

تأثیر سیلیکات کلسیم بر مقاومت به تنش شوری در چهار رقم کلزا

جعفر گلستانی^۱، یونس شرقی^۲، حسین زاهدی^۳، سید علی مدرس ثانوی^{۴*}، سید علی علوی اصل^۵
۱، ۲ و ۳، به ترتیب، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر
۴. استاد گروه زراعت دانشکده دانشگاه تربیت مدرس، ۵، دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه پیام نور
(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سیلیکات کلسیم بر مقاومت به تنش شوری در چهار رقم کلزا آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش شوری از آغاز گلدهی به بعد در سطوح شاهد، شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد سیلیکات کلسیم شامل شاهد و ۸ کیلوگرم در هکتار و رقم‌های کلزا شامل زرفام، ساری‌گل، هایولا و RGS بودند. کاربرد سیلیکات کلسیم همزمان با آبیاری گلستان‌ها انجام شد. نتایج نشان داد، رقم ساری‌گل در شرایط بدون تنش و زرفام در شرایط تنش شدید با اختلاف ۶۷ درصد بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند. همچنین کاربرد سیلیکات کلسیم توانست شاخص برداشت را ۸ درصد افزایش دهد. در شرایط تنش شدید وزن خشک زرفام حدود ۲۴ درصد کاهش بیشتری را نسبت به رقم ساری‌گل داشته و در همه رقم‌های مورد بررسی، تنش شوری شدید میزان روغن را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد. لذا سیلیکات کلسیم باعث افزایش عملکرد و برخی اجزای عملکرد این گیاه زراعی شده و در شرایط تنش شدید، کاربرد سیلیکات کلسیم باعث افزایش شاخص سبزیگی در رقم‌های زرفام و ساری‌گل شد.

واژه‌های کلیدی: زرفام، ساری‌گل، هایولا، RGS، عملکرد دانه، شوری.

Effect of Calcium silicate on Salt Stress Tolerance of Four Canola Varieties

Jafar Golestani 1, East Younes 2, Hossein Zahedi 3, Seyyed Ali Modares Sanavi 4 *
Seyyed Ali Alavi 5

1, 2 and 3, respectively, a graduate student and associate professor at the Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Islamshahr Branch

4. Professor of Agronomy Department, Faculty of Tarbiat Modares University, 5, Student, MA, Payame Noor University

(Received: August 5, 2016 - Accepted: October 2, 2016)

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of calcium silicate on salt stress tolerance of four canola varieties, a factorial experiment was conducted as randomized complete block design arrangement in factorial with three replications at the Greenhouse Research Station of Agricultural Faculty of Tarbiat Modares University. Treatments were salt stress levels at the beginning of plant flowering to seed maturation including (control, 5 and 10 dS m⁻¹), calcium silicate (control and 8 kg hec⁻¹) and canola varieties Zarfam, Sarigol, Hayola and RGS. Application of calcium silicate was performed with irrigation the pots simultaneously. Results showed that Sarigol in control condition of stress and Zarfam in severe stress condition produced the highest and lowest seed yield with difference of 67 percent. Application of calcium silicate increased HI. In rate of 8 percent. Zarfam and Hayola dry weight was decreased 24 percent more than the Sarigol in severe stress condition. Severe salt stress decreased oil yield significantly in all of varieties, compared to the control. In general, calcium silicate application increased yield and some yield components. At severe salt stress, calcium silicate increased spad in Zarfam and Sarogol varieties.

Keywords: Dry weight, Sarigol, Seed yield, Zarfam.

* Corresponding author E-mail: modaresa@modares.ac.ir

مقدمه

کلزا (*Brassica Napus L.*) یکی از مهم‌ترین گیاهان برای تولید روغن خوراکی در ایران و جهان است. از سویی شوری نسبی آب آبیاری برخی از مناطق ایران، یکی از عامل‌های منفی در زراعت گیاهان است. در نتایج آزمایش‌های جداگانه‌ای در مناطق گسترده‌ای از تهران، قم و کاشان مشخص شد که علت عمده شوری چاه‌های این مناطق وجود کاتیون‌های Na^+ و Ca^{2+} و Mg^{2+} و آنیون‌های Cl^- و SO_4^{2-} است (Baghvand *et al.*, 2010). بر پایه نظر پژوهشگران، شوری باعث کاهش معنی‌دار رشد گیاه، وزن خشک ریشه و وزن خشک ساقه گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum L.*) می‌شود. تأثیر شوری به‌طور چشمگیری در نواحی خشک و نیمه‌خشک، مناطق با بارندگی محدود، تبخیر و دمای بالا به همراه کاربرد کود شیمیایی فراوان و ضعف مدیریت آب‌و‌خاک مشاهده می‌شود و به‌عنوان یک چالش مهم در تولید محصولات زراعی در این مناطق وجود دارد (Azevedo-Neto *et al.*, 2006). غلظت بالای نمک در ریشه، رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rameeh *et al.*, 2012).

