دوفصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره دهم، شماره اول، بهار و تابستان 99

اثر استفاده از سیلیسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد آفتابگردان (*Helianthus.annuus* L.) در شرایط مختلف رطوبتی

زهره نبی پور[1*]، غلامرضا زمانی [2]

1- دکتری تخصصی زراعت، ایستگاه تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گناباد، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گناباد، ایران
2- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، رشته زراعت، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی
نویسنده مسئول مکاتبات: zohreh.nabipour@yahoo.com

(تاریخ دریافت: 2 شهریورماه 1399; تاریخ پذیرش 24 شهریور 1399)

چکیده

آب قابل‌دسترسی، عامل اصلی محدودکننده رشد و تولید محصول در مناطق خشک است. در این راستا به‌منظور بررسی اثر کاربرد سیلیسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد آفتابگردان در شرایط مختلف رطوبتی، این آزمایش در سال زراعی 1397-1398 در شهر گناباد انجام شد. این پژوهش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آبیاری با سطوح مختلف رطوبتی بر اساس نیاز آبی شامل چهار سطح (سطح رطوبتی 100 درصد نیاز آبی، سطح رطوبتی 80 درصد نیاز آبی، سطح رطوبتی 60 درصد نیاز آبی و سطح رطوبتی 40 درصد نیاز آبی) و عامل فرعی زمان مصرف سیلیسیم در چهار سطح (بدون کاربرد (شاهد)، کاربرد در مرحله رویشی، کاربرد در مرحله زایشی، کاربرد در مرحله رویشی و زایشی) بود. نتایج آزمایش نشان داد که کاهش سطح رطوبتی از 100 درصد به 40 درصد نیاز آبی موجب کاهش صفات کمی موردبررسی شد؛ به‌طوری‌که کمترین مقدار عملکرد دانه (1730/8 کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (583/41 کیلوگرم در هکتار) در تیمار سطح رطوبتی 40 درصد نیاز آبی به دست آمد. همچنین کاربرد سیلیسیم در شرایط کم رطوبت بر اساس نیاز آبی باعث بهبود اثرات کاهش سطوح رطوبتی در همه صفات مورد ارزیابی و عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه (7572/96 کیلوگرم در هکتار) در تیمار سطح رطوبتی 80 درصد نیاز آبی و کاربرد سیلیسیوم در مرحله رویشی و زایشی به دست آمد و کمترین مقدار (1193/54 کیلوگرم در هکتار) در تیمار سطح رطوبتی 40 درصد نیاز آبی و بدون کاربرد سیلیسیوم ثبت گردید. همچنین کاربرد سیلیسیوم در مرحله رویشی و زایشی نسبت به تیمار عدم کاربرد (شاهد) به ترتیب باعث افزایش 2/5، 1/5 و 2/5 برابری عملکرد روغن در سطوح مختلف آبیاری شامل 80، 60 و 40 درصد نیاز آبی شد. به‌طورکلی نتایج نشان داد استفاده از سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی در سطح رطوبتی 80 درصد نیاز آبی باعث جبران اثرات سوء کاهش سطح رطوبتی در صفات موردبررسی گردید.

واژه‌های کلیدی: طول ساقه، شاخص سطح برگ، عملکرد آفتابگردان، محتوی نسبی آب برگ

مقدمه:

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین منبع غذایی اصلی در جهان به شمار می‌روند. استفاده از دانه‌های روغنی در مصارف غذایی انسان‌ها و استفاده از کنجاله آن‌ها برای غذای دام و نیز مصرف آن‌ها در داروسازی، صابون‌سازی و سوخت باعث شد تا کشاورزان علاقه زیادی به کشت گیاهان روغنی داشته باشند و دولت‌ها از کشت این گیاهان حمایت کنند (28). آفتابگردان یکی از عمده‌ترین دانه‌های روغنی در ایران و جهان می‌باشد که به دلیل کمتر بودن نیازهای زراعی، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذایی و فقدان عوامل ضد تغذیه‌ای، سطح زیر کشت آن افزایش‌یافته است (16). اثرات تغییر اقلیم ازجمله افزایش دمای هوا ازیک‌طرف و کاهش بارندگی از طرف دیگر در بسیاری از نقاط جهان و ایران به‌ویژه مناطق عرض‌های میانی حجم منابع آبی و دسترسی فصلی به این منابع را تغییر داده است (32). تولید محصول در چنین شرایطی به علت کمبود بارش و توزیع نامناسب رشد آن، متکی بر آبیاری بوده و درعین‌حال محدودیت منابع آب از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده به‌ویژه در خصوص محصولات تابستانه می‌باشد (10، 31). در گزارش‌های مختلفی به اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزاء عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی، قطر طبق و درصد روغن آفتابگردان اشاره‌شده است (16، 18، 28). حیدری و کرمی (4) در آزمایشی بر آفتابگردان به این نتیجه رسیدند که عملکرد دانه در شرایط کمبود رطوبت نسبت به شرایط آبیاری آفتابگردان کاهش می‌یابد. به گزارش کرم و همکاران (23) عملکرد دانه با کم‌آبیاری در اوایل و اواسط گلدهی به ترتیب 25 و 14 درصد کاهش یافت؛ اما با کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه کاهشی در این صفت مشاهده نشد. به نظر می‌رسد در شرایط کمبود آب، تنظیم غلظت برخی از عناصر می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی برای جلوگیری از اثر مخرب تنش رطوبتی مؤثر بوده و زمینه سازگاری گیاه را فراهم آورد (7). سیلیسیوم (Si) دومین عنصر ازلحاظ فراوانی در سطح کره زمین و مقدار آن بین 0/1 تا 0/6 میلی‌مول در دسی‌متر مکعب خاک می‌باشد، ولی به‌عنوان عنصر اساسی برای گیاهان محسوب نگردیده و نقش آن در بیولوژی گیاهان به‌طور کامل درک نشده است (19، 20). اهمیت سیلیسیم در رشد و توسعه گیاهان اخیراً توسط محققان شناخته‌شده و موردتوجه قرارگرفته است (25، 29). سیلیسیوم به فرم‌های مختلف ازجمله اسید مونوسیلیسیک ($si(OH)_4$) در خاک وجود دارد؛ در اندام‌های هوایی با از دست دادن آب، اسید مونوسیلیسیک غلیظ شده و به فرم ژل سیلیس ($Sio_2.nH_2O$) تبدیل و باعث افزایش تحمل گیاه به تنش می‌شود (15). بیشتر تحقیقات انجام‌شده در خصوص نقش سیلیسیم در کنترل انواع بیماری‌ها و کاهش اثرات تنش فلزات سنگین و تنش اکسیداتیو بوده است (20، 24). تعداد کمی از مطالعات در خصوص اثر مثبت سیلیسیم بر کنترل تنش خشکی در گیاهان می‌باشد که عمدتاً به دلیل اثر سیلیسیم بر تنظیم اسمزی است (22). بااین‌حال اخیراً کونگ و همکاران (19) با بررسی اثر سیلیسیم بر گندم به این نتیجه رسیدند که سیلیسیم به دلیل افزایش آنتی اکسیدانت‌ها باعث افزایش تحمل به تنش خشکی می‌شود.

