اثر تنش شوری و سیلیکون تکمیلی بر خصوصیات مورفولوژیک و روابط یونی گیاه کلزا

زهرا سلطانی[۱]، فرید شکاری[۱*]، خلیل جمشیدی[۱]، رضا فتوت[۱] و رقیه عظیم خانی[۱]

[۱]گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۳/۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٤/۰۹/۱۸)

چکیده:

جهت ارزیابی تاثیر شوری و سیلیکون بر برخی خصوصیات مرفولوژیک و تغذیه‌ای کلزا، رقم طلایه، آزمایشی با ٤ سطح سیلیکات پتاسیم (۰، ۱، ۲ و۳ میلی مولار) و ٤ سطح کلرید سدیم (۰، ۰/۳، ۰/٦ و ۰/۹ گرم بر کیلوگرم خاک) در شرایط گلخانه انجام گرفت. در شرایط بدون تنش کاربرد سلیکون اثری روی افزایش صفات اندازه‌گیری شده نداشت. اعمال تنش شوری موجب کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ و بوته و نسبت سطح برگ (LAR) گردید. اضافه کردن سیلسکون به محیط رشد سبب بهبود شاخص‌های ذکر شده گردید. بیشترین صفات مرفولوژیک و تولید زیست‌توده در شوری ملایم، ۰/۳ گرم نمک و سطوح سلیکون به کار رفته دیده شد. شوری موجب کاهش LAR گردید که بیانگر اثر شدیدتر تنش بر گسترش برگ در مقایسه با تولید زیست‌توده است. بالاترین وزن مخصوص برگ (SLW) در شرایط شوری قوی و بدون کاربرد سلیکون به دست آمد. در مقابل کاربرد سلیکون باعث شد تا میزان SLWدر شرایط شوری کاهش یابد؛ که بیانگر اثر سلیکون در گسترش برگ می‌باشد. با افزایش شوری در تیمارهای بدون کاربرد سیلیسیم غلظت سدیم افزایش، ولی غلظت پتاسیم و کلسیم کاهش یافت. کاربرد سیلیسیم موجب کاهش معنی‌دار در مقدار سدیم جذب شده و افزایش میزان پتاسیم و کلسیم در مقایسه با تیمارهای فاقد سیلیسیم گردید. نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم در تمام سطوح سیلیسیم مصرفی افزایش نشان داد. کاربرد سیلیسیم موجب گردید تا غلظت سیلیس در مقایسه با تیمارهای بدون کاربرد سیلیکون افزایش معنی‌داری نشان داد.

کلمات کلیدی: پتاسیم، سدیم، سیلیکون، کلزا، کلسیم، نسبت سطح برگ.

مقدمه:

شوری خاک زمانی به وجود می‌آید که نمک‌های محلول در غلظت بالا در منطقه توسعه ریشه تجمع پیدا کنند و این عمل می‌تواند کاهش عملکرد گیاه را موجب گردد. در اراضی آبی این نمک‌ها از آب آبیاری و یا سطح ایستابی بالا ناشی می‌شوند (Rhoades *et al.*, 1992). مکانیسم‌های مسئول کاهش رشد گیاهان تحت تنش شوری عبارت هستند از ۱- تنش اسمزی ۲- سمیت مخصوص یونی ۳- عدم تعادل مواد غذایی ٤- تنش اکسیداتیو (Anser *et al.*, 2012). در اندام هوایی، تجمع زیاد Na^+ سبب بروز دامنه وسیعی از مشکلات اسمزی و متابولیکی در گیاه می‌شود. در زمان بروز تنش شوری ناشی از Na^+، خسارت وارده به برگ‌ها همواره بسیار بیشتر از ریشه‌ها است و دلیل آن تجمع بیشتر Na^+ (و Cl^-) در برگ‌ها نسبت به ریشه‌ها است. هنگام بروز تنش Na^+، به طور مشخص کمبود سایر عناصر غذایی نیز ایجاد می‌شود، زیرا افزایش میزان Na^+ جذب سایر عناصر را مختل می‌کند. پیشنهاد شده است که اختلال در جذب عناصر غذایی به روش‌های زیر انجام می‌شود: ۱) اختلال مستقیم در جذب عناصر، از طریق تداخل

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: shekari@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

در هنگام انتقال عناصر دیگر از خلال غشاء سلولی، مانند کانال‌های یونی اختصاصی برای پتاسیم و ۲) جلوگیری از رشد ریشه، بوسیله اثرات تخریبی Na^+ در ساختمان خاک و تنش اسمزی ناشی از این یون. در یک جمع‌بندی، تنش Na^+ قادر است که جذب آب را کاهش داده و به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی (مانند فسفر، آهن و روی) رشد گیاه را محدود نماید. علاوه بر این وجود نمک در خاک، رشد میکروارگانیزم‌های مفید خاک، مانند میکروریزا قارچی را به شدت مختل می‌نماید که به نوبه خود اثرات منفی بر رشد گیاهان می‌گذارد (Tester and Davenport, 2003). .

سیلیکون نقش متمایز و معنی‌داری در فرآیندهای تشکیل و باروری خاک و تغذیه گیاهان بازی می‌کند. فرضیات متعددی در توضیح اثر سیلیس فعال روی مقاومت به شوری گیاهان وجود دارد که عبارت هستند از: ۱) بهبود فعالیت فتوسنتزی ۲) افزایش نسبت انتخابی K^+/Na^+ ۳) افزایش فعالیت آنزیم‌ها ٤) افزایش مواد محلول در آوند چوبی ۵) کاهش جذب سدیم توسط گیاهان؛ و بالاخره، ٦) حفاظت مکانیکی در برابر سمیت عناصر سنگین را نیز انجام می‌دهد (Matichenkov, 2008). همچنین، این فرضیه نیز مطرح شده است که مکانیسم‌های اضافی و شاید دیگری نیز برای سنتز مخصوص و غیر مخصوص حفاظت‌گرهای تنش در سلول‌های گیاهی وجود دارند که به وسیله خواص کاتالیکی ماتریکس پلی سیلیسیک اسید فراهم می‌شوند (Matichenkov, 2008). از نظر اهمیت سیلیس در تغذیه گیاهی، سیلیس جز عناصر سودمند در زیست‌شناسی گیاهی طبقه‌بندی می‌شود که به طور حتم یکی از نیازهای مهم برای رشد عادی بسیاری از گیاهان می‌باشد و بایستی به عنوان عنصر بسیار کم ضروری (Quasi essential) نامیده شود. گزارش شده است سیلیس تکمیلی نقش محوری در افزایش محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، مواد فتوسنتزی و استحکام گیاهان تحت شرایط تنش زا بازی می‌کند (Anser *et al*., 2012).

هدف از اجرای این آزمایش بررسی تاثیر کاربرد سیلیسیم بر صفات مورفولوژیک و غلظت عناصر گیاه کلزا تحت تنش شوری حاصل از کلرید سدیم و امکان تغییر و بهبود نحوه تغذیه کلزا بود.

مواد و روش‌ها:

آزمایش گلخانه‌ای به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در گلخانه دانشگاه زنجان انجام گردید. در این آزمایش تاثیر سیلیکات پتاسیم روی گیاه کلزا تحت تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت. بذرهای کلزا، رقم طلایه از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردیدند. تیمارهای آزمایشی شامل شوری در ٤ سطح (۰، ۰/۳، ۰/٦ و ۰/۹ گرم بر کیلوگرم خاک معادل با ۲/۳، ٦/۵، ۸ و ۱۰/۷ دسی زیمنس بر متر) و سیلکات پتاسیم در ٤ سطح (۰، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) بودند. آزمایش با گلدان‌های پلاستیکی با گنجایش ۷ کیلو گرم خاک اجرا گردید. خاک بکار رفته مخلوطی از خاک زراعی، ماسه و کود آلی پوسیده با نسبت ۱:۳:٦ بود. خاک زراعی پس از الک چند نوبت با ماسه و کود آلی مخلوط گردید و پس از اضافه کردن نمک و سطوح مختلف سیلیکات پتاسیم، گلدان‌ها با خاک تیمار مربوط پر شدند. تعداد ۲۵ بذر پس از ضد عفونی توسط قارچ‌کش کربوکسی تیرام در هر گلدان کاشته شد و در مرحله ۲ تا ۳ برگی گیاهچه‌های بصورت تصادفی تنک شدند. بعد از تنک کردن تعداد پنج بوته در هر گلدان باقی ماند.

