اثر کاربرد سیلیسیم در افزایش مقاومت به شوری با کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه علف‌برهنئی *Festuca arundinacea*

مایا عزیزی[۱]، احمد عبدل‌زاده*[۲]، پویان مهربان جوبنی[۳] و حمیدرضا صادقی‌پور[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تاثیر سیلیسیم در افزایش تحمل به شوری گیاه علف برهنئی انجام شد. آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و با دو عامل شوری شامل دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و سیلیسیم شامل سه سطح صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ میلی‌مولار به‌صورت سیلیکات‌سدیم بود که به محلول هوگلند اضافه شد. شوری سبب کاهش رشد گیاهان شد و تغذیه سیلیسیم به‌ویژه در تیمار ۰/۷۵ میلی‌مولار سبب بهبود رشد و افزایش وزن تر و خشک کل گیاهان گردید. تیمار شوری موجب افزایش یون سدیم و کاهش یون‌های پتاسیم، آهن و کلسیم بخش هوایی گیاهان شد، اما تیمار سیلیسیم مقدار سدیم را کاهش و میزان آهن را افزایش داد. فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز محلول، پراکسیداز دیواره‌ای و پلی‌فنل‌اکسیداز در گیاهان تحت شوری کاهش یافت، ولی سیلیسیم موجب افزایش فعالیت این آنزیم‌ها گردید. شوری سبب کاهش میزان کلروفیل‌ها، کارتنوئیدها و گزانتوفیل و محتوای پروتئین‌های محلول و افزایش میزان پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپید شد. برعکس، کاربرد سیلیسیم به‌ویژه در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار محتوی کلروفیل‌ها، کارتنوئیدها، گزانتوفیل و پروتئین‌های محلول را افزایش و محتوی پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپید را کاهش داد. همچنین میزان نشت الکترولیت‌ها از غشاهای زیستی برگ گیاهان تحت شوری نسبت به شاهد افزایش یافت، در حالی که سیلیسیم باعث کاهش میزان نشت الکترولیت‌ها از غشا گردید. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار سیلیسیم به‌ویژه در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار با کاهش میزان سدیم و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب کاهش تنش اکسیداتیو شد که در کاهش پراکسیداسیون لیپید و نشت الکترولیت‌ها منعکس است. در نتیجه رشد گیاهان تحت شوری با کاربرد سیلیکون افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: علف برهنئی، سیلیسیم، تنش شوری.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زیست‌شناسی، دانشگاه گلستان

۲- استاد گروه زیست‌شناسی، دانشگاه گلستان

* نویسنده مسئول: ah_ab99@yahoo.com

۳- استادیار گروه علوم پایه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه گلستان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]

مقدمه

تقریباً ۱۰۰۰ میلیون هکتار زمین تحت تأثیر شوری در جهان وجود دارد که حدود ۷ درصد از کل زمین‌های دنیا را شامل می‌شود. مشکل شوری در جهان در حال گسترش است که اثرهای مخربی بر کشاورزی دارد. وسعت خاک‌های شور در ایران حدود ۲۴ میلیون هکتار است که معادل ۱۵ درصد از اراضی کشاورزی کشور می‌باشد (۲۸). شوری بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از اراضی زمین را درگیر کرده که یا تحت تنش شوری هستند و یا سمیت ناشی از شوری منجر به کاهش شدید بازده آن‌ها شده است (۱۳). از آن‌جایی که تولیدات دامی ۴۰ درصد کل ارزش ناخالص تولیدات بخش کشاورزی ایران را به‌خود اختصاص داده است و بیشتر وابسته به علوفه حاصل از مراتع می‌باشد، اصلاح مراتع شور و نسبتاً شور در چرای دام‌ها اهمیت زیادی دارد.

اولین مشکل گیاهان در طی تنش شوری کمبود آب است. کاهش آب گیاه در اثر شوری مربوط به کاهش توان گیاه در جذب آب از خاک شور است. در اثر شوری مواد حل شده در منطقه توسعه ریشه‌ها پتانسیل اسمزی منفی زیادی را ایجاد می‌کند که منجر به کاهش پتانسیل آب خاک شده و جذب آب توسط گیاه را دشوار می‌نماید (۲۵). تنش شوری رشد و نمو گیاهان را از طریق سمیت یونی و عدم تعادل تغذیه‌ای نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۳، ۲۹). اثرات ثانویه تنش شوری شامل کاهش رشد، کاهش فتوسنتز، ایجاد تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، اختلال در عمل غشاها، کاهش فعالیت‌های متابولیسمی سلول و تقسیم سلولی است. از طرف دیگر گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد شده در نتیجه شوری با بسیاری از ترکیب‌های سلولی واکنش داده و سبب خسارت به سایر ساختارهای داخل سلولی مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شود (۸). لذا گیاهان با سیستم آنتی‌اکسیدانی خود میزان گونه‌های فعال اکسیژن در سلول را کنترل می‌نمایند. گیاهان با دارا بودن سیستم آنتی‌اکسیدانی که شامل ترکیب‌های آنزیمی (سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز) و غیرآنزیمی (اسید آسکوربیک، کارتنوئید، گلوتاتیون) است، معمولاً سطوح ROS را در سلول در حد متعادل نگه می‌دارند (۴).

سیلیسیم (Si) دومین عنصر فراوان در روی زمین است، اما با وجود فراوانی به‌دلیل همراه بودن آن با سایر عناصر توسط گیاه قابل‌جذب نیست. گیاهان بیشتر قادر به استفاده از فرم اسید سیلیسلیک ($Si(OH_4)$) آن می‌باشند. پژوهش‌های اخیر نشان داده است که تغذیه سیلیسیم اثرات مفیدی در کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارد (۷ و ۱۹). مطالعه اثرات سیلیسیم بر روی گیاه جو (۲۲) و گندم (۳) بهبود رشد این گیاهان تحت شوری با تغذیه سیلیسیم را نشان داده است. همچنین اثرات مطلوب تغذیه سیلیسیم در تخفیف تنش شوری در گیاه کلزا (۱۵ و ۱۷) و در گیاه *Puccinellia distans* (۷) گزارش شده است.