نظر به اینکه شهرستان گناباد در منطقه‌ای کم آب و با بارندگی کم واقع‌شده لذا با کاربرد سیلیسیم می‌توان اثرات کمبود رطوبت برای گیاه آفتابگردان که یکی از دانه‌های روغنی با ارزش است را تا حدودی جبران کرد؛ لذا این تحقیق باهدف بررسی اثرات کاربرد سیلیسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد آفتابگردان تحت سطوح مختلف رطوبتی بر اساس نیاز آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها:

این آزمایش در سال زراعی 99-1398 به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در کیلومتر پنج شهرستان گناباد با عرض جغرافیایی 34 درجه و 22 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 58 درجه و 45 دقیقه شرقی و ارتفاع 1053 متر از سطح دریا انجام شد. این شهرستان ازلحاظ اقلیمی

جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. در این تحقیق تیمار آبیاری با سطوح مختلف رطوبتی بر اساس نیاز آبی در چهار سطح رطوبتی شامل سطح رطوبتی 100 درصد نیاز آبی (معادل 10300 مترمکعب در هکتار)، سطح رطوبتی 80 درصد نیاز آبی (معادل 8240 مترمکعب در هکتار)، سطح رطوبتی 60 درصد نیاز آبی (معادل 6180 مترمکعب در هکتار) و سطح رطوبتی 40 درصد نیاز آبی (معادل 4120 مترمکعب در هکتار) و عامل فرعی زمان کاربرد سیلیسیم در چهار سطح شامل بدون کاربرد (شاهد)، کاربرد در مرحله رشد رویشی، کاربرد در مرحله رشد زایشی، کاربرد در مرحله رشد رویشی و زایشی بود. نیاز آبی گیاه با استفاده از نرم‌افزار Cropwat محاسبه گردید. سپس حجم آب آبیاری برای هر کرت محاسبه شد؛ برای توزیع حجم آب آبیاری بین کرت‌ها و تنظیم دقیق توزیع آب از پمپ و کنتور آب برای اندازه‌گیری حجم دقیق آبیاری استفاده شد. سیلیسیم در مرحله رویشی در زمان 20 برگی و در مرحله زایشی در مرحله دانه‌بندی مورداستفاده قرار گرفت و در هر مرحله به مقدار چهار کیلوگرم در هکتار همراه با آب آبیاری وارد کرت‌های موردنظر شد. ابعاد کرت‌های فرعی 5×2/5 متر و فاصله بین کرت‌های فرعی 1 متر و ابعاد کرت‌های اصلی 5×13 متر منظور شد. بر این اساس مساحت زمین آزمایش 21×56/5 مترمربع بود. هر کرت فرعی شامل چهار خط کاشت هرکدام به طول پنج متر با تراکم 83000 بوته در هکتار بود. عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی زمین شامل یک شخم عمیق و دو دیسک عمود برهم، تسطیح، ایجاد جوی و پشته و کرت بندی بود. بافت خاک شنی رسی لومی بود. بر اساس آزمون تجزیه خاک، مقدار 250 کیلوگرم در هکتار کود اوره که در دو مرحله شامل قبل از کاشت و بعد از تنک کردن مورداستفاده قرار گرفت، 150 کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و 100 کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه پخش و با شیار ساز جوی و پشته ایجاد گردید. کاشت در تاریخ 10 اردیبهشت با دست و به طریق هیرم کاری انجام شد. بذر مورداستفاده رقم ایروفلور (*EUROFLOR*) بود. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی در یک مرحله 50 روز بعد از کاشت صورت پذیرفت. بیماری و آفت خاصی در مزرعه مشاهده نشد. عمل تنک در مرحله چهار برگی انجام و آبیاری تا این زمان‌بر اساس 100 درصد نیاز آبی صورت گرفت و پس‌ازآن تیمارهای آبیاری اعمال شد.

برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک شامل تعداد برگ در بوته، طول ساقه و قطر ساقه در ابتدا 5 بوته در هر کرت فرعی با پارچه روبان رنگی علامت‌گذاری شد و در طول دوره رشد 5 مرتبه با فواصل زمانی یکسان از هر کرت اندازه‌گیری‌ها انجام و سپس میانگین آن‌ها مدنظر قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از دو ردیف میانی هر کرت تعداد پنج بوته به‌طور کامل از سطح زمین برش داده شد و سپس به آزمایشگاه منتقل شد. سطح برگ نیز توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل دلتا تی (Delta T) تعیین شد. نمونه‌ها پس از تفکیک به ساقه و برگ به مدت 72 ساعت در آون تهویه دار در 70 درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند.

همچنین برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ نمونه‌برداری 90 روز بعد از کاشت از آخرین برگ توسعه‌یافته انجام و بلافاصله وزن‌تر نمونه‌ها با ترازوی دقیق با دقت 0/0001 اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در آب مقطر قرار داده شد و پس از تمیز کردن با دستمال‌کاغذی وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و این برگ‌ها به مدت 24 ساعت در دمای 70 درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ بر اساس معادله (1) محاسبه گردید.

$$RWC= (F_w - D_w / S_w - D_w) \times 100$$ (معادله 1)

F_w : وزن‌تر برگ، D_w : وزن خشک برگ و S_w : وزن اشباع برگ

برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل 90 روز بعد از کاشت سه بوته از دو ردیف میانی هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و در هر بوته روی یک برگ (برگ 16-18) سه‌نقطه در نظر گرفته شد. میانگین اعداد در هر کرت به‌عنوان عدد نهایی برای شاخص کلروفیل ثبت گردید. برای اندازه‌گیری این شاخص از دستگاه کلروفیل متر مدل Minolta-502 استفاده شد.