در مرحله شروع گلدهی، گیاهان موجود در گلدان‌ها برداشته شده و پس از اندازه‌گیری سطح برگ، برگ‌های نمونه‌برداری شده ابتدا با آب معمولی و سپس با آب مقطر شسته شدند و در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک گردیدند. همین عمل برای ساقه نیز انجام گردید و وزن خشک برگ و ساقه بصورت جداگانه یادداشت گردید. نسبت سطح برگ و وزن ویژه برگ با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (Hunt, 1982):

Leaf Area Ratio (LAR) = Leaf Area (cm^2)/Total Dry Weight (g)

Specific Leaf Weight (SLW) = Leaf weigh (mg)/Leaf Area (cm^2)

جهت اندازه‌گیری میزان عناصر معدنی موجود در برگ‌ها، نمونه‌های خشک شده برگی کاملا پودر و از الک ۰/۵ میلی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

متری عبور داده شدند و در ظروف درب‌دار ریخته و شماره زده شدند. اندازه‌گیری عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در گیاه به روش هضم تر با سولفوریک اسید – سالسیلیک اسید و آب اکسیژنه (Emami, 1996) و غلظت سیلیسیم نیز به روش مونو سیلیسیک اسید اندازه‌گیری شد (Elliot and Snyder, 1991). غلظت سدیم و پتاسیم با دستگاه فیلم‌فتومتر مدل (Jenway-PFP7) و میزان کلسیم نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری سیلیسیم با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر همانند قرائت نمونه‌های فسفر عمل شد، با این تفاوت که جذب نور در طول موج ٤٠٠ نانومتر قرائت گردید.

تجزیه واریانس صفات با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ با استفاده از نرم‌افزار MSTATC مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث:

اثر متقابل تیمارهای سیلیکات پتاسیم و شوری بر صفات سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک بوته، نسبت سطح برگ و وزن مخصوص برگ معنی‌دار بودند. اثر شوری و سیلیس بر غلظت عناصر نمونه‌های برگی در سطح احتمال ۱ در صد معنی‌دار شد.

سطح برگ: بالاترین مقدار سطح برگ در تیمار ۳ میلی مولار Si و شوری ٦/٥ dS/m مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد و کمترین میزان سطح برگ نیز در تیمار بدون کاربرد Si و شوری ۱۰/۷ dS/m مشاهده شد و اختلاف معنی‌داری را با تیمار بدون کاربرد Si و شوری ۸dS/m نشان نداد (جدول ۱). در شرایط بدون کاربرد سیلیکات پتاسیم طیف پیوسته‌ای از کاهش سطح برگ در گیاهان دیده شد. در حالیکه در تمامی تیمارهایی که سیلیسیم در آنها به کار رفته بود در شوری ٦/٥ دسی زیمن برمتر افزایش در سطح برگ دیده شد و در فراتر از این مقدار کاهش در سطح برگ مشاهده گردید. زمانی که گیاهی در معرض شوری قرار می‌گیرد، در ثانیه‌ها یا دقایق اولیه، سلول‌ها آب خود را از دست داده و چروکیده می‌شوند. در طی ساعات، سلول‌ها حجم واقعی خود را باز می‌یابند، اما سرعت رشد (بزرگ شدن) سلول کاهش می‌یابد. این امر منجر به کاهش سرعت رشد برگ و ریشه می‌شود. در طی روزها، تغییرات در رشد سلول و تقسیم سلولی منجر به ظهور کندتر برگ و سرانجام اندازه کوچکتر سلول می‌شود. معمولاً رشد برگ بیشتر از رشد ریشه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در گیاهان با مقادیر بالای جذب نمک، پیرترین برگ ممکن است شروع به نشان دادن علایم آسیب می‌نماید. پس از گذشت هفته‌ها، ممانعت از رشد ساقه‌های جانبی مشهود شده و در گیاهان با مقادیر بالای جذب نمک، ممکن است تعدادی از برگ‌ها بمیرند (Munns, 2002). تحقیقات نشان می‌دهد در اثر تنش شوری ارتفاع گیاه و سطح برگ بسیار سریع‌تر از سایر پارامترهای مورفولوژیک و فنولوژیک کاهش می‌یابد. زیرا تجمع ماده خشک حاصل میزان فتوسنتز خالص و سطح فتوسنتزکننده گیاهی می‌باشد (Munns, 2002). پاسخ فوری به تنش شوری در کاهش میزان سطح برگ است که منجر به توقف گسترش برگ با افزایش غلظت شوری می‌گردد (Geccoli *et al.*, 2015). همچنین، تنش شوری منجر به کاهش وزن خشک و تر برگ‌ها، ساقه و ریشه در گیاه نخود فرنگی گردید (Hernandez *et al.*, 2001). کاهش در میزان فتوسنتز به ویژه از طریق کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و تا حدودی کاهش در کارایی فتوسیستم II تحت تاثیر قرار گرفت (Netondo *et al.*, 2004). Hossein و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند کاربرد سیلیکون در برنج، گندم و یولاف موجب افزایش ابعاد برگ از برگ دوم و یا سوم گردید، ولی روی ابعاد کلوپتیل و برگ اول اثر معنی‌داری را نداشت. سلول‌های اپیدرمی افزایش اندازه طولی را به ویژه در قسمت پایه‌ای برگ نشان دادند. افزایش مشاهده شده در ابعاد برگ بر اثر افزایش تعداد سلول نبود بلکه بر اثر افزایش ابعاد سلول انجام گردید؛ که بیانگر اثر سلیکون روی طویل شدن سلول است و نه تقسیم سلولی. آنها همچنین اعلام کردند قابلیت گسترش (extensibility) دیواره سلولی به طور معنی‌داری در ناحیه پایه‌ای برگ سوم برنج افزایش یافته بود که نشان‌دهنده اثر تحریک کنندگی سلیکون در رشد برنج می‌باشد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

جدول ۱- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مؤلفه‌های مورد بررسی در سطوح مختلف شوری و سیلیکون