گیاه علف برهنئی (*Festuca arundinacea*)، از گندمیان مرتعی پُرپشت است که در فصل سرد به‌خوبی رشد می‌نماید. سیستم ریشه گیاه بسیار قوی و عمیق بوده و در خاک‌های مرطوب در پایه‌هایی با طول عمر بیش از یک سال تا ۱/۵ متر و گاهی بیشتر نفوذ می‌کند. این سیستم ریشه علاوه بر تامین عناصر مورد نیاز گیاه و افزایش مقاومت به خشکی در حفاظت خاک نیز بسیار موثر است. مهم‌ترین ارزش این گیاه در تامین خوراک دام می‌باشد و به‌علت وجود برگ‌های فراوان در قسمت پایین گیاه و همچنین تولید علوفه زیاد و فصل رشد طولانی، چرای مستقیم آن نسبت به تهیه علوفه خشک برتری دارد (۱۴). آزمایشات قبلی ما در آزمایشگاه حاکی از آن است که گیاه علف برهنئی گیاهی نسبتاً مقاوم به شوری است که بدون کاهش رشد، شوری بیش از ۵ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل می‌کند (۱ و ۲). لذا با توجه به نیاز مبرم کشور به علوفه به‌ویژه در نواحی نسبتاً شور این امکان وجود دارد که بتوان با استفاده از راهکارهایی این گیاه را در مراتع شور کشت کرد، تا علاوه بر تأمین علوفه، احتمالاً در حفاظت خاک و تعدیل شرایط اقلیمی مؤثر باشد.

این آزمایش با هدف بررسی اثرات احتمالی سیلیسیم در تخفیف اثرات زیان‌بار شوری طرح‌ریزی شد. لذا گیاه علف برهنئی در فقدان و حضور شوری با غلظت‌های مختلف سیلیکون کاشته شد و عواملی مانند میزان رشد

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]

رویشی، غلظت برخی عناصر معدنی، فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پراکسیداسیون لیپید و کلروفیل اندازه‌گیری شد، تا درک بهتری از راه‌های آسیب تیمارهای شوری و مسیرهای احتمالی افزایش تحمل آن با تغذیه سیلیسیم به دست آید.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش از بذر گیاه علف برهنئی (*Festuca arundinacea* Shcr.) که از مرکز تحقیقاتی قرق، استان گلستان تهیه شده بود، استفاده گردید. بذرها پس از ضدعفونی در گل‌خانه در گلدان‌های پلاستیکی که محتوی شن کاملاً شسته شده بود، کشت شدند. آبیاری و تغذیه گیاهان تا مرحله دوبرگی به‌وسیله محلول غذایی فاقد شوری انجام شد و پس از آن تیمارهای شوری اعمال شد. طرح آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و در قالب فاکتوریل با پنج تکرار بود. فاکتور اول شوری در دو سطح شاهد و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و فاکتور دوم، سیلیسیم (به‌صورت سیلیکات‌سدیم) در سه سطح صفر، ۰/۷۵، ۱/۵ میلی‌مولار بود که بر اساس آزمایشات قبلی تعین شد (۱، ۲ و ۷). تیمارهای آزمایش به همراه محلول غذایی هوگلند که اسیدیته آن در حدود ۶/۵ تنظیم شده بود، به گیاهان داده شد. جهت ثابت نگه‌داشتن غلظت شوری موردنظر در شن، گیاهان در روز دو تا سه بار با محلول غذایی (هر بار ۲۰۰ میلی‌لیتر) آبیاری شدند و برای جلوگیری از تجمع نمک، گلدان‌ها هفته‌ای یک بار با آب فراوان آبیاری گردیدند (۷). میانگین درجه حرارت محیط گل‌خانه در طی دوره آزمایش در شب ۲۱ و در روز ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی در حدود ۶۰ درصد بود. مطالعات قبلی نگارندگان نشان داده بود که ۶۰ روز تیماردهی برای آشکار شدن تفاوت تیمارها کافی است (۱ و ۲)، لذا گیاهان ۶۰ روز پس از شروع تیماردهی و قبل از گل دادن برداشت شده و به‌منظور بررسی صفات رویشی و تغییرات فیزیولوژیکی به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

استخراج یون سیلیسیم به‌روش هضم اتوکلاوی و رنگ‌سنجی به‌روش الیوت و سیندر (۱۲) انجام گرفت. اندازه‌گیری سیلیکون در عصاره‌های به‌دست آمده نیز به کمک روش رنگ‌سنجی سگو (۲۶) انجام شد. اندازه‌گیری مقدار سدیم و پتاسیم پس از تهیه خاکستر خشک نمونه‌ها در کوره الکتریکی و انحلال آن‌ها در اسید کلریدریک رقیق به‌وسیله دستگاه فلیم‌فتومتر Jenway مدل PFP7 انجام گرفت. غلظت عناصر کلسیم و آهن در عصاره‌های به دست آمده با دستگاه جذب اتمی Shimadzu مدل AA-7000 اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز با استفاده از روش چنس و مهلی (۱۱) صورت گرفت. اندازه‌گیری میزان کلروفیل به‌روش آرنون (۵) انجام شد. میزان پروتئین محلول کل با استفاده از روش برادفورد (۱۰) انجام شد. اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن بر طبق روش سرگیو و همکاران (۲۷) انجام شد. مقدار پراکسیداسیون لیپید با استفاده از غلظت مالون‌دی‌آلدهید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید انجام شد. اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها از غشا به‌روش بلوم و ایبرکون (۹) با استفاده از قطعات مساوی از بافت تازه بخش هوایی و با استفاده از آب دو بار تقطیر و سنجش هدایت الکتریکی قبل و بعد از اتوکلاو انجام گرفت. محاسبه داده‌ها و رسم نمودارها در نرم‌افزار اکسل و تجزیه داده‌ها و معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها با آنالیز واریانس و آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