یکی از راه‌کارهای پیشنهادشده برای جلوگیری از تأثیر زیانبار تنش شوری، استفاده از عنصر سیلیس است. سیلیس دومین عنصر فراوان در پوسته زمین است و با اینکه برای گیاهان عالی به‌عنوان یک عنصر ضروری در نظر گرفته نمی‌شود، کاربردی بودن آن برای رشد سالم و توسعه اندام‌های گیاهی و همچنین کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شوری در بسیاری از گیاهان زراعی ثابت شده است (Epstein, 1999). شوری باعث افزایش یون سدیم در بخش‌های هوایی گیاهان و به‌ویژه در ریشه می‌شود، اما تغذیه با سیلیسیم در گیاه موجب کاهش غلظت این یون در بافت‌ها می‌شود. هنگامی تنش شوری ایجاد می‌شود، کاهش پتانسیل اسمزی و سمیت ناشی از یون سدیم گیاه را با مشکل روبه‌رو می‌سازد. سیلیسیم با کاهش جذب سدیم تأثیر سمی این یون را کاهش داده و در نتیجه سبب بهبود رشد می‌شود (Bandani &

Abdolzadeh, 2007). پژوهشگران در نتایج تحقیقی بیان کردند، سیلیسیم در کنار افزایش شاخص‌های رشد در گیاهان، به تعدیل شرایط تنش نیز کمک می‌کند (Epstein, 1999). با این وجود، گزارش اثر متقابل شوری و سیلیسیم روی گیاهان زراعی بسیار محدود است. محققان اثر متقابل شوری و سیلیسیم را بر گیاه زراعی جو بررسی کرده و نتیجه گرفتند که سیلیسیم تجمع سدیم در گیاه را کاهش می‌دهد (Liang & Ding, 2002).

در سال‌های اخیر، تحقیقات پیرامون جذب و انتقال سیلیس و چگونگی تأثیر آن بر گیاه و همچنین چگونگی تأثیر سیلیس بر روند جلوگیری از ورود یون‌های سمی مانند سدیم و جذب عنصرهای غذایی ضروری گیاهان زراعی متمرکز شده و در این میان بررسی اثر متقابل این دو ماده بر گیاه زراعی کلزا ضروری به نظر می‌رسد. لذا این آزمایش در نظر دارد، آسیب‌های ناشی از تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم گیاه زراعی کلزا و راهکارهای کنترل آن با کاربرد سیلیکات کلسیم، بررسی شود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر سیلیکات کلسیم بر چهار رقم کلزا آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در کیلومتر ۱۷ آزادراه تهران کرج در پاییز ۱۳۹۲ آغاز و در پایان بهار ۱۳۹۳ عملیات گلخانه‌ای آن به پایان رسید. تیمارهای آزمایشی شامل تنش شوری از آغاز گلدهی به بعد در سه سطح شاهد، شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد سیلیکات کلسیم در دو سطح شاهد و ۸ کیلوگرم در هکتار و رقم‌های کلزا در چهار سطح زرفام، ساری‌گل، هایولا و RGS بودند. محیط گلخانه در شرایط نور و دمای طبیعی از هفتم آبان ماه (کاشت) تا ۳۰ اردیبهشت (برداشت) قرار گرفت. درون گلدان‌های ۵ لیتری، از مخلوط خاک مزرعه و ماسه به نسبت ۱:۱ استفاده شد (جدول ۱). سیلیکات کلسیم محلول در اسید فلوریک با در نظر

آبیاری تنش شوری آغاز شد. برای همانندسازی نسبی سهم هر یک از کاتیون‌های Na^+ و Ca^{2+} و Mg^{2+} و آنیون‌های Cl^- و SO_4^{2-} در مخلوط نمک نهایی با آب-های شور چاه‌های مناطق تهران، قم و کاشان از نسبت ۲:۴:۳:۴ نمک‌های NaCl ، Na_2SO_4 ، CaSO_4 ، MgCl_2 و CaCl_2 استفاده شد. میزان مخلوط نمک‌ها برای هر سطح تنش از رابطه (۱) و پس از استانداردسازی با EC Meter محاسبه گشت. سپس در بشکه‌های ۱۰۰ لیتری در آب محلول شدند و در نهایت با ظرف‌های مدرج، آب شور به هر گلدان انتقال یافت.

رابطه: $\text{EC (dS/m)} = \text{TDS (mg/L)} / \text{K}$

$\text{TDS} = \text{کل نمک‌های محلول}$ ، $\text{K} = 640$ در بیشتر موارد

گرفتن ۸ کیلوگرم در هکتار، محلول در آب آبیاری به خاک گلدان‌های واجد تیمار اضافه شد. برای ایجاد زهکشی مناسب و جلوگیری از تجمع نمک، سه سوراخ به قطر ۱ سانتی‌متر ته هر گلدان تعبیه شد. بذرهاى رقم‌های کلزا (تهیه شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج) که توسط هیپوکلیت سدیم ۰/۵ درصد ضدعفونی شده بودند در گلدان‌ها کشت شدند. در هر گلدان ده عدد بذر به عمق حدود ۳ سانتی‌متر کاشته شد. گلدان‌ها از مرحله کاشت تا پیش از آغاز گلدهی با آب شرب شهری با ظرف‌های مدرج آبیاری شدند. دو هفته پس از استقرار، بوته‌ها به پنج بوته در گلدان تنک شدند و در طول آزمایش با توجه به عدم بروز آفت نیازی به سم‌پاشی مشاهده نشد. پیش از آغاز گلدهی، با افزودن مخلوط نمک‌ها به آب

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of the experimental soil

Soil saturation reaction	Electrical conductivity (dS/m)	Texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Depth (cm)
7.6	1.68	Sandy loam	5	20	75	0-30
Organic carbon percentage	Cu (mg/kg)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Available potassium (ppm)	Available phosphorus (ppm)	Total nitrogen percentage
1.28	7.2	9	7.1	36	41.6	0.082

از دستگاه کلروفیل سنج دستی (Soil-Plant Analysis Development (SPAD) 502 Minolta Co., Osaka, Japan) اندازه‌گیری شد.

