

بررسی تأثیر سطوح سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد اولیه اسپرس (*Onobrychis sativa* L.) تحت تنش اسمزی

هادی زارع خورمیزی^{۱*}، حمید سودایی‌زاده^۲ و محمد رفیعی‌الحسینی^۳

چکیده

بررسی اندکی در مورد اثرات سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهان تحت تنش خشکی در دسترس است. این مطالعه به منظور بررسی اثر سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد اولیه اسپرس (*Onobrychis sativa* L.) تحت سطوح مختلف تنش اسمزی انجام شد. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در آزمایشگاه گیاه‌شناسی دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۴ انجام گرفت. عامل اول سیلیکون با سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و عامل دوم تنش اسمزی با استفاده از PEG-6000 در سه سطح (صفر، -۴ و -۸ بار) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح تنش اسمزی درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین وزن خشک آن‌ها به طور معنی‌دار ($p < 0/05$) کم شدند. کاربرد سیلیکون باعث کاهش اثرات منفی ناشی از تنش اسمزی شد. مصرف سیلیکون با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار توانست سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین وزن خشک آن‌ها را به طور معنی‌دار ($p < 0/05$) بهبود دهد. بالاترین اثر مطلوب کاربرد سیلیکون در افزایش مقاومت به تنش اسمزی در فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان است.

واژه‌های کلیدی: اسپرس، پلی‌اتیلن گلاکول، تنش اسمزی، جوانه‌زنی، سیلیکات سدیم.

ارجاع: زارع خورمیزی ه.، سودایی‌زاده ح. و رفیعی‌الحسینی م. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر سطوح سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد اولیه اسپرس (*Onobrychis sativa* L.) تحت تنش اسمزی. نشریه گیاه زراعی و تنش‌های محیطی. ۱(۱): ۶۳-۷۱.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مرتعداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

۲- دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: hadi.zarekh@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۱

مقدمه

از مهم‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه‌خشک، خشکی و کمبود آب است، که بر رشد و نمو گیاهان اثر دارد. با توجه به اینکه بخش زیادی از مراتع ایران در این مناطق قرار دارند، بحث خشکی و خشکسالی حاصل از آن در گیاهان این مناطق مهم است (اخوان امکی و همکاران، ۱۳۹۰). کمبود آب مورد نیاز گیاه و همچنین کیفیت نامطلوب آن تحت عنوان تنش خشکی از جمله تنش‌های مهم گیاهان مرتعی و زراعی است که از رشد مطلوب گیاه جلوگیری می‌کند. با توجه به اینکه در بسیاری از گیاهان جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه از حساس‌ترین مراحل نسبت به تنش خشکی محسوب می‌شود (هوبارد و همکاران، ۲۰۱۲)، به کارگیری روش‌هایی که سبب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی شود مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. یکی از راه‌کارهای کاهش اثرات مضر تنش خشکی، استفاده از روش‌های صحیح تغذیه معدنی گیاهان است که نقش زیادی در افزایش عملکرد گیاهان دارند. سیلیکون بعد از اکسیژن دومین عنصر فراوان در کره زمین است (گوتاردی و همکاران، ۲۰۱۲). با وجود زیاد بودن این ماده در سطح زمین، به دلیل همراه بودن آن با سایر عناصر از دسترس گیاه خارج بوده و گیاهان فقط قادر به استفاده از فرم سالیسیلیک اسید ($\text{Si}(\text{OH})_4$) این عنصر هستند (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۳). بررسی‌های انجام شده بیانگر آن است که سیلیکون در کاهش تنش‌های غیرزیستی شامل تنش‌های شیمیایی (نمک، سمیت فلزات سمی، عدم تعادل غذایی) و تنش‌های فیزیکی (خشکی، دمای بالا، یخبندان، اشعه ماورا بنفش، رادیو اکتیو) مؤثر است (شی و همکاران، ۲۰۱۴). ساز و کار اثر سیلیکون در تحمل به خشکی هنوز به طور کامل شناخته شده نیست. مطالعات اثر سیلیکون در کاهش از دست دادن آب از طریق تعرق (آگاری و همکاران، ۱۹۹۸)، افزایش جذب آب از طریق ریشه (هاتوری و همکاران، ۲۰۰۵) و دخالت در متابولیسم گیاهان (گونگ و همکاران، ۲۰۰۵ و گونس و همکاران، ۲۰۰۸) و نقش ضد اکسیداسیونی و کاهش میزان انواع مقدار اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species) در سلول‌های گیاهی با این ماده (ایستین، ۱۹۹۴) را از عوامل مهم افزایش تحمل به خشکی گیاهان دانستند.