برداشت نهایی وقتی انجام شد که رنگ زرد مایل به قهوه‌ای در پشت طبق 90 درصد بوته‌ها مشاهده شد و رطوبت بذور 20 درصد بود. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه با حذف اثر حاشیه، بوته‌ها از سطح چهار مترمربع در هر کرت برداشت شد. درصد روغن با استفاده از روش استخراج با حلال و دستگاه سوکسله صورت گرفت. عملکرد روغن نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن به دست آمد.

داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 تجزیه واریانس شد و مقایسه میانگین بین تیمارها با نرم‌افزار MSTATC و به روش دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد.

جدول 1-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (گناباد)

الگوی خاک	شن (درصد)	لوم (درصد)	رس (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر کل (ppm)	پتاسیم کل (ppm)
شنی لومی رسی	53/1	26/7	20/2	8/28	5/76	0/015	5/87	251

نتایج و بحث:

ویژگی‌های مورفولوژیکی:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی سطوح مختلف رطوبتی و کاربرد سیلیسیم اثرمعنی‌داری در سطح یک درصد بر تعداد برگ در یک بوته داشت (جدول 2). بررسی تغییرات تعداد برگ در یک بوته تحت اثر سطوح مختلف رطوبتی بر اساس نیاز آبی نشان داد که کاهش سطح رطوبتی از 100 درصد نیاز آبی به 80، 60 و 40 درصد به ترتیب باعث کاهش 6، 14 و 26 درصد در تعداد برگ در یک بوته شد (جدول 3). تنش رطوبتی از طریق کاهش سطح برگ، چه به‌صورت کوچک کردن آن‌ها و چه به‌صورت ریزش برگ‌ها می‌تواند باعث کاهش سطح فتوسنتز کننده، بستن منافذ روزنه‌ها و درنتیجه کاهش میزان فتوسنتز در داخل کلروپلاست شود (27). بررسی نتایج روند تغییرات اثر سیلیسیم در طی دوره رشد بر تعداد برگ در یک بوته نشان داد با کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی بیشترین تعداد برگ در یک بوته مشاهده شد که البته با تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول 3). به نظر می‌رسد کاربرد ریزمغذی‌هایی نظیر سیلیسیم در مرحله رویشی از طریق افزایش سطح و دوام برگ باعث افزایش قدرت منبع و افزایش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود (14). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش سطوح مختلف رطوبتی و کاربرد سیلیسیم بر تعداد برگ در یک بوته معنی‌دار نبود (جدول 2).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی سطوح مختلف رطوبتی، کاربرد سیلیسیم و برهمکنش آن‌ها در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر طول ساقه داشت (جدول 2). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف رطوبتی و کاربرد سیلیسیم نشان داد در تیمار بدون کاربرد سیلیسیم با کاهش سطح رطوبتی طول ساقه روند کاهشی داشت (جدول 4). اختلاف ارتفاع در اغلب گیاهان ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی و تغییر شرایط محیطی است (2). طبق نتایج پژوهش‌های پیشین بر سایر گیاهان ازآنجاکه در شرایط تنش رطوبتی فشار تورژسانس سلول‌های ساقه که در حال ازدیاد طول می‌باشند، کاهش می‌یابد و از طرفی تولید مواد اصلی فتوسنتز نیز کم می‌شود، لذا طول

میانگره‌های ساقه و درنتیجه ارتفاع بوته تحت تأثیر تنش رطوبتی کاهش می‌یابد (6، 33). بر اساس جدول 4 در سطوح رطوبتی 80، 60 و 40 درصد نیاز آبی کاربرد سیلیسیوم در مرحله رویشی نسبت به تیمار عدم کاربرد، به ترتیب باعث افزایش طول ساقه به میزان 11، 22 و 36 درصد شد؛ هرچند که در سطوح رطوبتی 60 و 40 درصد تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی دارای حروف آماری مشترک با سایر تیمارهای کاربرد سیلیسیم بود و اختلاف معنی‌داری در زمان‌های مختلف کاربرد سیلیسیم مشاهده نشد. از طرف دیگر در تیمار سطح رطوبتی 80 درصد نیاز آبی برتری کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی نسبت به سایر تیمارهای کاربرد کاملاً مشهود است و در گروه آماری مشترک با تیمار بدون کاربرد سیلیسیم (شاهد) تحت آبیاری با سطح رطوبتی 100 درصد قرار گرفت (جدول 4)؛ بنابراین می‌توان گفت کاربرد سیلیسیم تا حدودی اثرات کاهش رطوبت بر طول ساقه را جبران می‌کند ولی در سطوح کمتر رطوبت بر اساس نیاز آبی کاربرد این عنصر اثر چندانی بر جلوگیری از کاهش طول ساقه نمی‌گذارد.

جدول 2- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف رطوبتی و زمان کاربرد سیلیسیم بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی آفتابگردان

منابع	درجه آزادی	تعداد برگ در یک بوته	طول ساقه	قطر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ
تکرار	2	20/18 $^{n.s}$	5/50 $^{n.s}$	1/46 $^{n.s}$	2/37 $^{n.s}$	0/007 $^{n.s}$
سطح رطوبتی	4	322/11 **	13713/53 **	18/83 **	171/1 **	0/44 **
خطا	8	26/24	84/85	0/59	4/28	0/007
سیلیسیم	2	191/76 **	681/35 **	7/15 **	24/61 **	0/05 **
سطح رطوبتی×سیلیسیم	8	20/17 $^{n.s}$	308/98 **	0/39 $^{n.s}$	13/22 **	0/01 **
خطای کل	24	14/04	86/9	0/57	1/93	0/01
ضریب تغییرات (%)	-	9/23	8/16	12/85	9/27	19/76

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، n.s غیر معنی‌دار

جدول 2 (ادامه) - تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف رطوبتی و زمان کاربرد سیلیسیم بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد آفتابگردان