داده‌های آزمایش از نظر عادی (نرمال) بودن بررسی و با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد. مقایسه‌های میانگین داده‌ها به روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)^۲ در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت و نمودارهای مربوطه به کمک نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد، تیمارهای رقم و تنش شوری به طور معنی‌داری صفات عملکرد دانه، شمار غلاف، وزن هزاردانه، وزن خشک و عملکرد روغن را تحت تأثیر قرار دادند و هیچ‌یک از

اعمال تیمارهای شوری تا پایان مرحله رسیدگی با غلظت‌های یادشده ادامه داشت. آبیاری به صورت دو روز در میان در حد ظرفیت زراعی (FC)^۱ افزون بر این ۲۵ درصد سهم آبشویی انجام شد. پیش از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، از هر گلدان چهار بوته کفبر شد و در آن‌ها ویژگی‌های وزن بوته و شمار غلاف اندازه‌گیری شد. پس از مرحله رسیدگی نیز دیگر صفات زراعی مانند شمار دانه در غلاف، وزن هزاردانه (با ترازوی ۰/۰۱ گرم)، عملکرد دانه با رطوبت ۱۰ درصد، درصد روغن (با دستگاه سوکسله AOAC (1984)) و عملکرد روغن (به دست آمده از ضرب عملکرد دانه در درصد روغن) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان سبزینه (کلروفیل) برگ‌ها (شاخص سبزینه) از برگ‌های شماره ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته‌های گلدان استفاده و

2. LSD= Least Significant Difference

1. FC=Field capacity

غلاف و شاخص سبزی‌نگی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد. همچنین مشخص شد اثر متقابل تنش شوری × سیلیکات کلسیم بر شاخص سبزی‌نگی تأثیر معنی‌داری داشته (در سطح احتمال ۱ درصد) و اثر متقابل همه تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری وزن خشک و شاخص سبزی‌نگی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲).

تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن نداشتند. همچنین مشخص شد سیلیکات کلسیم بر همه صفات مورد بررسی به‌جز وزن خشک و درصد روغن تأثیر معنی‌داری دارد. اثر متقابل رقم × تنش شوری همه صفات به‌جز شاخص برداشت و درصد روغن را تحت تأثیر قرار داد و اثر متقابل رقم × سیلیکات کلسیم توانست شمار غلاف، شمار دانه در

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مختلف رقم‌های کلزا در شرایط تنش شوری و کاربرد سیلیکات کلسیم.

Table 2- Analysis of variance for different characteristics of *Brassica spices* in Salt stress and Calcium Silicate application.

منابع تغییرات (S.O.S)	درجه آزادی Degree of freedom	عملکرد دانه Seed yield	شمار غلاف Number of pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight	شمار بذر در غلاف Number of seed in pod	وزن خشک Dry weight	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	شاخص سبزی‌نگی SPAD
تکرار Repeat	2	0.01 ^{ns}	14.58 ^{ns}	0.72 ^{ns}	6.07 ^{ns}	1.43 ^{**}	20 ^{ns}	3.38 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.002 ^{ns}
رقم Variety	3	4.3 ^{**}	323.3 ^{**}	2.45 ^{**}	27.2 ^{**}	6.55 ^{**}	50 ^{**}	18.46 ^{ns}	0.55 ^{**}	821 ^{ns}
تنش شوری Salt stress	2	5.9 ^{**}	2213 ^{**}	0.91 [*]	5.71 ^{ns}	17.4 ^{**}	15 ^{ns}	54.9 ^{ns}	0.68 ^{**}	135 ^{**}
سیلیکات کلسیم Calcium silicate	1	1.29 ^{**}	692 ^{**}	1.27 [*]	29.9 [*]	0.09 ^{ns}	118 ^{**}	0.45 ^{ns}	0.12 ^{**}	27.4 [*]
V×S	6	0.38 ^{**}	483 ^{**}	1.09 ^{**}	28.6 ^{**}	2.03 ^{**}	9.2 ^{ns}	53.8 ^{ns}	0.09 ^{**}	286 ^{**}
V×C	3	0.09 ^{ns}	165 [*]	0.09 ^{ns}	21.5 [*]	0.38 ^{ns}	3.8 ^{ns}	39.8 ^{ns}	0.01 ^{ns}	269 ^{**}
S×C	2	0.07 ^{ns}	42.7 ^{ns}	0.41 ^{ns}	3.37 ^{ns}	0.08 ^{ns}	2.2 ^{ns}	3.7 ^{ns}	0.006 ^{ns}	221 ^{**}
V×S×C	6	0.008 ^{ns}	60 ^{ns}	0.07 ^{ns}	4.97 ^{ns}	0.66 [*]	9.6 ^{ns}	32.2 ^{ns}	0.02 ^{ns}	226 ^{**}
خطا Error	46	0.04	45.6	0.27	6.3	0.22	6.75	23.66	0.015	4.17
ضریب تغییرات Cv		7.88	16.8	10.45	19.7	9.73	7.74	15.32	16.04	3.61

^{ns}, * و **: غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Not significant, significant at the 5% and 1% levels, respectively.

