دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره دوازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱

اثر سیلیسیم بر ویژگی‌های آگروفیزیولوژیک گندم در شرایط تنش خشکی

نیکوالسادات طباطبایی[1]، میترا عطاآبادی*[2]، محمد مهدی تهرانی[3]،مهران هودجی[4]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان ، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۳- استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

*مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:mitra_ataabadi@yahoo.com

(تاریخ دریافت : ۱۵ تیرماه ۱۴۰۱، تاریخ پذیرش: ۲۴ تیرماه ۱۴۰۱)

چکیده

گندم یکی از اساسی‌ترین و مهم‌ترین منابع تغذیه در جهان به شمار می‌رود لذا یافتن راهکاری جهت کاهش اثر تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی آن می‌تواند، هر کشور را در رسیدن به امنیت غذایی بیشتر کمک کند. به منظور بررسی اثر سیلیسیم بر ویژگی‌های آگروفیزیولوژیک گندم در شرایط تنش خشکی، این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی موسسه خاک و آب انجام گردید.آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب با ۷۵ و ۵۰ و ۲۵ درصد رطوبت قابل استفاده در خاک به عنوان فاکتور اول و سیلیکات پتاسیم در چهار سطح عدم استفاده از سیلیسیم (شاهد) و ۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خاک کاربرد در مرحله ساقه‌دهی و غلظت‌های ۲/۵ و پنج کیلوگرم در هکتار محلول‌پاشی در مرحله‌ی ساقه‌دهی، ظهور سنبله و مرحله‌ی رشد خمیری دانه به عنوان فاکتور دوم برگندم رقم سیوند (حساس به کم آبی) در دو سال به اجرا در آمد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی و سیلیسیم بر صفات عملکرد دانه، طول سنبله، قطر ساقه، ارتفاع بوته، غلظت کلرفیل a معنی دار بود. نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که در تیمار آبیاری نرمال با محلول پاشی پنج کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد دانه به مقدار ۷۸۹۲ کیلوگرم حاصل شده است. براساس نتایج پژوهش حاضر به نظر می‌رسد کاربرد سیلیسیم به صورت خاک کاربرد و محلول پاشی موجب بهبود عملکرد دانه می گردد.

واژگان کلیدی: گندم، سیلسیوم، تنش، عملکرد

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) غذای اصلی بیشتر مردم جهان را تشکیل میدهد و در بین غلات، بیشترین سطح زیر کشت از زمین های کشاورزی دنیا را به خود اختصاص داده است. گندم به دلیل ویژگی های منحصر به فرد، مهم ترین گیاه زراعی روی زمین است (۳۳). در ایران نیز گندم نسبت به سایرمحصولات بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است که این موضوع بر اهمیت و لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع و عامل های تولید گندم می افزاید (۱۷). خشکی مهم ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی می باشد و ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۱).

در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل کم بودن و توزیع غیر یکنواخت بارندگی از سالی به سال دیگر، عملکرد سالهای متوالی نوسانات فراوانی نشان می دهد. علاوه بر آن، زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق، سبب بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان می شود (۱۹).

کشور ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک کره زمین، با مشکل کم‌آبی مواجه است. رشد فزاینده جمعیت و نیاز بیشتر به محصولات کشاورزی و محدودیت منابع آب و خاک به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسئله‌ی کم آبی را به چالشی بسیار جدی برای کشور تبدیل نموده است از این رو مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد و نمو گیاهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، از اهمیت بسزایی برخوردار است.

مدیریت استفاده از آب در مزرعه سبب صرفه‌جویی و حفاظت از منابع محدود آب و خاک گردیده و علاوه بر آن موجبات افزایش محصول را فراهم می‌سازد. از طرفی، به علت افزایش هزینه آب مصرفی و کاهش آب قابل دسترس و همچنین کمبود مواد آلی در اکثر خاک های این مناطق، امروزه توجه زیادی به مدیریت تنش و تغذیه و کارایی آب شده است. کم آبیاری یکی از راه‌های به حداکثر رساندن کارایی مصرف آب به ازای یک واحد آب مصرفی است (۵). از طرفی تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود (۲). در اراضی گندم محدودیت آبی (تنش خشکی) عموماً در اواخر فصل رشد اتفاق می‌افتد، دلیل اصلی این امر رقابت زراعت‌های بهاره با آبیاری گندم در مرحله دانه‌بندی است به‌طوری‌که این محدودیت آبیاری بسته به زمان آن می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه ای بر عملکرد گندم داشته باشد، لذا تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است که منجر به کاهش ۵۰ درصدی عملکرد می‌شود (۱۵). پاک‌نژاد و همکاران (۴) در بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر سه رقم گندم نتیجه گرفتند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شده به طوری که کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار تنش خشکی در زمان گلدهی تا پایان دوره رشد بوده است. گزارش نجفیان و همکاران (۲۵) بر سه رقم گندم نشان داد که عملکرد گندم در اثر تنش کم آبی نسبت به نرمال بشدت کاهش یافت. گزارش سلیم (۳۰) نشان داد ارتفاع بوته، طول پدانکل و عملکرد دانه گندم در شرایط تنش کاهش یافته است. کرملاچعب و همکاران (۹) طی تحقیقی

اثر کاربرد سیلیسیم بر صفات فیزیولوژیکی و رشد گندم تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل، نشان دادند که اثر خشکی بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بوده است. تنش خشکی پدیده محیطی مهمی است که اغلب در طول دوره پر شدن دانه درگندم اتفاق می افتد و باعث کاهش محصول می شود(۳۳). مهم ترین عامل مرتبط با تولید محصول، تغذیه صحیح گیاهان است که نقش به سزایی در افزایش عملکرد دارد. در همین ارتباط، نقش برخی عناصر غذایی نظیر سیلیسیم (سیلیکون) مورد توجه برخی پژوهشگران تغذیه گیاه قرار گرفته است (۱۸).