منابع	درجه آزادی	محتوی نسبی رطوبت	شاخص سطح برگ	شاخص کلروفیل	عملکرد دانه	عملکرد روغن
تکرار	2	16/17 $^{n.s}$	0/24 $^{n.s}$	6/39 **	741094/41 $^{n.s}$	138603/01 $^{n.s}$
سطح رطوبتی	4	1982/75 **	6/79 **	46/15 **	28899281/21 **	5973015/90 **
خطا	8	7/41	0/12	0/58	912403/4	142273/79
سیلیسیم	2	142/31 **	0/44 *	5/76 **	35541855/71 **	9513621/34 **
سطح رطوبتی×سیلیسیم	8	4/76 $^{n.s}$	0/33 *	2/03 $^{n.s}$	3359031/3 **	1034656/56 **
خطای کل	24	10/87	0/12	1/36	676821/74	100247/13
ضریب تغییرات (%)	-	6/63	20/20	10/61	23/20	23/25

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، n.s غیر معنی‌دار

جدول 3- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف رطوبتی و زمان کاربرد سیلیسیم بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی آفتابگردان

	تعداد برگ در یک بوته	طول ساقه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک ب (گرم)
سطح رطوبتی بر اساس نیاز آبی					
100% نیاز آبی	45/83 a	144/9 a	7/25 a	19/34 a	0/52a
80% نیاز آبی	43/27 ab	130 b	6/69 a	16/56 b	0/33 b
60% نیاز آبی	39/30 b	114/8 c	5/08 b	13/4 c	0/15 c
40% نیاز آبی	33/94 c	66/94 d	4/63 b	10/63 d	0/10 c
سیلیسیم					
بدون کاربرد (شاهد)	39/58 b	108/55 b	5 b	13/64 b	0/22 b
کاربرد در مرحله رویشی	43/97 a	125/16 a	6/52a	16/49 a	0/34 a
کاربرد در مرحله زایشی	35/36 c	110/13b	5/55 b	12/94 b	0/22 b
کاربرد در مرحله رویشی و زایشی	43/44 a	112/88 b	6/58 a	16/87 a	0/33 a

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول 3 (ادامه) - مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف رطوبتی و زمان کاربرد سیلیسیم بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی آفتابگردان

	محتوی نسبی رطوبت	شاخص سطح برگ	شاخص کلروفیل	عملکرد دانه	عملکرد روغن
سطح رطوبتی بر اساس نیاز آبی					
100% نیاز آبی	64/95 a	2/38 a	13/20 a	5222/9 a	1980/81 a
80% نیاز آبی	54/38 b	2/37a	11/72 b	4357/6 a	1936/76 a
60% نیاز آبی	44/12 c	1/30 b	10/45 c	2868/3b	945/21 b
40% نیاز آبی	35/20 d	0/91c	8/58 d	1730/8 c	583/41b
سیلیسیم					
بدون کاربرد (شاهد)	48/18 b	1/70 b	10/48 b	2387/5 b	830/93 b
کاربرد در مرحله رویشی	51/99 a	2/02 a	11/83 a	2630/2 b	850 b
کاربرد در مرحله زایشی	45/52 b	1/60 b	10/40 b	3070/7 b	1078/92 b
کاربرد در مرحله رویشی و زایشی	52/95 a	b1/64	11/28 ab	6091/3 a	2286/41 a

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد اختلاف معنی دار ندارند.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی سطوح رطوبتی و کاربرد سیلیسیم اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر قطر ساقه آفتابگردان داشت ولی برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول 2). روند تغییرات قطر ساقه مشابه طول ساقه بود. بیشترین قطر ساقه در سطح رطوبتی 100 درصد نیاز آبی حاصل شد و با کاهش سطح رطوبت از قطر ساقه کاسته شد (جدول 3). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب کاهش تورژسانس سلول و کاهش سطح تعرق کنندگی گیاه است. در این شرایط جذب مواد غذایی کند شده و رشد و توسعه سلول‌ها در اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد؛ بنابراین با افزایش تنش رطوبتی و کاهش سطح اندام‌های فتوسنتز کننده به‌طور مسلم سایر اندام‌ها نظیر ساقه نیز تحت تأثیر قرار خواهند گرفت (9). بررسی جدول مقایسه میانگین نشان داد تیمار کاربرد سیلیسیم در

