

بررسی اثر سیلیکات سدیم بر عملکرد و اجزاء عملکرد نخود تحت تنش شوری
The effect of sodium silicate on yield and yield components of pea (*Cicer arietinum L.*) under salinity stress

مهدی جلالی^۱، امین فتحی^۲، معصومه نمروزی^۱، سمیه کرمی چمه^۱ و صادق بهامین^۳

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رامین اهواز، اهواز-ایران.

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی، باشگاه پژوهشگران جوان، آمل - ایران.

۳- گروه آگرو-اکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد-ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات: amin_agronomist@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰

چکیده

نخود دومین گیاه مهم از گروه حبوبات است که دارای پروتئینی با کیفیت بالا و نقش عمده‌ای در افزایش نیتروژن خاک دارد این گیاه حساس به شوری است، در این راستا یکی از عناصری که می‌تواند با بهبود وضعیت آب گیاه، اثرات شوری را تعدیل نماید سیلیسیم است. به این منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در ایلام انجام شد. عوامل آزمایش شامل شوری خاک با سه سطح دو، چهار و شش دسی‌زیمنس بر متر و سیلیکات سدیم با سه سطح صفر، یک و دو میلی‌مولار بودند. نتایج نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف در مترمربع، تعداد دانه در مترمربع، وزن صد دانه، عملکرد دانه و ماده خشک داشت، افزایش سطح شوری منجر به کاهش این صفات شد. کم‌ترین عملکرد دانه در حالت شوری شش دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۴۱/۴ گرم در مترمربع به دست آمد. سیلیسیم نیز تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف در مترمربع، وزن صد دانه و عملکرد دانه داشت. بیش‌ترین عملکرد دانه در حالت مصرف دو میلی‌مولار سیلیکات سدیم به مقدار ۹۹/۷ گرم در مترمربع به دست آمد.

واژگان کلیدی: نخود، شوری، سیلیکات سدیم، وزن صد دانه، عملکرد و اجزای عملکرد

مقدمه

نخود زراعی (*Cicer arietinum L.*) دومین گیاه مهم از گروه حبوبات و از جمله مهم‌ترین محصولات زراعی در خاورمیانه و ایران است (جمشیدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۶)، این گیاه در بیشتر مناطق کشور به صورت سنتی در تناوب با غلات کشت می‌شود (دشتی و همکاران، ۱۳۸۴) و در مقایسه با دیگر حبوبات از سطح زیر کشت، تولید و اهمیت بیش‌تری برخوردار است، با این حال، حساسیت آن به شوری تاثیر منفی بر رشد و عملکرد آن می‌گذارد (دشتی و همکاران، ۱۳۸۴). تنش شوری به‌عنوان یک عامل محدودکننده رشد تولیدات گیاهی است (رضوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). شوری یکی از تنش‌های محیطی و یک مانع اساسی برای تولید محصول در حد مطلوب می‌باشد. در ایران نیز آب و خاک‌های شور با ایجاد تنش شوری همواره بر بقای و عملکرد اقتصادی محصولات کشاورزی اثر سوء دارد. تنش شوری بر ویژگی‌های فیزیولوژی، مورفولوژی، آناتومی، ترکیبات شیمیایی و میزان آب بافت گیاهان مؤثر می‌باشد. میزان این تأثیر به نوع گیاه، ترکیب املاح، بافت و ساختمان خاک و حتی روش آبیاری بستگی دارد (امام و همکاران، ۱۳۹۲). میزان تحمل گیاهان به شوری صفتی ژنتیکی است که توسط مجموعه‌ای از ژن‌ها کنترل می‌شود. به‌همین علت گیاهان مختلف با سازوکارهای گوناگون و به‌میزان متفاوت به شرایط شوری پاسخ می‌دهند (صفرنژاد و همکاران، ۱۳۹۰). اثر شوری در مناطق خشک و نیمه خشک چشم‌گیرتر است. جایی که باران محدود و تبخیر بالا است، از این رو کمبود آب و عدم اعمال مدیریت مناسب خاک، مشکلات شوری را تا چند برابر افزایش می‌دهد (Azevedo et al., 2006).

برخی از موادمعدنی غیرضروری ممکن است عوارض شوری را خنثی کنند. به‌عنوان مثال سیلیسیم یک عنصر غیرضروری برای رشد گیاه است، مطالعات نشان داد کاربرد سیلیس به‌طور معنی‌داری رشد گیاه را تحت شرایط شوری، افزایش می‌دهد (Tahir et al., 2006). بسیاری از گیاهان قادر