ارزیابی صفات رشد گیاه علف برهنئی پس از ۶۰ روز تیماردهی نشان داد که شوری سبب کاهش معنی‌دار صفات رشد از جمله وزن تر و خشک بخش هوایی و وزن تر ریشه و درصد آب نسبی شد. در گیاهان تغذیه شده با ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم، وزن تر بخش هوایی و ریشه و وزن خشک بخش هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد، در حالی که صفات رشد در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سیلیسیم تحت شوری تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار فاقد سیلیسیم تحت شوری نداشت. به‌طوری که وزن تر ریشه، بخش هوایی و کل گیاهان تحت شوری در تیمار ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم نسبت به تیمار فاقد سیلیسیم به ترتیب ۲۲، ۳۴ و ۳۰ درصد افزایش یافت. به‌علاوه، کاربرد سیلیسیم در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار سبب افزایش

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]

درصد آب نسبی در گیاهان تحت شوری به‌میزان ۴ درصد نسبت به تیمار فاقد سیلیسیم شد (جدول ۱).

جدول ۱- اثر تیمارهای شوری (۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و کاربرد سیلیسیم (۰ و ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار) بر صفات رشد شامل وزن گیاهان (گرم) و درصد آب نسبی گیاه علف برەنئی در محیط کشت هیدروپونیک در بستر شنی

صفات رشد	۰ میلی‌مولار کلرید سدیم			۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم		
	۰ سیلیسیم	۰/۷۵ سیلیسیم	۱/۵ سیلیسیم	۰ سیلیسیم	۰/۷۵ سیلیسیم	۱/۵ سیلیسیم
	(میلی‌مولار)					
وزن تر بخش هوایی	۱/۰۷±۰/۰۲^{bc}	۱/۲۹±۰/۰۵^{a}	۱/۰۱±۰/۰۲^{c}	۰/۷۳±۰/۰۱^{e}	۱/۱۰±۰/۰۱^{b}	۰/۸۱±۰/۰۱^{e}
وزن تر ریشه	۰/۵۰±۰/۰۱^{b}	۰/۶۲±۰/۰۲^{a}	۰/۴۸±۰/۰۱^{b}	۰/۳۸±۰/۰۳^{c}	۰/۴۹±۰/۰۲^{b}	۰/۴۱±۰/۰۱^{c}
وزن خشک بخش هوایی	۰/۱۵±۰/۰۱^{a}	۰/۱۵±۰/۰۱^{a}	۰/۱۴±۰/۰۰^{a}	۰/۱۱±۰/۰۱^{b}	۰/۱۲±۰/۰۰^{b}	۰/۰۹۵±۰/۰۰^{c}
وزن خشک ریشه	۰/۰۵±۰/۰۰^{b}	۰/۰۷±۰/۰۱^{a}	۰/۰۵۵±۰/۰۰^{ab}	۰/۰۵±۰/۰۱^{b}	۰/۰۶±۰/۰۰^{ab}	۰/۰۵±۰/۰۰^{ab}
وزن تر کل	۱/۵۷±۰/۰۲۷^{b}	۱/۹۲±۰/۰۷^{a}	۱/۴۹±۰/۰۴^{b}	۱/۱۲±۰/۰۴^{c}	۱/۶۰±۰/۰۳^{b}	۱/۲۵±۰/۰۱^{c}
وزن خشک کل	۰/۲۰±۰/۰۱^{ab}	۰/۲۲±۰/۰۱^{a}	۰/۲۰±۰/۰۰^{ab}	۰/۱۶±۰/۰۲^{c}	۰/۱۸±۰/۰۱^{c}	۰/۱۵±۰/۰۰^{c}
درصد آب نسبی نسبی	۸۵/۹۰±۰/۸۴^{c}	۸۸/۴۲±۰/۲۰^{a}	۸۶/۴۴±۰/۲۱^{bc}	۸۵/۴۰±۱/۰۹^{c}	۸۸/۵۸±۰/۴۸^{a}	۸۷/۰۶±۰/۳۲^{ab}

± نشان‌دهنده خطای استاندارد با ۵ تکرار است. حروف یکسان در هر ردیف بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است.

شوری موجب افزایش غلظت یون سدیم و کاهش غلظت یون پتاسیم، یون‌های کلسیم و آهن در ریشه و بخش هوایی گیاه شد. تغذیه سیلیسیم در گیاهان تحت شوری اثر معنی‌داری در غلظت یون پتاسیم نداشت، اما غلظت یون سدیم را در بخش هوایی و ریشه گیاهان تحت شوری به ترتیب به‌میزان ۴۲ و ۴۰ درصد کاهش داد. به‌علاوه، سبب افزایش غلظت آهن ریشه و بخش هوایی گیاهان تحت شوری در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار به میزان ۸۳ و ۴۹ درصد شد. تغذیه سیلیسیم در گیاهان فاقد تیمار شوری تاثیر معنی‌داری در میزان یون پتاسیم گیاه نداشت. تغذیه سیلیسیم در سطح ۱/۵ میلی‌مولار سبب کاهش غلظت یون کلسیم در ریشه و بخش هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۲۹ و ۲۶ درصد نیز کاهش غلظت آهن در بخش هوایی به‌میزان حدود ۴۰ درصد در گیاهان فاقد تیمار شوری شد (جدول ۲).