پژوهش‌های مختلفی، تأثیر کاربرد سیلیکون را روی گیاهان بررسی کردند. در بررسی اثر سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه یونجه نشان داده شد که سیلیکون در بهبود سرعت جوانه‌زنی نهایی و طول ریشه نقشی نداشته اما سبب افزایش بنیه بذر و شاخص جوانه‌زنی و انرژی جوانه‌زنی و طول ساقه شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین در پژوهشی دیگر نشان داده شد که افزایش دسترسی یونجه (*Medicago sativa* L.) به سیلیکون سبب افزایش رشد ریشه و اندام هوایی شده است (گو و همکاران، ۲۰۰۶). کاربرد سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد ماش (*Vicia faba* L.) نیز نشان داد که سیلیکون افزایش معنی‌دار بر درصد و سرعت جوانه‌زنی نداشته است اما طول محور زیر لپه و میزان گل تحت تیمار سیلیکون بهبود یافته است (روحی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵). در بررسی‌ای دیگر جوانه‌زنی و استقرار گیاه گاو زبان (*Borago officinalis* L.) تحت تیمار سیلیکون بررسی شد، نتایج نشان داد کاربرد سیلیکون اثر زیادی بر سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و رشد گیاهچه داشته و سبب افزایش درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک کل گیاهچه گردیده است (ترابی و همکاران، ۲۰۱۲). پرایمینگ بذور گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش اسمزی با استفاده از سیلیکون نیز نشان داد که کاربرد سیلیکون باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه شده است (حامد و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهشی دیگر اثر سیلیکون روی جوانه‌زنی و مکانسیم تحمل به خشکی در چهار رقم گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) بررسی شد. نتایج نشان داد سیلیکون جوانه‌زنی بذر گیاه مورد بررسی را تحت تنش اسمزی افزایش داده و با کاهش استرس اکسیداتیو نهال گوجه‌فرنگی با افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی، در بهبود رشد گیاهچه مؤثر بوده است (شی و همکاران، ۲۰۱۴). کاربرد سیلیکون روی سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) تحت تنش اسمزی نشان داد که تنش اسمزی به طور چشم‌گیری سبب کاهش پارامترهای رشد گیاه شد، در حالیکه کاربرد سیلیکون باعث کاهش اثرات منفی ناشی از تنش اسمزی شد (بین و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین مصرف این ماده بر فعالیت آنزیم‌های اکسید کننده در دو ژنوتیپ گندم نان تحت تنش خشکی نیز نشان داد که سیلیکون به دلیل افزایش در فعالیت

سانتی‌گراد قرار داده شدند. شمارش بذره‌های جوانه‌زده به صورت روزانه انجام شد. در انتهای دوره آزمایش، صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT)، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و بنیه بذر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر به ترتیب از روابط (۱) تا (۴) استفاده شد (ترابی و همکاران، ۲۰۱۲ و ایس و روبرت، ۱۹۸۱).

$$GP = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$GR = \sum \frac{Ni}{Ti} \quad (2)$$

$$MGT = \sum \frac{Ti \times Ni}{n} \quad (3)$$

$$VI = \frac{SL \times GP}{100} \quad (4)$$

که در این روابط n تعداد بذر جوانه زده در روز آخر شمارش، N تعداد کل بذرها، Ni تعداد بذر جوانه زده در هر روز و Ti تعداد روز تا شمار i ام، GP درصد جوانه‌زنی و SL طول گیاهچه (cm) است.

پس از گذشت ده روز، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بذور جوانه زده استفاده از خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری طول، ریشه‌چه و ساقه‌چه در آن در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و سپس وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، بعد از اطمینان از نرمال بودن آن‌ها از روش تجزیه واریانس دو طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. تجزیه آماری داده‌ها در نرم‌افزار SPSS 20 و رسم نمودارها در نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان دهنده تأثیر معنی‌دار تنش اسمزی در سطح یک درصد بر تمام فاکتورهای مورد بررسی است. اثر سیلیکون بر شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی در سطح یک درصد و بر شاخص بنیه بذر و وزن خشک ساقه‌چه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات تأثیر معنی‌داری نداشت. نتایج همچنین بیانگر آن است که

آنزیم‌های ضد اکسند، سبب کاهش خسارات اکسیداتیو شده است (طالع احمد و حداد، ۱۳۸۹).

اسپرس (*Onobrychis Sativa* L.) از جمله بقولات علوفه‌ای است که از نظر تولید علوفه مناسب و با کیفیت در میان گیاهان مرتعی و زراعی کشور مورد توجه است و سازگاری وسیعی با بیشتر مناطق کشور دارد. اسپرس گیاهی مقاوم به خشکی و شوری، پر محصول و مناسب اکوسیستم‌های خشک (سورس و همکاران، ۲۰۰۰) و ارزش غذایی آن بالاتر از یونجه (حشمتی و همکاران، ۱۳۸۵) است. همچنین این گیاه در اثر چرای مستقیم دام ایجاد نفخ نمی‌کند که این یک مزیت عمده در مقایسه با سایر گیاهان علوفه‌ای از جمله یونجه است (حسنی، ۱۳۸۳).