عملکرد دانه

شوری متفاوت است. به‌گونه‌ای که بین عملکرد رقم‌های هایولا و زرفام در شرایط تنش شوری متوسط و شدید اختلاف معنی‌داری وجود ندارد اما با افزایش سطح تنش از متوسط به شدید در رقم‌های ساری گل و RGS اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). در نتایج تحقیق دیگری محققان اعلام کردند، تنش شوری تأثیر متفاوتی بر رقم‌های کلزا دارد به‌گونه‌ای که عملکرد رقم‌های زراعی مقاوم کمتر تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (Rameeh et al., 2012).

نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۳ نشان داد، تنش شوری شدید باعث کاهش ۶۴ و ۲۸ درصدی عملکرد دانه رقم‌های ساری گل و RGS می‌شود ولی بر زرفام و هایولا تأثیر معنی‌داری نداشت.

در نتایج تحقیقی دیگر روی برخی نژادگان (ژنوتیپ)‌های کلزا مشخص شد تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش عملکرد این گیاه زراعی می‌شود (Rameeh et al., 2012). در این تحقیق مشخص شد واکنش رقم‌های مختلف به تنش

جدول ۳. مقایسه میانگین برخی صفات چهار رقم کلزا در شرایط مختلف تنش شوری.

Table 4. Mean comparison of four Canola characteristics in Salinity stress Conditions.

رقم	تنش شوری	عملکرد دانه	شمار بذر در غلاف	شمار غلاف	وزن هزاردانه	وزن خشک	عملکرد روغن
Variety	Salt stress dS m ⁻¹	Seed yield (gr per plant)	Number of seed in pod	Number of pod	1000 seed weight (gr)	Dry weight (gr)	Oil yield (gr per plant)
زرغام	0	2.6 ^c	15.2 ^a	39 ^{cd}	4.5 ^d	5.2 ^{bcd}	0.835 ^b
	5	1.7 ^e	11.4 ^{bcd}	35 ^{c-f}	4.47 ^d	4 ^f	0.545 ^c
	10	1.7 ^e	12.5 ^{abc}	32 ^{ef}	4.49 ^d	3.7 ^f	0.518 ^c
ساری گل	0	3.9 ^a	15.3 ^a	57 ^b	5.7 ^a	7.1 ^a	1.35 ^a
	5	2.8 ^b	13.6 ^{ab}	42 ^c	5.2 ^{abc}	4.9 ^{ede}	0.797 ^b
هایولا	0	2.51 ^c	12.2 ^{bc}	34 ^{def}	5 ^{bcd}	4.6 ^e	0.92 ^b
	5	2.7 ^{bc}	13.5 ^{ab}	67 ^a	5.5 ^{ab}	5.6 ^b	0.855 ^b
	10	1.9 ^e	1.2 ^{cd}	34 ^{def}	4.7 ^{cd}	3.6 ^f	0.545 ^c
RGS	0	1.8 ^e	9 ^d	28 ^f	4.5 ^d	3.7 ^f	0.622 ^c
	5	2.7 ^{bc}	15.1 ^a	40 ^{cd}	5.6 ^{ab}	5.1 ^{b-e}	0.838 ^b
	10	2.65 ^{bc}	13.7 ^{ab}	36 ^{cde}	5.4 ^{ab}	5.2 ^{bc}	0.855 ^b
	10	2.1 ^d	11.3 ^{bcd}	38 ^{cde}	4.7 ^{cd}	4.7 ^{de}	0.62 ^c

اعداد با حرف‌های همسان در هر ستون از هر بخش بر پایه آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد

Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

افزایش عملکرد در شرایط کاربرد سیلیسیوم نشان‌دهنده بهبود در فرایندهای مرتبط با انتقال مواد کانی به بذر بوده و به‌طور کلی افزایش جذب پتاسیم و جلوگیری از جذب سدیم با کاربرد سیلیسیوم، یکی از روش‌های کاربرد در راستای افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی است.

در این آزمایش مشخص شد کاربرد سیلیکات کلسیم باعث افزایش ۱۱ درصدی عملکرد دانه می‌شود (جدول ۲). در تحقیقی روی گیاه لوبیا (*Vicia faba* L.) مشخص شد کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش ۲۰ درصدی عملکرد می‌شود (Kardoni *et al.*, 2013). همین محققان در نتایج بررسی‌های خود اعلام کردند،

جدول ۴. مقایسه میانگین برخی صفات چهار رقم کلزا در شرایط مختلف کاربرد سیلیکات کلسیم.

Table 4. Mean comparison of four canola characteristics in calcium silicate application various condition.