جدول ۲- اثر تیمارهای شوری (۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و کاربرد سیلیسیم (۰ و ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار) بر غلظت عناصر (میلی‌گرم در گرم بافت خشک) گیاه علف برەنئی در محیط کشت هیدروپونیک در بستر شنی

غلظت عناصر	۰ میلی‌مولار کلرید سدیم			۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم		
	۰ سیلیسیم	۰/۷۵ سیلیسیم	۱/۵ سیلیسیم	۰ سیلیسیم	۰/۷۵ سیلیسیم	۱/۵ سیلیسیم
	(میلی‌مولار)					
سدیم بخش هوایی	۲/۷۹±۰/۳۰^{c}	۱/۲۶±۰/۲۳^{d}	۲/۹۳±۰/۲۶^{c}	۸/۸۰±۰/۸۶^{a}	۵/۰۳±۰/۴۶^{b}	۵/۴۵±۰/۵۲^{b}
سدیم ریشه	۲/۷۹±۰/۳۴^{cd}	۱/۳۶±۰/۴۴^{e}	۲/۲۳±۰/۱۸^{d}	۵/۸۳±۰/۳۳^{a}	۳/۴۵±۰/۰۹^{bc}	۳/۸۴±۰/۱۸^{b}
پتاسیم بخش هوایی	۸۵/۷۱± ۴/۳۶^{a}	۸۴/۲۵±۳/۰۶^{a}	۷۷/۹۵±۴/۷۷^{a}	۴۳/۵۶±۲/۲۸^{b}	۴۰/۶۵±۲/۷۹^{b}	۴۳/۵۶±۷/۱۶^{b}
پتاسیم ریشه	۴۲/۸۵±۲/۱۸^{a}	۴۲/۶۱±۱/۶۵^{a}	۴۰/۴۳±۱/۰۷^{a}	۱۹/۱۱±۱/۲۷^{b}	۲۰/۸۱±۱/۱۸^{b}	۱۸/۱۴±۱/۲۱^{b}
کلسیم بخش هوایی	۱۵/۲۲±۰/۶۸^{a}	۱۰/۹۵±۱/۱۱^{b}	۱۰/۷۲±۰/۲۲^{b}	۸/۸۵±۰/۳۱^{c}	۸/۰۲±۰/۳۰^{c}	۷/۹۵±۰/۵۲^{c}
کلسیم ریشه	۳۳/۰۳±۰/۶۳^{a}	۲۹/۱۷±۱/۶۸^{ab}	۲۴/۵۲±۱/۳۹^{bc}	۲۰/۰۲±۰/۵۴^{cd}	۱۹/۳۱±۰/۳۶^{d}	۱۵/۶۷±۳/۲۵^{d}
آهن بخش هوایی	۰/۳۷±۰/۰۴۳^{ab}	۰/۴۱±۰/۰۷^{a}	۰/۲۲±۰/۰۴۳^{bc}	۰/۱۸±۰/۰۳۷^{c}	۰/۳۳±۰/۰۷^{abc}	۰/۲۲±۰/۰۴۳^{bc}
آهن ریشه	۶/۴۸±۰/۵۶^{b}	۸/۴۳±۰/۶۴^{a}	۷/۸۷±۰/۶۵^{ab}	۴/۵۰±۰/۴۲^{c}	۶/۷۱±۰/۸۰^{ab}	۴/۰۸±۰/۶۰^{c}

± نشان‌دهنده خطای استاندارد با ۵ تکرار می‌باشد. حروف یکسان در هر ردیف بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]

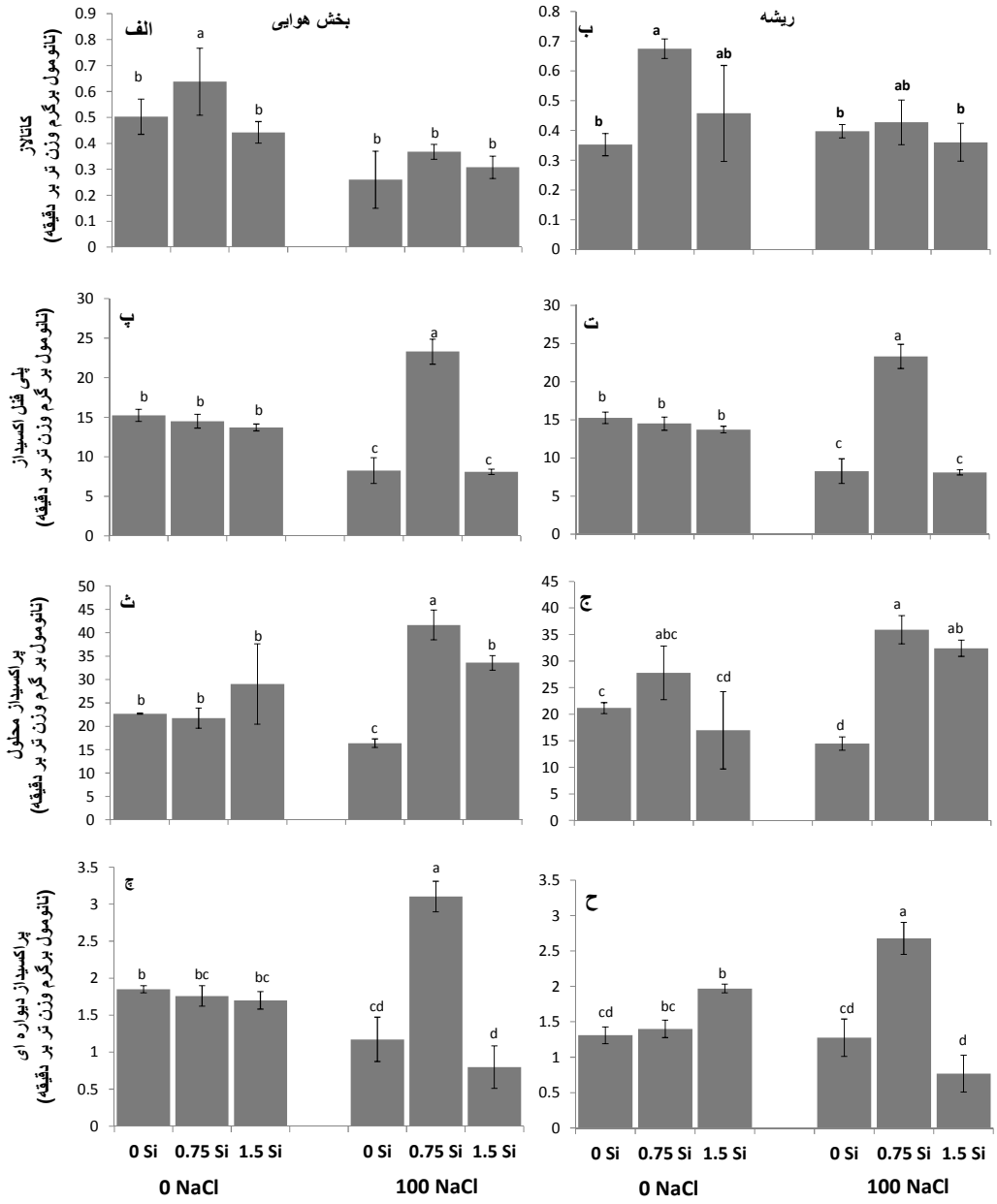
شوری در فعالیت آنزیم کاتالاز اثر معنی‌داری نداشت، ولی موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های گایاکول‌پراکسیداز محلول و پلی‌فنل اکسیداز ریشه و بخش هوایی و پراکسیداز دیواره‌ای بخش هوایی گیاه شد. کاربرد سیلیسیم در سطوح ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار موجب افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز محلول در ریشه و بخش هوایی گیاهان تحت شوری به‌میزان بیش از دو برابر شد. به‌علاوه، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز دیواره‌ای و پلی‌فنل‌اکسیداز هم در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم نسبت به تیمار فاقد سیلیسیم در ریشه و بخش هوایی گیاهان تحت شوری به‌میزان بیشتر از دو برابر زیاد شد. به‌جز در تیمار ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیکون در فعالیت کاتالاز، تیمارهای سیلیسیم تاثیری در میزان فعالیت آنزیم ها در گیاهان فاقد تیمار شوری نداشت (شکل ۱).