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر مصرف سیلیکون بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه اسپرس (*Onobrychis sativa*) تحت تنش اسمزی و بررسی اثر سیلیکون در افزایش تحمل به تنش اسمزی در مراحل اولیه رشد است. نتایج این پژوهش می‌تواند در بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه اسپرس تحت تنش خشکی استفاده شود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر سیلیکون بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه اسپرس تحت تنش اسمزی آزمایشی به صورت فاکتوریل در طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه گیاه‌شناسی دانشگاه یزد اجرا شد. فاکتور اول تنش اسمزی در سه سطح (صفر، ۴-، ۸- بار) و عامل دوم سیلیکون (به صورت سیلیکات سدیم) با سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) انتخاب شد. برای اعمال تنش اسمزی از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر اساس دستورالعمل میچل و کافمن (۱۹۷۳) استفاده شد. برای انجام آزمایش، ابتدا بذر گونه مورد بررسی به مدت ۲ دقیقه در آب ژاول ۵ درصد ضدعفونی و با آب مقطر شست‌وشو داده شد. تعداد بیست عدد بذر در هر پتری‌دیش دارای کاغذ صافی قرار داده شد و به هر کدام ۷ میلی‌لیتر از محلول‌های تهیه شده بر اساس نقشه طرح اضافه شد. همچنین برای جلوگیری از تبخیر محلول در طول دوره آزمایش، درب پتری‌دیش‌ها با نوار چسب بسته شد. سپس پتری‌دیش‌ها به مدت ده روز در دستگاه ژرمیناتور با تناوب نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در دمای 25 ± 1 درجه

خشک آن در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و بر متوسط زمان جوانه‌زنی تأثیر معنی‌دار نداشت.

برهم‌کنش تنش اسمزی و سیلیکون بر فاکتورهای سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و وزن خشک آن در سطح یک درصد و بر درصد جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و وزن

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی اسپرس در سطوح مختلف تنش اسمزی و سیلیکون

میانگین مربعات								df	منابع تغییر
وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	بنیه بذر	MGT	جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی		
۲۳۳۵**	۲۴۲۱۰**	۲۷/۳**	۳۱/۳**	۶۸/۸**	۱۳/۵**	۱۸۲/۲**	۴۷۲۱/۵**	۲	تنش اسمزی
۶/۹۵ ^{ns}	۱۲۲/۹۰*	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۳۷*	۰/۸۲**	۱۲/۰۱**	۷۷/۷۷ ^{ns}	۲	سیلیکون
۲۵/۱۲**	۶۳/۰۸*	۰/۵۵**	۰/۱۳*	۰/۲۶*	۰/۰۳ ^{ns}	۱/۰۵**	۱۱۱/۱۱*	۴	تنش اسمزی × سیلیکون
۵/۵۵	۲۴/۶۶	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۲۳	۲۸/۹۳	۲۷	خطا
۱۳/۰۶	۱۱/۹۷	۱۰/۷۹	۱۲/۰۵	۹/۸۵	۶/۹۰	۷/۰۱	۸/۲۹		ضریب تغییرات

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

معنی‌دار این صفت شد (شکل ۱- ج). همچنین هر دو سطح تنش اسمزی منجر به کاهش معنی‌دار بنیه بذر اسپرس نسبت به شاهد شد. مصرف سیلیکون فقط در پتانسیل ۴- بار مؤثر بود به طوری که کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار این ماده منجر به افزایش ۲۸ درصدی بنیه بذر گیاه مورد بررسی شد (شکل ۱- د).

در مطالعات اثر تنش اسمزی روی چهار گونه از جنس آگروپیرون (اخوان ارمکی و همکاران، ۱۳۹۲)، سه گونه از جنس بروموس (اخوان ارمکی و همکاران، ۱۳۹۰)، ارقام شبدر زیرزمینی (قادری فر و همکاران، ۱۳۸۹)، درمنه دشتی (باقری و همکاران، ۱۳۹۰)، گونه *Artemisia sphaerocephala* (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵) با افزایش سطوح تنش اسمزی درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر کاهش یافتند که این نتایج مشابه این پژوهش است. بر اساس نتایج حساسیت سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی در گونه اسپرس تحت تنش اسمزی بیشتر بود. این نتایج در ارقام شبدر زیرزمینی تحت تنش اسمزی (قادری فر و همکاران، ۲۰۱۰) و ارقام گندم تحت تنش اسمزی (بالیکی و همکاران، ۱۹۹۹) که سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی حساسیت بیشتری نشان داد، مشابه است. کاهش فرایند جوانه‌زنی با افزایش تنش اسمزی می‌تواند به کاهش جذب آب توسط بذرهای ارتباط داشته باشد. آب مهم‌ترین عامل در شروع فرایندهای

