم آبی از میزان کاروتنوئیدها در شوید، کاسته شد. اما کاربرد سیلیکون موجب محافظت از ساختارهای برگ و مانع از کاهش کاروتنوئیدها شد.

نتایج نشان داد اثر رژیم های آبیاری و سیلیکون بر میزان کلروفیل کل به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). طبق جدول (۶)، بیشترین مقدار کلروفیل کل مربوط به تیمار ۷۰ درصد

ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. هم چنین مطابق جدول (۷)، بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار سیلیکون به میزان دو میلی مولار و کمترین آن در تیمار شاهد (بدون استفاده از سیلیکون) به دست آمد. کلروفیل کل در ریحان (Askarnejad et al., 2019a) و رزماری (Shamsai et al., 2021)، تحت تنش خشکی کاهش یافت. کاربرد یک میلی مولار سیلیسیم ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )، سبب افزایش مقدار کلروفیل کل در ریحان شد (Askarnejad et al., 2019a). تحت تأثیر تنش کم آبی پایان فصل، محلول پاشی سیلیکون باعث افزایش کلروفیل کل در دو رقم گندم چمران و شبرنگ شد (Rezabeigi & Bijanzadeh, 2020a). Ahmadi et al. (2020) نیز گزارش دادند که تحت تنش شوری، رشد اندام های هوایی بادرنجبویه به طور معنی داری تحت تأثیر سیلیسیک اسید ( $\text{Si(OH)}_4$ ) قرار گرفت. هم چنین گیاهان تغذیه شده با تیمار سیلیسیم نسبت به گیاهان شاهد، دارای محتوای کلروفیل بیش تری بودند.

#### ۴. نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد رژیم های آبیاری تأثیر معنی داری بر میزان پرولین، کربوهیدرات محلول، شاخص کلروفیل، فلورسانس کلروفیل، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و کلروفیل کل برگ داشت. کاربرد سیلیکون اثرات نامطلوب ناشی از تنش کم آبی را کاهش داده و با افزایش شاخص های رشد و رنگیزه های فتوستتزی، سبب بهبود رشد، افزایش مقاومت و بقای بهتر گیاه گاوزبان تحت شرایط کم آبی شده است. بیشترین تعداد گل، عملکرد تر و خشک گل در بوته با و بدون گل آذین، عملکرد بیولوژیک، کربوهیدرات محلول، کلروفیل های a و b، به کاربرد سیلیکون به میزان چهار و شش میلی مولار اختصاص یافت. بر این اساس و با توجه به شرایط

1. *Portulaca oleracea* L.

- A. M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 239-251. (In Persian).
- Bagheri, N., Enteshari, Sh., & Razavizadeh, R. (2020). Effect of silicon on some of morphological, physiological parameters and the expression of betaine aldehyde dehydrogenase and proline 5-carboxylate synthase genes in Iranian *Borago* medicinal plant under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 12(1), 85-106. (In Persian).
- Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2021). Grain yield and its components of triticale as affected by silicon foliar application, nitrogen fertilizer and water stress in reproductive phase. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18(4), 435-449. (In Persian).
- Barati, M., Sirous Mehr, A., Khatami, S. S., Mousavi, S. R., & Najafi, F. (2016). Effects of foliar application of nano-silicon on some physiological parameters and yield of purslane (*Portulaca oleracea*) under water deficiency stress. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*, 3(1), 105-118. (In Persian).
- Bates, L. S., Waldern, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Danaee, E., & Abdossi, V. (2021). Effects of silicon and nano-silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(1), 98-112. (In Persian).
- Davazdah Emami, S., & Majnon Hosseini, N. (2008). *Farming and the production of some herbs and medicines*. University of Tehran Press, Tehran, Iran. 300p. (In Persian).
- Esmailpour, B., Shiekhalipour, M., & Torabi Giglo, M. (2020). Effects of zinc nanoparticles on growth, some physiological characteristics, and essential oil yield of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(5), 867-884. (In Persian).
- Etesami, H., & Jeong, B. R. (2018). Silicon (Si): review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 881-896.
- Fani, E., & Hajihashemi, Sh. (2020). Effect of foliar application of silica on some physiological traits of (*Physorrhynchus Chamaerapistrumare* L.) medicinal plant. *Bi-Quarterly Journal of Plant Production*, 10(1), 92-101. (In Persian).
- خشک‌سالی و کمبود منابع آب، محلول‌پاشی چهار میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش شدید رطوبتی، جهت دستیابی به حداکثر عملکرد گل در گیاه گاوزبان مناسب به نظر می‌رسد.
- ### ۵. تشکر و قدردانی
- از کارکنان محترم بخش گیاهان دارویی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل، که در انجام این پژوهش همکاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد. بخشی از هزینه اجرای این آزمایش از محل اعتبار پژوهانه-UOZ GR-9718-38 دانشگاه زابل تأمین شده است.
- ### ۶. تعارض منافع
- هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.
- ### ۷. منابع
- Abbasian, A., & Aminpanah, H. (2021). Effect of foliar application of phytoprotectants on yield of rice (*Oryza sativa* Cv. Shiroudi) under drought stress. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(1), 69-81. (In Persian).
- Ahmadi, Sh., Nazarideljou, M. J., & Hasani, A. (2020). Morphophysiological characteristics, quantity and quality of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) essential oil under the influence of silicic acid in soilless cultivation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(5), 734-747. (In Persian).
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216.
- Askarnejad, M., Sodaeizadeh, H., Mosleh Arani, A., & Yazdani Biouki, R. (2019a). Effect of silicon on some characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*) under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 20(1), 21-30. (In Persian).
- Askarnejad, M., Sodaeizadeh, H., Mosleh Arani, A., Yazdani Biouki, R., & Mavandi, P. (2019b). Effect of silicon in improving drought tolerance of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under moisture stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3), 847-863. (In Persian).
- Babae, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.