سیلیسیم یکی از عناصر غذایی غیر ضروری و اما مفید است که بر رشد و سلامت گیاه تأثیر دارد. بسیاری از گیاهان قادر به جذب سیلیسیم بوده و مقدار جذب براساس نوع گونه گیاهی بین ۱۰- ۰/۱زیست توده گیاهی متغیر می باشد (۱۶). سیلیسیم دومین عنصر از لحاظ فراوانی در سطح کره زمین است که مقدار آن بین۰/۰۱ تا ۰/۰۶ میلی مول بر مترمکعب می‌باشد،که به‌صورت اسید مونوسیلیسیک وجود دارد و جذب آن توسط گیاه به این فرم می‌باشد, اسید مونوسیلیسیک در اندام هوایی با از دست دادن آب غلیظ شده و به فرم ژل سیلیس تبدیل و باعث تحمل گیاه به تنش می‌شود, گیاهانی مانند خانواده غلات می‌توانند مقادیر زیادی سیلیسیم را در خود انباشته کنند و کاربرد سیلیسیم در این گیاهان متضمن رشد بهتر آن‌ها می‌باشد (۲۰).

اثرسیلسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگها (23) افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ و نیز افزایش کارایی فتوسیستم (۲۸) باشد.که غلظت بیشتر این آنزیم میتواند منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه شود (23). نتایج پژوهش‌های متعدد حاکی از آن است که کاربرد سیلیس سبب افزایش مقاومت به تنش های محیطی ازجمله خشکی گردیده است (۲۲).کمالی مقدم و همکاران (۱۰) با اعمال سطوح مختلف کودی دارای سیلیسیم به بررسی اثر این عنصر بر عملکرد و میزان پروتئین گندم پرداختند و بیان داشتند که سیلیسیم موجب افزایش کارآیی جذب نور و در نتیجه تحریک و تشدید فتوسنتز و در نهایت افزایش تولید محصول می گردد. سوند هری و همکاران (۳۲) اثر مثبت ژیپس و سدیم سیلیکات را بر رشد گندم در شرایط غرقابی مطالعه کرده اند و نشان داده اند که با افزودن سیلیسیم، ارتفاع بوته و سطح برگ و وزن خشک ریشه افزایش می یابد، درحالی‌که در عملکرد نهایی محصول تغییر معنی داری رخ نمی دهد. محققانی از جمله موریلو آمادور و همکاران (۲۴) بیان داشتند وجود سیلسیم باعث افزایش تحمل گیاه در برابر خوابیدگی می شود. آنها اینگونه عنوان کردند که با ته نشین شدن سیلیسیم در دیواره سلولی، آوند چوبی از فرو ریختن آوند ها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری شود و با افزایش ساقه موجب کاهش ورس بوته می شود. حاصلخیزی مطلوب خاک یکی از عامل های اصلی افزایش تولید گندم است تغذیه صحیح گیاه نیز یکی از راهکارهای کاهش اثرهای زیان‌بار تنش‌ها است و نقش فراوانی در جلوگیری از کاهش عملکرد آن دارد, در همین ارتباط، نقش برخی عناصر نظیر سیلیسیم موردتوجه برخی متخصصین تغذیه گیاهی قرارگرفته است (۱۲). به همین منظور این پژوهش جهت ارزیابی اثر سیلیسیم بر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گندم رقم سیوند در شرایط تنش خشکی اجرا گردید.

مواد و روشها

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۹۹- ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی موسسه خاک و آب کرج با مشخصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۲۸۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. استان البرز از نظر اقلیمی جزء مناطق معتدل متمایل به سرد با متوسط بارندگی۲۵۰ میلیمتر می باشد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب با ۷۵ و ۵۰ و ۲۵ درصد رطوبت قابل استفاده در خاک به عنوان فاکتور اول و سیلیکات پتاسیم در چهار سطح عدم استفاده از سیلیسیم (شاهد) و ۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خاک کاربرد در ساقه دهی و غلظت‌های ۲/۵ و پنج کیلوگرم در هکتار محلول‌پاشی در مرحله‌ی ساقه، ظهور سنبله و مرحله‌ی خمیری شدن به عنوان فاکتور دوم برگندم رقم سیوند (حساس به کم آبی) در دو سال به اجرا در آمد، کشت در ۲۰ آبان ماه انجام گردید در هر کرت شش‌خط کاشت بطول چهارمتر و عرض ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد،در این آزمایش صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد پنجه، طول سنبله، قطر ساقه، ارتفاع بوته و غلظت کلرفیل a و b اندازگیری شد. برای محاسبه غلظت کلرفیل a و b از فرمول زیر استفاده گردید (۱۴).