به جذب سیلیسیم هستند و مقدار جذب بر اساس نوع گونه گیاهی بین ۱۰-۱٪ درصد زیست توده گیاهی خشک متغیر می‌باشد. این عنصر می‌تواند باعث کاهش تبخیر و تعرق، افزایش تحمل به تنش‌های شوری و خشکی شود (پیوست و همکاران، ۱۳۸۷). شوری باعث افزایش یون سدیم در بخش هوایی گیاهان و به‌خصوص در ریشه شده، اما تغذیه با سیلیسیم در گیاه موجب کاهش غلظت این یون در بافت‌ها می‌شود. وقتی تنش شوری ایجاد گردید، کاهش پتانسیل اسمزی و سمیت ناشی از یون سدیم گیاه را با مشکل مواجه می‌سازد، اما سیلیسیم با کاهش جذب سدیم اثرات سمی این یون را کاهش داد و در نتیجه بهبود رشد را سبب می‌شود (بندانی و عبدالزاده، ۱۳۸۶). افزایش مقاومت مکانیکی به‌وسیله سیلیسیم در گیاهان باعث افزایش مقاومت در مقابل باکتری‌ها، قارچ‌ها و حشرات و کاهش نابسامانی‌های فیزیولوژیکی می‌شود. افزایش تحمل به شوری با کاربرد سیلیسیم در جو، برنج، گندم، گوجه‌فرنگی و خیار گزارش شد (پیوست و همکاران، ۱۳۸۷).

نتایج بررسی پیوست و همکاران (۱۳۸۷) در مورد اثر متقابل سطوح مختلف سیلیسیم و تنش شوری بر رشد کاهو پیچ نشان داد که تاثیر سیلیسیم بر وزن خشک و درصد ماده خشک کل گیاه در سطح احتمال یک درصد، تعداد برگ، وزن تر و خشک کل برگ و کل گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. محققان مشاهده کردند که وزن خشک و تر خیار تحت تنش شوری کاهش و با اضافه کردن سیلیسیم این نقصان به‌طور معنی‌داری بهبود یافت (Zhu et al., 2007). در گندم با کاربرد سیلیسیم در شرایط شوری تولید ماده خشک ساقه افزایش معنی‌داری نشان داد (Ahmad et al., 2007). هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر سیلیکات سدیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نخود تحت شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم است که دامنه تحمل به شوری آن ۱/۰۲ و ۴/۳۲ دسی زیمنس بر متر بود (اله‌دادی و همکاران، ۱۳۹۰).

مواد و روش‌ها

در داخل تشت به‌طور کامل مخلوط شد. در ابتدا ۱۲ بذر در هر گلدان کاشته شد و ۱۵ روز بعد از سبز شدن، با استفاده از تنک‌کردن، متناسب با تراکم رایج این رقم در مزرعه تراکم نهایی به تعداد سه بوته در گلدان رسانده شد.

خاک مورد استفاده در این آزمایش، پس از انتقال به آزمایشگاه خاکشناسی، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول یک نشان داده شد.

این آزمایش در پاییز سال ۱۳۹۲ در گلخانه‌ای در ایلام به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل شوری خاک با سه سطح دو، چهار و شش دسی‌زیمنس بر متر و سیلیکات سدیم با سه سطح صفر، یک و دو میلی‌مولار بودند. مقادیر سیلیکات‌سدیم و شوری در سطوح مختلف محاسبه و به‌صورت محلول همراه رطوبت ظرفیت زراعی به‌دست آمد، با خاک مورد نظر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1. The physical and chemical properties of the soil tested

بافت خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک	رطوبت ظرفیت زراعی	سیلیسیم قابل جذب Si	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC
Texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture	F.C (%)	absorbable (%)		(ds/m)
0-30	40	44	16	Loam	16	53.9	7.2	0.97

در دمای ۷۵ درجه آون، قرار گرفت، سپس توزین آن‌ها به‌وسیله ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ گرم صورت پذیرفت. در پایان این بررسی همچنین تمامی گیاهان موجود در هر گلدان برداشت و تعداد دانه در هر گلدان و تعداد غلاف شمارش و سپس با توجه به مساحت هر گلدان و تراکم بوته، تعداد دانه و تعداد غلاف بر اساس مترمربع گزارش شد. همچنین پس از جداسازی تمامی بذور از داخل غلاف‌ها، وزن آن‌ها محاسبه و بر اساس وزن صد دانه محاسبه شد. پس از محاسبه وزن دانه در هر گلدان، با توجه به مساحت هر گلدان و تراکم بوته، عملکرد دانه بر اساس مترمربع اعلام شد. شاخص SPAD (عدد کلروفیل متر) در فواصل زمانی هر ۱۰ روز یک‌بار (از روز ۳۰ ام پس از کاشت) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری این شاخص از دستگاه کلروفیل‌متر مدل Minolta-502 استفاده گردید. یک گیاه از هر گلدان انتخاب شد و سپس این شاخص در سه نقطه اندازه‌گیری و عدد میانگین به‌عنوان شاخص SPAD مربوط به آن تیمار ثبت گردید (پرنده و همکاران، ۱۳۹۱). در پایان فصل رشد، هنگام طلوع آفتاب دو گیاه از هر گلدان را انتخاب و یک برگ از هر گیاه برای محاسبه‌ی محتوی نسبی آب برگ جدا شد.