مرحله رویشی و زایشی بیشترین قطر ساقه را نشان داد که البته با تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول 3). محققان دیگری نیز به اثر مثبت کاربرد سیلیسیم در رشد طولی و قطر ساقه گیاهان زراعی اشاره داشتند (7، 14). بر اساس نتایج سایر محققان سیلیسیم با ایجاد کمپلکس‌های پیچیده با ترکیبات دیواره سلولی، در استحکام و اندازه منافذ دیواره و نیز رشد قطری و طولی سلول‌ها، به‌ویژه آوند چوبی نقش اساسی دارد (21).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی سطوح مختلف رطوبتی، کاربرد سیلیسیم و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه داشت (جدول 2). بررسی برهمکنش‌ها نشان داد در تیمار بدون کاربرد سیلیسیم با کاهش سطح رطوبت وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ نیز روند کاهشی در پیش گرفت (جدول 4). مطابق با این نتایج سایر محققان نیز کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی آفتابگردان در اثر کاهش سطح رطوبت را تائید می‌کند (4). مطالعات قبلی روی گیاهان نشان داده که اعمال تنش رطوبتی در گیاه دارویی شوید، گشنیز و رازیانه در شرایط گلخانه‌ای منجر به کاهش ارتفاع و وزن خشک (3) و در مرزه (1)، بادرشبو (5) و ترخون (8) سبب کاهش ارتفاع، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن‌تر و خشک اندام هوایی و وزن‌تر ریشه شد. بر اساس جدول 4 کاربرد سیلیسیم در همه سطوح رطوبتی باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه شد. گزارش‌شده است که کودهای سیلیکاته با اثر مثبت بر رشد رویشی گیاه سبب افزایش ماده خشک می‌شود (13). در این راستا لیانگ و همکاران (24) عنوان کردند سیلیس با کاهش تعرق گیاه و یا رسوب در زیر سلول‌های اپیدرم برگ و ساقه باعث کاهش اتلاف آب از کوتیکول می‌شود، درنتیجه باعث حفظ و نگه‌داری آب از سلول و افزایش فشار تورژسانس می‌شود و درنتیجه سطح سبز گیاه افزایش می‌یابد. رسوب سیلیکات در سلول‌های اپیدرمی مانعی را برای کاهش آب از کوتیکول-ها ایجاد می‌کند، همچنین رشد گیاه را از طریق بهبود جذب عناصر غذایی، کاهش سمیت عناصر، بهبود فعالیت فتوسنتزی و افزایش مقاومت به تنش‌ها افزایش می‌دهد. جلوگیری از کاهش وزن خشک اندام هوایی با کاربرد سیلیسیم در گندم (19) و سورگوم (22) نیز گزارش‌شده است. نتایج جدول برهمکنش‌ها نشان داد در سطح رطوبتی 80 درصد بیشترین مقدار وزن خشک ساقه (18/63 گرم) تحت تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی مشاهده شد که با تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی اختلاف معنی‌داری نداشت؛ همچنین بیشترین مقدار وزن خشک برگ (0/43 گرم) تحت تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی مشاهده شد که البته با تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی در گروه آماری مشترک قرارگرفته و اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول 4). بر اساس جدول (4) بررسی سطح رطوبتی 60 درصد نیاز آبی نشان داد کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی باعث افزایش وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ نسبت به عدم کاربرد (شاهد) آن شد. در تیمار سطح رطوبتی 40 درصد نیاز آبی نیز در هر دو صفت وزن خشک برگ و ساقه همه سطوح کاربرد سیلیسیم در یک گروه آماری قرار گرفتند؛ بنابراین می‌توان گفت در سطح رطوبتی 40 درصد نیاز آبی تیمارهای مختلف زمان کاربرد سیلیسیم اثر معنی‌داری بر اثرات کاهشی رطوبت بر وزن خشک برگ و ساقه نداشت (جدول 4).

ویژگی‌های فیزیولوژیکی:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی سطوح رطوبتی و کاربرد سیلیسیم در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر محتوی نسبی رطوبت داشت، درحالی‌که برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول 2). نتایج مقایسه میانگین نشان داد میزان محتوای نسبی رطوبت با کاهش سطح رطوبتی از 100 درصد به 80، 60 و 40 درصد به ترتیب کاهش 16، 32 و 46 درصدی را به همراه داشت (جدول 3). درصد رطوبت نسبی بافت‌ها از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی است که نشان‌دهنده وضعیت آبی گیاه است (28). کم بودن محتوی نسبی آب برگ در هنگام تنش شدید رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه دارد، تنش رطوبتی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش توسعه برگ‌ها می‌شود و به دلیل کاهش دی‌اکسید کربن در دسترس گیاه میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (9). نتایج تحقیقات ماری و همکاران (27) نیز

نشان داد با افزایش تنش رطوبتی به‌طور معنی‌داری محتوی نسبی آب برگ کاهش یافت. بر اساس نتایج این محققان کاهش مقدار محتوی نسبی آب برگ در اثر تنش کمبود رطوبت ازیک‌طرف به دلیل کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها و از طرف دیگر افزایش تعرق آب از طریق برگ‌ها است که درنهایت منجر به بسته شدن روزنه‌های برگ می‌شود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین محتوای نسبی رطوبت در تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی بالاترین مقدار بود که با تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی در گروه آماری مشترک قرار گرفت (جدول 3). به نظر می‌رسد که سیلیسیوم از طریق افزایش غلظت داخل سلول به‌واسطه تأثیر برافزایش یون‌های پتاسیم و سیلیسیوم، باعث افزایش محتوی نسبی آب می‌شود (7). در گیاهان با وقوع تنش رطوبتی تطابق اسمزی رخ می‌دهد یعنی در اثر تجمع یون‌ها، مواد محلول در سلول‌های برگ افزایش می‌یابد که بالا بودن محتوی مواد محلول باعث می‌شود وقتی برگ گیاه در آب مقطر غوطه‌ور می‌شود (برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب)، مواد سیتوپلاسمی به محیط آپوپلاستی نشت می‌کند و آبگیری بیشتری در مقایسه با برگ شاهد داشته و درنتیجه محتوی آب برگ در گیاه تنش دیده پایین است؛ در حضور عناصری مانند سیلیسیوم در شرایط کمبود رطوبت، عناصر در تعادل خواهند بود و سلول قدرت حفظ ساختار خود را پیداکرده و نشت مواد کمتر صورت می‌گیرد و درنتیجه محتوی نسبی آب آن افزایش می‌یابد (24).

جدول 4- برهمکنش اثر سطوح مختلف رطوبتی و زمان کاربرد سیلیسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد آفتابگردان

سطوح رطوبتی	سیلیسیم	طول ساقه (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	شاخص سطح برگ	عملکرد دانه	عملکرد روغن
100% نیاز آبی	بدون کاربرد (شاهد)	136/88 bc	17/95 bcd	0/45 c	2/33 bc	3508/45 cde	1232/64 bcd
	کاربرد در مرحله رویشی	169/55 a	21/86 a	0/70 a	2/93 a	3541 cde	1243/38 bcd
	کاربرد در مرحله زایشی	129/55 bcd	18/26 bc	0/36 cd	2/33 bc	4243/10 cd	1521/62 bc
	کاربرد در مرحله رویشی و زایشی	143/77 b	19/28 b	0/59 b	1/90 c	9599/22 a	3925/69 a
80% نیاز آبی	بدون کاربرد (شاهد)	123 cde	15/76 def	0/22 ef	2/10 c	3117/83 de	1127/99 bcde
	کاربرد در مرحله رویشی	136/33 bc	18/63 bc	0/39 cd	2/40 abc	3023 def	1128/24 bcde
	کاربرد در مرحله زایشی	125/22 cde	13/56 fgh	0/30 de	2/22 c	3716/74 cde	1346/33 bcd
	کاربرد در مرحله رویشی و زایشی	135/44 bc	18/30 bc	0/43 c	2/83 ab	7572/96 b	4144/42 a
60% نیاز آبی	بدون کاربرد (شاهد)	104/11 f	11/60 hi	0/13 gh	1/30 de	1730/46 fgh	685/21 efg
	کاربرد در مرحله رویشی	127/11 cde	15/16 efg	0/15 fgh	1/87 cd	2449/61 efgh	631/60 efg
	کاربرد در مرحله زایشی	114/66 def	10/03 i	0/11 gh	1/13 e	2655 efg	833/28 def
	کاربرد در مرحله رویشی و زایشی	113/55 ef	16/83 cde	0/20 fg	0/90 e	4638/81 c	1630/64 b
40% نیاز آبی	بدون کاربرد (شاهد)	57/7 h	9/26 i	0/09 h	1/10 e	1193/54 h	277/66 g
	کاربرد در مرحله رویشی	78/77 g	10/30 i	0/13 gh	0/90 e	1507/62 gh	396/86 fg
	کاربرد در مرحله زایشی	60 h	9/90 i	0/09 h	0/73 e	1667/91 fgh	614/22 efg
	کاربرد در مرحله رویشی و زایشی	71/22 gh	10/06 i	0/10 h	0/93 e	2554/44 efgh	1044/83 cde