Chlorophyll a= (A۶۶۳)-(A۶۴۵) ×V, W

Chlorophyll b= (A۶۴۵)-(A۶۶۳) ×V, W

به منظور تعیین عملکرد دانه و اجزای آن، برداشت در مرحله رسیدگی نهایی و پس از حذف اثرات حاشیه ای سطحی معادل یک مترمربع صورت گرفت و پس از خرمن کوبی دانه از کاه جدا گردیده و پس از توزین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد(۱۱).

شاخص برداشت (HI) برای هر واحد آزمایشی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (۸).

$$HI = \frac{EY \text{ عملکرد اقتصادی}}{BY \text{ عملکرد بیولوژیک}} \times 100$$

محاسبات آماری به کمک نرم‌افزارهای MSTATC وMinitab ، مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمار های تنش خشکی و کاربرد سیلیسیم بر عملکرد دانه در سطح پنج درصد معنی دار شده است(جدول ۱). با مقایسه بین میانگین‌ها مشاهده شد که تیمار بدون تنش خشکی و تنش شدید خشکی

به ترتیب با ۶۸۷۲/۱۶ و ۴۹۳۱/۳۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین اثر را روی عملکرد دانه داشتند. همچنین عملکرد دانه در تیمار بدون سیلیسیم با ۴۷۵۸/۲۲ کیلوگرم و تیمار ۵ کیلوگرم محلول پاشی با ۶۴۱۸/۲۲ کیلوگرم کمترین و بیشترین اثر را داشتند (جدول ۲). پاک‌نژاد و همکاران (۴) اعلام نمودند که تنش خشکی در مراحل زایشی سبب کاهش اغلب صفات عملکرد و اجزای عملکرد نسبت به تیمار شاهد شده است و بیشترین کاهش عملکرد در تیمار تنش خشکی که در مرحله گلدهی اعمال شد مشاهده گردیده است. بر اساس یافته‌های شهدی کومله و کاوسی(۷) سیلیسیوم با بهبود وضعیت مرفولوژیکی و تغییر ترکیب شیمیایی گیاه برنج در افزایش عملکرد آن اثر بسزایی داشت که سازوکار این مسئله را اینگونه عنوان نمودند که سیلیسیوم از طریق تقلیل سمیت عناصر کم مصرف و تعدیل جذب عناصر پرمصرف بر رشد و عملکرد و وزن خشک اندام هوایی گیاه اثر دارد. طبق جدول همبستگی بین صفات (جدول ۷) صفت عملکرد دانه با صفات طول سنبله، قطر ساقه، تعداد سنبلچه، شاخص برداشت و ارتفاع بوته همبستگی مثبت در سطح یک درصد وجود دارد.

شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد معنی دار شده است و اثر دیگر تیمارها بر این صفت از لحاظ آماری معنی دار نشد (جدول ۱). با مقایسه بین میانگین‌ها مشاهده شد که شاخص برداشت در سال اول ۴۰/۶۶ درصد و در سال دوم ۳۳/۳۷ درصد حاصل بوده است (جدول ۲). شاخص برداشت بیانگر درصد انتقال مواد آلی ساخته شده از مبدا به مقصد می باشد و توانایی در انتقال و انباشتگی مواد فتوسنتزی از برگ به دانه در شرایط تنش از عوامل مهم در افزایش عملکرد است. سیلیسیوم با تاثیری که بر استحکام ساقه گیاه دارد سبب ایستادگی بهتر آن می شود بنابراین انتقال مواد از ساقه به دانه گیاه بهتر و بیشتر شده و درنهایت عملکرد بیشتر می‌شود. لذا با افزایش عملکرد دانه شاخص برداشت نیز افزایش می‌یابد (۱). طبق جدول همبستگی (جدول ۷) بین صفت شاخص برداشت با تعداد سنبلچه و عملکرد دانه همبستگی مثبت در سطح یک درصد و با صفات طول سنبله، قطر ساقه و ارتفاع بوته همبستگی مثبت در سطح پنج درصد وجود دارد.

طول سنبله

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار های تنش خشکی و کاربرد سیلیسیم بر صفت طول سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند اثر برهمکنش این تیمارها بر طول سنبله معنی دار نشد (جدول ۱). طبق جدول مقایسه میانگین‌ها مشاهده شد که در تیمار بدون تنش طول سنبله با ۱۴ سانتیمتر بیشترین و تنش شدید با ۱۱ سانتیمتر کمترین میزان بوده است (جدول ۲). باتوجه به جدول همبستگی (جدول ۷) بین طول سنبله با صفات قطر ساقه، تعداد سنبلچه و ارتفاع بوته همبستگی مثبت در سطح یک درصد وجود داشت.