رطوبت خاک با روش ظرفیت زراعی تعیین شد. آبیاری گلدان‌ها بر اساس ظرفیت زراعی مزرعه و هر روز با آب غیرشور (آب مقطر) انجام شد. به‌منظور ضدعفونی بذور و جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی قارچی، بذرها به‌مدت دو تا سه دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرارگرفت، آنگاه به ترتیب توسط آب معمولی و آب مقطر شستشو شدند. برای انجام این آزمایش از گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. برای ایجاد زهکش، در ته گلدان سوراخ‌هایی تعبیه و حجم گلدان با خاک پر شد. کشت نخود در عمق دو سانتی‌متری از سطح خاک صورت گرفت. خاک مورد نظر برای ریختن در گلدان‌ها از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد و مقدار پنج کیلوگرم خاک خشک برای هر گلدان و مقادیر سیلیکات سدیم و شوری در سطوح مختلف محاسبه و به‌شکل محلول، با خاک مورد نظر در داخل تشت به‌طور کامل مخلوط شد و این کار برای هر تیمار به‌طور جداگانه صورت گرفت و سپس وزن نهایی گلدان‌ها به‌دست آمد (Sayyari-zahan *et al.*, 2009).

برای تعیین وزن خشک اندام هوایی گیاه، اندام هوایی نخود از سطح خاک جدا و به‌مدت ۴۸ ساعت

نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۳، مقایسه میانگین به روش LSD و در سطح معنی داری یک و پنج درصد انجام شد. نمودار و اشکال نیز توسط نرم افزار Excel 2007 رسم گردید.

نتایج و بحث

نتایج این بررسی نشان داد که شوری تأثیر معنی دار بر تعداد غلاف در مترمربع، تعداد دانه در مترمربع، وزن صد دانه، عملکرد دانه، ماده خشک بوته، شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ داشت. سیلیکات سدیم نیز تأثیر معنی داری بر تعداد غلاف در مترمربع، وزن صد دانه، عملکرد دانه و محتوی نسبی آب برگ داشت. اثر متقابل شوری و سیلیکات سدیم نیز بر محتوی نسبی آب برگ در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول دو).

برای جلوگیری از اتلاف آب برگ در اثر تعرق، برگها بلافاصله در پاکت‌های پلاستیکی قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل، سپس به وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در ظرف‌های حاوی آب مقطر قرار گرفتند و پس از رسیدن به حالت آماس دوباره توزین شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و مجدداً توزین شدند. محتوی نسبی آب گیاه از رابطه‌ی زیر محاسبه گردید (Barr And Weatherley, 1962):

رابطه (۱)

$$RWC = (Fw - Dw / Tw - Dw) * 100$$

Fw: وزن تر برگ، Dw: وزن خشک برگ و Tw:

وزن آماس برگ

در پایان پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با انجام تست نرمالیت، تجزیه و تحلیل آن‌ها به کمک

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس سیلیکات سدیم بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود تحت تنش شوری

Table 2. Analysis of variance sodium table under Salinity stress on yield and yield components of pea

S.O.V	منابع تغییر	df	میانگین مربعات (M.S)			
			تعداد غلاف Number of pods per square meter	تعداد دانه Number of seeds	وزن صد دانه Seed100 weight	ماده خشک Dry matter
Sodium silicate	سیلیکات سدیم	2	2345.00**	563.40*	176.60	756.4 ^{ns}
Salinity	شوری	2	198654.00**	2156.50*	678.40*	18765.4**
Sodium silicate* Salinity	سیلیکات سدیم*شوری	4	456.30 ^{ns}	31.43 ^{ns}	1.64 ^{ns}	197.5 ^{ns}
Error	خطای آزمایش	18	234.67	235.80	3.56	367.2
C.V	ضریب تغییرات	-	8.32	7.34	4.34	14.5

ns: بدون اثر معنی دار * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: Non-significant; * and **: significant at 5% and 1%, respectively.

ادامه جدول ۲

Continued Table 2

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات (M.S)		
			عملکرد دانه Seed Yield	شاخص کلروفیل SPAD	محتوی نسبی آب RWC
Sodium silicate	سیلیکات سدیم	2	199.56*	35.90 ^{ns}	356.60*
Salinity	شوری	2	5674.30**	15.74**	8403.80**
Sodium silicate* Salinity	سیلیکات سدیم*شوری	4	18.34 ^{ns}	45.14 ^{ns}	123.60*
Error	خطای آزمایش	18	56.45	4.14	8.98
C.V	ضریب تغییرات	-	9.10	7.56	7.80

ns: بدون اثر معنی دار * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: Non-significant; * and **: significant at 5% and 1%, respectively.