Si	NaCl	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک بوته	نسبت سطح برگ	وزن مخصوص برگ
۰	۰	۱۹۵۳/۸ c	۳/۱۸۷ c.e	۵/٤۵۲ b.d	۳٦۰/۳۸ ab	۰/۰۰۱٦ bc
	٦/۵	۱۷٦٦/۵ c	۲/۹۹٦ c.f	٤/٦۰۱ d	۳۸٤۷/۱۷ ab	۰/۰۰۱٦ bc
	۸	۸۳٤/۷ d	۲/۲٤۲ fg	۳/۲۵۷ e	۲۵۷/۳۱ cd	۰۰/۰۰۲ a
	۱۰/۷	۷۳۱/۳ d	۲/۱۵ g	۳/۲۳۹ e	۲۵۱/۸۵ d	۰/۰۰۲۷ a
۱	۰	۱۸٦۸/۷ c	۳/۲۱۳ c.e	۵/۳۵۳ b.d	۳٤۹/۵۷ ab	۰/۰۰۱۷ c
	٦/۵	۲٤۷۸/٦ b	٤/٤٦۸ b	۷/۰۷۵ a	۳۵۲/۸٤ ab	۰/۰۰۱۸ bc
	۸	۱۸٤۷/۹c	۳/۷٦۲ bc	۵/۸٦۷ bc	۳۱٦/۳٤ bc	۰/۰۰۲ b
	۱۰/۷	۱۸۷۱/۳ c	۲/۸۰۷ d.g	۵/٤۲۸ b.d	۳۳٤/۷۳ b	۰/۰۰۱۵ c
۲	۰	۱۷۸۲/٤ c	۳/۲۱۲ c.e	٤/۷۷٤ cd	۳۷٦/۰۷ ab	۰/۰۰۱۸ bc
	٦/۵	۱۸۰۳/۱ c	۲/۷۷۲۳ e.g	٤/۸۸٦ b.d	۳۷۰/۱٤ ab	۰/۰۰۱٤ c
	۸	۱۷۷۷/۵ c	۳/٦۰۹ cd	۵/٦۰۲ b.d	۳۱۷/٦۱ bc	۰/۰۰۲ b
	۱۰/۷	۱۹۱۷/۳ c	۲/۹۷٦ cf	۵/۹۸۱ b	۳۲۰/۵۱ bc	۰/۰۰۱۵ c
۳	۰	۱۸۸۵/۸ c	۳/۱۱۵ c.e	۵/۵٤۱ bd	۳٤۰/۰۸ ab	۰/۰۰۱۸ bc
	٦/۵	۲۹۵۸/٤ a	۵/۲۲۷ a	۷/۲۵۸ a	٤۰۷/۷٦ a	۰/۰۰۱۷ bc
	۸	۱۷۸۸ c	۳/۳۹۳ c.e	۵/٤۱ b.d	۳۲۹/۹۷ b	۰/۰۰۱۹ bc
	۱۰/۷	۱۷۵۵/٤ c	۳/۱۲۳ c.e	۵/۲٦۵ b.d	۳۳٤/۵۹ b	۰/۰۰۱۷ bc

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

در گزارش مشابهی، کاربرد سیلیکون در گیاهان گوجه فرنگی موجب کاهش خسارت ناشی از تنش شوری گردید. در گیاهان تحت تنش شوری و بدون کاربرد سیلیکون سطح برگ نسبت به تیمار شاهد ۵۸ درصد کاهش نشان داد. در مقابل، اضافه کردن سیلیکون موجب گردید تا میزان کاهش سطح برگ به ۲۲ درصد محدود شود. این اثر مرتبط با بهبود پتانسیل تورمی و وضعیت آب در گیاه بود (Romero-Aranda *et al.*, 2006).

وزن خشک برگ و بوته: بالاترین وزن خشک بوته در تیمار با کاربرد ۳ میلی مولار Si و شوری ٦/۵ dS/m مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری را با تیمار ۱ میلی مولار Si و شوری ٦/۵ dS/m نشان نداد و کمترین وزن خشک بوته نیز در تیمار بدون کاربرد Si و شوری ۱۰/۷ dS/m مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری را با تیمار بدون کاربرد Si و شوری ۸ dS/m نشان نداد (جدول ۱). نظیر حالت مشاهده شده برای سطح برگ، وزن خشک برگ و بوته نیز در شرایط بدون کاربرد سیلیکون روند کاهشی پیوسته‌ای را نشان دادند. ولی اضافه کردن سلیکون به محیط رشد گیاه موجب شد تا از یک سو میزان خسارت نمک در گیاه کاهش پیدا کند و میزان ماده خشک تولید شده در مقایسه با تیمارهای معادل نمک ولی بدون کاربرد سلیکون افزایش یابد معنی‌داری رانشان دهد و از سوی دیگر در سطح شوری ٦ دسی زیمن بر متر، تمامی تیمارهای کاربرد سیلیکون افزایشی در مقدار ماده خشک تجمع یافته در برگ و بوته به وجود آوردند. احتمال دارد در سطوح پایین و غلظت‌های رقیق نمک اثرات بهبود دهنده‌ای بین سیلسیم و سدیم در رشد گیاه وجود داشته باشد.

رشد گیاه به طور معمول نتیجه تمام فرآیندهای متابولیکی است که خود را با افزایش توده خشک، حجم، طول یا سطح سلول‌ها نشان می‌دهد (Amal *et al.*, 2010). کاهش رشد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

جدول ۱- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مؤلفه‌های مورد بررسی در سطوح مختلف شوری و سیلیکون

Si	NaCl	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک بوته	نسبت سطح برگ	وزن مخصوص برگ
۰	۰	۱۹۵۳/۸ c	۳/۱۸۷ c.e	۵/۴۵۲ b.d	۳۶۰/۳۸ ab	۰/۰۰۱۶ bc
	۶/۵	۱۷۶۶/۵ c	۲/۹۹۶ c.f	۴/۶۰۱ d	۳۸۴۷/۱۷ ab	۰/۰۰۱۶ bc
	۸	۸۳۴/۷ d	۲/۲۴۲ fg	۳/۲۵۷ e	۲۵۷/۳۱ cd	۰۰/۰۰۲ a
	۱۰/۷	۷۳۱/۳ d	۲/۱۵ g	۳/۲۳۹ e	۲۵۱/۸۵ d	۰/۰۰۲۷ a
۱	۰	۱۸۶۸/۷ c	۳/۲۱۳ c.e	۵/۳۵۳ b.d	۳۴۹/۵۷ ab	۰/۰۰۱۷ c
	۶/۵	۲۴۷۸/۶ b	۴/۴۶۸ b	۷/۰۷۵ a	۳۵۲/۸۴ ab	۰/۰۰۱۸ bc
	۸	۱۸۴۷/۹c	۳/۷۶۲ bc	۵/۸۶۷ bc	۳۱۶/۳۴ bc	۰/۰۰۲ b
	۱۰/۷	۱۸۷۱/۳ c	۲/۸۰۷ d.g	۵/۴۲۸ b.d	۳۳۴/۷۳ b	۰/۰۰۱۵ c
۲	۰	۱۷۸۲/۴ c	۳/۲۱۲ c.e	۴/۷۷۴ cd	۳۷۶/۰۷ ab	۰/۰۰۱۸ bc
	۶/۵	۱۸۰۳/۱ c	۲/۷۷۲۳ e.g	۴/۸۸۶ b.d	۳۷۰/۱۴ ab	۰/۰۰۱۴ c
	۸	۱۷۷۷/۵ c	۳/۶۰۹ cd	۵/۶۰۲ b.d	۳۱۷/۶۱ bc	۰/۰۰۲ b
	۱۰/۷	۱۹۱۷/۳ c	۲/۹۷۶ cf	۵/۹۸۱ b	۳۲۰/۵۱ bc	۰/۰۰۱۵ c
۳	۰	۱۸۸۵/۸ c	۳/۱۱۵ c.e	۵/۵۴۱ bd	۳۴۰/۰۸ ab	۰/۰۰۱۸ bc
	۶/۵	۲۹۵۸/۴ a	۵/۲۲۷ a	۷/۲۵۸ a	۴۰۷/۷۶ a	۰/۰۰۱۷ bc
	۸	۱۷۸۸ c	۳/۳۹۳ c.e	۵/۴۱ b.d	۳۲۹/۹۷ b	۰/۰۰۱۹ bc
	۱۰/۷	۱۷۵۵/۴ c	۳/۱۲۳ c.e	۵/۲۶۵ b.d	۳۳۴/۵۹ b	۰/۰۰۱۷ bc