شوری سبب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a و مجموع کاروتنوئیدها و گزانتوفیل‌ها شد. کاربرد سیلیسیم در گیاهان تحت شوری میزان کلروفیل a، مجموع گزانتوفیل‌ها و کاروتنوئیدها را افزایش داد، به‌طوری که میزان کلروفیل و مجموع کاروتنوئیدها و گزانتوفیل‌ها در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار تحت شوری نسبت به تیمار فاقد سیلیسیم تحت شوری به‌ترتیب در حدود ۲۸ و ۱۷ درصد زیاد شد. به‌علاوه شوری موجب افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها از سلول‌های برگ گیاهان گردید، در حالی که درصد نشت الکترولیت‌ها با تغذیه سلیکون در گیاهان تحت شوری کاهش یافت، به‌طوری که درصد نشت الکترولیت‌ها در گیاهان تحت شوری به‌ترتیب در تیمارهای ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌مولار سیلیسیم نسبت به تیمار فاقد سیلیسیم به‌ترتیب در حدود ۱۷ و ۳۳ درصد زیاد شد. (شکل ۲).

شوری همچنین سبب کاهش میزان پروتئین محلول و افزایش میزان پراکسیدهیدروژن شد. درحالی‌که تغذیه سیلیسیم در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار موجب افزایش میزان پروتئین‌های محلول ریشه و بخش هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۸ و ۳۸ درصد و کاهش میزان پراکسید هیدروژن ریشه و بخش هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۸ و ۳۸ درصد گردید. شوری همچنین پراکسیداسیون لیپید گیاهان را در ریشه و بخش هوایی زیاد کرد، برعکس میزان مالون دی‌آلدئید در گیاهان تغذیه شده با ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم تحت شوری نسبت به گیاهان فاقد تغذیه سیلیسیم به‌میزان ۳۵ و ۱۴ درصد به ترتیب در ریشه و بخش هوایی کمتر بود که حاکی از پراکسیداسیون لیپید کمتر است (شکل ۳).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

