واکنش ارقام گندم نان به برگ‌پاشی سیلیس در شرایط تنش خشکی بعد از گل‌دهی

کبری مقصودی[۱] و یحیی امام[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۱۶)

چکیده

در پژوهش مزرعه‌ای که در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، در سال زراعی ۱۳۹۲ - ۱۳۹۱ اجرا شد، تأثیر کاربرد برگی سیلیکات سدیم (۶ میلی‌مولار)، بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم (شیراز، مرودشت، سیروان و چمران) و نیز افت دمای سایه‌انداز گیاهی در شرایط رطوبتی متفاوت (در حد ظرفیت زراعی مزرعه، ۶۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی) پس از گل‌دهی، به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که هر دو سطح تنش رطوبتی و به‌ویژه تنش ۴۰٪ ظرفیت زراعی، موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، شاخص سطح برگ و افت دمای سایه‌انداز گیاهی در همهٔ ارقام مورد مطالعه گردید. تأثیر منفی تنش خشکی در ارقام شیراز و مرودشت بیشتر بود. در مقابل، برگ‌پاشی بوته‌های گندم با سیلیکات سدیم، افزایش عملکرد (۱۶/۱۱٪) و اجزای عملکرد و شاخص سطح برگ (۲۰/۱۵٪) را به‌همراه داشت و این اثر در شرایط تنش رطوبتی مشهودتر بود. هم‌چنین برگ‌پاشی سیلیس موجب کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی گردید و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی به‌دست آمد. براساس نتایج پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد کاربرد سیلیس به‌صورت برگ‌پاشی، در شرایط مشابه با این پژوهش بتواند از طریق افزایش شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی و یا به‌عبارتی کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی، موجب بهبود عملکرد ارقام گندم در شرایط تنش رطوبتی پس از گل‌دهی گردد.

واژه‌های کلیدی: وزن هزار دانه، شاخص سطح برگ، سیلیکات سدیم

---

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی سابق دکتری و استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yaemam@shirazu.ac.ir

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) غذای اصلی بیشتر مردم جهان را تشکیل می‌دهد و در بین غلات، بیشترین سطح زیر کشت از زمین‌های کشاورزی دنیا را به خود اختصاص داده است. گندم به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد، مهم‌ترین گیاه زراعی روی زمین است (۴۲ و ۵۱). در ایران نیز گندم نسبت به سایر محصولات بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است که این موضوع بر اهمیت و لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع و عامل‌های تولید گندم می‌افزاید (۱۳). خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد و ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۷). در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل کم بودن و توزیع غیر یکنواخت بارندگی از سالی به سال دیگر، عملکرد سال‌های متوالی نوسانات فراوانی نشان می‌دهد. علاوه بر آن، زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق، سبب بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان می‌شود (۲۰). ایران با متوسط نزولات جوی ۲۴۰ میلی‌متر در سال، طبق تعریف آمبرژه، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. تنش خشکی پدیده محیطی مهمی است که اغلب در طول دوره پر شدن دانه در گندم اتفاق می‌افتد و باعث کاهش محصول می‌شود (۱۳ و ۵۱).

تحمل به خشکی یک صفت کمی و پیچیده است که با ویژگی‌های مرفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در ارتباط است (۷). در این میان، از تفاضل دمای هوا و دمای سایه‌انداز گیاهی، شاخصی به‌نام افت دمای سایه‌انداز (Canopy Temperature Depression) حاصل شده که به‌عنوان معیاری برای ارزیابی وضعیت کل آب گیاه شناخته می‌شود (۶). این شاخص برای ارزیابی واکنش گیاه نسبت به تنش‌های محیطی (۲۴ و ۲۶)، مقایسه رقم‌ها از نظر مصرف آب (۳۹) و تحمل به خشکی (۴۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از راه‌کارهای بهبود امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش جهان، افزایش مقدار تولید در واحد سطح می‌باشد (۴۷). مهم‌ترین عامل مرتبط با تولید محصول، تغذیه صحیح گیاهان است که نقش به‌سزایی در افزایش عملکرد دارد. در همین ارتباط، نقش برخی عناصر غذایی نظیر سیلیسیم (سیلیکون) مورد توجه برخی پژوهشگران تغذیه گیاه قرار گرفته است (۱۹). از نظر فراوانی موجود در خاک، سیلیسیم دومین عنصر بسیار فراوان است که تقریباً ۲۸ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد (۲۷). 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 - ۰/۱ درصد زیست‌توده گیاهی متغیر می‌باشد (۱۰). این عنصر می‌تواند باعث افزایش تولید و کیفیت محصول، افزایش تحریک تولید برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان شود (۱۰). تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به‌دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها (۱)، افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ (۲۲ و ۳۵) و نیز افزایش کارایی فتوسیستم II (۴۰ و ۵۲) باشد که به این ترتیب توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از تابش بالا می‌رود. هم‌چنین کاربرد سیلیسیم محلول جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیس‌فسفات کربوکسیلاز (RUBISCO) در برگ لازم است. این آنزیم سوخت‌وساز دی‌اکسیدکربن را تنظیم کرده و در تثبیت دی‌اکسیدکربن توسط گیاهان نقش مهمی دارد (۱۸ و ۴۸). غلظت بیشتر این آنزیم می‌تواند منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه شود (۳۵). نتایج پژوهش‌های متعدد حاکی از آن است که کاربرد سیلیس سبب افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی از جمله خشکی گردیده است (۲، ۲۷، ۳۳، ۳۵ و ۳۶). بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر برگ‌پاشی سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم و نیز شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی در شرایط نرمال و تنش خشکی به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۵ دقیقه، عرض

جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۰ دقیقه و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۲ - ۱۳۹۱ به‌صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، فرعی و نیز فرعی - فرعی به‌ترتیب شامل آبیاری (در حد ظرفیت زراعی مزرعه، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، ارقام گندم (شیراز، مرودشت، سیروان و چمران) و برگ‌پاشی سیلیس (سیلیکات سدیم ۶ میلی‌مولار) بودند. عملیات تهیه بستر شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد خطوط به‌وسیله فارور بود. سپس بذرها روی ۶ خط دو متری که فاصله خط‌ها ۳۰ سانتی‌متر بود، با دست کشت شدند. تراکم کاشت ۲۵۰ بوته در متر بود. با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) نیتروژن به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در دو نوبت هنگام کاشت و اواسط پنجه‌زنی به خاک اضافه شد.