کلسیم سیلیکات	عملکرد دانه	وزن هزاردانه	شاخص برداشت	عملکرد روغن
Calcium silicate	Seed yield (g per plant)	1000 seed weight (g)	Harvest index (%)	Oil yield (g per plant)
شاهد				
Control	2.3b	4.8b	32.3b	0.733b
۸ کیلوگرم در هکتار 8 Kg per hec	2.57a	5.1a	34.8a	0.816a

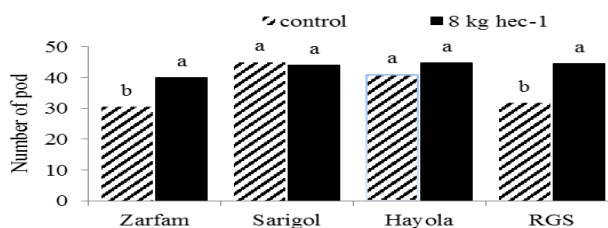
اعداد با حرف‌های همسان در هر ستون از هر بخش بر پایه آزمون LSD ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد

Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

معنی‌داری نسبت به کاربرد این تیمار نشان نداد. مرحله گلدهی جزو مراحل حساس به تنش شوری است. به همین دلیل تنش شوری باعث کاهش دوره رشد و در نتیجه شمار بذر در غلاف و در نهایت کاهش عملکرد گیاه خواهد شد (Kardoni *et al.*, 2013). در این تحقیق مشخص شد کاربرد ۸ کیلوگرم در هکتار سیلیکات کلسیم شمار غلاف رقم‌های زرغام و RGS را حدود ۲۵ درصد افزایش داده و تأثیر معنی‌داری بر دیگر رقم‌های مورد آزمایش ندارد (شکل ۱).

شمار غلاف

تأثیر تنش شدید بر شمار غلاف رقم‌های ساری گل و هایولا معنی‌دار بوده و بر دو رقم دیگر تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). نتایج بررسی‌های پژوهشگران نشان داد، با افزایش میزان شوری عملکرد و شمار دانه در غلاف اصلی و فرعی کاهش می‌یابد. Azari *et al.* (2012). همچنین در رقم ساری گل با افزایش سطوح تنش مقادیر شمار غلاف کاهش یافت به طوری که بین سطوح شاهد و تنش شدید اختلاف حدود ۶۰ درصدی وجود دارد. این در حالی است که رقم زرغام واکنش



شکل ۱. اثر متقابل رقم‌های زراعی کلزا و سیلیکات کلسیم بر شمار غلاف. اعداد با حرف‌های همسان در هر ستون از هر بخش بر پایهٔ آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد.

Fig 1. Interaction of canola cultivars and calcium silicate on number of pod. Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD.

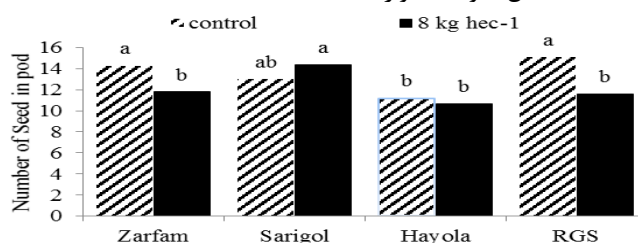
یاخته‌ای و کاهش سمیت سدیم باعث افزایش سوخت‌وساز (متابولیسم) یاخته‌ای شده و در نهایت باعث افزایش وزن هزاردانه شده است.

شمار دانه در غلاف

نتایج بررسی‌ها نشان داد، تنش شوری شدید موجب کاهش معنی‌دار شمار دانه در غلاف همهٔ رقم‌های مورد بررسی شد که این تأثیر در رقم هایولا به میزان ۶۶ درصد است (جدول ۳). به‌طورمعمول مقادیر بالای Na^+ در خاک‌های شور تعادل مواد غذایی موجود در خاک را به هم زده و باعث اختلال در تعادل اسمزی گیاه می‌شود (Munns & Termaat., 1986) که همین امر موجب کاهش شمار گل‌های بارور و در نتیجه کاهش شمار دانه در گیاه نیز می‌شود. در این آزمایش مشخص شد، کاربرد سیلیکات کلسیم بر رقم‌های مورد بررسی تأثیر معنی‌داری نداشته و در برخی رقم‌ها باعث کاهش مقادیر این صفت شد. احتمال دارد افزایش غلظت یاخته‌ای در اوایل دورهٔ رشد زایشی دلیل بروز این کاهش معنی‌دار باشد (شکل ۲).

وزن هزاردانه

رقم ساری گل در شرایط بدون تنش و رقم زرفام در شرایط تنش شدید با اختلاف ۲۲ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزاردانه را نشان دادند (جدول ۳). کاهش وزن هزاردانه در شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل جلوگیری از جذب و انتقال مواد کانی مورد نیاز در طول رشد پر شدن دانه باشد. در نتایج تحقیق روی گیاه زراعی لوبیا مشخص شد تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن صدانهٔ این گیاه زراعی می‌شود (Kardoni *et al.*, 2013). همین محققان در نتایج بررسی‌های خود بیان کردند، کاربرد سیلیسیوم می‌تواند به‌طور چشمگیری از کاهش وزن هزاردانه در شرایط بروز تنش جلوگیری کند. در تحقیقی مشخص شد استفاده از کودهای سیلیسی باعث افزایش وزن هزاردانه در برنج می‌شوند که این افزایش بیشتر به خاطر جایگزینی این عنصر در پالئا و لاما است (Balastra *et al.*, 1989). در این آزمایش مشخص شد کاربرد ۸ کیلوگرم در هکتار سیلیکات کلسیم می‌تواند مقادیر وزن هزاردانه را به میزان ۵ درصد افزایش دهد (جدول ۴). به‌احتمال تقویت دیوارهٔ



شکل ۲. اثر متقابل رقم‌های زراعی کلزا و سیلیکات کلسیم بر شمار دانه در غلاف. اعداد با حرف‌های همسان در هر ستون از هر بخش بر پایهٔ آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد.