قطر ساقه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و اثر کاربرد سیلیسیم و برهمکنش تیمارها در سطح احتمال پنج درصد بر صفت قطر ساقه معنی دار شدند (جدول ۳). طبق جدول مقایسه میانگین‌ها مشاهده شد که‌در تیمار بدون تنش قطر ساقه با ۵/۰۸ میلی متر بیشترین و تنش شدید با ۳/۳۸ میلی متر کمترین میزان حاصل گردید، همچنین در تیمار ۲۰ کیلوگرم سیلیسیم خاک کاربرد و تیمار بدون سیلیسیم به ترتیب با ۵/۲۷ و ۳/۰۷ میلی متر بیشترین و کمترین قطر ساقه بدست آمده است (جدول ۴). در برهمکنش دو تیمار تنش خشکی و سیلیسیم بیشترین و کمترین میزان در تیمارهای بدون تنش با۲۰ کیلوگرم سیلیسیم بصورت خاک کاربرد و تیمار تنش

شدید با عدم استفاده از سیلیسیم به ترتیب با ۶/۲ و ۲/۳۸ میلی متر مشاهده شد (جدول ۴). لیانگ و همکاران (۲۱) در مطالعه اثر سیلیسیوم بر جو بیان داشتند سیلیسیوم با ایجاد کمپلکس‌های پیچیده در ترکیبات دیواره گندمیان سبب استحکام و افزایش اندازه منافذ دیواره و نیز رشد قطری و طولی یاخته‌ها به ویژه آوندهای چوبی می گردد. خصوصی و جعفرلو (۶) گزارش نمودند سیلیسیوم مقاومت ساقه گیاه در برابر خوابیدگی را افزایش می دهد. طبق جدول همبستگی (جدول ۷) بین صفت قطر ساقه با صفات طول سنبله، تعداد سنبلچه، عملکرد دانه و ارتفاع بوته همبستگی مثبت در سطح یک درصد وجود داشت.

ارتفاع بوته

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثر سال در سطح پنج درصد و اثر تیمارهای تنش خشکی و کاربرد سیلیسیم بر صفت ارتفاع بوته از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی دار شدند (جدول ۳). با مقایسه بین میانگین‌ها مشاهده شد که ارتفاع بوته در سال اول ۸۷/۳ سانتی متر و در سال دوم ۹۳/۹۷ سانتی متر حاصل شده است (جدول ۲). طبق جدول مقایسه میانگین‌ها مشاهده شد که در تیمار بدون تنش ارتفاع بوته با ۱۰۰/۱۲ سانتی‌متر بیشترین و در تنش شدید با ۸۲ سانتی‌متر کمترین میزان حاصل گردید, همچنین در تیمار ۲۰ کیلوگرم سیلیسیم خاک کاربرد و تیمار بدون سیلیسیم به ترتیب با ۹۴/۳۸ و ۸۱/۳۸ سانتی‌متر بیشترین و کمترین ارتفاع بوته بدست آمد (جدول ۴). حساسیت رقم سیوند به تنش خشکی در مرحله ساقه دهی موجب گلدهی زود هنگام و تولید گیاه کوتاه‌تر می‌شود و گلدهی زود هنگام و کاهش ارتفاع گیاه ناشی از طول میانگره‌ها نیز از اثرات اعمال تنش خشکی در مرحله‌ی ساقه دهی می باشد (۳). طبق جدول همبستگی (جدول ۷) بین صفت ارتفاع بوته با صفات طول سنبله، قطر ساقه، تعداد سنبلچه و عملکرد دانه همبستگی مثبت در سطح یک درصد وجود داشت.

غلظت کلروفیل a و b

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و اثر کاربرد سیلیسیم و برهمکنش تیمارها در سطح احتمال پنج درصد بر میزان غلظت کلروفیل a معنی دار شدند همچنین طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر هیچکدام از تیمارهای تنش خشکی و سیلیسیم و برهمکنش آنها از لحاظ آماری بر میزان غلظت کلروفیل b معنی دار نشدند (جدول ۳). طبق جدول مقایسه میانگین‌ها مشاهده شد که در تیمار تنش شدید غلظت کلروفیل a با ۳/۱۶ میلی گرم در هر گرم برگ بیشترین و تنش شدید با ۱/۷۹ میلی گرم در هر گرم برگ کمترین میزان بوده است, همچنین در تیمار ۲۰ کیلوگرم سیلیسیم خاک کاربرد و تیمار بدون سیلیسیم به ترتیب با ۳/۲۳ و ۱/۶۲ میلی گرم در هر گرم برگ بیشترین و کمترین میزان غلظت کلروفیل a بدست آمد(جدول ۲). در برهمکنش تنش خشکی و سیلیسیم بیشترین و کمترین میزان غلظت کلروفیل a در تیمارهای تنش شدید با ۵ کیلوگرم سیلیسیم بصورت محلول پاشی و تیمار بدون تنش با عدم استفاده از سیلیسیم به ترتیب با ۳/۴۸ و ۰/۷۷ میلی گرم در هر گرم برگ بدست آمد(جدول ۴). کاهش غلظت کلروفیل در شرایط کم آبی می‌تواند به عنوان یک محدود کننده غیر روزنه ای به حساب آید یکی از دلایل اینکاهش افزایش میزان آنزیم کلروفیلاز است که تحت شرایط تنش بیان این آنزیم القاء می‌شود(۲۹). تحت شرایط تنش خشکی کاهش میزان فتوسنتز با اختلال در واکنش بیوشیمیایی همراه می‌باشد، فتوسیستم نوری دو (PS II) بسیار

حساس به عوامل بازدارنده محیطی بوده و تنش خشکی موجب خسارت به مرکز واکنش PS II می‌شود(۲۶). از جمله دلایل افزایش میزان کلروفیل در تیمار سیلیسیوم میتوان به تاثیر ان در افزایش کارایی فتوسیستمII اشاره کرد.