در هر سه تیمار رطوبتی، آبیاری تا زمان گل‌دهی، در حد ظرفیت زراعی مزرعه انجام شد و از گل‌دهی به بعد، آبیاری کرت‌های مربوط به تنش خشکی، در حد ۶۰ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی تنظیم گردید. درحالی‌که در تیمار آبیاری معمول تا انتهای فصل رشد، آبیاری کرت‌های آزمایشی در حد ظرفیت زراعی ادامه یافت. شایان توجه است در سال زراعی اجرای آزمایش، پس از گل‌دهی بارندگی رخ نداد. برای تعیین میزان آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری از درصد رطوبت وزنی خاک استفاده شد. برای انجام این کار ۲۴ ساعت قبل از هر آبیاری از سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک مزرعه با اُگر (مته) نمونه‌برداری و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شد و میزان رطوبت وزنی خاک تعیین گردید. سپس میزان آب مورد نیاز برای هر آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه از رابطه ۱ محاسبه شد. در این رابطه dn: عمق آب آبیاری (cm)، FC: درصد رطوبت حجمی در حالت ظرفیت زراعی (٪)، θ: رطوبت وزنی خاک (٪)، pb: چگالی ظاهری خاک (g/cm^3) و D: عمق توسعه ریشه بود. در نهایت، با ضرب کردن مقدار آب آبیاری محاسبه شده در مساحت هر کرت، حجم آب آبیاری تعیین گردید.

$$dn = \frac{(F.C - \theta \times pb)D}{100} \quad (۱)$$

علف‌های هرز مزرعه، در چندین نوبت به‌صورت دستی وجین شدند. برگ‌پاشی سیلیس (۶ میلی‌مولار) در مرحله پنجه‌زنی و نیز گل‌دهی انجام شد و به‌طور هم‌زمان گیاهان شاهد نیز با آب مقطر تیمار شدند. در هر مرحله، جهت اطمینان از جذب شدن سیلیس توسط بوته‌ها، عمل برگ‌پاشی در سه روز متوالی و پس از غروب آفتاب انجام شد.

پس از اعمال تیمار قطع آبیاری، دمای سایه‌انداز گیاهی با استفاده از دماسنج مادون قرمز Terminator (TIR 8861)، در چهار نوبت به فواصل یک هفته‌ای و قبل از آبیاری اندازه‌گیری شد. برای کالیبره کردن دماسنج مادون قرمز یک بوته گندم را در تشت آب قرار داده و پس از گذشت مدتی که دمای بوته گندم با دمای آب تشت به تعادل رسید، دمای آب داخل تشت با دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد، در مرحله بعد دماسنج مادون قرمز را در ارتفاع ۰/۵ متری بالای تشت و با زاویه ۴۵ درجه نگه داشته و عدد آن قرائت شد، شاخص ε در دماسنج مادون قرمز تغییر داده شد تا عدد دماسنج مادون قرمز با عدد دماسنج جیوه‌ای یکسان شود. اندازه‌گیری دما در هر کرت ۵ بار انجام و میانگین آنها به‌عنوان دمای سایه‌انداز آن کرت در نظر گرفته شد (۴). از تفاضل بین دمای هوا و دمای سایه‌انداز گیاهی، شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی محاسبه گردید (۷).

سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter اندازه‌گیری و با توجه به مساحت سطحی که نمونه‌برداری انجام شده بود، شاخص سطح برگ محاسبه گردید. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، پس از حذف اثر حاشیه، بوته‌های یک متر از چهار خط میانی در سطح خاک با دست بریده و برداشت و در تعیین عملکرد بیولوژیک و دانه مورد استفاده قرار گرفت. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. از محصول هریک از کرت‌ها یک نمونه تصادفی شامل بیست ساقه بارور تهیه و به‌مدت کافی تا ثابت شدن وزن در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی عصاره اشباع (dS/m)	اسیدیته	مواد آلی (٪)	نیتروژن قابل دسترس (٪)	فسفر قابل دسترس (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس (mg/kg)	بافت خاک
۰/۶	۷/۰۹	۱/۱۲	۰/۱۵	۱۲/۰	۷۲۰	لوم – شنی

تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه تعیین گردید. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج

براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مشخص گردید که تنش خشکی در هر دو سطح ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، موجب کاهش تعداد دانه در سنبله گردید و البته این کاهش در تنش شدید خشکی (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) بیشتر بود. به‌طوری‌که کمترین و بیشترین درصد کاهش در تعداد دانه در سنبله در اثر تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، به‌ترتیب به‌میزان ۱۵/۱۲ و ۴۲/۸۰ درصد در ارقام سیروان و شیراز مشاهده شد (جدول ۲). اثرات سوء ناشی از تنش خشکی بر تعداد دانه در سنبله با کاربرد سیلیس تعدیل یافت. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی شدید، کاربرد سیلیکات سدیم ۶ میلی‌مولار موجب افزایش ۱۸/۷۶ درصدی این صفت گردید. لازم به ذکر است در شرایط تنش ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و نیز شاهد (در حد ظرفیت زراعی)، کاربرد سیلیس تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله نداشت (جدول ۳).