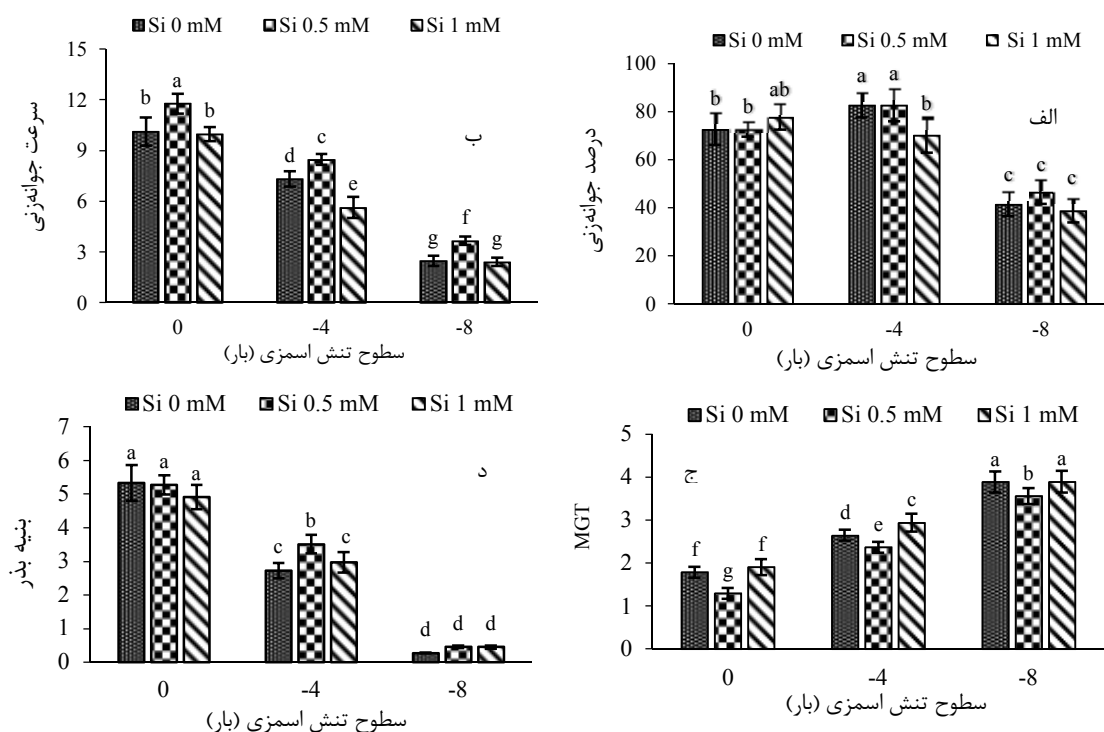
شکل (۱- الف)، مقایسه میانگین اثر تنش اسمزی و غلظت‌های مختلف سیلیکون بر درصد جوانه‌زنی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، اعمال تنش اسمزی ۸- بار سبب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی اسپرس نسبت به شاهد (صفر بار) شد. به طوری که متوسط درصد جوانه‌زنی از ۷۲ در تیمار شاهد بار به ۴۱ درصد در تیمار ۸- بار رسید. استفاده از سیلیکون سبب افزایش درصد جوانه‌زنی گیاه مورد بررسی نسبت به عدم استفاده از این ماده نشد. همچنین بر اساس نتایج، اعمال تنش اسمزی در هر دو سطح ۴- و ۸- بار سبب کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. به طوری که سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۴- و ۸- بار نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۷ و ۷۵ درصد کاهش یافت. در همه سطوح تنش، مصرف غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سیلیکون سبب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی نسبت به عدم مصرف این ماده شد. غلظت ۱ میلی‌مولار سیلیکون منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی نشد (شکل ۱- ب).

برهم‌کنش تنش اسمزی و سیلیکون بر متوسط زمان جوانه‌زنی گیاه اسپرس در شکل (۲- ج) نشان داده شده است. بر اساس نتایج افزایش سطوح تنش اسمزی به ۴- و ۸- بار سبب افزایش معنی‌دار متوسط زمان جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شد. با این حال مصرف سیلیکون با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در تمام سطوح سبب کاهش

جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر را بهبود داد. بهبود سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی و بنیه بذر با کاربرد سیلیکون نیز در آزمایش‌های دیگر پژوهش‌گران گزارش شده است. در آزمایشی مصرف سیلیکون با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار توانست درصد و سرعت جوانه‌زنی در ارقام گوجه فرنگی به ویژه در شرایط تنش اسمزی ببرد (شی و همکاران، ۲۰۱۴). در بررسی‌ای دیگر نیز کاربرد سیلیکون اثر زیادی بر افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین بنیه بذر گیاه گاو زبان داشت (ترابی و همکاران، ۲۰۱۲). به طوری که بالاترین درصد جوانه‌زنی در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و بالاترین سرعت جوانه‌زنی در غلظت ۱ میلی‌مولار سیلیکون مشاهده شد. پرایمینگ بذور گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش اسمزی با استفاده از سیلیکون نیز سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر شد و همچنین متوسط زمان جوانه‌زنی با تیمار سیلیکون کاهش یافت (حامد و همکاران، ۲۰۱۳).