- Farokhinia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B., & Sasandoost, R. (2011). Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(3), 545-553. (In Persian).
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., & Zhang, Ch. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169(2), 313-321.
- Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Romheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, L., & Cesco, S. (2012). Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* (L.) Laterr) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56: 14-23.
- Hamidi Moghaddam, R., Sirousmehr, A. R., & Ghanbari, A. (2021). Effect of sodium selenate, titanium dioxide and organic growth regulator on some physiological traits, yield and percentage oil of safflower under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 12(4), 1-18. (In Persian).
- Hecl, J., & Sustrikova, A. (2006). Determination of heavy metals in chamomile flower drug-an assurance of quality control. *Program and Abstract book of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Chamomile Research*, Development and Production, presov University, 7-10 Jun: 69pp.
- Heidari, M., & Minaei, A. (2014). Effects of drought stress and humic acid application on quantitative yield and content of macro-elements in medical plant borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Plant Production Research*, 21(1), 167-182. (In Persian).
- Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sanchez Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60.
- Jalilzadeh, E., Jabbarzadeh, Z., & Norouzi, P. (2018). Effect of foliar spray of different sources and concentrations of silicon on some morphological and physiological characteristics of Rose cv. Beverly Watson. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 9(3), 65-78. (In Persian).
- Jiang, Y., & Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41(2), 436-442.
- Kafi, M., Borzouei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., & Nabati, J. (2012). *Physiology of environmental stress in plants*. Mashhad, University Jihad Publications of Mashhad University, 504p. (In Persian).
- Khaghani, S., Azarnivand, H., Jafari, M., Mollafilabi, A., & Tavili, A. (2020). Evaluation of different levels of zeolite and salicylic acid on some growth indices of medicinal plant (*Thymus Daenensis*) under drought stress conditions. *Journal of Range and Watershed Management*, 73(1), 49-63. (In Persian).
- Khodabandelo, Sh., Sepehri, A., Ahmadvand, G., & Keshtkar, A. H. (2014). The effect of silicon application on grain yield of millet and water use efficiency under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 16(2), 399-416. (In Persian).
- Koyro, H. W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*, 56(2), 136-146.
- Lichtenthaler, H. K., & Babani, F. (2000). Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38(11), 889-895.
- Ma, J. F., & Takahashi, E. (2002). *Soil, fertilizer, and plant silicon research in japan*. Elsevier Science, Amsterdam, 294p.
- Maleki Farahani, S., & Abdolahi, M. (2014). Effect of deficit irrigation on yield and yield components of two different species of balangu (*Lallemantia royleana* & *iberica*) from mashhad and urmia. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(3), 502-515. (In Persian).
- Malmir, R., Motesharezadeh, B., Tabrizi, L., & Bekhradi, F. (2020). Effect of silicon sources and nano silicon on some morphophysiological response of stevia rebaudiana bertonii. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(20), 281-295. (In Persian).
- Mehraban Joubani, P., Barzegar, A., Barzegar Golchini, B., Ramezani Sayyad, A., & Abdolzadeh, A. (2019). Comparison of effects of iron excess and application of silicon on fluorescence of chlorophyll in shoot and developmental changes in root of rice seedlings. *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(3), 17-32. (In Persian).
- Mirzaei, M. M., Ghorbani, S., Rozbahani, A., & Ghaderi, A. (2019). The effect of drought stress, chemical fertilizer and biofertilizer on yield and essence content of borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(36), 67-77. (In Persian).
- Mohammadi Azni, M., Moradi, H., Ghasemi, K., & Biparva, P. (2020). Effect of silicon and methyl jasmonate on some morphological traits and photosynthetic parameters in common purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(1), 175-186. (In Persian).