تعداد غلاف در گیاه تحت تنش با افزایش هورمون اسید آبسازیک و مرگ گرده‌ها در زمان گرده‌افشانی گیاه مرتبط است (Liu *et al.*, 2009). در مورد اثر سیلیسیم بر این شاخص نیز بیش‌ترین تعداد غلاف در مترمربع با مصرف دو میلی‌مولار سیلیسیم به مقدار ۱۰۱ عدد به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد آن ۳۳ درصد افزایش داشت (جدول سه). پرنده و همکاران (۱۳۹۱) عنوان نمودند که سیلیکات سدیم نسبت به تیمار عدم مصرف منجر به افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در مترمربع شد. فاطمی و همکاران (۱۳۸۸) اعلام نمودند که وجود سیلیسیوم در محلول غذایی با افزایش خصوصیات رشد و نمو گیاه، شاخص‌های عملکرد را بهبود بخشید.

نتایج نشان داد که بیش‌ترین تعداد غلاف در مترمربع در شوری دو دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۸۸ عدد به دست آمد که نسبت به بالاترین سطح شوری افزایش معنی‌داری داشت (جدول سه). پرنده و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی بر لوبیا بیان کردند که تنش شوری ناشی از سیلیکات سدیم موجب کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در مترمربع شد. تنش شوری طول دوره رشد را کاهش داد، در نتیجه از تعداد غلاف در گیاه کاسته شد. تعداد غلاف حساس‌ترین جزو عملکرد به تنش‌های محیطی است و اجزای عملکردی که در فاز زایشی زودتر تشکیل شدند واکنش بیش‌تری به تنش نشان دادند (پرنده و همکاران، ۱۳۹۱). محققان بیان کردند که کاهش

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر شوری و سیلیکات سدیم بر صفات مورد بررسی گیاه نخود

Table 3. compares the average effect of salinity and sodium silicate of pea plant traits

تیمار	تعداد غلاف در مترمربع	تعداد دانه در مترمربع	وزن صد دانه	ماده خشک در متر مربع	عملکرد دانه	شاخص کلروفیل SPAD	محتوی نسی آب RWC (%)
Treatment	N o pods per square meter	N. o seeds per square meter	Seed weight (gr)	Dry matter per m ² (g.m ²)	Seed Yield (Kg.ha)	SPAD	RWC (%)
شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	2 88 ^a	102 ^a	45 ^a	155.5 ^a	92.4 ^a	31.9 ^c	57.8 ^a
EC (dS m)	4 70 ^b	69 ^b	36 ^b	124.4 ^b	63.7 ^b	33.1 ^b	48.8 ^b
	6 34 ^c	47 ^c	31 ^c	98.2 ^b	41.4 ^c	37.2 ^a	47.9 ^c
سیلیکات سدیم (میلی‌مولار)	0 78 ^c	85 ^c	39 ^c	139.6 ^a	76.5 ^c	29.8 ^a	43.6 ^c
Sodium silicate (mM)	1 94 ^b	94 ^b	41 ^b	145.6 ^a	88.4 ^b	29.7 ^a	56.0 ^a
	2 101 ^a	103 ^a	46 ^a	185.5 ^a	99.7 ^a	30.7 ^a	54.9 ^b

تمامی داده‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند، تفاوت شان از لحاظ آماری در سطح پنج درصد دانکن حداقل یک حرف مشترک می‌باشد.

Means with the same letter in column are not significantly different.

شد. بالاترین وزن صد دانه در پایین‌ترین سطح شوری (دو دسی‌زیمنس بر متر) با میانگین ۴۵ گرم به دست آمد که نسبت به شوری شش دسی‌زیمنس بر متر ۴۶ درصد افزایش داشت (جدول سه). اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه ممکن است مهم‌ترین دلیل کاهش وزن دانه در شرایط تنش باشد. همچنین وزن دانه به مقدار زیادی به وسیله دوره پر شدن دانه تعیین می‌شود، بنابراین تنش‌های محیطی که تمایل به کوتاه شدن دوره پر شدن دانه دارند به طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش دادند. نتایج نشان داد بیش‌ترین وزن صد دانه با مصرف دو میلی‌مولار سیلیسیم با میانگین ۴۶ گرم به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد آن ۲۸ درصد افزایش داشت (جدول سه). پرنده و همکاران (۱۳۹۱) افزایش وزن

نتایج نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در مترمربع در شوری دو دسی‌زیمنس بر متر با متوسط ۱۰۲ عدد حاصل شد که نسبت به بالاترین سطح شوری افزایش معنی‌داری داشت (جدول سه). محققان بیان داشتند که تنش شوری از طریق تاثیر بر اجزای عملکرد، باعث کاهش عملکرد دانه گندم شد و با افزایش شوری، اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در سنبله کاهش یافت (فاطمی و همکاران، ۱۳۸۸). کرمی چمه و همکاران (۱۳۹۱) کاهش عملکرد گیاه گندم تحت تنش شوری را گزارش کردند زمانی که گیاه وارد مرحله رشد زایشی می‌شود، شوری می‌تواند بسیاری از فرآیندهای موثر در حصول عملکرد دانه از جمله تعداد دانه را مختل سازد. افزایش شوری باعث کاهش وزن صد دانه نخود