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر سیلیسیم بر عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	تعداد پنجه	طول سنبله
سال	۱	۱۴۲۳۵۴۷^{ns}	۹۵۶/۷۳*	۰/۰۵۵۶ns	۱/۸۶۸۹ns
تکرار× سال	٤	۳۵۳۴۵	۳۰/۷۵	۰/۵۵۵۶	۱/۲۰۴۳
تنش خشکی	۲	۲۵۹۳۳۵۰۶*	۱۹۲/۹۶ns	۲/۲۶۳۹ns	۳۱/۲۴۲۶**
سال×تنش	۲	۴۷۰۵۷۰ns	۱۶/۱۳ns	۰/۴۳۰۶ns	۰/۰۵۹۳ns
سیلیسیم	۳	۹۳۰۹۶۳۶*	۱۴۹/۹۸ns	۰/۳۸۸۹ns	۲۸/۱۷۳۱**
سال×سیلیسیم	۳	۵۳۳۴۵۹ns	۹/۰۶ns	۰/۷۵۹۳ns	۰/۶۷۸۹ns
تنش×سیلیسیم	٦	۲۹۰۲۸۴ns	۲/۴۴ns	۰/۲۶۳۹ns	۱/۱۱۳۹ns
سال×تنش× سیلیسیم	٦	۲۹۱۲۱۵ns	۱۰/۲۴ns	۰/۴۶۷۶ns	۰/۳۰۳۷ns
خطا	٤٤	۲۱۶۰۷۱	۱۵/۰۹	۰/۵۷۰۷	۰/۶۴۸۷
درصد تغییرات(٪)	***	۸/۱۷	۱۰/۴۹	۲۲/۴۸	۶/۲۱

*،**،ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین سیلیسیم بر عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی

	تیمارها	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد پنجه	طول سنبله (سانتی متر)
سال	سال اول	۵۸۲۷/۲۲	۴۰/۶۶	۳/۳۳	۱۲/۸۱
	سال دوم	۵۵۴۶	۳۳/۳۷	۳/۳۸	۱۳/۱۳
	LSD	**۹۳۶/۸**	**۷/۸۲**	**۱/۵۲**	**۱/۶۲**
تنش خشکی	بدون تنش	۶۸۷۲/۱۶	۳۹/۴۵	۳/۷1	۱۴/۰1
	تنش ملایم	۵۲۵۶/۳۳	۳۳/۹1	۳/۲۵	۱۳/۱۶
	تنش شدید	۴۹۳۱/۳۳	۳۷/۷۱	۳/۱۲	۱۱/۷۵
	LSD	**۷۶۴/۹**	**۶/۳۹**	**۱/۲۴**	**۱/۳۲۵**
سیلیسیم	عدم استفاده از سیلیسیم	۴۷۵۸/۲۲	۳۳/۲۹	۳/۳۳	۱۱/۴۵
	۲۰کیلو گرم خاک کاربرد	۶۰۴۴/۸۹	۳۸/۵۸	۳,۵	۱۴/۲۷
	۲/۵ کیلوگرم محلول پاشی	۵۵۲۵/۱۱	۳۶/۳۳	۳,۴۴	۱۲/۵
	۵ کیلوگرم محلول پاشی	۶۴۱۸/۲۲	۳۹/۸۸	۳/۱۶	۱۳/۶۶
	LSD	**۶۶۲/۴**	**۵/۵۳**	**۱/۰۷**	**۱/۱۴۸**

میانگین تیمارهایی که اختلاف‌شان از LSD بزرگ‌تر است در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های گندم در شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	قطر ساقه	ارتفاع بوته	غلظت کلروفیل a	غلظت کلروفیل b
سال	۱	۴/۳۳۱۶ns	۸۰۰/۰۰*	۰/۰۵۸۹ns	۱/۳۵۵۸ns
تکرار× سال	٤	۰/۰۸۸۵	۳/۸۶	۰/۱۲۱۸	۰/۰۲۵۳
تنش خشکی	۲	۱۷/۵۷۲۶**	۱۹۸۴/۰۱**	۱۱/۳۲۲۴**	۲۰/۱۳۴۵ns
سال×تنش	۲	۰/۲۱۳۲ns	۷/۱۲ns	۰/۱۱۴۶ns	۰/۰۷۷ns
سیلیسیم	۳	۱۷/۲۲۵۱*	۷۳۹/۲**	۸/۱۵۴۴*	۰/۸۰۰۹ns
سال×سیلیسیم	۳	۱/۲۳۷۳*	۸/۰۴ns	۰/۵۲۸۵*	۰/۰۶۱۵ns
تنش×سیلیسیم	٦	۰/۸۹۲ns	۱۱/۵ns	۰/۳۵۶۹ns	۰/۰۵۸۲ns
سال×تنش× سیلیسیم	٦	۰/۲۳۳۹ns	۶/۰۵ns	۰/۱۰۳۴ns	۰/۰۸۱۷ns
خطا	٤٤	۰/۱۰۴۶	۱۹/۵۴	۰/۱۰۸۹	۰/۰۴۵۹
درصد تغییرات(٪)	***	۷/۵۴	۴/۸۸	۱۳/۵۵	۱۰/۴۷

*،**،ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین سیلیسیم بر برخیصفات گندم در شرایط تنش خشکی