جدول نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی سطوح مختلف رطوبتی در سطح یک درصد، کاربرد سیلیسیم و برهمکنش آن‌ها در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ داشت (جدول 2). جدول برهمکنش تیمارها نشان داد در همه سطوح کم رطوبت، تیمار عدم کاربرد سیلیسیم دارای کمترین شاخص سطح برگ بود و کاربرد سیلیسیم باعث بهبود اثرات کاهشی سطوح رطوبت بر شاخص سطح برگ شد (جدول 4). سلیمانی (32) گزارش داد تنش رطوبتی منجر به کاهش شاخص سطح برگ در آفتابگردان شد که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد؛ بر این اساس کاهش شاخص سطح برگ کانوپی گیاهی به‌واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش آماس سلولی به دنبال تنش رطوبتی اتفاق می‌افتد. احتمالاً افت سطح برگ در سطوح رطوبتی کمتر به‌واسطه حساسیت بالای تقسیم سلولی و سرعت رشد سلول‌ها به کمبود رطوبت است (16). از طرف دیگر سیلیسیم با کاهش تعرق در گیاه و رسوب در زیر سلول‌های اپیدرم برگ و ساقه باعث کاهش اتلاف آب از کوتیکول می‌شود؛ درنتیجه باعث حفظ و نگه‌داری آب در سلول و افزایش فشار تورژسانس و افزایش شاخص سطح برگ می‌شود به این صورت که رسوب کریستال‌های سیلیکات در سلول‌های اپیدرمی مانعی را برای کاهش آب از کوتیکول‌ها ایجاد می‌کند (24). بر

اساس جدول 4 در سطح رطوبتی 80 درصد نیاز آبی بیشترین مقدار شاخص سطح برگ در تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی مشاهده شد که البته با تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی در گروه آماری مشترک قرار گرفت؛ همچنین در گروه آماری مشترک با تیمار سطح رطوبتی 100 درصد و کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی قرار گرفت؛ بنابراین اختلاف معنی‌داری با این تیمار نداشت؛ بنابراین می‌توان گفت کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی باعث جبران اثرات کاهش سطح رطوبتی از 100 به 80 درصد نیاز آبی شد. در سطح رطوبتی 40 درصد نیاز آبی همه تیمارهای کاربرد سیلیسیم در گروه آماری مشترک قرار گرفتند (جدول 4). احتمالاً در سطوح رطوبتی کمتر کاربرد سیلیسیم قادر به جبران اثرات کمبود رطوبت نخواهد بود.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر اصلی سطوح مختلف رطوبتی و کاربرد سیلیسیم در سطح یک درصد بر شاخص کلروفیل معنی‌دار بود، درحالی‌که برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول 2). نتایج مقایسه میانگین نشان داد با کاهش سطح رطوبت شاخص کلروفیل نیز روند کاهشی در پیش گرفت (جدول 3).

نتایج قدمی فیروزآبادی و همکاران (17) نیز مطابق با نتایج این آزمایش است؛ به گزارش این محققان تحت شرایط کمبود رطوبت کاهش در غلظت کلروفیل ناشی از کاهش میزان سنتز در اثر تجزیه کلروفیل به دلیل افزایش در میزان کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی می‌باشد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین شاخص کلروفیل با کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی به‌دقت آمد (جدول 3). اثر سیلیسیم برافزایش مقدار کلروفیل برگ از طریق تأثیر بر آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز (12) و جلوگیری از تخریب کلروفیل توسط سیلیسیم است (13).

ویژگی‌های عملکردی:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی سطوح مختلف رطوبتی بر اساس نیاز آبی، کاربرد سیلیسیم و برهمکنش آن‌ها در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول 2). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف رطوبتی و کاربرد سیلیسیم نشان داد در همه سطوح کم رطوبت شامل 80، 60 و 40 درصد نیاز آبی کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی باعث افزایش حدوداً 2/5 برابری عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم کاربرد (شاهد) شد (جدول 4). کاهش عملکرد دانه در اثر بروز تنش خشکی در آفتابگردان توسط محققان دیگر نیز به اثبات رسیده است (11، 27، 32)؛ بر اساس نتایج سایر آزمایش‌ها احتمال دارد تنش خشکی از طریق کاهش تعداد برگ در بوته درروند فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از بوته‌ها به دانه‌ها اثر منفی گذاشته و درنتیجه منجر به کاهش وزن دانه‌ها و چروکیدگی آن‌ها و درنهایت کاهش عملکرد دانه شود (20). همچنین کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی در سطوح رطوبتی 80 و 60 درصد نیاز آبی باعث افزایش عملکرد دانه حتی بیشتر از تیمار سطح رطوبتی 100 درصد بدون کاربرد (شاهد) شد. این موضوع می‌تواند بیانگر این باشد که کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی در سطوح رطوبتی کمتر می‌تواند اثرات کم‌آبی را بر عملکرد دانه کنترل کند. مطابق با نتایج این آزمایش سایر محققان اثرات مثبت کاربرد سیلیسیم بر بهبود عملکرد دانه آفتابگردان (21) و گندم (26) را گزارش نمودند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی سطوح رطوبتی و کاربرد سیلیسیم و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر عملکرد روغن داشت (جدول 2). بر اساس جدول برهمکنش‌ها در تیمار عدم کاربرد سیلیسیم (شاهد) با کاهش سطح رطوبت مقدار عملکرد روغن کاهش یافت (جدول 4). گزارش‌شده است که تنش شدید خشکی سبب کاهش مقدار روغن تولیدی در گیاهان روغنی می‌شود و با کاهش بیشتر مقدار اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه و افزایش نسبت اسیدهای چرب اشباع و درنهایت موجب بالا رفتن درجه اشباع بودن روغن می‌گردد (11). طبق نتایج گوکسوی و همکاران (18) و رشدی و همکاران (30) تنش خشکی اثری بر درصد روغن