یافته‌های اکسیو و همکاران (Okcu *et al.*, 2009) بر نخود هم‌خوانی دارد. محققان کاهش معنی‌داری را در تعداد برگ‌های سبز، وزن تر و خشک گیاه لوبیا چشم بلبلی با افزایش سطح شوری به‌ویژه در سطح شوری بالا گزارش نمودند (Hosseini *et al.*, 2008). میرمحمدی میبیدی و قره یاضی (۱۳۸۱)، نیز کاهش طول ساقه در شرایط شور را بیان کردند که این امر باعث کاهش وزن ساقه و در نهایت کاهش ماده خشک گیاه شد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عامل شوری تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد، بر شاخص کلروفیل داشت. در این بررسی اثر سطوح سیلیسیم و اثر متقابل عوامل مورد بررسی بر شاخص کلروفیل معنی‌دار نبود (جدول دو). تیمار شوری دو دسی‌زیمنس بر متر، شاخص کلروفیل با میانگین Spad ۵۷/۸ به‌دست آمد که نسبت به شوری شش دسی‌زیمنس بر متر افزایش قابل توجهی داشت (جدول سه).

تجمع یون سدیم در بافت برگ می‌تواند بر غلظت کلروفیل تأثیرگذار باشد (میرمحمدی میبیدی و قره‌یاضی، ۱۳۸۱). محققان بیان کردند که افزایش غلظت یون‌هایی از جمله سدیم در بافت برگ در اثر افزایش شوری محیط، موجب تخریب کلروفیل می‌گردد (Asch *et al.*, 2011). اما یکی دیگر از عوامل مؤثر بر غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ یا در واحد وزن آن، سطح برگ است که خود تابع میزان شوری محیط است. در سطوح متوسط شوری کاهش سطح برگ اندک است، بنابراین تخریب مولکول‌های کلروفیل توسط یون‌های سدیم مستقلاً موجب کاهش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌گردد (Munns and Passioura., 1994). کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند به‌دلیل تغییر سوخت و ساز نیتروژن، در رابطه با ساخت ترکیباتی نظیر پرولین باشد که در تنظیم اسمزی به‌کار می‌روند. افزایش تولید پرولین موجب می‌شود که گلوتامات که پیش ماده مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است، کم‌تر در مسیر سنتز کلروفیل وارد شود. از جمله آنزیم‌های مورد نیاز در مسیر بیوسنتز پرولین، گلوتامین کیناز

صد دانه لوبیا با مصرف سیلیسیم را گزارش کرد. افزایش شوری باعث کاهش عملکرد دانه نخود شد. کم‌ترین عملکرد دانه در بالاترین سطح شوری (شش دسی‌زیمنس بر متر) با متوسط ۴۱/۴ گرم در مترمربع به‌دست آمد که نسبت به شوری دو دسی‌زیمنس بر متر ۴۵ درصد کاهش داشت (جدول دو). افزایش شوری، رشد گیاه و محتوی مواد غذایی را در گیاه کاهش داد. بنابراین با کاهش رشد رویشی ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی، رشد زایشی و در نهایت عملکرد دانه تحت تأثیر شوری قرار گرفت. شرایط شور منجر به کاهش جذب آب، کاهش تعرق و بسته شدن روزنه‌ها گردید که این امر منجر به کاهش رشد شد، بنابراین به‌نظر می‌رسد کاهش رشد رویشی باعث کاهش رشد زایشی و عملکرد دانه گردید. اما کودهای سیلیکاته با افزایش حاصلخیزی خاک و ماده خشک گیاه، اثرات شوری را کاهش داد و در نتیجه باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شد.

همچنین بیش‌ترین عملکرد دانه با مصرف دو میلی‌مولار سیلیسیم با متوسط ۹۹/۷ گرم به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد آن ۳۲ درصد افزایش داشت (جدول سه). پرنده (۱۳۹۱) نیز افزایش عملکرد گیاهان مختلف زراعی از جمله غلات و حبوبات با مصرف سیلیکات سدیم را گزارش کرد. به‌نظر می‌رسد سیلیسیم اثرات منفی تنش شوری را به‌وسیله افزایش تحمل برگ‌های گیاهان به شوری از طریق افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسنتز جبران می‌کند.