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

رویشی و وزن خشک به دلیل کاهش آماس سلول‌ها است که متاثر از فرآیندهای اسمزی می‌باشد. در بررسی وزن خشک و طول گیاهچه‌های جو در شرایط شور، اظهار شده است که برای نشان دادن حساسیت به شوری وزن خشک معیار مناسب‌تری نسبت به طول گیاهچه می‌باشد (Ekiz and Yilmaz, 2003). Kerepesi و Galiba (۲۰۰۰) در گندم گزارش کردند کاهش سطوح فتوسنتز کننده و مصرف بیش از حد انرژی جهت کنترل و کاهش اثر تنش شوری ناشی از افزایش غلظت NaCl برای برقراری تعادل یونی و اسمزی و جلوگیری از سمیت یون‌ها و نیز حفظ آماس سلولی می‌تواند از علل عمده کاهش عملکرد ماده خشک باشد. شوری با کاهش جذب آب و توسعه ریشه‌ها باعث کاهش تجمع ماده خشک گردید. گزارش شده است شوری موجب کاهش پارامترهای رشد (وزن خشک ساقه و ریشه) در گیاه جو (Tayeb, 2005)، و گندم (Kaydan, 2007) شد. Kaori و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند با کاربرد سیلیکون در محیط ریشه سورگوم، میزان کاهش وزن خشک ریشه تحت تنش شوری کاهش پیدا کرد که همراه با افزایش جذب آب بود. کاربرد سیلیکون پتانسیل اسمزی ریشه را بدون اثر بر محتوای آب کاهش داد، که نشان می‌دهد تنظیم اسمزی با افزایش جذب آب رخ داده است. Moussa (۲۰۰۶) نشان داد که افزودن سیلیسیم تجمع ماده خشک را در همه بخش‌های گیاه ذرت تحت تنش شوری افزایش داد. کاربرد NaCl در محلول غذایی منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در تجمع ماده خشک شد. سیلیسیم افزوده شده در تجمع ماده خشک در شرایط بدون تنش شوری موثر نبود و مشخص شد که سیلیسیم در محلول غذایی، بازدارندگی رشدی که توسط NaCl ایجاد می‌شود را کاهش می‌دهد. نتایج آزمایش حاضر نیز همخوانی با نتایج آزمایش ذکر شده را دارد که در آزمایش حاضر نیز در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

شرایط بدون اعمال شوری کاربرد سیلیکون اثری را در افزایش ماده خشک برگ یا بوته نداشت.

نسبت سطح برگ: بالاترین نسبت سطح برگ در تیمار با کاربرد ۳ میلی مولار Si و شوری ٦/٥ dS/m مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری را با تیمارهای بدون کاربرد Si در شوری‌های ۲/۳ dS/m و ٦/٥، تیمارهای با کاربرد ۱ میلی مولار Si در تمام سطوح شوری و تیمارهای با کاربرد ۲ میلی مولار در شوری‌های ۲/۳ dS/m و ٦/٥ و تیمارهای با کاربرد ۳ میلی مولار Si بدون شوری نشان نداد. کمترین نسبت سطح برگ نیز در تیمار بدون کاربرد Si و شوری ۱۰/۷ dS/m مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری را با تیمار بدون کاربرد Si و شوری ۸ dS/m نشان نداد (جدول ۱).

نسبت سطح برگ (LAR)، بیان کننده نسبت بین سطح پهنک برگ یا بافت‌های فتوسنتز کننده به کل بافت‌های تنفس کننده یا وزن گیاه است. همچنین، LAR نشان‌دهنده پربرگی در گیاه است (Hunt, 1982). اظهار شده است تنش‌های محیطی نظیر تنش رطوبتی از طریق تسریع پیری و ریزش برگ‌ها اثر خود را روی کاهش سطح برگ می‌گذارد که به این ترتیب نسبت سطح برگ را متأثر می‌کنند (Silim *et al.*, 1993). در گیاهان پنبه رشد کرده تحت شرایط آبیاری منظم و تنش مقدار LAR کاهش معنی‌داری را بر اثر اعمال تنش مشاهده گردید (Noreen *et al.*, 2013). Oliveira و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند در گیاهان ۷۰ روزه بادمجان که با آب با شوری‌های متفاوت آبیاری شده بودند، ارتفاع قطر ساقه، تعداد برگ، وزن خشک برگ، سطح ویژه برگ و نسبت سطح برگ تحت تاثیر شوری قرار گرفتند. ولی بیشترین تاثیر روی تعداد و سطح برگ بود.

وزن مخصوص برگ: در مرحله قبل از گلدهی بالاترین وزن مخصوص برگ در تیمار بدون کاربرد Si و شوری dS/m ۱۰/۷ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری را با تیمار بدون کاربرد Si و شوری ۸ dS/m نشان نداد و کمترین وزن مخصوص برگ نیز در تیمار با کاربرد ۱ میلی مولار Si و شوری ۱۰/۷ dS/m مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری را با تیمارهای ۱ میلی مولار Si در غلظت‌های شوری ٦/٥ dS/m و ۲/۳ ، تیمارهای بدون کاربرد Si و غلظت‌های شوری dS/m ٦/٥ و ۲/۳، تیمارهای با کاربرد ۲ میلی مولار Si و غلظت‌های شوری ۸ dS/m و٦/٥ ، ۲/۳ نشان نداد (جدول ۱). از دلایل افزایش وزن مخصوص برگ با افزایش سطوح شوری، افزایش تجمع یون سدیم در برگ‌ها می‌باشد. هر چه وزن مخصوص برگ بیشتر باشد می‌تواند نشان دهنده این باشد که از مقدار مواد آلی برگ کم شده و مواد معدنی جایگزین آنها شده است. همچنین، افزایش SLW بیانگر این مطلب است که تعداد لایه‌های مزوفیلی برگ افزایش پیدا کرده که باعث افزایش ضخامت برگ نیز خواهد شد (Hunt, 1982). افزایش میزان SLW در برگ‌های کلزا تحت تنش کمبود آب در مقایسه با گیاهان شاهد گزارش شده است (میارصادقی و همکاران، ۱۳۸۹). در چغندر علوفه‌ای سطح ویژه برگ (SLA) با افزایش شوری با ٤٧ درصد و در چغندر قند ۳٦ درصد کاهش یافت.(Niazi, 2007). در گیاهان هالوفیت افزایش وزن مخصوص برگ بر اثر تنش شوری به دلیل کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت برگ گزارش شده است (Flowers *et al.*, 1977). کاربرد Si می‌تواند سطح برگ، تعداد برگ و تا اندازه‌ای ضخامت برگ و سطح ویژه برگ و محتوای آب هر برگ را بهبود بخشد که احتمالا به سبب تجمع کمتر یون‌های سمی در برگ‌ها و دیگر عوامل شناخته نشده باشد. همچنین، تخفیف اثرات شوری روی تغییرات آناتومیکی نظیر افزایش ضخامت برگ و سطح مخصوص برگ به دنبال کاربرد Si ممکن است مربوط به کاهش تجمع یون‌های سمی باشد (Farshidi *et al.*, 2012). احمد و همکاران (Ahmad *et al.*, 2011) در سورگوم‌های تحت تنش گزارش کردند کاربرد Si منجر به افزایش سطح برگ، شاخص سطح برگ و وزن ویژه برگ گردید. به نظر آنها افزایش SLW و LAI می‌تواند منجر به افزایش میزان جذب نور و بهبود تولید ماده خشک در گیاه گردد.

در آزمایش حاضر با افزایش شوری اندازه و سطح برگ کاهش پیدا کرد ولی در مقابل وزن آن در تعدادی از تیمارهای کاربرد سیلیکون افزایش یافت. از آنجا که سطح برگ صورت کسر LAR و وزن برگ صورت کسرSLW را تشکیل می‌دهند، کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

نسبت برگ با افزایش شوری و افزایش وزن ویژه برگ قابل انتظار است. کاهش وزن خشک گیاه در شرایط تنش شوری، به علت کاهش سطح برگ می‌باشد. زیرا کاهش سطح برگ، میزان دریافت نور را کاهش داده و در نتیجه میزان فتوسنتز و تجمع ماده خشک کاهش می‌یابد (Orcutt and Nilsen, 2000).