	تیمارها	قطر ساقه (میلی متر)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	غلظت کلروفیل a (میلی گرم در هر گرم برگ)	غلظت کلروفیل b (میلی گرم در هر گرم برگ)
سال	سال اول	۴/۰۴	۸۷/۳1	۲/۴1	۱/۹1
	سال دوم	۴/۵۳	۹۳/۹۷	۲/۴۶	۲/۱۸
	LSD	**۰/۶۵**	**۸/۹۰۹**	**۰/۶۶**	**۰/۴۳**
تنش خشکی	بدون تنش	۵/۰۸۸	۱۰۰/۱۲	۱/۷۹	۱/۱۲
	تنش ملایم	۴/۴۰۲	۸۹/۷۹	۲/۳۴	۲/۰۶
	تنش شدید	۳/۳۸۷	۸۲	۳/۱۶	۲/۹۵
	LSD	**۰/۵۳۲**	**۷/۲۷**	**۰/۵۴**	**۰/۳۵**
سیلیسیم	عدم استفاده از سیلیسیم	۳/۰۷	۸۱/۳۸	۱/۶۲	۱/۸1
	۲۰کیلو گرم خاک کاربرد	۵/۲۷	۹۴/۳۸	۳/۲۳	۲/۲۶
	۲/۵ کیلوگرم محلول پاشی	۳/۹۵	۹۱/۳۳	۲/۲۵	۱/۹۳
	۵ کیلوگرم محلول پاشی	۴/۸۶	۹۵/۴۴	۲/۶۱	۲/۱۸
	LSD	**۰/۴۶**	**۶/۲۹**	**۰/۴۷**	**۰/۳۰۵**

میانگین تیمارهایی که اختلاف‌شان از LSD بزرگ‌تر است در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

جدول 5- مقایسهٔ میانگین برهمکنش تنش خشکی و سیلیسیم بر عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی

	تیمارها	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد پنجه	طول سنبله (سانتی متر)	قطر ساقه (میلی متر)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	غلظت کلروفیل a (میلی گرم در هر گرم برگ)	غلظت کلروفیل b (میلی گرم در هر گرم برگ)
تنش*سیلیسوم	عدم استفاده از سیلیسیم بدون تنش	۵۶۴۹/۳۳	35/85	3/83	12/5	۳/۶۴	۹۲/۱۶	۰/۷۷۵	۰/۷۸۲
	۲۰کیلو گرم خاک کاربرد	۷۲۴۲/۶۶	40/58	3/67	14/83	۶/۲۰	104	۲/۹۷	۱/۳۹۷
	۲/۵ کیلوگرم محلول پاشی	۶۴۰۷/۶۶۷	39/17	3/833	13/5	۴/۳۲	۱۰۰/۵	۱/۶۱۵	۰/۹۶۳
	۵ کیلوگرم محلول پاشی	7892	42/19	3/5	15/2	۶/۱۸	۱۰۳/۸۳	۱/۸۳۳	۱/۳۵
	عدم استفاده از سیلیسیم تنش ملایم	4486/66	30/02	3/33	11/78	3/20	79/83	1/672	1/963
	۲۰کیلو گرم خاک کاربرد	5549/33	35/45	3/5	14/4	5/30	92/5	3/08	2/217
	۲/۵ کیلوگرم محلول پاشی	5041/33	32/52	3/33	12/58	4/2	90/16	2/092	1/957
	۵ کیلوگرم محلول پاشی	5948	37/62	2/83	13/88	4/9	96/66	2/532	2/113
	عدم استفاده از سیلیسیم تنش شدید	4138/66	34/01	2/83	10/083	2/387	72/167	2/44	2/682
	۲۰کیلو گرم خاک کاربرد	5342/66	39/71	3/33	13/583	4/312	86/667	3/663	3/175
	۲/۵ کیلوگرم محلول پاشی	4829/33	37/29	3/16	11/417	3/342	83/333	3/063	2/885
	۵ کیلوگرم محلول پاشی	5414/66	39/83	3/16	11/917	3/508	85/833	3/485	3/077
	LSD	۳۸۲/۵	۳/۱۹	۰/۶۲	۰/۶۶۲	۰/۲۶۶	۳/۶۳	۰/۲۷	۰/۱۷۶

میانگین تیمارهایی که اختلاف‌شان از LSD بزرگ‌تر است در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

جدول 6- همبستگی بین صفات زراعی

صفات	طول سنبله	قطر ساقه	پنجه	تعداد سنبلچه	عملکرد دانه	شاخص برداشت
قطر ساقه	۰/۹۶۹**	۱				
پنجه	۰/۴۸۱	۰/۴۰۵	۱			
تعداد سنبلچه	۰/۸۷۵**	۰/۸۸۶**	۰/۵۴۷	۱		
عملکرد دانه	۰/۸۵۶**	۰/۸۶۸**	۰/۵۳۸	۰/۹۹۲**	۱	
شاخص برداشت	۰/۵۸۴*	۰/۵۹۰*	۰/۲۲۷	۰/۷۵۱**	۰/۷۶۶**	۱
ارتفاع بوته	۰/۹۰۱**	۰/۸۹۲**	۰/۵۸۸*	۰/۹۳۳**	۰/۹۴۱**	۰/۶۳۳*