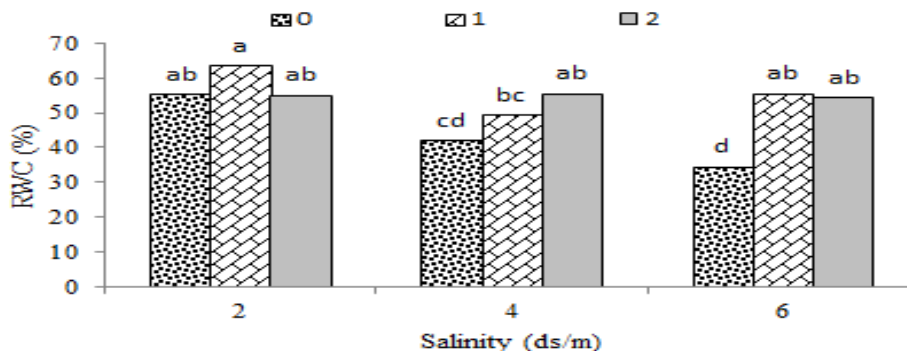
افزایش شوری باعث کاهش عملکرد بیولوژیک نخود شد. کم‌ترین عملکرد بیولوژیک در بالاترین سطح شوری (شش دسی‌زیمنس بر متر) با میانگین ۹۸/۲ گرم در مترمربع حاصل شد که نسبت به شوری دو دسی‌زیمنس بر متر ۵۲ درصد کاهش داشت (جدول دو). یافته‌های مرادی و زواره (۱۳۸۸) نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش وزن خشک گیاهچه‌های نخود شد. کاهش وزن خشک می‌تواند ناشی از افزایش انرژی نگهداری گیاهچه‌ها و کاهش فراهمی انرژی برای رشد باشد (Naseer *et al.*, 2008). نتایج به‌دست آمده با

بر متر و در حالت عدم مصرف سیلیسیم به مقدار ۳۴/۲ درصد حاصل شد. به‌طور کلی سیلیسیم منجر به افزایش محتوی رطوبت نسبی برگ نخود در سطوح مختلف تنش شد (شکل یک).

همان‌گونه که مشاهده شد اثر اولیه‌ی شوری بر گیاه، افزایش فشار اسمزی محلول خاک می‌باشد که گیاه دچار خشکی فیزیولوژیک می‌گردد، بنابراین کاهش محتوی نسبی آب گیاه قابل پیش‌بینی بود. تنش شوری از طریق تأثیر بر چندین سازوکار مهم گیاه از قبیل تنظیم فشار اسمزی، ساخت پروتئین، فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌ها و کاهش آب قابل دسترس گیاه، رشد گیاه را کاهش داد. بنابراین برخی گیاهان با جذب یون، پتانسیل آب خود را در سطح پائین‌تری حفظ می‌کنند که این عمل به سازش، افزایش رشد و افزایش محتوی نسبی آب گیاهان کمک می‌کند. همچنین کاهش میزان آب اندام‌های هوایی ناشی از تنش شوری در گندم، توسط راسیو و همکاران (Rascio *et al.*, 2010) نیز گزارش شد. با این حال جمیل و همکاران (Jamil *et al.*, 2007) تأثیر معنی‌داری از شوری بر محتوی نسبی آب برگ پیدا نکردند.

محتوی نسبی آب برگ معیار مناسبی جهت بررسی وضعیت آبی گیاه است. کاهش محتوی نسبی آب می‌تواند در نتیجه‌ی کاهش دسترسی به آب در اثر افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از وجود نمک باشد. افزودن سیلیسیم به محلول غذایی در شرایط شوری، با بهبود وضعیت آبی گیاه، محتوی نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد (Kaya *et al.*, 2006). سیلیسیم در دیواره‌های سلول‌ها رسوب کرد و با ماکرومولکول‌های آلی (شامل سلولز، پکتین، گلیکو پروتئین‌ها و لیگنین) ترکیب شد و ترکیبات کلونیدی بی‌شکل را با سطح جذب بالا تشکیل می‌دهد. مقدار یک گرم از ذره‌های سیلیسیم با قطر ۷ nm دارای سطح جذبی معادل 400 m^2 است، در نتیجه نانو ذره‌های سیلیسیم بر خصوصیت مرطوب بودن لوله‌های آوند چوبی و میزان انتقال آب اثر گذار بود و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (Wang and Naser, 1994).