Fig 2- Interaction of Canola cultivars and calcium silicate on number of seed in pod. Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD.

تحقیق بیان شد، میزان پایداری غشاء یاخته‌های همبستگی بالایی با میزان زیست‌توده دارد و از آنجایی که در شرایط تنش میزان نشت غشاء و مواد سیتوپلاسمی به دلیل افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن افزایش یافت، به احتمال کاهش وزن خشک و در نهایت شاخص برداشت از عوارض تأثیر تنش شوری بر این صفت باشد. همچنین در این تحقیق مشخص شد، از نظر وزن خشک بین سطوح تنش متوسط و شدید رقم هایولا، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. پاسخ گیاهان به تنش شوری تابعی از غلظت نمک، نوع یون، مرحله رشد گیاه و دیگر عامل‌های محیطی است. خاک‌های شور رشد گیاهان را از طریق کاهش جذب آب و فعالیت‌های زیستی به دلیل سمیت نمک و کمبود مواد غذایی ناشی از تداخل یونی، کاهش می‌دهند (Yeo, 1983). محققان دیگری نیز در نتایج بررسی‌های خود کاهش وزن خشک را با افزایش سطوح تنش شوری گزارش کرده‌اند (Chadordooz & Jedi *et al.*, 2011).

وزن خشک

نتایج بررسی‌ها نشان داد، در شرایط شاهد تنش شوری ($EC \approx 0$) و بدون کاربرد سیلیکات کلسیم، رقم ساری گل بیشترین وزن خشک را دارد که در شرایط تنش شدید و بدون کاربرد سیلیکات کلسیم، وزن خشک رقم هایولا به میزان ۴۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). در نتایج تحقیقی دیگر مشخص شد، افزایش مقادیر تنش شوری، باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک در گیاه زراعی جو می‌شود (Liang *et al.*, 2006). تنش شوری از راه تأثیر مستقیم بر چند فرایند اساسی مانند تنظیم اسمزی یاخته، جذب مواد غذایی، نورساخت (فتوسنتز)، تجمع املاح الی، تغییر در فرایند نرخ تنفس و پتانسیل آب خاک باعث تأخیر در رشد و در نهایت تأثیر بر وزن خشک گیاه می‌شود (Pessarakli, 1994). در نتایج تحقیقی دیگر روی رقم‌های کلزا و شلغم روغنی مشخص شد، شوری مقادیر زیست‌توده این گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (Azari *et al.*, 2012). همچنین در نتایج همین

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات شاخص سبزیگی و وزن خشک چهار رقم کلزا در شرایط مختلف تنش شوری.
Table 3. Mean comparison of SPAD and dry weight of four canola in salinity stress condition.

	شاخص سبزیگی SPAD رقم‌ها Varieties				وزن خشک Dry weight (gr) رقم‌ها Varieties			
	RGS	Hayola	Sarigol	Zarfam	RGS	Hayola	Sarigol	Zarfam
کلسیم سیلیکات Calcium Silicate								
Control	70.2 ^b	59.4 ^{fg}	55.8 ^{hij}	69 ^{bc}	5 ^{def}	6.1 ^b	7.16 ^a	5.1 ^{def}
8 ton per hec	47.1 ^m	66.9 ^{bc}	52.5 ^{ijkl}	76.6 ^a	5.2 ^{c-f}	5.2 ^{c-f}	7.11 ^a	5.3 ^{bcd}
Control	49.71 ^m	50.4 ^{klm}	51.5 ^{kl}	57.3 ^{gh}	5.9 ^{bc}	3.74 ^{hi}	4.5 ^{fgh}	3.9 ^{ghi}
8 ton per hec	66.6 ^{cd}	53.4 ^{ijk}	52.1 ^{kl}	59.7 ^{fg}	4.6 ^{d-g}	3.49 ⁱ	5.3 ^{cde}	3.98 ^{ghi}
Control	57.1 ^{gh}	47.3 ^m	28.6 ^o	56 ^{hi}	4.8 ^{def}	3.5 ⁱ	4.63 ^{d-g}	3.7 ⁱ
8 ton per hec	61 ^{ef}	63.5 ^{de}	42.7 ⁿ	61 ^{ef}	4.6 ^{efg}	4 ^{ghi}	4.6 ^{efg}	3.72 ⁱ

ns, * and **: Not significant, significant at the 5% and 1% levels, respectively.