غلظت سدیم: در تیمار بدون کاربرد Si و سطح شوری ۱۰/۷ dS/m بیشترین مقدار سدیم جذب شده به پیکره گیاهی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارها نشان داد. کمترین مقدار محتوای سدیم نیز در تیمار با کاربرد ۳ میلی مولار Si و بدون اعمال شوری مشاهده شد و با تیمار شاهد، تیمار با کاربرد ۱ میلی مولار Si و بدون شوری، تیمار با کاربرد ۲ میلی مولار Si و بدون کاربرد نمک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). به طور کلی افزایش سطح نمک بکار رفته موجب افزایش میزان سدیم موجود در بافت‌های گیاهی گردید. در مقابل، افزودن سیلیس به محیط ریشه در تمام سطوح شوری منجر به کاهش سدیم جذب شده در بافت‌های گیاهی گردید. انتقال سدیم یک فرآیند انرژی خواه است که ورود آن به واکوئل توسط آنتی‌پورت Na^+/H^+ تونوپلاستی و خروج آن از سیتوپلاسم به آپوپلاست توسط آنتی‌پورت Na^+/H^+ غشای پلاسمایی صورت می‌گیرد (Leidi *et al.*, 1991). H^+-PPase و H^+-ATPaseدر تونوپلاست و H^+-ATPase در غشای پلاسمایی نیروی لازم برای آنتی‌پورت Na^+/H^+ را فراهم می‌کنند (Marschner, 1995). پیشنهاد شده که سیلیسیم باعث افزایش فعالیت H^+-PPase و H^+-ATPase تونوپلاست وH^+-ATPase غشاء پلاسمایی در ریشه جو در معرض تنش شوری می‌شود و این افزایش فعالیت H^+-ATPase و H^+-PPase به آنتی پورت Na^+/H^+کمک کرده که باعث خروج Na^+ به آپوپلاست و همچنین تحویلNa^+ به واکوئل ریشه شده و در نتیجه انتقال سدیم از ریشه به ساقه کاهش می‌یابد (Lazof and Bernstein,1999) اما مکانیسمی که باعث چنین فرآیندهایی می‌شود هنوز واضح نیست.

غلظت پتاسیم: در تیمار با کاربرد ۳ میلی مولار Si و سطح شوری ٦/٥ dS/m بیشترین مقدار پتاسیم جذب شده دیده شد و با تیمار شاهد، تیمار ۱ میلی مولار Si و بدون شوری و تیمارهای با کاربرد ۳ میلی مولار Si و سطوح شوری ۲/۳ dS/m، ۸ و ۱۰/۷ اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. کمترین میزان پتاسیم در تیمار بدون کاربرد Si و سطح شوری ۱۰/۷ dS/m دیده شد و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). پتاسیم مهمترین عنصر در محلول‌های غیر آلی گیاه است و نقش مهمی در کاهش پتانسیل اسمزی در مغز ریشه دارد که لازمه فشار تورگر برای سلول، انتقال شیره خام در آوند چوبی و متعادل ساختن آب گیاه است (Liang *et al.*, 2005) در شرایط شوری سدیمی نه تنها مقادیر زیاد سدیم در جذب پتاسیم به وسیله ریشه مزاحمت ایجاد می‌کند بلکه به غشاء سلولی نیز آسیب زده و عمل انتخابی آن برای جذب پتاسیم بیشتر نسبت به سدیم که لازمه فرایندهای متابولیکی مانند انتقال و تعدیل اسمزی است را تغییر می‌دهد (Flowers and Dalmond, 1992) مطالعات نشان می‌دهد که افزایش سدیم در محیط ریشه یا افزایش نسبت سدیم به کلسیم باعث کاهش جذب پتاسیم به وسیله ریشه می‌شود (Flowers and Dalmond, 1992). Ekiz و Yilmaz (۲۰۰۳) گزارش کردند در گیاهچه‌های ژنوتیپ‌های مختلف جو با افزایش غلظت نمک در محیط جذب پتاسیم کاهش، ولی جذب سدیم افزایش یافت که می‌تواند به دلیل افزایش جذب سدیم نسبت به پتاسیم باشد. همچنین اظهار شده است با افزایش شوری جذب سدیم افزایش و جذب پتاسیم و کلسیم کاهش می‌یابد (Ma and Takahashi, 1993). تجمع سدیم و پتاسیم در بافت‌های گیاهی ارتباط آنتاگونیستی دارند، به عبارت دیگر ارتباط منفی بین آنها وجود دارد چنانکه افزایش میزان سدیم باعث کاهش میزان پتاسیم می‌شود (Epstein, 1999). جذب و انتقال پتاسیم یک انتقال فعال در غشا H^+ -ATP drivenاست که در ارتباط با پمپ پلاسمایی می‌باشد (Matoh *et al.*, 1986). بر اساس گزارش Liang (۱۹۹۹) در اثر کاربرد سیلیسیم احتمالا افزایش فعالیت پمپ H^+-ATPase باعث افزایش جذب پتاسیم می‌شود. در آزمایش حاضر، افزایش میزان سیلیسیم همسو با افزایش محتوای پتاسیم در گیاه بود. نتایج این تحقیق مطابق با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مؤلفه‌های مورد بررسی در سطوح مختلف شوری و سیلیکون.

Si	NaCl	غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	نسبت پتاسیم به سدیم	غلظت کلسیم	نسبت کلسیم به سدیم	غلظت سیلیسیوم
۰	۰	۰/۱۷۶ fg	۳/۶۰۲ ab	۱۴/۷۵۸ c	۲۷/۰۴۵ de	۱۵۳/۳ b.d	۰/۸۲۶ d
	۶/۵	۰/۲۴۱ ef	۲/۴۵۲ d	۱۴/۴۶۳ cd	۲۷/۴۳۶ de	۱۱۵/۵۷ cd	۰/۷۶۰ d
	۸	۰/۶۱۸ b	۲/۴۸۱ d	۴/۰۱۳ de	۱۵/۴۹۶ f	۲۵/۰۶ ef	۰/۷۲۶ d
	۱۰/۷	۰/۷۶۴ a	۱/۶۸۷ e	۲/۲۰۹ e	۱۳/۶۰۴ f	۱۷ f	۰/۶۵۷ d
۱	۰	۰/۱۵۹ g	۳/۶۸۰ a	۲۳/۶۰۶ ab	۳۰/۱۰۱ c.e	۱۹۵ b	۱/۲۸۴ c
	۶/۵	۰/۲۴ ef	۲/۷۸ d	۱۲/۰۵۵ c	۲۹/۶۶۱ c.e	۱۲۷/۷ b.d	۱/۸۱۲ ab
	۸	۰/۳۳۳ cd	۲/۶۱۶ d	۸/۰۸۳ cd	۳۴/۵۴۳ bc	۱۰۵/۱ cd	۱/۸۱۶ ab
	۱۰/۷	۰/۲۶ de	۲/۶۴۵ d	۱۰/۱۱۳ c	۲۵/۴۹۲ e	۹۸/۸ de	۱/۷۵۹ ab
۲	۰	۰/۱۳۹ g	۲/۵۸۸ d	۱۹/۷۰۸ b	۳۵/۹۹ bc	۲۷۱/۲ a	۱/۷۶۲ ab
	۶/۵	۰/۳۱۷ cd	۲/۶۸۷ d	۸/۵۳۴ c.e	۲۶/۰۴۹ e	۸۳/۳ d.f	۱/۸۸۲ a
	۸	۰/۳۲ cd	۲/۹۰۷ b.d	۹/۰۵ cd	۳۷/۲۶۴ b	۱۱۶/۱ cd	۱/۷۵۲ ab
	۱۰/۷	۰/۲۳۹ ef	۲/۸۲۹ cd	۱۱/۹۶۷ c	۴۳/۷۶۳ a	۱۸۳/۳ bc	۱/۸۸۹ a
۳	۰	۰/۱۳۲ g	۳/۵۵۲ a.c	۲۷/۳۴۶ a	۳۷/۶۰۴ ab	۲۸۹/۴ a	۱/۹۰۳ a
	۶/۵	۰/۲۸۱ de	۳/۷۴۳ a	۱۳/۲۷۴ c	۳۴/۷۱۲ bc	۱۲۳/۴ b.d	۱/۷۰۸ ab
	۸	۰/۳۸۶ c	۳/۵۱۶ a.c	۹/۵۴۸ cd	۳۱/۳۷۶ b.e	۸۵/۶ d.f	۱/۴۸۵ bc
	۱۰/۷	۰/ ۳۷۳ c	۳/۶۵۱ a	۹/۷۷ cd	۳۳/۷۶۶ b.d	۹۰/۵ d.f	۱/۶۲ a.c