مربوط به جوانه‌زنی بذر است (تورک و همکاران، ۲۰۰۴). اگر جذب آب توسط بذرها دچار اختلال شود و یا جذب آب کند انجام شود، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهد شد و در نتیجه مدت زمان خروج ریشه از بذر افزایش و از این رو سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (حسینی و رضوانی‌مقدم، ۱۳۸۵). همچنین برخی از پژوهش‌ها، افزایش مقدار مواد بازدارنده رشد از جمله آبسزیک اسید و کاهش مقدار هورمون‌های محرک رشد مانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها در گیاه را بر اثر کمبود آب گزارش کرده‌اند (اخوان ارمکی و همکاران، ۱۳۹۲).

اضافه کردن سیلیکون با غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اثر قابل توجه‌ای بر افزایش درصد جوانه‌زنی گونه مورد بررسی ایجاد نکرد. مصرف سیلیکون بر جوانه‌زنی ماش (*Vicia faba* L.) نیز نشان داد که سیلیکون افزایش معنی‌دار بر درصد جوانه‌زنی نداشته است (روحی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵). سیلیکون با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سرعت



شکل ۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش اسمزی و سیلیکون بر درصد جوانه‌زنی (الف)، سرعت جوانه‌زنی (ب)، متوسط زمان جوانه‌زنی (ج) و شاخص بنیه بذر (ج) اسپرس. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

پتانسیل اسمزی -۸ بار مصرف سیلیکون اثری بر طول ساقچه‌ها نداشت در حالی‌که مصرف ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار این

شکل ۲ بیانگر اثر برهم‌کنش تنش اسمزی و سیلیکون بر طول ساقچه‌ها، ریشه‌چه و وزن خشک آن‌ها است. در

همچنین ورزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه اسپرس تحت تنش اسمزی شد. به طوری که بالاترین اثر مطلوب آن در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار مشاهده شد. تأثیر کاربرد سیلیکون در افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و همچنین وزن آن‌ها در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است. در پژوهشی مصرف سیلیکون با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار روی چهار رقم گوجه فرنگی نشان داد سیلیکون در شرایط عدم تنش اسمزی افزایش معنی‌دار در طول گیاهچه ایجاد نکرد در صورتی که با اعمال تنش اسمزی مصرف سیلیکون طول گیاهچه را در دو رقم (Houpi و Zhongza) توانست به طور معنی‌دار بهبود دهد (شی و همکاران، ۲۰۱۴). پرایمینگ بذور گندم با استفاده از سیلیکون نیز سبب افزایش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تنش اسمزی شد (حامد و همکاران، ۲۰۱۳). در آزمایشی مصرف سیلیکون سبب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و همچنین وزن آن‌ها نسبت به عدم مصرف این ماده روی گیاه گاو زبان شد (ترابی و همکاران، ۲۰۱۲). مصرف سیلیکون روی سورگوم نیز توانست وزن خشک گیاهچه را در شرایط تنش اسمزی پلی‌اتیلن گلیکول بهبود دهد (بین و همکاران، ۲۰۱۴) و همچنین مصرف این ماده در محیط مزرعه بر روی گیاه یونجه نیز سبب بهبودی رشد ریشه و ساقه شد (گو و همکاران، ۲۰۰۶).

با توجه به نتایج اثرات مطلوب سیلیکون در شرایط تنش اسمزی بیشتر از سطوح شاهد مشخص شد. تنش‌های محیطی مثل خشکی تولید مقدار اکسیژن فعال (ROS) را افزایش می‌دهند که سبب اکسید کردن رنگیزه‌های فتوسنتزی، لیپیدهای غشایی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شوند (اسمیرنوف، ۱۹۹۳). در این شرایط، گیاهانی که دارای سطوح بالای آنتی‌اکسیدانی دائمی یا القایی هستند، در برابر خسارات اکسیداتیو مقاوم‌تر هستند (لی و همکاران، ۲۰۰۷). گیاهان از دو سیستم آنزیمی و غیرآنزیمی برای دفاع در برابر مقدار ROS استفاده می‌کنند (ال‌آقباری و همکاران، ۲۰۰۴). پژوهش‌های دیگر افزایش فعالیت آنزیم‌های ضداکسیداسیون را با کاربرد سیلیکون نشان دادند (شی و همکاران، ۲۰۱۴ و طالع احمد و حداد، ۱۳۸۹). از آنجایی که پراکسیداسیون لیپید یکی از اولین نتایج خسارات اکسیداتیوی است کاهش پراکسیداسیون لیپید در مرحله جوانه‌زنی با افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداسیون می‌تواند شاخص‌های