*،**به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد تنش باعث کاهش عملکرد دانه، شاخص برداشت، طول سنبله، قطر، ارتفاع بوته و افزایش غلظت کلروفیل نسبت به شاهد خود گردید. تیمار محلول‌پاشی با غلظت پنج کیلوگرم در هکتار و مصرف ۲۰ کیلوگرم خاک کاربرد سیلیسیم باعث افزایش عملکرد دانه شد. در شرایط تنش شدید عملکرد دانه ۲۸ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان می دهد. همچنین با استفاده از ۲۰ کیلوگرم سیلیسیم بصورت خاک کاربرد و پنج کیلوگرم محلول پاشی عملکرد دانه به ترتیب ۲۷ و ۳۴ درصد افزایش داشته است.با کاربرد محلول‌پاشی پنج کیلوگرم در هکتار در شرایط بدون تنش عملکرد دانه بیش از ۳۹ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد.

تشکر و سپاسگزاری

از همکاری موسسه خاک و آب کرج برای اجرای این طرح تحقیقاتی که در اراضی آن مرکز اجرا گردید و از امکانات مورد نیاز استفاده شد صمیمانه سپاسگزاریم.

منابع

۱. **اسدی،ا.، حق‌نیا.، لکزیان، ا.، مفتون،م. ۱۳۹۳.**تاثیر مقادیر مختلف سیلیسیوم و نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم. نشریه زراعت پژوهش و سازندگی. شماره ۱۰۳. صفحه ۱۶۷-۱۷۸.

۲. **بابائیان، .م حیدری و قنبری، ا. ۱۳۸۹.** اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در آفتابگردان .مجله علوم زراعی ایران. نشریه ۱۲ (۴). ۳۷۸-۳۹۱. تهران. ایران.

۳. **بهداد،م.، پاک‌نژاد،ف.، وزان،س.، اردکانی،م.، نصری، محمد. ۱۳۸۸.** اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در مراحل مختلف رشد ارقام گندم. مجله تنش های محیطی در علوم گیاهی. جلد ۱ (۲).

۴. **پاک‌نژاد،ف.، مجیدی، ا.، نورمحمدی، ق.، سیادت،ع.، وزان، س.۱۳۸۶.** ارزیابی تاثیر تنش خشکی بر صفات موثر بر انباشت مواد در دانه ارقام مختلف گندم. مجله علمی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران. شماره۱. صفحه ۱۳۷.

۵. **جهان، م. نصیری محلاتی، م. رنجبر، ف. آریایی، م و کمایستانی، ن. ۱۳۹۲.** اثرات کاربرد پلیمرسوپرجاذب رطوبت در خاک و محلول‌پاشی اسید روی برخی ویژگی‌های اگروفیزیولوژیکی و عملکرد کمی و کیفی چغندرقند (*Beta vulgaris L*) در شرایط مشهد. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۶ (۴)، ص ۷۶۶-۷۵۳.

۶. **خصوصی، م. جعفر لو،ا.۱۳۸۹.** سیلیس و نقش آن د ر گیاه برنج در: http://www.gyah.ir/gyahcrop

۷. **شهدی کومله، ع. و م. کاوسی. ۱۳۸۳** . بررسی اثر متقابل سیلیسیوم و فسفر بر رشد و عملکرد برنج. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۵ ، شماره ۳. صفحه ۵۸۶- ۵۸۱.

۸. **علوی فاضل، م.۱۳۹۴.** ارزیابی میزان انتقال مجدد به دانه ژنوتیپ های گندم نان و دوروم در واکنش به مقادیر نیتروژن. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، شماره بیست و هشتم. ص ۴۰.

۹. **کرملاچعب، ع. قرینه، م. بخشنده، ع. مرادی تلاوت، م. فتحی، ق .۱۳۹۲.** تأثیر کاربرد سیلیسیم بر صفات فیزیولوژیکی و رشد گندم تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل .نشریه‌ی بوم‌شناسی کشاورزی، ۵: ۴۴۲-۴۳۳.

۱۰. **کمالی مقد م، ع.، م. ج. ملکوتی و م. لطف اللهی. ۱۳۸۴** . بررسی تاثیر سیلیسیم بر عملکرد و میزان پروتئین گندم. انتشارات نشر آبخیز. صفحه ۳۷ .

۱۱. **مدحج،ع. ۱۳۸۹.** اثر مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌های گندم نان و دروم در شرایط تنش گرمای آخر فصل در اهواز. فصلنامه‌ی پژوهش‌های کشاورزی. سال دوم. شماره ۳. صفحه ۵۳-۶۸

۱۲. **یوسفی، م، انتشاری، ش، سعادتمند، م .۱۳۹۳.** بررسی تأثیر تیمار سیلیس بر برخی خصوصیات ریخت‌شناسی، تشریحی و فیزیولوژیک گاوزبان ایران .علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. دوره پنجم، شماره ۱۸.صفحه ۸۳-۹۳.