در این پژوهش وزن هزار دانه تحت تأثیر معنی‌دار تنش خشکی ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی قرار گرفت. در تمام ارقام گندم، وزن هزار دانه در هر دو شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و این کاهش در تنش شدید مشهودتر بود. به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید وزن هزار دانه به‌میزان ۴۷/۲۶٪ در رقم شیراز، ۳۸/۵۰٪ در رقم مرودشت، ۲۵/۴۰٪ در رقم چمران و نیز ۱۸/۰۸٪ در رقم سیروان کاهش یافت (جدول ۲). همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد وزن هزار در شرایط تنش خشکی در ارقام مقاوم به خشکی (سیروان و چمران) به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارقام حساس به خشکی (شیراز و مرودشت) بود. در مقابل، برگ‌پاشی سیلیس باعث افزایش معنی‌دار ۱۴/۵۲ و ۱۹/۲۱ درصدی وزن هزار دانه به‌ترتیب در شرایط تنش ملایم و شدید در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). تنش خشکی، رقم و کاربرد سیلیس به‌طور معنی‌داری بر عملکرد دانه تأثیر گذاشت. به‌گونه‌ای که هر دو سطح تنش خشکی ملایم و شدید در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردیدند و این کاهش در تنش شدید مشهودتر بود. اگرچه در تمام ارقام گندم، تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه گردید، اما بین ارقام تفاوت‌های آماری معنی‌داری مشاهده شد. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی شدید، بیشترین مقدار عملکرد دانه بدون تفاوت آماری معنی‌دار مربوط به رقم سیروان و چمران و نیز کمترین آن بدون تفاوت معنی‌دار مربوط به رقم شیراز و مرودشت بود (جدول ۲). بالاتر بودن عملکرد دانه رقم سیروان و چمران در این شرایط، بیانگر پتانسیل عملکرد دانه زیادتر و توان بیشتر این رقم‌ها در بهره‌برداری از شرایط محیطی به‌ویژه رطوبت خاک است و پایداری بیشتر عملکرد رقم سیروان و چمران احتمالاً به‌علت کاهش کمتر وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله این ارقام در شرایط تنش خشکی بوده است. در شرایط تنش خشکی، کاهش و افت عملکرد گیاهان بدون تیمار با سیلیس به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان برگ‌پاشی شده با سیلیکات سدیم بود. به‌عبارتی کاربرد سیلیس توانست موجب بهبود و افزایش عملکرد دانه ارقام گندم گردد و بیشترین تأثیر مثبت برگ‌پاشی با سیلیس در شرایط تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که در این شرایط کاربرد سیلیس، افزایش

جدول ۲. عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص سطح برگ ارقام گندم تحت شرایط تنش خشکی

آبیاری	رقم	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g/m^2)	عملکرد بیولوژیک (g/m^2)	شاخص برداشت (٪)	شاخص سطح برگ
در حد ظرفیت زراعی	سیروان	۴۲/۳۵^{a}	۴۱/۱۲^{a}	۵۲۳/۴۲^{a}	۱۱۶۲/۲۲^{a}	۴۵/۰۳^{a}	۵/۱۲^{a}
	چمران	۴۳/۱۲^{a}	۴۱/۲۵^{a}	۵۴۲/۲۰^{a}	۱۱۹۸/۶۲^{a}	۴۳/۷۱^{a}	۵/۱۵^{a}
	شیراز	۴۱/۳۵^{ab}	۳۹/۵۶^{a}	۵۰۰/۳۲^{ab}	۱۱۱۹/۳۲^{a}	۴۴/۶۹^{a}	۵/۳۲^{a}
	مرودشت	۴۲/۳۱^{a}	۴۰/۳۲^{a}	۵۰۳/۸۷^{ab}	۱۱۹۷/۶۸^{a}	۴۲/۰۷^{a}	۵/۱۰^{a}
۶۰٪ ظرفیت زراعی	سیروان	۳۹/۱۲^{b}	۳۷/۵۴^{b}	۴۳۱/۰۵^{c}	۱۰۰۰/۰۵^{b}	۴۳/۱۰^{a}	۵/۰۰^{a}
	چمران	۳۹/۰۰^{b}	۳۶/۵۶^{b}	۴۱۲/۵۴^{c}	۱۰۰۰/۱۲^{b}	۴۳/۲۴^{a}	۵/۰۰^{a}
	شیراز	۳۳/۰۵^{d}	۳۰/۵۸^{c}	۳۳۰/۴۸^{d}	۸۲۵/۳۲^{c}	۴۰/۰۴^{b}	۴/۳۰^{b}
	مرودشت	۳۴/۱۲^{cd}	۳۲/۵۶^{c}	۳۲۲/۴۵^{d}	۹۱۰/۱۲^{c}	۳۸/۷۲^{c}	۴/۳۱^{b}
۴۰٪ ظرفیت زراعی	سیروان	۳۶/۳۲^{c}	۳۴/۵۳^{bc}	۳۵۰/۰۱^{e}	۸۰۱/۲۳^{cd}	۴۳/۶۸^{a}	۴/۱۰^{bc}
	چمران	۳۴/۲۴^{cd}	۳۱/۶۳^{c}	۳۴۰/۲۳^{e}	۷۸۵/۲۳^{d}	۴۳/۲۹^{a}	۴/۰۰^{bc}
	شیراز	۲۳/۸۷^{f}	۲۱/۶۸^{d}	۲۰۰/۰۵^{f}	۶۰۰/۲۰^{e}	۳۳/۳۰^{d}	۲/۲۴^{d}
	مرودشت	۲۸/۵۴^{e}	۲۵/۰۰^{d}	۲۰۰/۰۰^{f}	۶۲۰/۳۵^{e}	۳۲/۲۳^{d}	۲/۶۸^{d}

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشد.

۱۶/۱۱ درصدی عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد، به‌همراه داشت (جدول ۳).

براساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر مشخص گردید که هر دو سطح تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید و در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید عملکرد بیولوژیک ارقام مقاوم به خشکی (سیروان و چمران) به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارقام حساس به خشکی شیراز و مرودشت بود. اگرچه درشرایط نرمال (بدون تنش) هیچ‌گونه تفاوت آماری معنی‌داری بین ارقام از نظر عملکرد بیولوژیک مشاهده نشد (جدول ۲). در مقابل، برگ‌پاشی با سیلیکات سدیم موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در هر دو شرایط تنش خشکی گردید و این افزایش در شرایط تنش خشکی شدید (۱۴/۲۰٪) از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج این پژوهش نشان داد که هر دو سطح تنش خشکی موجب کاهش شاخص برداشت در ارقام حساس به خشکی شیراز و مرودشت گردید و البته این کاهش در تنش خشکی شدید مشهودتر بود (جدول ۲). لازم به ذکر است کاربرد سیلیس هیچ‌گونه تأثیر آماری معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت (جدول ۳).