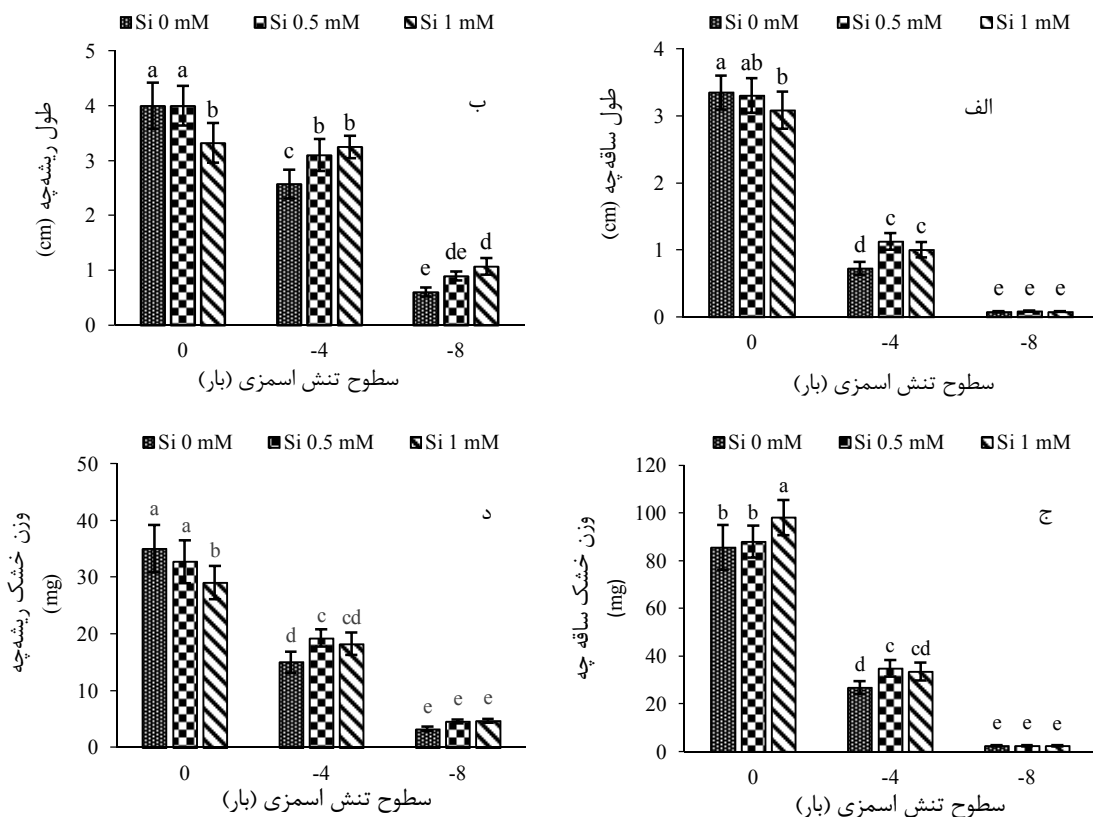
ماده به ترتیب سبب افزایش ۵۵ و ۳۸ درصدی این صفت نسبت به عدم مصرف آن در سطح ۴- بار شد (شکل ۲- الف). مصرف سیلیکون اثر اصلاح‌کننده بیشتری بر طول ریشه‌چه نسبت به طول ساقه‌چه داشت. به طوری که مصرف سیلیکون در هر دو سطح تنش اسمزی سبب افزایش معنی‌دار این صفت شد (شکل ۲- ب). وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه نیز روند مشابهی با طول آن‌ها نشان داد. افزایش تنش اسمزی منجر به کاهش معنی‌دار هر دو صفت شد به طوری که کمترین وزن ساقه‌چه و ریشه‌چه در پتانسیل ۸- بار به دست آمد. در پتانسیل اسمزی ۴- بار مصرف سیلیکون ۰/۵ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه شد (شکل ۲).