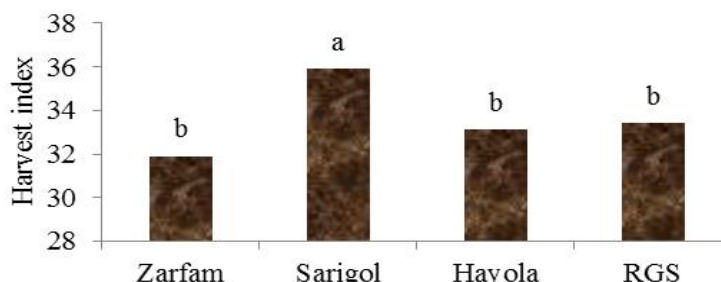
افزایش سبزیگی گیاهان زراعی است (Nasseri *et al.*, 2012) لذا این افزایش می‌تواند به افزایش مقادیر عملکرد دانه منجر شده (در این تحقیق کاربرد سیلیکات کلسیم توانست باعث افزایش ۱۱ درصدی عملکرد دانه شود) و در نهایت به افزایش کسر شاخص برداشت و مقادیر این صفت بیانجامد. در نتایج تحقیق دیگری مشخص شد، افزایش جذب و انتقال پتاسیم و

شاخص برداشت

نتایج به دست آمده از آزمایش نشان داد، رقم ساری گل با اختلاف ۱۱ درصد نسبت به دیگر رقم‌ها، شاخص برداشت بالاتری را دارد (شکل ۳). همچنین مشخص شد، کاربرد سیلیکات کلسیم می‌تواند مقادیر شاخص برداشت را بیش از ۷ درصد افزایش دهد (جدول ۴). از آنجایی که عنصر سیلیسیم یکی از عامل‌های مؤثر در

پتاسیم به سدیم فعالیت آنزیم‌های دخیل در نورساخت و تولید کربوهیدرات‌ها افزایش یافته و عملکرد افزایش یافته و در نهایت شاخص برداشت افزایش خواهد یافت. (Liang & Ding, 2002)

کاهش جذب و انتقال سدیم از ریشه به شاخساره احتمال دارد به دلیل حضور یون سیلیس (سیلیکات کلسیم) در گیاه باشد. چراکه این یون باعث افزایش فعالیت آنزیم H^+ATP_{ase} موجود در غشاء پلاسمایی یاخته‌های ریشه می‌شود که در نتیجه افزایش نسبت



شکل ۳. تأثیر سیلیکات کلسیم بر شمار غلاف رقم‌های کلزا. اعداد با حرف‌های همسان در هر ستون از هر بخش بر پایه آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارد.

Fig 3- Effect of calcium silicate on Number of pods of Canola cultivars. Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD.

شرایط تنش، سطوح سبزینه‌ای شاخص خوبی از عملکرد نورساختی هستند (Amirul Alam *et al.*, 2015). در این تحقیق سطوح مختلف تنش شوری تغییرپذیری‌های متفاوتی بر مقادیر این صفت نشان دادند.

نتایج نشان داد، رقم زرفام در شرایط نبود تنش و کاربرد ۸ کیلوگرم در هکتار با اختلاف بیش از دو برابر مقادیر شاخص سبزینه‌ای بیشتری نسبت به رقم ساری‌گل در شرایط تنش شدید و بدون کاربرد سیلیکات کلسیم دارد (جدول ۵). طی یک بررسی نشان داده شد رقم زرفام از نظر شمار، سطح برگ، وزن پهنک و سبزینه مقادیر بالایی را داشت (Azari *et al.*, 2012). در نتایج تحقیقی روی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) مشخص شد، با افزایش سطوح تنش شوری محتوای سبزینه (شاخص سبزینه‌ای) به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در این تحقیق افزایش تنش شوری از شرایط شاهد به تنش شدید باعث کاهش ۱۵ درصدی محتوای سبزینه در رقم ساری‌گل شد. در گونه‌های حساس به تنش شوری، کاهش محتوای سبزینه رایج بوده، چراکه سمیت نمک به‌طور عمده باعث سوختن برگ‌ها،

عملکرد روغن

نتایج نشان داد، کاربرد ۸ کیلوگرم در هکتار سیلیکات کلسیم می‌تواند مقادیر این صفت را حدود ۱۲ درصد افزایش دهد. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تنش شوری شدید بر همه رقم‌های مورد بررسی بود.

به‌طوری‌که این سطح از تنش عملکرد روغن رقم ساری‌گل را بیش از ۶۸ درصد کاهش داد. همچنین مشخص شد رقم‌های ساری‌گل و زرفام با اختلاف ۵۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر این صفت را دارند. جذب سیلیس توسط گیاه باعث افزایش آنزیم‌های ATP_{ase} و PP_{ase} در تونوپلاست می‌شود که این امر موجب کاهش جذب سدیم و افزایش مقادیر پتاسیم می‌شود. لذا یون‌های نمک به واکنش‌ها انتقال یافته و نسبت پتاسیم به سدیم افزایش می‌یابد و سمیت سدیم کاهش یافته و در نهایت به جلوگیری از پراکسیداسیون چربی و افزایش عملکرد روغن می‌انجامد (Liang *et al.*, 2006).