نداشت، درحالی‌که بیشترین عملکرد روغن با آبیاری کامل به دست آمد. نتایج جدول برهمکنش تیمارها نشان داد در همه سطوح کم رطوبت کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی باعث بیشترین عملکرد روغن شد (جدول 4). بر اساس نتایج در تیمار سطح رطوبتی 80 درصد عملکرد روغن در همه سطوح کاربرد سیلیسیم با تیمار آبیاری کامل در یک گروه آماری قرار گرفت؛ به‌طوری‌که کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی در سطح رطوبتی 80 درصد باعث افزایش عملکرد روغن حتی بیشتر از تیمار آبیاری کامل و کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی شد. می‌توان گفت کاربرد سیلیسیم در سطح رطوبتی 80 درصد نیاز آبی اثرات کاهش سطح رطوبتی را کنترل کرده است. در سایر تیمارهای آبیاری نیز کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی باعث افزایش عملکرد روغن نسبت به سایر تیمارهای سیلیسیم شد. بیشترین مقدار عملکرد روغن در سطح رطوبتی 80 درصد نیاز آبی و کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی به دست آمد (جدول 4).

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر نتایج نشان داد کاهش سطوح رطوبتی باعث کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد آفتابگردان شد. بررسی برهمکنش تیمارها نشان داد که تیمار کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی در صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک و همچنین در صفات عملکردی کاربرد سیلیسیم در دو مرحله رویشی و زایشی باعث جبران اثرات کاهشی کم‌آبی در تیمارهای آبیاری با 80 و 60 درصد نیاز آبی شد؛ درحالی‌که در تیمار آبیاری با 40 درصد نیاز آبی با توجه اثرات شدید ناشی از کاهش سطح رطوبت بر اساس نیاز آبی اثر معنی‌داری بر جلوگیری از کاهش صفات موردبررسی نداشت؛ بنابراین نتایج این آزمایش برای اراضی و مناطق مشابه با منطقه محل اجرا قابل توصیه است و درصورتی‌که با محدودیت منابع آبی مواجه باشیم امکان کاهش سطوح رطوبتی تا 80 درصد نیاز آبی وجود دارد و می‌توان اثرات کاهشی سطوح رطوبتی را از طریق کاربرد سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی به مقدار 4 کیلوگرم در هکتار جبران کرد. همچنین جهت شناسایی سایر گونه‌های مقاوم و نیمه مقاوم به خشکی، تعیین حدود بحرانی این عنصر غذایی و نیز اثر انواع کودهای ریزمغذی بر کنترل آثار سوء تنش‌ها برای حصول آستانه‌های اقتصادی عملکرد گیاهان زراعی انجام آزمایش‌های بیشتر مهم به نظر می‌رسد؛ بنابراین مطالعات بیشتر و استفاده از مقادیر متفاوت سیلیسیم در دامنه مشخصی از آب مورداستفاده برای آبیاری بر سایر گیاهان مورد کاشت در منطقه و همچنین اثر استفاده از آن در میزان عناصر غذایی در خاک و آب توصیه می‌شود.

منابع

1-**اسکندری، م**. 1392. بررسی پارامترهای رشد و تغییرات اسانس گیاه دارویی مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica*) تحت تأثیر 28-هموبراسینولید و تنش خشکی. دوماهنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، 29 (1): 186-176.

2-**امیری ده احمدی، ر.، پارسا، م. و گنجعلی، ع**. 1389. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژی بر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arientinum* L.) در شرایط گلخانه. نشریه پژوهش‌های زراعی، 8 (1): 166-157.

3-**امیری ده احمدی، ر.، رضوانی‌مقدم، پ. و احیایی، ح. ر.** 1391. تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد سه گیاه دارویی شوید، گشنیز و رازیانه در شرایط گلخانه. نشریه پژوهش‌های زراعی، 10 (1): 116-124.

4-**حیدری، م. و کرمی، و.** 1392. بررسی اثر تنش خشکی و گونه‌های میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، میزان کلروفیل و ترکیبات بیوشیمیایی آفتابگردان. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 6 (1):26-17.

5-**رهبریان، پ. و افشارمنش، غ. ر.** 1390. اثر کم آبیاری و کود دامی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) در جیرفت. مجله علمی پژوهشی اکو فیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، 5 (17): 52-41.

6-**فرهادی، ح.، عزیزی، م. و نعمتی، ح.** 1396. اثر تنش آبی بر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد هشت توده بومی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.). نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، 1 (1): 132-120.

7-**کرملاچعب، ع.، بخشنده، ع. م.، قرینه، م. ح.، مرادی تلاوت، م. ر. و فتحی، ق.** 1393. اثر مصرف سیلیسیم بر صفات مرفوفیزیولوژیک، عملکرد و محتوی عناصر معدنی دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی. نشریه تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی، 4 (14): 144-133.

8-**لطفی، م.، عباس زاده، ب. و میرزا، م.** 1392. اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، پرولین، قندهای محلول و عملکرد ترخون (*Artemisia dracunculus* L.). دوماهنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، 30 (1): 29-19.

9-**مجدم، م.، پاینده، خ.، لک، ش. و مرعشی، ک.** 1395. اثر پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ذرت بهاره (*Zea mays* L.) در شرایط تنش کمبود آب. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، 8 (32): 73-61.

10-**وزیری، س. و نادری، ا.** 1393. اثر کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی هیبریدهای کلزا در شرایط تنش کمبود آب پایان فصل. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران، 45 (3): 417-409.