است که اولین آنزیم در مسیر بیوسنتز پرولین نیز به شمار می‌رود و در سیتوپلاسم و کلروپلاست یافت می‌شود، شوری اثر تحریک‌کننده بر فعالیت این آنزیم دارد. اولین آنزیم در مسیر بیوسنتز کلروفیل، گلوتامات لیگاز است و شوری از فعالیت آن ممانعت می‌نماید، بنابراین در شرایط شوری تولید کلروفیل به دلیل کاهش فعالیت گلوتامات لیگاز از یک طرف و مصرف بیشتر گلوتامات توسط آنزیم فعال شده گلوتامین کیناز از طرف دیگر کاهش می‌یابد. کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به دلیل فعالیت بیش‌تر کلروفیلز در شرایط تنش نیز باشد. از طرف دیگر در هنگام تنش غلظت مواد تنظیم‌کننده رشد از جمله ABA، اتیلن و اکسین افزایش می‌یابند و این موجب تحریک فعالیت کلروفیلز می‌شود. کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به‌واسطه‌ی کاهش سنتز کلروفیل و همچنین ناشی از تخریب آن نیز باشد (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۰). در این تحقیق هرچند سیلیسیم تأثیر معنی‌داری از لحاظ آماری بر مقدار کلروفیل برگ گیاه نخود نداشت، اما، مقدار کلروفیل با مصرف سطوح مختلف سیلیسیم بیش‌تر از تیمار شاهد بود. آگاری و همکاران (Agarie *et al.*, 2003) نشان دادند که با کاهش مقادیر سیلیسیم، مقدار کلروفیل نیز کم شد و پیشنهاد کردند که وجود این عنصر اثر مهمی در زنجیره فتوسنتزی برنج داشت و از تخریب زنجیره کلروفیلی گیاه ممانعت به‌عمل آورد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که اثر اصلی عامل شوری و سیلیسیم تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر محتوی نسبی آب برگ گیاه نخود داشت. همچنین اثر متقابل عوامل آزمایشی بر این صفت معنی‌دار بود (جدول دو). نتایج اثرات متقابل شوری و سیلیسیم بر محتوی نسبی آب برگ نشان داد، کم‌ترین میزان از سطوح مختلف شوری در حالت عدم مصرف سیلیسیم به‌دست آمد. بیش‌ترین محتوی نسبی آب برگ در تیمار مصرف شوری دو دسی‌زیمنس بر متر و یک میلی‌مولار سیلیسیم به مقدار ۶۳/۴ درصد به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار محتوی نسبی آب برگ در شوری شش دسی‌زیمنس



شکل ۱- اثر متقابل شوری و سیلیکات سدیم بر محتوی نسبی آب برگ
Figure 1. The interaction of salinity and sodium silicate relative water content

باعث افزایش وزن صد دانه، تعداد غلاف در مترمربع و عملکرد دانه گردید. همچنین سیلیسیم منجر به افزایش محتوی رطوبت نسبی برگ نخود در سطوح مختلف تنش شوری شد که این نتیجه مهم است چرا که محتوای رطوبت نسبی برگ از عوامل تأثیرگذار بر تحمل گیاه به تنش می‌تواند باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، افزایش شوری باعث کاهش محسوس اجزای عملکرد گیاه نخود شد. در این پژوهش سیلیسیم موجب کاهش اثرات منفی شوری بر اجزای عملکرد نخود گردید، به‌طوری‌که مصرف دو میلی‌مولار سیلیسیم

References

- امام، ی.، حسینی، ا.، رفیعی، ن.، و پیراسته انوشه، ه. ۱۳۹۲. واکنش رشد اولیه و غلظت‌های یون‌های سدیم و پتاسیم در ده رقم جو (*Hordeum vulgare* L) در شرایط تنش شوری. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی-دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱. ۱۳۹۲؛ ۵ (۱۹): ۵-۱۵
- بندانی، م.، و عبدالزاده، ا. ۱۳۸۶. اثر تغذیه سیلیسیم در تحمل به شوری گیاه پوکسینلیا دیستنس (*Puccinellia distans*). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴: ۱۱۱-۱۱۹.
- پرنده، س.، بهامین، ص.، زمانی، غ. ر.، سیاری، م. ح. و قادری، م. ق. ۱۳۹۱. تأثیر سیلیس و شوری بر اجزای عملکرد در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*). دوزارهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات کرج، ۱۶-۱۴ شهریور ماه ۱۳۹۱.
- پیوست، غ.، زارع، م.، سمیع‌زاده، ح. ۱۳۸۷. اثر متقابل سطوح مختلف سیلیسیم و تنش شوری بر رشد کاهو پیچ تحت شرایط کشت در سیستم لایه نازک محلول غذایی (NFT). مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه علوم باغبانی. ۲۲: ۱.
- جمشیدی مقدم، م.، پاک نیت، ح. و فرشادفر، ع. ۱۳۸۶. ارزیابی تحمل به خشکی لاین‌های نخود (*Cicer arietinum*) با استفاده از خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی. مجله نهال و بذر. ۲۳: ۳۲۵-۳۴۲.
- حیدری شریف‌آباد، ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- دشتی، ش.، ا. اله دادی، ح.، عسگری، ا.، سادات نوری، س. ا. و اکبری، غ. ع. ۱۳۸۴. ارزیابی ۲۴ ژنوتیپ نخود از نظر واکنش به تنش شوری. اولین همایش ملی حبوبات مشهد. ۲۹ و ۳۰ آبان، مشهد-ایران.

رضوی زاده، ر.، کاظم زاده، م. و انتشاری، ش. ۱۳۹۲. اثر پاکلوبوترازول بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهچه‌های کلزا (*Brassica napus* L) در شرایط تنش شوری. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی-دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱. ۱۳۹۲؛ ۵ (۱۹): ۳۵-۴۸

صفرنژاد، ع.، محمد دوست، ع. ش. و حمیدی، ح. ۱۳۹۰. بررسی تحمل به شوری در مرحله رشد گیاهچه‌های گیاه دارویی کندل (*Dorema ammoniacum*). علوم و فنون کشت های گلخانه‌ای. ۲ (۵): ۱-۱۱.