در مطالعات اثر تنش اسمزی روی چهار گونه از جنس آگروپیرون و سه گونه از جنس بروموس (اخوان ارمکی و همکاران، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲)، گونه *Artemisia sphaerocephala* (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۵) با افزایش سطوح تنش اسمزی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین وزن آن‌ها کاهش یافتند که این نتایج مشابه این پژوهش است. تحت تنش اسمزی طول ساقه‌چه اسپرس نسبت به ریشه‌چه کاهش بیشتری پیدا کرد که دلیل این امر می‌تواند حساسیت بیشتر رشد ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه باشد به طوری که در تنش ۴- و ۸- بار نسبت به تیمار شاهد به ترتیب طول ساقه‌چه ۷۵ و ۹۵ درصد و طول ریشه‌چه ۳۵ و ۸۵ درصد کاهش یافت. در بررسی تأثیر تنش اسمزی بر ارقام شیدر زیرزمینی (قادری‌فر و همکاران، ۱۳۸۹)، درمنه دشتی (باقری و همکاران، ۱۳۹۰) و ارقام عدس (تورک و همکاران، ۲۰۰۴)، با افزایش سطوح تنش اسمزی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت که طول ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه حساسیت بیشتری نشان داد. کاهش طول ساقه‌چه گیاه را می‌توان به کاهش فعالیت‌های متابولیکی و سوخت و سازی گیاه در روبرو با تنش خشکی بیان کرد (فینچ و همکاران، ۲۰۰۱). آب در بسیاری از فرایندها مانند فتوسنتز و واکنش‌های شیمیایی مانند هیدرولیز نشاسته به قند در هنگام جوانه‌زدن بذرها شرکت کرده، همچنین کمبود آب با کاهش آماس سلولی سبب کاهش رشد گیاه و گیاهچه می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۹).

بر اساس نتایج مصرف سیلیکون با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سبب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و

همکاران، ۲۰۱۴).

جوانه‌زنی را بهبود دهد. همچنین کاهش استرس اکسیداتیو در بهبود رشد گیاهچه مؤثر است (شی و



شکل ۲- مقایسه میانگین برهم کنش تنش اسمزی و سیلیکون بر طول ساقه‌چه (الف)، طول ریشه‌چه (ب)، وزن خشک ساقه‌چه (ج) و ریشه‌چه (د) اسپرس. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

که از نظر رطوبت شرایط مطلوب‌تری دارد برساند و رطوبت مورد نیاز خود را از حجم بیشتری از توده خاک تأمین نماید که مجموع این عوامل سبب افزایش مقاومت نسبت تنش خشکی به ویژه در مرحله رشد اولیه می‌شود. یافته‌های این آزمایش نشان داد که کاربرد کودهای سیلیکاته در شرایطی که اسپرس با تنش اسمزی و کمبود آب روبرو است می‌تواند رشد گیاه را بهبود ببخشد. با این حال لازم است پژوهش‌های تکمیلی در این زمینه روی سایر گونه‌های گیاهی در شرایط گلخانه و مزرعه انجام شود.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف سیلیکون توانست با افزایش سرعت جوانه‌زنی و رشد اولیه به عنوان حساس‌ترین مرحله رشد گیاه تحمل به خشکی اسپرس را افزایش دهد. یکی از مهم‌ترین عوامل تحمل به تنش خشکی یا اسمزی، افزایش توانایی گیاه برای جذب آب از طریق توسعه ریشه، افزایش حجم ریشه و زنده‌مانی و افزایش نسبت ریشه به ساقه است (هوآنگ و گا، ۲۰۰۰). افزایش سرعت جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه سبب می‌شود گیاه با سرعت بیشتری خود را به افق‌های پایین‌تر خاک

منابع

۱. اخوان ارملی م. آذرنیوند ج. عصاره م. ح. اشرف جعفری ع. و طویلی ع. ۱۳۹۲. ارزیابی تحمل به خشکی در چهار گونه از جنس آگروپایرون بر اساس شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه. پژوهش‌های آبخیزداری. ۹۸: ۴۳-۵۰.
۲. اخوان ارملی م. آذرنیوند ج. عصاره م. ح. اشرف جعفری ع. و طویلی ع. ۱۳۹۰. بررسی اثرهای تنش خشکی بر شاخص‌های