11-**یدالهی، پ.، اصغری پور، م. ح.، مروانه، ه.، خیری، ن. و امیری، ا.** 1396. اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن دو رقم آفتابگردان. نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، 1 (1): 76-65.

12-Adatia, M. H. and Besford, R. T. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. Annals of Botany, 58: 343-351.

13-Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kuubota, F. and Kufman, B. 1996. Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.). Crop Production and Improvement Technology, 34 (2): 225-234.

14-Amiri, A., Bagheri, A., Khaje, M., Najafabadipour, F. and Yadollahi, P. 2014. Effect of silicone foliar application on yield and antioxidant enzymes activity of safflower under limited irrigation conditions. Journal of Crop production, 5 (4): 361-372.

15-Epstien, E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50: 641-664.

16-Fulda, S., Mikat, S., Stegmann, H. and Horn, R. 2011. Physiology and proteomics of drought stress acclimation in sunflower (*Helianthus annuus*). Journal of Plant Biology, 13: 632-642.

17-Ghadami-Firouzabadi, A., Raeini, M., Shahnazari, A. and Zare-Abyane, H. 2014. Variation of Chlorophyll, Leaf Area Index and Root Parameters of Sunflower under regulated deficit and partial root zone drying irrigation. Journal of Crop Production and Processing, 14 (1): 69-79.

18-Goksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M. and Dagustu, N. 2004. Responses of sunflower full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research, 87: 167-178.

19-Gong, H. J., Chen, K., Wang, S. and Zhang, C. L. 2005. Effects of silicon on growth of wheat under drought. Journal of Plant Nutrition, 26 (5): 1055-1063.

20-Gunes, A., Inal, A., Bagci, E. J. and Pilbeam, D. J. 2007. Silicon mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-B toxic soil. Plant and Soil, 290: 103–114.

21-Gunes, A., Pillbeam, D., Inal, A. and Coban, S. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, Antioxidant mechanisms, and Lipid per oxidation. Communication of Soil Science and Plant, 39: 1885–1903.

22-Hattori, T., Inanaha, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxova, M. and Lux, A. 2005. Application of silicon enhanced tolerance in *Sorghum bicolor*. Physiologia Plantarum, 123: 459–466.

23-Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C. and rouphael, Y. 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management, 90: 213-223.

24-Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G. and Christie, P. 2007. Mechanisms of silicon mediated alleviation of a biotic stresses in higher plants. Environmental Pollution, 147: 422-428.

25-Ma, J. F. and Yamaji, M. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science, 11: 392–397.

26-Maghsoudi, K. and Emam, Y. 2016. Response of bread wheat cultivars to foliar application of silica under drought stress conditions after flowering. Journal of Crop Production and Processing, 6 (19): 1-12.

27-Maury, P., Berger, M., Mojayad, F. and Planchon, C. 2000. Leaf water characteristics and drought acclimation in sunflower genotypes. Plant and Soil, 223: 153–160.

28-Nadeem, T. M. H., Imran, M. and Kamil Husain, M. 2002. Evaluation of sunflower in bred lines for drought tolerance. International Journal of Agriculture and Biology, 25: 398-400.

29-Richmond, K. E. and Busman, M. 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Current Opinion in Plant Biology, 6: 268–272.

30-Roshdi, M., Heydari Sharifabad, H., Karimi, M., Nourmohammadi, G. H. Darvish, F. 2006. A Survey on the impact of water deficiency over the yiel sunflower seed cultivar and its components. Journal of Agricultural Science, 12 (1): 109-121.

31-Sepaskhah, A. R. and Khajehabdollahi, M. H. 2005. Alternative furrow irrigation with different irrigation intervals for maize (*Zea mays* L.). Plant Production Science, 8: 592-600.

32-Solymani, A. 2017. The effect of some effective physiological characteristics on growth sunflower varieties on drought stress. Environmental stresses in crop sciences, 10 (4): 505-519.

33-Tayebi, A., Afshari, H., Farahvash, F., Masood sinki, J. and Nezarat, S. 2012. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. Iranian Journal of Plant Physiology, 2 (3): 445-453.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 10, No. 1, Spring and summer 2020

Effect of silicon application on morphological and physiological characteristics of sunflower (*Helianthus.annuus* L.) under different moisture levels

Zohreh Nabipour [1*], Gholamreza Zamani [2]

1-Ph. D of Agriculture, Gonabad Agricultural and Natural Resource and Education station, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO. Gonabad. Iran.

2-Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand

Corresponding author; Email: zohreh.nabipour@yahoo.com

(Received: 23 August, 2020; Accepted: 14 September, 2020)

Abstract

Available water is the main factor limiting crop growth and production in arid areas. In this regard, in order to investigate the effect of silicon application on morphological, physiological and yield characteristics of sunflower under different moisture levels, an experiment was conducted in the crop year 1397-1398 in Gonabad. This study was conducted as a split plot in a randomized complete block design with three replications. The main factor of irrigation with different moisture levels based on water requirement includes four levels (100% water requirement, 80% water requirement, 60% water requirement and 40% water requirement) and the secondary factor of silicon consumption time. There were four levels (no application (control), application in vegetative stage, application in reproductive stage, application in vegetative stage and reproductive stage). The results showed that reducing the moisture level from 100% to 40% of water requirement reduced the quantitative traits studied; So that the lowest seed yield (1730.8 kg / ha) and oil yield (583.41 kg / ha) were obtained in the treatment of moisture level of 40% of water requirement. Also, the application of silicon under low moisture levels based on water requirement improved the effects of reducing moisture levels in all evaluated traits and seed yield. The highest seed yield (7572.96 kg / ha) was obtained in the treatment of 80% water requirement and application of silicon in the vegetative and reproductive stages and the lowest value (1193.54 kg / ha) was obtained in the treatment of 40% water requirement and without the use of silicon. Also, the application of silicon in the vegetative and reproductive stages compared to the non-application treatment (control) increased 2.5, 1.5 and 2.5 times the oil yield at different levels of moisture, including 80, 60 and 40% of water requirement. In general, the results showed that the use of silicon in the vegetative and reproductive stages at a moisture level of 80% of the water requirement compensated for the adverse effects of reducing the moisture level in the studied traits.

Keywords: Stem height, Leaf area index, Sunflower yield, Relative leaf water content