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

یافته‌های Liang و همکاران (۱۹۹۹) است.

نسبت یون‌های پتاسیم به سدیم: بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم در تیمار با کاربرد ۳ میلی مولار Si و بدون شوری مشاهده گردید و با تیمار بدون کاربرد شوری و با کاربرد ۱ میلی مولار Si اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کمترین نسبت پتاسیم به سدیم در تیمار بدون کاربرد Si و سطح شوری dS/m ۱۰/۷ مشاهده شد و با تیمارهای بدون کاربرد Si در سطوح شوری dS/m ۸ و ۶/۵ نشان نداد (جدول ۲). تحت تنش شوری، رقابت یون سدیم با پتاسیم در سیتوپلاسم برای اتصال به نقاط پیوندی پتاسیم، باعث افزایش غلظت یون سدیم در داخل گیاه می‌شود و این نیز به نوبه خود باعث کاهش نسبت K/Na در سلول می‌شود (Maathius and Amtmaan, 1999) برخی محققین هم در گیاهانی نظیر لوبیا (Bayulo-Jimenez *et al.*, 2003)، رازیانه شیرین (Ashraf and Akhtar, 2004)، و کلزا (Rameeh and *et al.*, 2004) کاهش نسبت K/Na را در اثر شوری مشاهده کردند. نگهداری پایین یون سدیم در اندام‌های هوایی منجر به افزایش پتاسیم می‌شود. در واقع احتمال دارد نسبت K/Na در بسیاری از گونه‌ها در پایین نگهداشتن غلظت یون سدیم اهمیت زیادی داشته باشد (Tester and Davenport, 2003).

غلظت کلسیم: بیشترین مقدار عنصر کلسیم در تیمار با کاربرد ۲ میلی‌مولار Si و سطح شوری dS/m ۱۰/۷ مشاهده شد و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد. کمترین مقدار عنصر کلسیم در تیمار بدون کاربرد Si و سطح شوری dS/m ۱۰/۷ مشاهده شد و با تیمار بدون کاربرد Si و سطح شوری dS/m ۸ اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). گزارشاتی وجود دارد مبنی بر این که کلسیم اثرات سوء ناشی از تنش نمک را کاهش یا خنثی می‌کند. کلسیم ممکن است از طریق رقابت با سدیم و کاهش جذب آن ویا افزایش جذب پتاسیم باعث کاهش صدمات ناشی از تنش شوری گردد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

(Ashraf *et al.*, 1989). در تحقیق حاضر کاهش غلظت کلسیم در تنش شوری بدون کاربرد Si مشاهده شد که می‌تواند برآوردی از میزان تحمل به شوری در گیاه باشد. طبق گزارش El-Hendawy و همکاران (۲۰۰۵) کاهش در جذب پتاسیم و کلسیم میتواند با تحمل نمک در گیاه مرتبط باشد. کاهش میزان کلسیم بر اثر اعمال شوری در کاهو گزارش شده است (Grattan and Grieve, 1999). افزایش جذب کلسیم در نتیجه استفاده از سیلیسیم در محلول غذایی بوسیله Liang (۱۹۹٦)، همچنین کاهش غلظت کلسیم تحت شرایط افزایش سیلیسیم نیز توسط Ma و Takahashi (۱۹۹۳) و عدم تاثیر سیلیسیم توسط Stamatakis و همکاران (۲۰۰۳) گزارش شده است. Ma و Takahashi (۱۹۹۳) در توجیه یافته خود بیان کردند که علت کاهش محتوای کلسیم در ارتباط با کاهش میزان تعرق بوسیله سیلیسیم است که همسو با گزارشات Ahmad و همکاران (۱۹۹۲) و Okuda و Takahashi (۱۹٦۵) می‌باشد. اما نتایج آزمایش Yeo و همکاران (۱۹۹۹) نشان داد سیلیسیم هدایت روزنه‌ای گیاهان برنج تحت تنش را بهبود بخشید. این گزارش در تضاد با دلیل بیان شده به وسیله Ahmad و همکاران (۱۹۹۲) و Okuda و Takahashi (۱۹٦۵) است. مکانیسم فیزیولوژیکی اثر سیلیسیم روی جذب و انتقال کلسیم بوسیله گیاه واضح نیست. تفاوت در مدل‌های دیوارهٔ سلولزی در نتیجه ته‌نشست سیلیسیم ممکن است عدم پراکنش محل‌های آنیونی که کلسیم را جذب می‌کنند، افزایش دهد. در نتیجه به نظر می‌رسد که باید محتوای کلسیم در بافت گیاهی افزایش یابد (Ghoulam *et al.*, 2002). در مطالعه حاضر با کاربرد سیلیسیم محتوای کلسیم افزایش یافت.

نسبت یون‌های کلسیم به سدیم: در تیمار با کاربرد ۳ میلی مولار Si و بدون شوری بیشترین نسبت کلسیم به سدیم مشاهده گردید که با تیمار با کاربرد ۲ میلی مولار Si و بدون شوری اختلاف معنی‌داری دیده نشد. کمترین نسبت کلسیم به سدیم در تیمار بدون کاربرد Si و سطح شوری ۱۰/۷ dS/m بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون کاربرد Si و سطح شوری ۸ dS/m ، تیمار با کاربرد ۲ میلی مولار Si و شوری dS/m ٦/۵ و تیمار با کاربرد ۳ میلی مولار Si و سطح شوری ۸ dS/m نشان نداد (جدول ۲). کلسیم نقش مهم و ضروری در حفظ ساختار وعمل غشاء سلولی و همچنین در استحکام دیواره سلولی، تنظیم انتخابی انتقال یون و کنترل تبادل یونی آنزیم‌های دیوارهٔ سلولی ایفا می‌کند (Murillo-Amador *et al.*, 2006) معمولاً با افزایش غلظت سدیم، جذب کلسیم کاهش و سدیم افزایش می‌یابد (Murillo-Amador *et al.*, 2006). با توجه به یافته‌های Plieth (۲۰۰۵) کلسیم از طریق بستن کانال‌های کاتیونی به طور غیر مستقیم بر جذب کلر نیز موثر است. بسیاری از واکنش‌های گیاه به شوری با برهم‌کنش سدیم و کلسیم در ارتباط است. فرایندهای گیاهی مانند رشد، فتوسنتز، تغذیه و انتقال یون‌ها و آب تحت تاثیر واکنش متقابل سدیم و کلسیم قرار دارد. بسیاری از این پاسخ‌ها در ارتباط مستقیم با برهم‌کنش سدیم با کلسیم در سطح غشای پلاسمایی و در نتیجه رویداد حاصل از سیگنال کلسیم می‌باشد (Cramer, 1997)