نتایج نشان داد که شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی در هر چهار مرحله اندازه‌گیری شده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی، رقم و برگ‌پاشی سیلیکات سدیم قرار گرفت. در هر چهار زمان اندازه‌گیری شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی (۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز پس از شروع تنش)، اعمال هر دو سطح تنش خشکی، باعث افزایش دمای سایه‌انداز و در نتیجه کاهش تفاوت دمای سایه‌انداز و دمای هوا شد و البته این کاهش در تنش خشکی شدید مشهودتر بود. در رابطه با این صفت، تفاوت آماری معنی‌داری بین ارقام گندم مورد بررسی مشاهده شد. به‌طوری‌که در هر دو شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، در هر چهار اندازه‌گیری، کمترین و بیشترین افت دمای سایه‌انداز به‌ترتیب مربوط به رقم شیراز و سیروان بود (جدول ۴). همان‌گونه که در جدول ۵ مشخص شده است

جدول ۳. تأثیر برگ‌پاشی سیلیس بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص سطح برگ در شرایط تنش و عدم تنش خشکی

آبیاری	سیلیس	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g/m^2)	عملکرد بیولوژیک (g/m^2)	شاخص برداشت (٪)	شاخص سطح برگ
در حد ظرفیت	–	۴۱^{ab}	۳۹^{a}	۵۱۵/۴۵^{ab}	۱۲۰۰/۰۵^{a}	۴۲/۳۲^{a}	۵/۲۷^{a}
زراعی	+	۴۳^{a}	۴۰^{a}	۵۲۰/۲۳^{a}	۱۲۰۶/۳۲^{a}	۴۳/۱۲^{a}	۵/۶۴^{a}
۶۰٪ ظرفیت	–	۳۴^{c}	۳۱^{c}	۳۶۰/۰۸^{d}	۸۵۶/۳۲^{bc}	۴۲/۰۲^{a}	۴/۳۶^{b}
زراعی	+	۳۵^{c}	۳۶^{b}	۳۸۸/۲۱^{c}	۹۰۰/۲۵^{b}	۴۳/۱۲^{a}	۴/۸۸^{ab}
۴۰٪ ظرفیت	–	۲۳^{e}	۲۲^{e}	۲۰۸/۰۷^{f}	۵۹۹/۳۲^{e}	۳۴/۰۷^{b}	۳/۰۹^{d}
زراعی	+	۲۸^{d}	۲۷^{d}	۲۴۵/۰۲^{e}	۶۹۰/۳۲^{d}	۳۵/۵۰^{b}	۳/۸۷^{c}

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشد.

برگ‌پاشی سیلیکات سدیم باعث کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی و یا به‌عبارتی افزایش افت دمای سایه‌انداز گیاهی در تمام مراحل اندازه‌گیری گردیده است. لازم به ذکر است که تأثیر برگ‌پاشی با سیلیس در هر دو شرایط تنش و نیز عدم تنش خشکی بر افت دمای سایه‌انداز گیاهی از نظر آماری معنی‌دار بود. اگرچه این اثر در شرایط تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشهودتر بود (جدول ۵).

هر دو سطح تنش خشکی کاهش شاخص سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد را به‌همراه داشت و با افزایش تنش از ۶۰ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی، این کاهش بیشتر بود (جدول ۲). ارقام مورد بررسی از این نظر دارای تفاوت آماری معنی‌دار بودند. به‌طوری‌که در بین ارقام، بیشترین مقدار شاخص سطح برگ پرچم بدون تفاوت معنی‌دار مربوط به رقم‌های سیروان و چمران و کمترین آن مربوط به رقم شیراز و مرودشت بود (جدول ۲). اثرات سوء ناشی از تنش خشکی بر شاخص سطح برگ با محلول‌پاشی سیلیس تعدیل یافت. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، کاربرد سیلیکات سدیم ۶ میلی‌مولار به‌ترتیب موجب افزایش معنی‌دار ۱۰/۶۵ و ۲۰/۱۵ درصدی شاخص سطح برگ گردید. اگرچه کاربرد سیلیس در شرایط نرمال (عدم تنش) نیز افزایش شاخص سطح برگ را به‌همراه داشت اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، شاخص سطح برگ (جدول ۲) و افت دمای سایه‌انداز گیاهی گردید (جدول ۴). هرچند پتانسیل تعداد دانه در سنبله قبل از گل‌دهی مشخص می‌گردد، ولی شرایط محیطی پس از گل‌دهی در تعیین حداکثر تعداد دانه در سنبله تأثیرگذار می‌باشد. کمبود آب در مرحله گل‌شکفتگی که یکی از حساس‌ترین مراحل زندگی گندم به تنش خشکی است، باعث عدم تلقیح و ناباروری گلچه‌ها در سنبله می‌گردد. علاوه بر آن، در اثر تنش خشکی تعدادی از تخمک‌های تلقیح شده، سقط می‌شوند و در نهایت تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد (۴۶). به‌طورکلی، تعداد سنبله در واحد سطح وتعداد دانه در سنبله از اجزای حساس عملکرد نسبت به تنش خشکی هستند. کاهش تعداد سنبلک و تعداد دانه در سنبلک در اثر تنش خشکی موجب کاهش تعداد دانه در سنبله می‌شود که برخی پژوهشگران این موضوع را به ناباروری دانه‌های گرده در اثر تنش خشکی نسبت داده‌اند (۷).