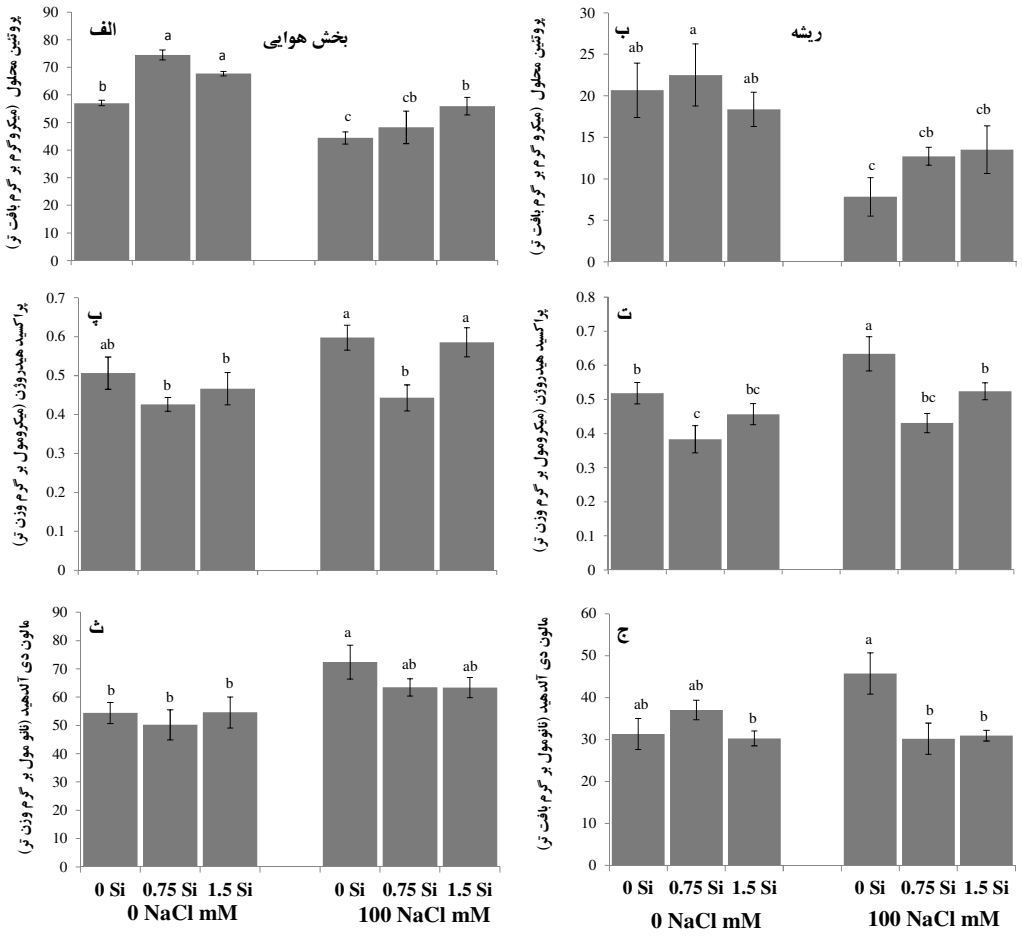
[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]



شکل ۱- مقایسه اثر تیمارهای شوری و سیلیسیم (میلی‌مولار) بر میزان فعالیت الف- کاتالاز بخش هوایی، ب- کاتالاز ریشه، پ- پلی فنل اکسیداز بخش هوایی، ت- پلی فنل اکسیداز ریشه، ث- گایاکول پراکسیداز محلول بخش هوایی، ج- گایاکول پراکسیداز محلول ریشه، چ- گایاکول پراکسیداز دیواره‌ای بخش هوایی و ح- گایاکول پراکسیداز دیواره‌ای ریشه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

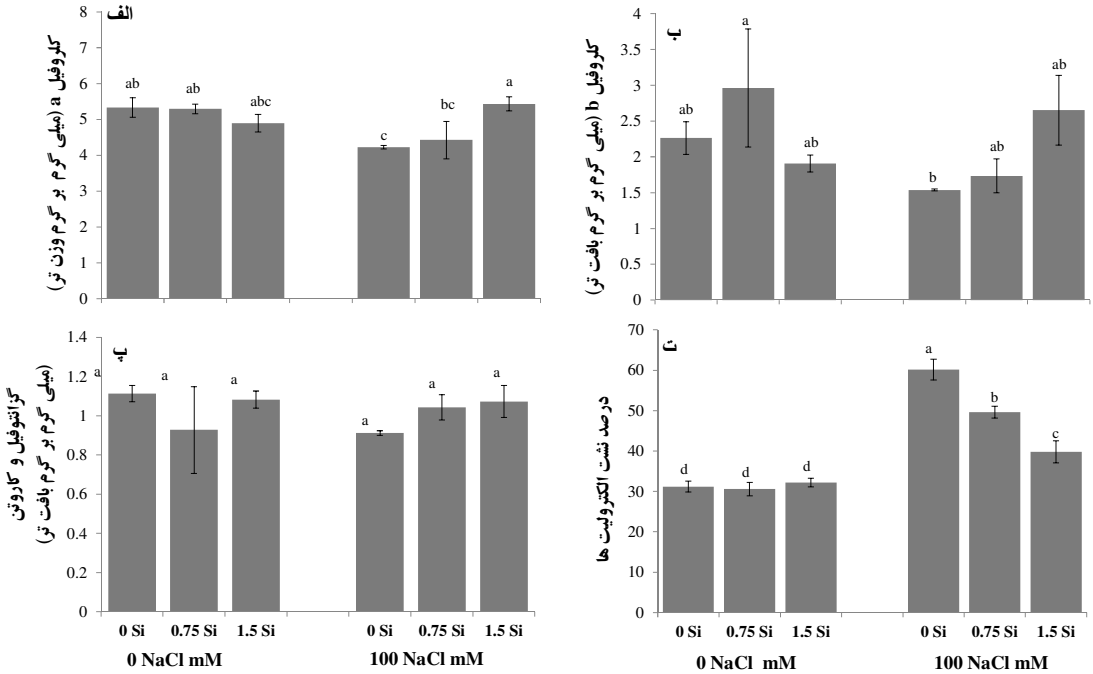
[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]



شکل۲- مقایسه تأثیر تیمارهای شوری و سیلیسیم (میلی‌مولار) بر میزان الف- پروتئین بخش هوایی، ب- پروتئین ریشه، پ- پراکسید هیدروژن بخش هوایی، ت- پراکسید هیدروژن ریشه، ث-پراکسیداسیون لیپید بخش هوایی و ج- پراکسیداسیون لیپید ریشه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]



شکل ۳- تاثیر تیمارهای شوری و سیلیسیم (میلی‌مولار) در میزان الف - کلروفیل a، ب - کلروفیل b، پ - مجموع کارتنوئید و گزانتوفیل و ت - درصد نشت الکترولیت‌ها. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است.

بحث و نتیجه‌گیری

شوری موجب کاهش رشد گیاه علف برهنئی گردید، در مقابل کاربرد سیلیسیم در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار سبب افزایش وزن تر ریشه و بخش هوایی گیاهان تحت شوری شد. تغذیه سیلیکون در سطح ۱/۵ میلی‌مولار تاثیر معنی‌داری در وزن تر ریشه و بخش هوایی گیاهان تحت شوری نداشت. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد سیلیسیم در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار توانسته است تا حدودی اثرات زیان‌بار شوری در رشد گیاهان را تخفیف دهد. نقش مفید سیلیکون در تخفیف اثرات تنش شوری در کلزا (۱۷)، برنج (۳۰)، گندم (۳)، جو (۲۱) و گوجه فرنگی (۴) و *Spartina densiflora* (۱۸) گزارش شده است.