غلظت سیلیسیم: بالاترین درصد سیلیسم در تیمار با کاربرد ۳ میلی مولار Si و بدون شوری مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری را با تیمارهای با کاربرد ۳ میلی مولار Si و سطوح شوری ۱۰/۷ dS/m و ٦/۵ ، تیمارهای با کاربرد ۲ میلی مولار Si در تمام سطوح شوری و تیمارهای با کاربرد ۱ میلی مولار Si و سطوح شوری ۱۰/۷ dS/m، ۸ و ٦/۵ نشان نداد. کمترین درصد سیلیسیم در تیمار بدون کاربرد Si و سطح شوری ۱۰/۷ dS/m دیده شد که با سایر تیمارهای بدون کاربرد Si در سطوح مختلف شوری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). عمده محدودیت‌ها برای رشد و تولید گیاهان، یون‌های سمی هستند که با جذب بیش از حد آنها به خصوص Na^+ و Cl^- به وسیله مختل کردن جذب و توزیع عناصر ضروری باعث عدم تعادل تغذیه‌ای می‌شوند (Hu and Schmidhalter, 2005). گزارش شده است که تحت شرایط شوری به دلیل کاهش در جذب کلسیم، به دلیل افزایش نسبت سدیم به کلسیم، رشد ریشه کاهش پیدا می‌کند (Chinnusamy *et al.*, 2005). کاربرد Si تحت تنش شوری، توانست غلظت K را در ریشه‌ها و P و Fe را در ریشه‌ها و ساقه‌ها افزایش دهد. علی‌رغم این که مسیر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

آپوپلاستی در ریشه به دنبال تغذیه Na دچار اختلال شده بود، ولی با وجود این جذب مواد غذایی حتی با تنش شوری زیاد نیز افزایش یافت (Tuna *et al*., 2008; Ashraf *et al*., 2010). همان گونه که ذکر شد Si سیالیت مطلوب غشاء را حفظ کرده و فعالیت H^+-ATPase در غشای پلاسما را تحت تنش شوری افزایش می‌دهد (Liang *et al*., 2006). تحمل به نمک با افزودن سیلیس در گیاهان مختلف از قبیل جو، ذرت، برنج، کلزا، اسفناج، خیار و گوجه گزارش شده است (Tuna *et al*., 2008; Hashemi *et al*., 2010) اعتقاد بر این است که سیلیکون در اگزودرم و اپیدرم رسوب می‌کند و از این راه جذب آپوپلاستی سدیم به وسیله ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Gong *et al*., 2006). اگر مسیر آپوپلاستی به وسیله رسوب سیلیس محدود شود، جذب برخی عناصر که از این مسیر استفاده می‌شود ممکن است کاهش یابد. همچنین پیشنهاد شده است که رسوب سیلیس در گیاهان مکان‌های اتصال به نمک را ایجاد کرده و در نتیجه انتقال آنها از ریشه‌ها به ساقه‌ها کاهش می‌یابد (Yeo *et al*., 1999).

نتیجه‌گیری کلی:

اعمال تنش شوری در گیاه کلزا موجب گردید تا صفات گیاهی نظیر انبساط و گسترش برگ به شدت تحت تاثیر قرار گیرد و تا حدود ٦٣ درصد در بالاترین سطح شوری و بدون تیمار کاربرد سیلیسیم نسبت به شاهد کاهش یابد. در مقابل کاربرد سیلیکات پتاسیم موجب کاهش و تخفیف خسارت شوری گردید و حتی در تیمار ۳ میلی مولار سیلیکات و ٦/٥ دسی زیمن بر متر شوری بیشترین گسترش برگ مشاهده شد.

منابع:

امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاهی. نشریه فنی. موسسه تحقیقات آب و خاک کشور. تهران ایران. شماره ۱۸۲. ص ٤٥.

میارصادقی، س.، شکاری، ف.، فتوت، ر. و زنگانی، ا. ۱۳۸۹. تاثیر پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید بر بنیه و رشد گیاهچه کلزا در شرایط کمبود آب. مجله زیست‌شناسی گیاهی. ۲: ۵۵-۷۰.

Ahmed, M., Hassen, F., Qadeer, U. and Aqeel Aslam,M. (2011) Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. African Journal of Agricultural Research 6: 594-607.

Ahmad, R. Zaheer, S.H. and Ismail, S. (1992) Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Science 85: 43– 50.

Amal, M. Matter, M. and Saker, M. (2010) Effect of salt stress on some defense mechanisms of transgenic and wild potato clones (*Solanum tuberosum L.*) grown *in vitro.* Nature and Science 8: 181-193.

Anser, A. Shahzad, M. A. Basra, S. H. Javaid Iqbal, M. Ahmad Alias, A. Bukhsh and Sarwar, M. (2012) Salt stress alleviation in field crops through nutritional supplementation of silicon. Pakistan Journal of Nutrition.11 : 637-655.

Ashraf, M. and Akhtar, N. (2004) Influence of salt stress on growth, ion accumulation and seed oil content in sweet fennel. Biologia Plantrum 48: 461-464.

Ashraf, M., Bokhari, M. H. and Mehmood, S. (1989) Effect of four different salts on germination and seedling growth of four Brassica species 35: 173-187.

Ashraf, M. Rahmatullah, KS. Afzal, M. Ahmed, R. Mujeeb F, Sarwar, A. and Ali, L. (2010) Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Plant and Soil 326:381–391.

Bayulo-Jimenez, J. S. Debouk, D. G. and Plynch, J. (2003) Growth, gas exchange, water relations and ion composition of *Phaseoluse vulgaris* L. under saline conditions. Field Crop Research 8: 207-222.

Chinnusamy, V. Jagendorf, A. and Zhu, J.K. (2005) Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Science 45: 437-448.

Cramer, G. R. (1997) Uptake and role of ions in salt tolerance, in P. K. Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants, Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi p: 55– 86.

Ekiz, H. and Yilmaz, A. (2003) Determination of the salt tolerance of some barley genotypes and the characteristics affecting tolerance .Turkish Journal of Agriculture. 27: 253-26.

El-Hendawy, S. E. Hu, Y. and Schmidhalter, U. (2005) Growth, ion content, gas exchange, and water relation of wheat genotypes differing in salt tolerances. Australian Journal of Agriculture Research 56: 123-134.

Elliot, C. L. and Synder, G. H. (1991) Autoclave induced digestion for the colorimetric determination of silicon .in rice