مشابه نتایج پژوهش حاضر، پژوهشگران متعددی کاهش وزن هزار دانه را در اثر تنش خشکی گزارش کرده‌اند (۳۴ و ۵۱). تنش خشکی بعد از گل‌دهی باعث کاهش تعداد

جدول ۴. شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی (CTD) در ارقام گندم تحت شرایط تنش خشکی در زمان‌های مختلف پس از اعمال تنش خشکی

آبیاری	رقم	روز پس از اعمال تنش خشکی			
		۷	۱۴	۲۱	۲۸
در حد ظرفیت زراعی	سیروان	۸/۵۰^{a}	۹/۰۰^{a}	۸/۲۵^{a}	۷/۰۰^{a}
	چمران	۸/۰۰^{a}	۸/۰۰^{a}	۸/۵۰^{a}	۷/۰۰^{a}
	شیراز	۸/۰۰^{a}	۸/۵۰^{a}	۷/۵۰^{b}	۶/۰۰^{b}
	مرودشت	۷/۷۰^{a}	۷/۸۰^{a}	۷/۵۰^{b}	۶/۰۰^{b}
۶۰٪ ظرفیت زراعی	سیروان	۷/۲۰^{a}	۷/۰۰^{ab}	۶/۰۰^{c}	۶/۰۰^{b}
	چمران	۷/۰۰^{b}	۶/۵۰^{b}	۶/۰۰^{c}	۴/۰۰^{c}
	شیراز	۶/۰۰^{c}	۴/۱۰^{d}	۳/۰۰^{e}	۱/۰۰^{e}
	مرودشت	۶/۰۰^{c}	۴/۲۰^{cd}	۳/۰۰^{e}	۱/۰۰^{e}
۴۰٪ ظرفیت زراعی	سیروان	۶/۱۰^{c}	۵/۰۰^{c}	۵/۰۰^{d}	۴/۰۰^{c}
	چمران	۶/۰۰^{c}	۴/۰۰^{d}	۳/۱۵^{e}	۳/۰۰^{d}
	شیراز	۴/۰۰^{d}	۱/۰۰^{f}	۱/۰۰^{f}	۰/۰۰^{f}
	مرودشت	۴/۰۰^{d}	۲/۱۰^{e}	۱/۰۰^{f}	۰/۰۰^{f}

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشد.

سلول‌های آندوسپرم دانه در قاعده و رأس سنبله شده و در نهایت وزن دانه کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تنش خشکی پس از گل‌دهی طول دوره پر شدن دانه را کوتاه‌تر کرده و موجب کاهش وزن دانه‌ها می‌گردد (۳۷). هم‌چنین تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، از طریق تسریع پیری برگ‌ها، کاهش سرعت پر شدن دانه و کاهش دوره رشد، باعث کاهش میانگین وزن دانه و در نهایت کاهش عملکرد می‌گردد (۲۰). بسته شدن روزنه در شرایط تنش خشکی، به‌منظور کاهش هدرروی آب، باعث کاهش میزان فتوسنتز و کاهش مواد پرورده لازم برای پر شدن دانه‌ها می‌شود و به‌دنبال آن کاهش میانگین وزن هر دانه رخ می‌دهد (۱۵).

کمبود آب در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی، باعث کاهش شدید عملکرد از طریق نمو غیر طبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه گرده و در نهایت کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود (۳۷). مطابق نتایج ارائه شده در این پژوهش، کاهش عملکرد دانه گندم در اثر تنش خشکی در مطالعات مختلف گزارش شده است (۳۴ و ۳۷). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اعمال تنش خشکی پس از گرده‌افشانی هم‌چنین عملکرد دانه را از طریق کاهش ذخیره‌سازی مواد پرورده در دانه‌ها کاهش می‌دهد. علاوه بر این، اعمال تنش خشکی در طول دوره پرشدن دانه ممکن است از طریق کاهش دوره پرشدن دانه و یا سرعت پرشدن دانه عملکرد را کاهش دهد (۷). در پژوهش حاضر، کاهش عملکرد دانه، به‌دنبال کاهش وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله اتفاق افتاد که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد (۳۴ و ۴۶). در راستای نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، کاهش عملکرد بیولوژیک گیاهان مختلف تحت شرایط تنش خشکی در دیگر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (۷، ۱۶ و ۴۱).

کاهش رشد برگ از اولین علایم تنش خشکی است. تنش خشکی پیش از گل‌دهی از طریق کاهش سطح گسترش برگ‌ها و تغییر در شکل برگ، سطح برگ را کاهش می‌دهد که به دریافت نور کمتر منجر می‌شود درحالی‌که تنش خشکی بعد از گل‌دهی از طریق تسریع پیری برگ سبب کاهش سطح برگ

می‌شود. کمبود آب از یک‌سو با تأثیر بر مقدار سطح برگ، سطوح فعال فتوسنتزی را کاهش داده و از سوی دیگر با افت محتوای رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ زمینه کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ را فراهم آورده است (۷). براساس نتایج این پژوهش، مشخص گردید که برگ‌پاشی بوته‌های گندم با سیلیکات سدیم افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص سطح برگ را به‌همراه داشت و البته این اثر در شرایط تنش خشکی بسیار مشهودتر بود (جدول ۳). هم‌چنین برگ‌پاشی سیلیس موجب کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی گردید (جدول ۵). سیلیس اثرات اصلاحی بر روی بعضی از خصوصیات برگ به‌ویژه عمود بودن برگ داشته و هم‌چنین اثرات منفی عرضه بیش از حد ازت بر روی استحکام ساقه و حساسیت به ورس و جذب نور را خنثی می‌نماید. اثر اصلاحی سیلیس بر روی عمود بودن برگ زمانی بیشتر مفید بوده که گیاه در تراکم زیاد کشت شده و محدودیت نور برای انجام فرایند فتوسنتز وجود داشته است (۵۳). نتایج حاصل از تحقیقات بیانگر آن است که برگ‌ها و ساقه‌های گیاهان برنج کشت شده در حضور سیلیسیم، رشد مستقیم داشته که در نتیجه آن توزیع نور به داخل کانوپی به‌طور گسترده‌ای بهبود یافته است (۱۲ و ۱۷).