شاخص سبزینه‌ای

سبزینه اصلی‌ترین رنگدانه نورساختی است و در

نتیجه گیری کلی

تنش شوری باعث کاهش عملکرد و برخی اجزای عملکرد گیاه زراعی کلزا شد و این کاهش بین رقم‌های مختلف متفاوت بود. کاربرد سیلیکات کلسیم عملکرد دانه رقم زرفام را افزایش داده و هر سه سطح شوری باعث کاهش معنی‌دار این صفت در رقم‌های کلزا شد. در شرایط بروز شوری رقم ساری گل نسبت به دیگر رقم‌های مورد بررسی مقادیر شاخص سبزی‌نگی بالاتری را نشان داد و استفاده از سیلیکات کلسیم در شرایط بروز تنش باعث جلوگیری از افت مقادیر شاخص سبزی‌نگی در رقم زرفام شد.

تخریب بافت‌های شاداب و یا دیگر رنگدانه‌های نورساختی می‌شود. کاربرد سیلیکات کلسیم در شرایط تنش شدید می‌تواند باعث افزایش معنی‌دار این صفت در همه رقم‌های مورد بررسی شود (جدول ۵). در نتایج تحقیقی نشان داده شد، استفاده از سیلیس ساختار کلروپلاست‌ها (شاخص سبزی‌نگی) را بهبود بخشیده و در صورت نبود سیلیس ساختار گرانا‌های کلروپلاست از هم پاشیده می‌شوند (Liang *et al.*, 1996) که به احتمال افزایش شاخص سبزی‌نگی در شرایط کاربرد سیلیکات کلسیم در این تحقیق به همین دلیل باشد.

REFERENCES

1. Amirul Alam, M. D., Juraimi, A. S., Rafii, M, Y. & Abdul Hamid, A. (2015). Effect of salinity on biomass yield and physiological and stem-root anatomical characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions. *BioMed Research International*. 1-15.
2. AOAC. (1984). Official methods of analysis. Association of official analytical chemists, Inc., Virginia, USA. 15th Ed. Pp, 770-771.
3. Azari. A., Modares Sanavi, S, A, M., Askari, H., Ghanati, F., Najji, A, M. & Alizadeh, B. (2012). Effect of salt stress on morphological and physiological traits of two species of rapeseed (*Brassica Napus* and *B. Rapa*). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 14 (2): 121-135. [In Farsi].
4. Azevedo-Neto, A, D., Prisco, J, T., Eneas-Filho J., Abreu, C. E. B. & Gomes-Filho, E. (2006). Effect of salt stress on antioxidant enzymes and lipid per oxidation in leaves and roots of salt-tolerance and salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany*. 56:87-94.
5. Baghvand, A., Nasrabadi T., Nabi Bidhendi., G R, Vosoogh, A., Karbassi, A. R. & Mehrdadi, N. (2010) Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. *Desalination*. 260:264-275.
6. Balastra, M. L. F., Perez, C. M., Juliano, B. O. & Villreal, P. (1989). Effects of silica level on some properties of oryza sativa straw and hult. *Canadian journal of borany*. 2356-2363.
7. Bandani, M. & Abdolzadeh, A. (2007). Effects of silicon nutrition on salinity tolerance of puccinellia distans (jacq.) Parl. *Journal of agricultural sciences and natural resources*. 14 (3) : 111-119. [In Farsi]
8. Chadordooz, Jedi., A, Ghasemi, Golazani, K. & Zaferani, Moatar, P. (2011). The effect of salinity on biological and harvest index psyllium (plantago ovate l.). National conference on climate change and its impact on agriculture and the environment. *Iran, Urmia, Research Center for Agriculture and Natural Resources of Azerbaijan*. 2394 page. [In Persian]
9. Epstein, E. (1999). Silicon, Annuals Review Plant Physiology. *Plant Molecular Biology*. 50: 641-64.
10. Kardoni, F., Seyyed Mosavi, S. J., Parande, S. & Eskandari, Torbaghan, M. (2013). Effect of salinity stress and silicon application on yield and component yield offaba bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6(12): 814-818.
11. Liang, Y. C. & Ding, R. X. (2002). Influence of silicon on microdistribution of mineral ions in roots of salt-stressed barley as associated with salt tolerance in plants. *Science China (Series C)* 45: 298-308.
12. Liang, Y. C, Shen, Q. R, Shen, Z. G. & Ma, T. S. (1996). Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *Journal of Plant Nutrient* 19, 173e183.
13. Liang, Y. C., Sun, W. C, Zhu, Y. G. & Christie, P. (2006). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. *Environmental pollution*. 22: 1-7.
14. Munns R and Termaat A (1986) Whole plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*. 13: 143-160.
15. Nasserri, M., Arouiee, H., Kafi, M. & Naeamati, H. (2012). Effect of silicon on growth and physiological parameters in fenugreek (*Trigonella foenumgraceum* L.) under salt stress.

- International Journal of agriculture and crop science*, 4(21), 1554-1558.
16. Pessarakli, M. (1994) In: Pessarakli., M. (Ed.) *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, Inc, New York pp. 1067-1084.
 17. Rameeh, V., Cherati, A. & Abbaszadeh, F. (2012). Salinity effects on yield, yield components and nutrient ions in rapeseed genotypes. *Journal of Agricultural Sciences*. 57(1): 19-29.
 18. Yeo, A. R. (1983). Salinity resistance: Physiologies and prices. *Physiologia Plantarum* 58: 214-222.