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

straw. Journal of Agricultural Food Chemistry 39: 1118-1119.
Epstein, E. (1999) Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology 50: 641-664.
Farshidi, M. Abdolzadeh, A. Sadeghipour, H.R. (2012) Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants Acta Physiolologia Plantarum. 34:1779–1788.
Flowers, T. J. and Dalmond, D. (1992) Protein synthesis in halophytes: the influence of potassium, sodium and magnesium in vitro. Plant and Soil 146: 153– 161.
Flowers, T. J. Torke, P. F. and Yeo, A. R. (1977) The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annual Review of Plant Physiology 28: 89-121.
Gong, H. J., Randall, D. P. and Flowers, T. J. (2006) Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice seedlings by reducing bypass flow. Plant Cell and Environment 111: 1-9.
Geccoli, G., Bustos, D., Ortega, L. I., Senn, M. E., Vegetti, A. V. and Taleisnik, E. (2015) Plasticity in sunflower leaf and cell growth under high salinity. Plant Biology 17: 41-51.
Ghoulam,C. Foursy, A. and Fares, K. (2002) Effects of salt stress on growth, inorganic ions and praline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experimental Botany 47: 39– 50
Grattan, S. R. and Grieve, C. M. (1999) Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulture 78: 127– 157.
Hashemi, A. Abdolzadeh, A. Sadeghipour, H. R. (2010) Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. Journal of Soil Science Plant Nutrition 56:244–253.
Hernandez J. A. Ferrer, M. A. Jiménez, A. Barcelo, A. R. and Sevilla, F. (2001) Antioxidant systems and $O_2^{\cdot-}/H_2O_2$ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necroticlesions in minor veins. Plant Physiology 127, 817–831.
Hossain, M. T., Mori, R., Soga, K., Wakabayashi, K., Kamisaka, S., Fujii, S., Yamamoto, R. and Hoson, T. (2002) Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. Journal of Plant Research 115, 23-27.
Hu, Y. and Schmidhalter, U. (2005) Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 541-549.
Hunt, R**.** (1982) Plant growth curves. A functional approach. Edward Arnold Pub. Ltd. London UK.
Kaori, S. Hattori, T. An, P. Tsuji, W. Eneji, A. E. Kobayashi, S. Kawamura, Y. Tanaka, K. and Inanaga, S. (2011) Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. Journal of Plant Nutrition 34 71–82.
Kaydan, D. (2007) Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Tarim Bilimleri Dergisi 13 114-119.
Kerepesi, I. and Galiba, G. (2000) Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. Journal of Crop Science 40: 482–487.
Lazof, D. B. and Bernstein, N. (1999) The NaCl induced inhibition of shoot growth: the case for disturbed nutrition with special consideration of calcium, Advanced Botany Research 29: 113– 189.
Leidi, E. O. Silberbush, M. and Lips, S. H. (1991) Wheat growth as affected by nitrogen type, pH and salinity. II. Photosynthesis and transpiration. Journal of Plant Nutrition 14: 247– 256.
Liang, Y. C. (1999) Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant and Soil 209: 217-224.
Liang, Y. C. Wong, J. W. C. and Long, W. (2005) Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. Chemosphere 58: 475-483.
Liang, Y. Zhang, W. Chenc, Q. Liu, Y. Ding, R. (2006) Effect of exogenous silicon (Si) on H^+-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Environmental and Experimental Botany 57:212–219.
Liang, Y.C. Zhenguo, S. Q. and Tongsheng, M. (1996) Effect of silicon on salinity tolerance of two barley genotypes. Journal of Plant Nutrition 19:173-183.
Ma, J. F. and Takahashi, E. (1993) Interaction between calcium and silicon in water-cultured rice plants. Plant and Soil. 148: 107–113.
Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited: London. P: 889.
Maathius, F. J. and Amtmaan, A. (1999) K^+ nutrition and Na^+ toxicity: The basis of cellular K^+/Na^+ ratio. Annual of Botany 84: 123-133.
Matichenkov, V. V. (2008) Silicon deficiency and Functionality in Soils, Crops and Food. 2th International Conference on Soil and Compost Eco-Biology, November 26th -29th , 2008. Puerto de la Cruz, Tenerife. Spain.
Matoh, T. Kairusmee, P. and Takahashi, E. (1986) Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. Soil Science and Plant Nutrition 32 295–304.
Moussa, H. R. (2006) Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology 8: 293–297.
Munns, R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment 25: 239-250.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

Murillo-Amador, B. Jones, H. G. Kayac, C. and Aguilar, R. L. (2006) Effects of foliar application of calcium nitrate on growth and physiological attributes of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) grown under salt stress. Environmental and Experimental Botany 58: 188–196.

Netondo, G.W. Onyango, J.C. and Beck, E. (2004) Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Science 44: 806-811.

Niazi, B.H. (2007) The Response of Fodder beet to Salinity: Introduction of a non-conventional fodder crop (Fodder beet) to salt affected lands of Pakistan. PhD-thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Noreen, S., Athar, H. and Ashraf, M. (2013) Interactive effects of watering regimes and exogenously applied osmoprotectants in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) crop. Pakistan Journal of Botany 45, 1873-1881.

Okuda, A. and Takahashi, E. (1965) The role of silicon. In: The Mineral Nutrition of the Rice Plant. Proceeding: Symposium of the International Rice Research Institute. Baltimore, MD. USA.

Oliveira, F. de A. de; Campos, M. de S.; Oliveira, F. R. A. de; Oliveira, M. K. T. de; Medeiros, J. F. de; Melo, T. K. de (2011) Nitrogen, phosphorus and potassium development and concentration in leaf tissues of eggplant in function of salinity. Revista Brasileira de Ciencias Agrarias 6: 37-45

Orcutt, D. M. and Nilsen, E.T. (2000) The physiology of plants under stress, soil and biotic factors. John Wiley and Sons Inc. New York.

Plieth, C. (2005) Calcium: Just another regulator in the machinery of life? Annual of Botany. 96: 1-8.

Rameeh, S. Rezai, A. and Saeidi, G. (2004) Study of salinity tolerance in rapeseed. Cmmunications in soil science and plant analysis 35: 2849-2866.

Rhoades, J. D. Kandiah, A. and Mashali, A. M. (1992) The use of saline waters for crop production. FAO. Irrigation and Drainage. Paper 48. Rome, Italy..

Romero-Aranda, M.R., Jurado, O. and Cuartero, J. (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Journal of Plant Physiology 163: 847-855.

Silim, S. N. Saxana, M. C. and Singh, K. B. (1993) Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean Basin. II. Factors influencing yield under drought. Field Crops Research 34: 137-141.

Stamatakis, A. Papadantonakis, N. Savvas, D. Lydakis-Simantiris, N. and Kefalas, P. (2003) Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. Acta Horticulture 609:141-147.

Tayeb, M. A. (2005) Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45:215–224.

Tester, M. and Davenport, R. J. (2003) Na+ transport and Na+ tolerance in higher plants. Annual of Botany 91: 503–527.

Tuna, A. L. Kaya, C. Higgs, D. Murillo-Amador, B. Girgin, A. R. and Aydemir, S. (2008) Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environmental and Experimental Botany 62:10–16.

Yeo, A. R. Flowers, S. A. Rao, G. Welfare, K. Senanayake, N. and Flowers, T. J. (1999) Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza satival* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. Plant Cell and Environment 22: 559–565.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]

Effects of salt stress and supplemental silicon on morphological and ionic relations of rapeseed

Zahra Soltani, Farid Shekari*, Khalil Jamshidi[1], Reza Fotovat and Rogayeh Azim Khani

Department of agronomy and Plant Breeding, University of Zanjan.

(Received: 23 May 2015, Accepted: 9 December 2015)

Abstract:

To study the effects of salinity and complementary silicon on some morphological traits of canola, cv. Talaiie, an experiment was done in greenhouse. Treatments included four levels of potassium silicate (0, 1, 2 and 3mM) and four levels of chloride sodium (0, 0.3, 0.6 and 0.9 g/kg soil). In normal condition application of silicon did not have a significant effect on measured traits. Salinity decreased leaf area, leaf and plant dry weight and leaf area ratio (LAR). Application of silicon to growth media enhanced mentioned traits. The highest morphological traits and biomass were found in mild salinity, 0.3 g NaCl, and all applied silicon levels. Salinity decreased LAR values which showed salinity had strong effect on leaf expansion than biomass production. The highest specific leaf weight (SLW) was found in highest salt level and non application of silicon. On the other hand, supplementary silicon reduced SLW in salt treatments, which showed positive effects of silicon on leaf expansion. Sodium concentration was increased with increasing salt levels in non-applied silicon treatments, but potassium and calcium concentrations were decreased. Application of silicon induced a reduction in sodium and potassium and calcium uptake compared to non-applied silicon treatments. The ratio of K/Na andCa/Na increased in all silicon treatments. Si concentrations in salted and normal condition were higher in silicon treated soils.

Keywords: Calcium, Leaf area ratio, Rapeseed, Potassium, Silicon, Sodium.

*corresponding author, Email: shekari@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.14.1]