یک نقش مهم سیلیس شکل دادن و به‌هم پیوستن پیرامونی میان لیگنین و کربوهیدرات‌ها از طریق مشارکت اسیدهای فنولیک یا حلقه‌های آروماتیک است که باعث استحکام مکانیکی لایه‌ها، راست قامتی برگ‌ها و پایداری آنها می‌گردد (۲۵ و ۴۵). به‌طوری‌که کمبود سیلیس در گیاه برنج موجب افتادگی برگ‌ها شده درحالی‌که در گیاهانی که در سطح زیاد سیلیس رشد کرده‌اند برگ‌های عمودی بودند (۵۳).

علاوه بر این، بررسی‌ها نشان می‌دهد که با کم شدن مقادیر سیلیس، جذب دی‌اکسید کربن توسط گیاه نیز کم شده و روزنه‌ها، به مانند شرایط تنش آبی، بسته شده و فتوسنتز متوقف می‌شود (۲۹). گزارش شده است که در صورت کمبود سیلیس، مقدار کلروفیل کم شده و در نتیجه آن فتوسنتز در گیاه کاهش می‌یابد. این محقق دلیل این امر را به نقش سیلیس در زنجیره فتوسنتزی و ممانعت از تخریب زنجیره کلروفیلی توسط سیلیس مرتبط می‌داند. هم‌چنین سیلیس می‌تواند به‌طور مثبت بر فعالیت‌های تعدادی از آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز تأثیرگذار باشد (۳۱). سیلیس در فسفریلاسیون نوری و افزایش کارایی فتوسیستم II و در مقابل کاهش ضریب خاموشی غیر فتوشیمیایی نقش مؤثر دارد که از این طریق توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور را بالا می‌برد (۴۰ و ۵۲). هم‌چنین سیلیس در تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیوفسفات کربوکسیلاز در برگ مؤثر می‌باشد. این آنزیم سوخت‌وساز دی‌اکسیدکربن را تنظیم کرده و در نتیجه کارایی تثبیت دی‌اکسیدکربن توسط گیاهان را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود (۱۸ و ۴۸). نتایج تحقیقات حاکی از آن است که کاربرد سیلیس موجب افزایش سرعت تعرق گیاه به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی می‌گردد (۲۹، ۳۱ و ۳۵). بنابراین، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که برگ‌پاشی سیلیس از طریق افزایش سرعت تعرق، موجب کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی گردیده است. تعرق سازوکار خنک کننده در گیاه است، در شرایط آبیاری معمولی خشکی روزنه‌های گیاه باز است و گیاه هم‌زمان با انجام فتوسنتز، تعرق نیز انجام می‌دهد که نتیجه این امر خنک شدن تعرقی گیاه و تولید ماده خشک است، لیکن، در شرایط وجود تنش خشکی به‌منظور جلوگیری از هدرروی آب روزنه‌های گیاه بسته می‌شوند، بنابراین تعرق نیز انجام نمی‌گیرد و به‌تدریج دمای درونی گیاه بالاتر می‌رود، در چنین شرایطی قابلیت تولید گیاه افت قابل ملاحظه‌ای می‌یابد (۱۴).

در پژوهش حاضر، بررسی روند تغییرات دمای سایه‌انداز در تیمار تنش خشکی نشان داد که هرچه از زمان اعمال تنش خشکی گذشت، تفاوت دمای هوا و سایه‌انداز کمتر گردید، یا به‌عبارتی دمای سایه‌انداز و دمای هوا به هم نزدیک شدند. به‌طورکلی، دمای سایه‌انداز گیاهی با تنش خشکی همبستگی دارد، به‌طوری‌که با کاهش رطوبت خاک، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود، بنابراین، کاهش تعرق منجر به افزایش دمای سایه‌انداز گیاهی

جدول ۵. تأثیر برگ‌پاشی سیلیس بر شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی (CTD) در ارقام گندم در زمان‌های مختلف پس از اعمال تنش خشکی

آبیاری	سیلیس	روز پس از اعمال تنش خشکی			
		۷	۱۴	۲۱	۲۸
در حد ظرفیت زراعی	–	۸/۵۰^{b}	۸/۵۰^{a}	۷/۲۰^{ab}	۶/۵۰^{b}
	+	۹/۵۰^{a}	۹/۰۰^{a}	۸/۰۰^{a}	۸/۰۰^{a}
۶۰٪ ظرفیت زراعی	–	۶/۰۰^{d}	۵/۰۰^{c}	۴/۰۰^{cd}	۲/۵۰^{d}
	+	۷/۱۰^{c}	۶/۰۰^{b}	۴/۵۰^{c}	۴/۰۰^{c}
۴۰٪ ظرفیت زراعی	–	۵/۱۰^{e}	۳/۰۰^{d}	۲/۳۰^{e}	۱/۲۰^{e}
	+	۷/۰۰^{c}	۶/۰۰^{b}	۵/۰۰^{c}	۲/۷۰^{d}

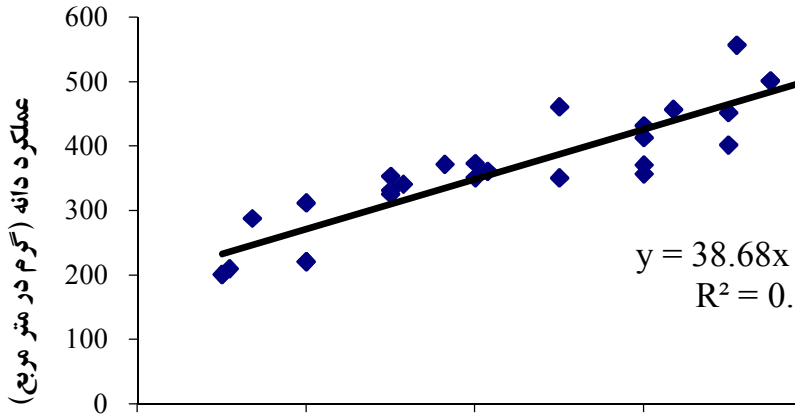
در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشد.