13. **Adtina, M. H. and R. T. Beasford. 1986.** The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany* 58: 343-351.
14. **Arnon D.I. 1975.** Physiological principles of dry land crop production. In: Gupta .U.S. (Ed). Physiological aspects of dry land farming. Pp. 3-14.
15. **Bray, E.A .2002.** Classification of genes differentially expressed during water-deficit stress in Arabidopsis thaliana: an analysis using microarray and differential expression data. Annals of Botany 7: 803 -811.
16. **Cherif, M. and R. R. Belanger. 1992.** Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on Long English Cucumber. Journal *of Plant Disease* 76(10): 1008-.1101
17. **Emam, Y. 2007.**Cereal Production. Third Edition, Shiraz University Press, Iran. (In Farsi).
18. **Gong, H. and K. Chen. 2012.** The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. *Acta* Physiologiae Plantarum 34:1589–1594.
19. **Gonzalez, A., V. Bermejo and B. S. Gimeno. 2010.** Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. *The Journal of Agricultural Science* 148: 319–328.
20. **Hayasaka, T., Fujii, H. and Ishiguro, K. 2008.** The role of silicon in preventing appressorial enetration by the rice blast fungus.Phytopathology, 98(9):1038-1044.
21. **Liang, Y. C., S. Qirong, and S. Zhenguo. 1996.** Effect of silicon on enzyme ctivity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. J. Plant Soil. Vol, 209, No, 2. pp: 217-224
22. **Maghsoudi, K. and Y. Emam. 2016.** Effect of exogenous silicon on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under salt stress conditions. *Iran Agricultural Research* (In press).
23. **Maghsoudi, K., Y. Emam and M. Pessarakli. 2013.** Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition* (In press).

24. **Murillo-Amador, B., H. G. Jones., C. Kayac., and R. L. Aguilar.2006.** Effects of foliar application of calcium nitrate on growth and physiological attributes of cowpea (Vigna unguiculata) grown under salt stress. Environ. Exp. Bot. 58: 188-196.
25. **Najafian,G., A.Ghandi, and H.Abdi**. 2004. Screening for late season drought tolerance in wheat genotypes grown in Iran. 4th International Australian crop science congress. pages 326.
26. **Oncel, I., Keles, Y., and Ustun, A. S. 2000.** Interactive of temperature and heavy metal stress on the growth and some biological compounds in wheat seedling. Environmental Pollution 107: 315-320
27. **Payegozar, Y. 2008.** Effect offoliar applicationof micro nutrient sonquantitative and qualitative characteristics of pearl millet under drought stress. Master's thesis, Department of Agriculture, University of Zabol.
28. **Popovic, R., D. Dewez and P. Juneau. 2003.** Applications of chlorophyll fluorescence in ecotoxicology: heavy metals, herbicide and air pollutants. *In:* J. R. DeEll and P. M. A Tiovonen (Eds.). Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology, Kluwer Academic Publishers, Boston.
29. **Ranjan, R., Bohra, S. P., and Jeet, A. M. 2001**. Book of plant senescence. Jodhpur, Agrobios New York. Pp. 18-42.
30. **Saleem,M. 2003.** Response of Durum and bread wheat genotypes to drought stress: Biomass and yield components. Asian journal of plant science. 2(3): 290-293.
31. **Sinclair, T. R. 2011.** Challenges in breeding for yield increase for drought. *Trends in Plant Science* 16: 289-.392
32. **Sundahri, T., C. J. Bell, P. W. G. Salel, and R. Peries. 2001.** Response of canola and wheat to applied silicate and gypsum on raised beds. Proc. 10th Australian Agronomy onference.2001. Available online: www.regional.org
33. **Tester, M. and P. Langridge. 2010.** Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science* 327: 818-822.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 12, Issue 1, Spring and Summer 2022

Effect of Silicon on Agrophysiological Characteristics of Wheat under drought stress conditions

Nikoalsadat Tabatabai[1], Mitra Ataabadi[2*], Mohammad Mehdi Tehrani[3], Mehran Hoodaji[4]

1- Ph.D. student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural ,Resources Isfahan Branch (Khorasgan), Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan Branch (Khorasgan), Islamic Azad University, Isfahan, Iran

3- Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Education and Extension Research Organization, Tehran, Iran

4- Professor, Department of Soil Engineering Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources Isfahan Branch (Khorasgan), Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Corresponding Author; Email: : mitra_ataabadi@yahoo.com

(Received: 6 July 2022; Accepted: 15 July 2022)

Abstract

Given that wheat is one of the most basic and important sources of nutrition in the world. Therefore, finding a solution to reduce the effect of drought stress on its quantitative and qualitative performance can help any country to achieve greater food security. In order to investigate the effect of silicon on agro-physiological properties of wheat under drought stress, this experiment was conducted as a factorial in a randomized complete block design with three replications. During two cropping years 2018-2019 and 2019-2020 It was carried out in the research farm of Karaj Soil and Water Institute Experimental treatments include drought stress at three levels without stress, mild stress and severe stress with 75, 50 and 25% of soil moisture usable as the first factor, respectively. And potassium silicate in four levels of non-use of control silicon and 20 kg, ha as soil used in stemming and concentrations of 2.5 and 5 kg, ha foliar application in stem stage, spike emergence and pasteurization stage as the second factor of Siund cultivar (Sensitive to dehydration) was implemented in two years. The results of analysis of variance showed the effect of drought stress and silicon on grain yield, spike length, stem diameter, plant height, chlorophyll a concentration were significant. The results showed that in the interaction of non-drought stress with foliar application of 5 kg, ha, the best grain yield was 7892.00 kg. Based on the results of the present study, it seems that the application of silicon as soil application and foliar application has improved grain yield.

key words: Wheat, Silicon, Stress, Yield