شوری سبب افزایش یون سدیم و کاهش میزان یون‌های پتاسیم، کلسیم و آهن در گیاهان شد. کاهش رشد گیاهان مختلف تحت شوری به‌دلیل سمیت ناشی از املاح سدیم و کلر و مداخله با جذب عناصر معدنی خصوصاً پتاسیم گزارش شده است (۲۹). کاربرد سیلیسیم موجب کاهش غلظت سدیم و افزایش غلظت آهن (در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم) در گیاهان تحت تنش شوری شد. اما اثر معنی‌داری در غلظت پتاسیم و کلسیم گیاه نداشت. این نتایج آشکار می‌سازد که سیلیسیم ممکن است با کاهش جذب و انباشتگی یون سدیم و افزایش غلظت آهن در ریشه و برگ‌های گیاهان موجب بهبود رشد گیاه در شرایط شوری شود. کاهش جذب یون سدیم از مسیر اپوپلاستی ریشه گیاه برنج با افزایش انباشتگی سیلیسیم در اندودرم و دیواره سلولی سلول‌های ریشه گزارش شده است (۱۶). در حیطه دانش ما، افزایش میزان آهن با کاربرد سیلیکون در گیاهان تحت شوری اولین بار در این پژوهش گزارش می‌گردد.

سمیت ناشی از شوری منجر به ازدیاد میزان پراکسیدهیدروژن در هر دو بخش هوایی و ریشه علف برهنئی شد. شوری تولید اکسیژن فعال مولکولی و رادیکال‌های آزاد را تشدید می‌کند که سبب آسیب به ترکیبات سلولی و لیپیدهای غشایی می‌شود (۶). شوری همچنین موجب کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل گایاکول پراکسیداز محلول و دیواره‌ای

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]

در ریشه و بخش هوایی شد که تشدید تنش اکسیداتیو حاصل از شوری را موجب گردید. کاهش فعالیت کاتالاز، پراکسیداز و گلوتاتیون ردکتاز در گرهک‌های ریشه سویا تحت تنش شوری (۲۴) و کاهش فعالیت کاتالاز و افزایش مقدار پراکسید هیدروژن در برگ‌های برنج تحت تنش شوری گزارش شده است (۲۰). در نتیجه، شوری میزان پروتئین محلول و کلروفیل را کاهش و پراکسیداسیون لیپید، نشت الکترولیت‌ها و در نتیجه ناپایداری غشاهای زیستی را افزایش داد (شکل ۲). کاهش میزان پروتئین و کلروفیل تحت شوری ممکن است به‌دلیل اثرات مستقیم شوری و یا ناشی از تنش اکسیداتیو باشد که توسط محققان مختلف گزارش شده است (۱۵ و ۲۹). کاربرد سیلیسیم در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار احتمالاً با کاهش جذب سدیم در گیاهان تحت شوری، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله گایاکول پراکسیداز دیواره‌ای و محلول و پلی‌فنل‌اکسیداز را افزایش داد. به‌نظر می‌رسد که این امر نقش مهمی در تخفیف تنش اکسیداتیو ناشی از شوری داشته است که در کاهش میزان پراکسید هیدروژن در گیاهان تحت شوری تغذیه شده با ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم منعکس است. در نتیجه میزان مالون دی آلدئید به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید و نشت الکترولیت‌ها از غشاهای زیستی کاهش یافت. کاهش میزان پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپید با کاربرد سیلیکون در گیاه کلزا تحت شوری نیز گزارش شده است (۱۵). به‌نظر می‌رسد که تغذیه سیلیکون در گیاهان تحت شوری با حفظ سیالیت بهینه غشاهای زیستی (از طریق کاهش پراکسیداسیون لیپید) پایداری غشاهای زیستی را افزایش داده است. لیانگ و همکاران (۲۲) گزارش کردند که تغذیه سیلیکون در گیاه جو تحت شوری کارکرد غشاهای زیستی را بهبود بخشیده و فعالیت H^+-ATPase ها افزایش داد. به‌علاوه، کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از کاربرد سیلیسیم در گیاهان تحت تنش شوری موجب افزایش میزان کلروفیل و پروتئین‌های محلول در گیاه علف برهنئی تحت شوری شد که قبلاً توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (۱۵).

کاربرد سیلیسیم در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار در گیاهان تحت شوری تا حدودی موجب بهبود رشد گیاهان مورد مطالعه گردید، ولی تغذیه سیلیکون در سطح ۱/۵ میلی‌مولار چنین تاثیری نداشت. به‌نظر می‌رسد که غلظت بالاتر سیلیکون توفیقی در کاهش تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت شوری نداشته است که در عدم تفاوت معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز دیواره‌ای و میزان پراکسید هیدروژن (بین دو تیمار صفر و ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون در گیاهان تحت شوری) منعکس است. دلایل این امر و چگونگی اثرات منفی سیلیکون نیاز به تحقیقات بیشتر دارد.

این نتایج نشان می‌دهد که شوری با افزایش سمیت یون سدیم، عدم توازن یونی ناشی از کاهش جذب برخی عناصر ضروری، کمبود آب و در نهایت تشدید تنش با تنش اکسیداتیو رشد گیاه علف برهنئی را کاهش داده است. از طرف دیگر کاربرد سیلیسیم در سطح ۰/۷۵ میلی‌مولار با کاهش غلظت یون سدیم و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب تخفیف سمیت ناشی از شوری شد؛ در نتیجه میزان کلروفیل، پروتئین محلول افزایش و پراکسیداسیون لیپید و نشت الکترولیت‌ها از غشاهای زیستی کاهش یافت که احتمالاً موجب پایداری و حفظ انسجام غشاهای زیستی گردید. این عوامل موجب بهبود رشد گیاهان تحت تنش شوری با کاربرد ۰/۷۵ میلی‌مولار سیلیسیم گردید.