فاطمی، ل. س.، طباطبایی، س. ج. و فلاحی، ا. ۱۳۸۸. تأثیر سیلیسیوم بر شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله دانش کشاورزی پایدار. ۱۹ (۱): ۱۰۷-۱۱۸.

کرمی چمه، س.، بهامین، ص. و فتحی، ا. ۱۳۹۱. بررسی محلول پاشی آهن در کاهش خسارت ناشی از تنش شوری بر زراعی. اولین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم. دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

مرادی، پ. و زواره، م. ۱۳۸۸. ارزیابی تاثیر تنش شوری بر جوانه‌زنی و رشد آغازین ارقام نخود. اولین همایش ملی تنش های محیطی در علوم کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بهمن ۱۳۸۸.

میرمحمدی میبیدی، ع. م. و قره یاضی، ب. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و به نژادی تنش شوری گیاهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان. ص ۶۱-۶۸.

اله دادی، ا.، دشتی، ش.، عسکری، ح.، اکبری، غ. و حاجی هاشمی، ز. ۱۳۹۰. واکنش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به تنش شوری به ۲۴ ژنوتیپ نخود خشک ایرانی. نشریه پژوهش در علوم کشاورزی جلد چهارم شماره اول.

- Agarie, S. 2003. Effect of silicon on growth, dry matter, production & photosynthesis in rice plant (*Oryza sativa* L.), crop production and improvement technology. (34): 225-234.
- Ahmad, F., Rahmatullah, A., Aziz, T., Maqsood, M.A., Mukkram, A., Tahir, M.A., Kanwal, S. 2007. Effect of silicon application on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth under water deficiency stress. J. Food Agric. 19 (2): 01-07.
- Asch, F., Dingkuhn, M., and Droffling, K. 2011. Salinity increases CO₂ assimilation but reduces growth in field irrigated rice. Plant and Soil. 218:1-10.
- Azevedo Neto, A.D., Prisco, J.T., Elneas-Filho, J., Areu, C.E.B., and Gomes-filho, E. 2006. Effects of salt stress on anti oxidative enzymes and liquid peroxidation in leaves and roots of salt tolerance and salt sensitive maize genotypes. Environment Experiment Botany. 56: 81-94.
- Barr, H.D., Weatherley, P.E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. Aust. J Biol. Sci. 15: 413-428.
- Hossein, M.M., Shaaban, M.M., and El-Saady, A.K. 2008. Response of cowpea Grown under salinity stress to PK-flor applications. American Plant Physiology. 1-8.
- Jamil, M., Rehman, S., and Roha, E.S. 2007. Salinity effect on plant growth PSII photochemistry and chlorophyll content in suger Beet (*Beta vulgaris* L.) and Cabbage (*Brassica oleracea Capitata* L.). Pakistanian Journal of Botany. 39(3): 753-760.
- Kaya, C., Tuna, L., and Higgs, D. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown. under water stress condition. Journal of Plant Nutrition 29 : 1469- 1480
- Liu, F., Jensen, C.R., and Andersen, M.N. 2009. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set . Field Crops Research 86:1-13.
- Munns, R., and Passioura, J.B. 1994. Effect of prolonged exposure to NaCl on the osmotic pressure of leaf xylem sap from intact, transpiring barley plants. Aust. J. Plant Physiol. 11: 497- 507.
- Naseer, Sh., Nisar, A., and Ashraf, M. 2008. Effect of salt stress on germination and seedling growth of barley (*Hordeum vulgare* L.). Pak. J. Bio. Sci. 4:531-540.
- Okcu, G., Kaya, M.D., and Atak, M. 2009. Effects of salinity and drought stresses on germination and seedling growth of Pea (*Pisum sativum* L.). Turk. J. Agric. For. 29:237-242.
- Rascio, A., Raso, M., Mazzucco, L., Nicastro, C., and Fonz, N.D. 2010. Enhanced osmotolerance of wheat selected for potassium accumulation. Plant Science. 160: 441-448.

- Sayyari-zahan, M.H., Sadana, U.S., Steingrobe, B., and Claassen, N. 2009.** Manganese efficiency and manganese-uptake kinetics of raya (*Brassica juncea*), Wheat (*Triticum aestivum*), and oat (*Avena sativa*) grown in nutrient solution and soil. J. Plant Nutrition. Soil Sci. 172, 425-434.
- Tahir, M.A., Rahmatullah, A., Aziz, T., Ashraf, M., Kanwal, S., Maqsood, M.A. 2006.** Beneficial Effects of Silicon in Wheat under Salinity Stress. Pak. J. Bot., 38: 1715-1722.
- Wang, J., and Naser, N. 1994.** Improved performance of carbon paste amperometric biosensors through the incorporation of fumed silica. Electro analysis, 6:571- 575.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., and Yu, J. 2007.** Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus L.*). Plant Science 167: 527-533.