- Nayyar, H., & Gupta, D. (2006). Differential sensitivity of  $c_3$  and  $c_4$  plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 106-113.
- Percival, G. C., & Sheriffs, C. N. (2002). Identification of drought-tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence. *Journal of Arboriculture*, 28(5), 215-223.
- Ranganna, S. (1977). *Manual for analysis of fruit and vegetable products*. New Delhi: Tata McGraw Hill Co, 73-76pp.
- Rezabeigi, S., & Bijanzadeh, E. (2020a). Response of biochemical traits and relative water content of two bread and durum wheat cultivars to silicon spraying under water stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 22(1), 73-87. (In Persian).
- Rezabeigi, S., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2020b). Effect of silicone spraying on assimilate remobilization and yield of two bread and durum wheat under late season water stress. *Journal of Plant Production Research*, 27(3), 55-71. (In Persian).
- Saedi, F., Sirousmehr, A. R., & Javadi, T. (2020). Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(1), 35-45. (In Persian).
- Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Uragami, A., & Tokuda, S. (2004). Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. *Scientia Horticulturae*, 101(4), 349-357.
- Setayeshmehr, Z., & Ganjali, A. (2014). Effects drought stress on growth and physiological characteristics of dill. *Journal of Horticultural Science*, 27(1), 27-35. (In Persian).
- Shams, H., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R., Mehraban Joubani, P., & Bagherieh Najar, M. B. (2019). Effects of silicon nutrition on the alleviation of salinity induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(1), 133-143. (In Persian).
- Shamsai, A. A., Aran, M., & Fakheri, B. A. (2021). The effect of foliar application of selenium on physiological and biochemical characteristics of rosemary under drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2), 127-140. (In Persian).
- Showemimo, F. A., & Olarewaju, J. D. (2007). Drought tolerance indices in sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 1, 29-33.
- Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savoure, A., & Abdelly, C. (2007). Comparative study of the effects of mannitol and peg osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. *Environmental and Experimental Botany*, 61(1), 10-17.
- Taheri, F. (2014). *Effect of foliar application of chitosan on quantitative and qualitative characteristics on ajowan drought stress conditions*. M.Sc., Thesis, Field of Medicinal Plants, Zabol University. (In Persian).
- Torabi, F., Majd, A., Enteshari, Sh., & Ayriyan, S. (2013). Study of effect of silicon on some anatomical and physiological characteristics of borage (*Borago officinalis* L.) in hydroponic conditions. *Journal of Cell & Tissue*, 4(3), 275-285. (In Persian).
- Verma, S., & Dubey, R. S. (2001). Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. *Biologia Plantarum*, 44(1), 117-123.
- Yan, G. C., Nikolic, M., Ye, M. J., Xiao, Z. X., & Liang, Y. C. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2138-2150.
- Yin, L., Wang, S., Li, J., Tanaka, K., & Oka, M. (2013). Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of Sorghum bicolor. *Acta Physiology Plant*, 35, 3099-3107.
- Zahedchekovary, S., & Gasemov, N. (2015). Study of some microelements, proline and protein of *Borago officinalis* L. under drought stress. *Journal of Crop Biotechnology*, 11(4), 65-75. (In Persian).
- 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. (In Persian).
- Zargari, A. (2006). *Medicinal Plants*. University of Tehran Press, Tehran, Iran. 951p. (In Persian).