سپاس‌گزاری

به این وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه گلستان و ریاست محترم دانشکده علوم برای فراهم آوردن امکانات پژوهشی و بودجه لازم جهت انجام پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم مایا عزیزی تشکر می‌گردد. ضمناً از سرکار خانم مقدم و برهانی کارشناسان آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه گلستان قدردانی می‌شود.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]

References

1. Abdolzadeh, A., K. Shima & K. Chiba, 2000. Comparsion of growth, phothosynthesis and osmotic adjustment in a few grasses species. Pajouhesh-Va-Sazandegi, 49: 60-69. (In Persian)
2. Abdolzadeh, A., K. Shima & K. Chiba, 2002. Effect of different levels of salinity on ions accumulation and nitrogen absorbtion in *Lolium multiflorum*, *L. perenne* and *Festuca arundinacea*. Pajouhesh-Va-Sazandegi, 51: 57-61. (In Persian)
3. Ahmad, R., H.Z. Syed & I. Shoaib, 1992. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticom aestivum* L.). Plant Science, 85(1): 43-50.
4. Al-aghabary, K., Z. Zhu & Q. Shi, 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.
5. Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiology, 24(1): 1-15.
6. Ashraf, M., 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora, 199(5): 361-376.
7. Bandani. M & A. Abdolzadeh, 2007. Effects of silicon nutrition on salinity tolerance of *Puccinellia distans* (jacq.) parl. Journal of Agriculture Science & Natural Resources, 14(1): 111-119. (In Persian)
8. Blokhina, O., E. Virolainen & K. Fagerstedt, 2003. Antioxidant, Oxidative damage and Oxygen deprivation salt-sensitive maize: a Review. Annals of Botany, 91(2): 179-194.
9. Blum, A & A. Ebercon, 1981. Cell Membrane Stability as a Measure of Drought and Heat Tolerance in wheat. Crop Science, 21(1): 43-47.
10. Bradford, M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72(1-2): 248-254.
11. Chance, B & C. Maehly, 1955. Assay of catalase and peroxidases. Methods in Enzymology, 2(1): 764-775.
12. Elliot, C.L & G.H. Synder, 1991. Autoclave-Indused digestion for the colorimetric determination of silicon in Rice Straw. Journal of Agriculture Food Chemistry, 39(6): 1118-1119.
13. FAO, 2005. Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). http://apps.fao.org.
14. 14-Farshadfar, M., F. Moradi, H. Safari & I. Rezaie, 2014. Path analysis of the characters influencing forage yield in 36 Iranian and foreign populations of *Festuca arundinacea* species Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research 22 (1) : 101-108.
15. Farshidi, M., A. Abdolzadeh & Sadeghipour H.R, 2012. Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. Acta Physiologiae Plantarum, 34(5): 1779-1788.
16. Gong, H.J., X.Y. Zhu., K.M. Chen., S.M. Wang & C.L. Zhang, 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science, 169(2): 313-321.
17. Hashemi, A., A. Abdolzadeh & H.R. Sadeghipour, 2010. Benefical effects of silicon nutrition in alleviation salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. Soil Science and Plant Nutrition, 56(2): 244-253.
18. Mateos-Naranjo, E., L., Andrades-Moreno & A. J. Davy, 2013. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora* Plant Physiology and Biochemistry 63: 115-121.
19. Kiani-Chalmardi, Z., A. Abdolzadeh & H.R. Sadeghipour, 2012. Evaluation of the effects of silicon nutrition on alleviation of iron deficiency in rice plants (*Oriza sativa* L.) with emphasis on growth and antioxidant enzymes activity. Journal of Plant Biology, 4(14): 61-74. (In Persian)
20. Li, Q., Ma, C. and Shang, Q. 2007. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidant enzymes of maize under drought stress. Yingyong Shengtai Xuebao 18(3): 531-536.
21. Liang, Y.C., W.H. Zhang., Q. Chen & R.X. Ding, 2005. Effects of silicon on tonoplast H^+-ATPase and H^+-PPase activity, fatty acid composition and fluidity in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Environmental and Experimental Botany, 53(1): 29-37.
22. Liang, Y.C., W.H. Zhang., Q. Chen., Y.L. Liu & R.X. Ding, 2006. Effect of exogenus silicon (Si) on H^+-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgar* L.). Environmental and Experimental Botany, 57(3): 212-219.
23. Munns, R., 2006. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses, Plant Cell and Environment, 16(1): 15-24.
24. Noctor, G & C.H. Foyer, 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. Annul Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49: 249-279.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]

25. Pattanagul, W & M. Thitisakakul, 2008. Effect of salinity stress on growth and carbohydrate metabolism in three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity tolerance. Indian Journal of Experimental Biology, 46(10): 736-742.
26. Sego, R.D., 1982. Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties second edition. Soil Science Society of America Book Series. USA. Pp: 105-111.
27. Sergive, I., V. Alexieva & E. Karanov, 1997. Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogeneus protective systems and stress markers in plants. Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, 51: 121-124.
28. Szabolics, I., 1992. Salinization of soil and water its relation to desertification. Desertification Control Bulletin, 21: 32-37.
29. Tester, M & R. Devenport, 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants, Annals of Botany, 91(5): 1-25.
30. Yeo, A.R., S.A. Flowers., G. Rao., K.Welfare., N. Senanayake & T.J. Flowers, 1999. Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. Plant, Cell and Environment, 22(5): 559-565.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1394.9.1.5.8]