می‌شود (۸). در مقابل، برگ‌پاشی سیلیس با افزایش سرعت تعرق موجب کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی می‌گردد. مشابه نتایج حاصل از پژوهش حاضر، محققین دیگر نیز گزارش نمودند که در اثر تنش خشکی، دمای سایه‌انداز گیاهی افزایش می‌یابد (۶ و ۴۴). بررسی ضرایب همبستگی صفات نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی وجود داشت (شکل ۱). وجود رابطه مستقیم بین شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی و عملکرد دانه در شرایط با و بدون تنش خشکی توسط دیگر پژوهشگران نیز مورد توجه قرار گرفته است (۶ و ۴۴).

گزارش شده است که مصرف سیلیس در گیاه برنج، میزان کربوهیدرات‌های برگ، ساقه و دانه را افزایش داده است (۲۸). مشابه نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، گزارش شده است که کاربرد سیلیس افزایش عملکرد برنج (۳۲) و گندم (۲۱) را به‌همراه داشته است. در همین راستا تاهیر و همکاران (۵۰) افزایش ۵۰ درصدی عملکرد گندم به‌دنبال کاربرد سیلیس در شرایط تنش شوری را گزارش کرد.

نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن است که استفاده از کودهای سیلیسی باعث افزایش وزن هزار دانه گردیده که این افزایش بیشتر به‌خاطر جایگزینی این عنصر در پالئا (درون پوشینه) و لما (برون پوشینه) بوده است. کاربرد سیلیس اثر مثبتی بر تعداد خوشه‌چه‌های هر پانیکول داشته به‌نحوی‌که عدم وجود سیلیس باعث کاهش دانه‌های خوشه‌چه‌های بارور و کل تعداد خوشه‌چه‌های هر پانیکول شده است (۳۲). هم‌چنین این پژوهشگر بیان داشتند که با کاربرد سیلیس، مقدار سیلیس در برگ و ساقه برنج افزایش یافته و به‌دنبال آن افزایش عملکرد رخ داده است. کاربرد سیلیس بر تعداد برگ‌ها افزوده و باعث افزایش تعداد پنجه، سنبلک‌ها، وزن دانه و درصد سنبلک‌های پر شده هر پانیکول شده و بر کیفیت و عملکرد دانه افزوده است (۳۲).

علاوه بر این، سان و همکاران (۴۹) نشان دادند که تغذیه بهینه سیلیسیم سبب افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌شود که در نهایت، سطح کل جذب کننده عناصر افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات متعددی نشان دادند که سیلیس می‌تواند موجب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی گردد (۴۹). مشابه نتایج پژوهش حاضر، بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش خشکی در اثر کاربرد سیلیس، در گندم (۱۱ و ۱۹) و برنج (۹) گزارش شده است. به‌علاوه، مشابه نتایج مشاهده شده در پژوهش حاضر، تأثیر مثبت کاربرد سیلیس در افزایش بیوماس تولیدی در شرایط تنش های محیطی گزارش شده است (۳، ۵ و ۳۸). نکته حائز اهمیت آن است که هرچند اثرات مفید



شکل ۱. همبستگی بین شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی (میانگین چهار اندازه‌گیری) و عملکرد دانه ارقام گندم

کاربرد سیلیس در خاک، در گونه‌های گیاهی مختلف تحت شرایط تنش‌های محیطی مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است (۱۱، ۱۹ و ۲۲)، لیکن با توجه به وجود منابع اندک در مورد تأثیر مفید کاربرد برگی سیلیس (۲۳ و ۳۰)، نتایج حاصل از پژوهش حاضر تأییدی بر پژوهش‌های اندک انجام شده در این مورد بوده و به‌طورکلی براساس نتایج پژوهش حاضر می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کاربرد سیلیس به‌صورت برگ‌پاشی در شرایط مشابه با پژوهش حاضر از طریق افزایش شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی و یا به‌عبارتی کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی منجر به بهبود اجزای عملکرد و در نهایت افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی گردد.

منابع مورد استفاده

1. 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.
2. Ahmed, M., F. U. Hassen, U. Qadeer and M. A. Aslam. 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research* 6(3): 594- 607.
3. Al-Aghabary, K., Z. Zhu and Q. Shi. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and anti-oxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 27: 2101-2115.
4. Alderfasi, A. and J. Morgan. 1998. Use of canopy temperature as an indicator for water use efficiency and yield productivity in wheat. *Saudi Journal of Biology and Science* 5: 57-71.
5. Ashraf, M., R. Rahmatullah, M. Ahmad, M. Afzal, A. Tahir, S. Kanwal and M. A. Maqsood. 2009. Potassium and silicon improve yield and juice quality in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 284–291.
6. Balota, M., W. A. Payne, S. R. Evett, M. D. Lazar and T. R. Peters. 2008. Morphological and physiological traits associated with canopy temperature depression in three closely related wheat lines. *Crop Science* 48: 1897-1910.
7. Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica* 100: 77-83.
8. Carcova. J., G. A. Maddonni and C. M. Ghersa. 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. *Field Crops Research* 55: 165-174.
9. Chen, W., X. Yao, K. Cai and J. Chen. 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research* 142: 67–76.
10. 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): 1008-1011.
11. Cooke, J. and M. R. Leishman. 2011. Is plant ecology more siliceous than we realize? *Trends in Plant Science* 16: 61- 68.
12. Datnoff, L. E., G. H. Snyder and C. W. Deren. 1992. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot

development and on rice yields. *Plant Disease* 76: 1011-1013.
13. Emam, Y. 2007.Cereal Production. Third Edition, Shiraz University Press, Iran. (In Farsi).
14. Emam, Y. and M. Niknejad. 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press. Iran. (In Farsi).
15. Emam, Y., K. Maghsoudi and H. Bahrani. 2012. Effect of defoliation on assimilates partitioning in maize (*Zea mays* L.) hybrid SC704. *Scientific Journal of Agronomy and Plant Breeding* 1(1): 13-21.
16. Emam, Y., K. Maghsoudi and N. Moghimi. 2013. Effect of water stress and nitrogen levels on yield of forage sorghum. *Journal of Crop Production and Processing* 3(10): 145-154.
17. Epstein, E. 1991. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceeds of the National Academy of Science* 91:11-17.
18. Gao, X., C. Zou, L. Wang and F. Zhang. 2006. Si decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1637–1647.
19. 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.
20. 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.
21. Hanafy, A. H., E. M. Ahmed, M. A. Harb and SH. H. Morgan. 2008. Effect of silicon and boron foliar applications on wheat plants grown under saline soil conditions. *International Journal of Agricultural Research* 3: 1-26.
22. Hattori, T., S. Inanaga, H. Araki, P. An, S. Mortia, M. Luxova and A. Lux. 2005. Application of Si enhanced drought tolerance in sorghum bicolor. *Physiologiae Plantarum* 123:459-466.
23. Hellal, F. A., M. Abdelhameid, M. Abo-BashaDoaa and R. M. Zewainy. 2012. Alleviation of the adverse effects of soil salinity stress by foliar application of silicon on *Faba bean*. *Journal of Applied Science and Research* 8:4428-4433
24. Howell, T. A. and J. A., Musick Talk. 1986. Canopy temperature of irrigated winter wheat. *Transactions of the ASAE* 29: 1692-1699.
25. Inanaga, S., A. Okasaka and S. Tanaka. 1995. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11: 111-117.
26. Jackson, R.D., S.B. Idso, R.J. Reginato and P.J. Pinter. 1981. Canopy temperature as a crop water stress index. *Water Resources Research* 17: 1133-1138.
27. Kamenidou, S., T. J. Cavins and S. Marek. 2009. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. *Scientia Horticalturae* 119: 297-301.
28. Kawashima, R. 1927. Influence of silica on rice blast disease. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 1: 86-91.
29. Khodary, S. E. A. 2004. Effect of salicylic acid on growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *Journal of Agriculture and Biology* 6: 5–8.
30. Liang, Y. C., W.C. Sun, J. Si and V. Romheld. 2005. Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. *Plant Pathology* 54: 678–685.
31. Lobato, A. K. S., L. M. Luz, R. C. L. Costa Santos, B. G. Filho, A. C. S. Meirelles, C. F. Oliveira Neto, H. D. Laughinghouse, M. A. M. Neto, G. A. R. Alves, M. J. S. Lopes and H. K. B. Neves. 2009. Si exercises influence on nitrogen components in pepper subjected to water deficit? *Research Journal of Biology and Science* 4: 1048-1055.
32. Ma, J., k. Nishimara and E. Takahashi. 1989 effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Sience and Plant Nutrition* 35: 347-356.
33. Ma, J. F., K. Tamai, N. Yamaji, N. Mitani, S. Konishi, M. Katsuhara, M. Ishiguro, Y. Murata and M. Yano. 2006. A silicon transporter in rice. *Nature* 440: 688-691.
34. Maghsoudi, K. and A. A. Maghsoudi Moud. 2008. Assessment of osmoregulation capability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using response of projected pollen grains to drought stress. *Iranian Journal of Crop Science* 10(1): 1-14.
35. 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).
36. 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).
37. Mary, J. G., C. S. Jeffrey, O. B. Katherine and S. Edward. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science* 41: 327-335.
38. Parveen, N. and M. Ashraf. 2010. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. *Pakistan Journal of Botany* 42: 1675- 1684.

39. Pinter, P. J., G. Zipoli, R. J. Reginato, R. D. Jackson, S. B. Idso and J. P. Hohman. 1990. Canopy temperature as an indicator of differential water use and yield performance among wheat cultivars. *Agricultural Water Management* 18: 35-48.
40. 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.
41. Rajala, A., K. Hakala, P. Makela, S. Muurinen and P. Peltonen-Sainio. 2009. Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. *Field Crops Research* 114: 263–271.
42. Rosengrant, M. W. and S. A. Cline. 2003. Global food security: challenges and policies. *Plant Science* 302: 1917-1919.
43. Royo, C., D. Villegas, L. F., Garcia Del Moral, S. Elhani, N. Aparicio, Y. Rharrabti and J. L. Araus. 2002. Comparative performance of carbon isotope discrimination and canopy temperature depression as predictors of genotypes differences in durum wheat yield in Spain. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 561-569.
44. Royo, C., F. Alvaro, V. Martos, A. Ramdani, J. Isidro, D. Villegas and L. F. Garcia Del Mortel. 2006. Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during the 20th century. *Euphytica* 155: 259-270.
45. Samuels, A. L., A. D. M. Glass, D. L. Ehret and J. G. Menzies. 1993. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. *Annals of Botany* 72: 433-440.
46. Siani, H. S. and D. Aspinall. 1981. Effects of water deficit on sporogensis in wheat. *Annals of Botany* 43: 623-633.
47. Sinclair, T. R. 2011. Challenges in breeding for yield increase for drought. *Trends in Plant Science* 16: 289-293.
48. Sonobe, K., T. Hattori, P. An, W. Tsuji, A.E. Eneji, S. Kobayashi, Y. Kawamura, K. Tanaka and S. Inanaga. 2011. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition* 34: 71-82.
49. Sun, C. W., Y. C. Liang and V. Romheld. 2005. Effects of foliar- and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildow in *Cucumis sativus*. *Journal of Plant Pathology* 54: 678-685.
50. Tahir, M. A., R. Tullah, T. Aziz, M. Ashraf, S. Kanwal and M.A. Maqsood. 2006. Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L) under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany* 38(5): 1715-1722.
51. Tester, M. and P. Langridge. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science* 327: 818-822.
52. Yordanov, I., V. Velikova and T. Tsonev. 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica* 38: 171-186.
53. Yoshida, S., S. A. Narasero and A. Ramirez. 1969. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. *Plant and Soil* 31: 48-56.