- جوانه‌زنی سه گونه مرتعی از جنس *Bromus*. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۸(۴): ۵۵۸-۵۶۸.
۳. باقری م. جبار زارع ا. و یاری ر. ۱۳۹۰. بررسی اثر تنش خشکی بر رفتار جوانه‌زنی و ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاهچه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi* Besser). پژوهش‌های آبخیزداری. ۹۲: ۶۶-۷۱.
۴. حسینی ج. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر میزان کود فسفر و بذر بر عملکرد اسپرس در زراعت دیم. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۱(۴): ۳۶۵-۳۸۲.
۵. حسینی ح. و رضوانی‌مقدم پ. ۱۳۸۵. اثر تنش خشکی و شوری بر جوانه‌زنی اسفرزه (*Plantago ovata*). پژوهش‌های زراعی. ۴(۱): ۱۵-۲۲.
۶. حشمتی غ. باغانی م. و بذرافشان ا. ۱۳۸۵. مقایسه ارزش غذایی ۱۱ گونه مرتعی شرق استان گلستان. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۷۳: ۹۰-۹۵.
۷. طالع احمد س و حداد ر. ۱۳۸۹. اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم‌های ضداکسنده و محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی در دو ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی. به زراعی نهال و بذر. ۲۶(۲): ۲۰۷-۲۲۵.
۸. علیزاده ا. ۱۳۸۹. رابطه آب و خاک و گیاه، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ۴۷۷ ص.
۹. قادری‌فر ف. گالشی س. و احمدی آ. ۱۳۸۹. اثرات تنش خشکی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ۹ رقم شبدر زیرزمینی (*Trifolium subterraneum* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۸(۱): ۶۱-۶۸.
10. Agarie S. Uchida H. Agata W. Kubota F. and Kaufman P. B. 1998. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*. 1(2): 89-95.
11. AL-Aghabary K. Zhujun Z. and Qinhuia S. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Plant Nutrition*. 27(12): 2101-2115.
12. Baalbaki R. Z. Zurayk R. A. Blek M. M. and Tahouk S. N. 1999. Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Science and Technology*. 27: 291-302.
13. Ellis R. H. and Roberts E. H. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*. 9: 377-409.
14. Epstein E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Science*. 91(1): 11-17.
15. Finch W. E. Phelps K. Steckel J. R. A. Whaler W. R and Rowse H. R. 2001. Seed reserve- dependent growth responses to temperature and water potential in *Dacus carota*. *Journal of experimental botany*. 52(364): 2187-2197.
16. Gong H. J. Zhu X. Y. Chen K. M. Wang S. M. and Zhang C. L. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*. 169(2): 313-321.
17. Gottardi S. Iacuzzo F. Tomasi N. Cortella G. Manzocco L. Pinton R. Romheld V. Mimmo T. Scampicchio M. Costa L. D. and Cesco S. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 56: 14-23.
18. Gunes A. Pilbeam D. J. Inal A. and Coban S. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 39: 1885-1903.
19. Guo Z. G. Liu H. X. Tian F. P. Zhang Z. H. and Wang S. M. 2006. Effect of silicon on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 46(9): 1161-1166.
20. Hameed A. Ahmad Sheikh M. Jamil A. and Ahmed Basra S. M. 2013. Seed priming with sodium silicate enhances seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit stress induced by polyethylene glycol. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. 11(1): 19-24.
21. Hattori T. Inanaga S. Araki H. An P. Morita S. Luxova M. and Lux A. 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*. 123(4): 459-466.
22. Huang B. and Gao H. 2000. Root Physiological Characteristics Associated with Drought Resistance in Tall Fescue Cultivars. *Crop science*. 40: 196-203.
23. Hubbard M. Germida J. and Vujanovic V. 2012. Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress. *Botany*. 90(2): 137-149.
24. Lei Y. Yin C. Ren J. and Li C. 2007. Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. *Biologia Plantarum*. 51(2): 386-390.
25. Liang Y. C. Chen Q. Lui Q. Zhang W. and Ding R. 2003. Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stress barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiology*. 160(10): 1157-1164.

26. Liu H. X. Shen X. R. and Guo Z. G. 2011. Effects of silicon on seed germination and seedling growth of alfalfa. *Acta Prataculturae Sinica*. 20(1): 155-160.
27. Michel B.E. and Kaufman M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51: 914-916.
28. Roohizadeh G. Majd A. and Arbabian S. 2015. The effect of sodium silicate and silica nanoparticles on seed germination and growth in the *Vicia faba* L. *Tropical Plant Research*. 2(2): 85-89.
29. Shi Y. Zhang Y. Yao H. Wu J. Sun H. and Gong H. 2014. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 78: 27-36.
30. Smirnoff N. 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologists*. 125(1): 27- 58.
31. Soares M. I. M. Kakhimov S. and Shakirov Z. 2000. Productivity of the desert legum ”*Onobrychis*”. *Dryland Biotechnology*. 6: 117-134.
32. Torabi F. Majd A. and Enteshari S. 2012. Effect of exogenous silicon on germination and seedling establishment in *Borago officinalis* L. *Journal of Medicinal Plants Research*. 6(10): 1896-1901.
33. Turk M. A. Rahman A. Tahawa M. and Lee K. D. 2004. Seed germination and seedling growth of three Lentil cultivars under moisture stress. *Asian Journal of Plant Sciences*. 3: 394-397.
34. Yin L. Wang Sh. Liu P. Wang W. Cao D. Deng X. and Zhang S. 2014. Silicon-mediated changes in polyamine and 1-aminocyclopropane-1- carboxylic acid are involved in silicon-induced drought resistance in *Sorghum bicolor* L. *Plant Physiology and Biochemistry*. 80: 268-277.
35. Zheng Y. Xie Z. X. Gao Y. Jiang L. Xing X. and Shimizu H. 2005. Effects of light, temperature and water stress on germination of *Artemisia sphaerocephala*. *Annals of Applied Biology*. Oxford, UK. 146(3): 327-335.