Archive of SID

به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۹
صفحه‌های ۸۷-۷۳

بررسی واکنش صفات بیوشیمیایی و محتوای نسبی آب دو رقم گندم نان و ماکارونی به محلول‌پاشی سیلیکون تحت شرایط تنش آبی

سودابه رضا بیگی[۱]، احسان بیژن‌زاده[۲*]
۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲. دانشیار، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

چکیده
به‌منظور بررسی تأثیر سیلیکون بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دو رقم گندم نان و ماکارونی تحت شرایط تنش آبی پایان فصل، پژوهشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم آبیاری در دو سطح آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از اواخر گل‌دهی، محلول‌پاشی سیلیکون در سطوح صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و دو رقم گندم نان (چمران) و دوروم (شبرنگ) بودند. نتایج نشان داد که اثرات اصلی تنش آبی پایان فصل، ارقام و سیلیکون بر محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل کل، محتوای کاروتنوئید و عملکرد دانه معنی‌دار بود. محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش آبی و مصرف ۳ میلی‌مولار سیلیکون ۵۰ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون داشت. پروتئین دانه در شرایط تنش آبی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سیلیکون ۵۹/۳ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون افزایش داشت. هم‌چنین کلروفیل کل و محتوای کاروتنوئید در شرایط تنش آبی و کاربرد ۳ میلی‌مولار سیلیکون به‌ترتیب ٤۲/۵ و ٤٤/۹ درصد افزایش را نشان دادند. در رقم چمران کاربرد برگی سیلیکون به‌میزان ۳ میلی‌مولار محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و پروتئین دانه را به‌ترتیب به‌میزان ٤۰، ٤۳، ٤۲ و ٥٦/٤ درصد افزایش داد که درنهایت منجر به افزایش ۱۹/۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به رقم شبرنگ در شرایط تنش آبی گردید. محاسبه ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی نشان داد که بیش‌ترین میزان همبستگی در شرایط آبیاری مطلوب بین عملکرد دانه با کلروفیل کل (r=۰/۸۱۵**) و تعداد سنبله در مترمربع (r=۰/۸۱٤**) و در شرایط تنش آبی پس از گل‌دهی با تعداد سنبله در مترمربع (r=۰/۹۳۷**) و کلروفیل کل (r=۰/۸٤۰**) به‌دست آمد. به‌طورکلی، محلول‌پاشی به‌میزان ۳ میلی‌مولار سیلیکون با بهبود محتوای کلروفیل کل، محتوای کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه به‌ویژه در شرایط تنش آبی داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: پروتئین دانه، تعداد سنبله، کاروتنوئید، رقم چمران، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل کل.

Investigating the Response of Biochemical Traits and Relative Water Content of Two Bread and Durum Wheat Cultivars to Silicon Spraying under Water Stress Conditions

Sodabeh Reza Beigi[1], Ehsan Bijanzadeh[2*]
1. M.Sc. Student, Agroecology Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Associate Professor, Agroecology Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
Received: July 24, 2019 Accepted: October 5, 2019

Abstract
In order to study the effect of silicon on biochemical traits, leaf relative water content, and yield of two bread and durum wheat cultivars under late season water stress conditions, a split factorial experiment have been conducted in a randomized complete block design in three replicates at College of Agriculture and Natural resources of Darab, during 2017-2018 growing season. The treatments include water stress in two levels, i.e., normal irrigation and water stress at the end of flowering, silicon (Si) spraying at 0, 1, 2, and 3 mM, and two wheat cultivars: Chamran as bread wheat and Shabrang as durum wheat. Results show that the main effects of late seasonal water stress, cultivar and silicon on leaf relative water content (RWC), total chlorophyll, carotenoid content, and yield have been significant. Under water stress conditions, when the plants are exposed to 3 mM silicon, RWC rises by 50%, compared to no silicon application conditions. Grain protein under water stress conditions and 3 mM silicon was 59.3% higher than no silicon condition. Also, total chlorophyll content and carotenoid content under water stress conditions and application of 3 mM silicon have increased by 42.5% and 44.9%, respectively. In Chamran cultivar, application of silicon at 3 mM has raised total chlorophyll content, carotenoid content, RWC, and grain protein by 40%, 43%, 42%, and 56.4%, respectively, causing a 19.7% increase in grain yield, compared to Shabrang cultivar under water stress conditions. Calculation of correlation coefficients between grain yield and other traits shows that under normal irrigation conditions, the highest correlation could be observed between grain yield with total chlorophyll (r =0.815 **) and number of spike per square meter (r =0.814**) and under stress conditions between grain yield with number of spike per square meter (r =0.937**) and total chlorophyll (r = 0.840**). In general, by improving total chlorophyll content, carotenoid content, and RWC, foliar application of 3 mM silicon can play an important role in increasing grain yield, especially under water stress conditions.

Keywords: Biological yield, chamran cultivar, grain protein, carotenoid, spike number, total chlorophyll.

* نویسنده مسئول
Email: bijanzd@shirazu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی روی زمین است که از زمان اهلی‌شدن تاکنون همواره از اهمیت خاصی برخوردار بوده و بیش‌ترین سطح زیر کشت را در بین محصولات زراعی به‌خود اختصاص داده است (Emam, 2011). گندم در بسیاری از مناطق جهان غذای اصلی اکثر مردم را تشکیل می‌دهد (Shewry, 2009). تنش آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا می‌باشد. در میان تنش‌های محیطی، تنش آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که علاوه بر آسیب فیزیکی به ریشه باعث کاهش مواد قابل‌دسترس خاک شده و اثرات شوری خاک را افزایش می‌دهد (Hameed *et al.*, 2013). تنش آبی حدود ٤٠ تا ٦٠ درصد اراضی زیر کشت جهان را تحت تأثیر قرار داده است (Tas & Tas, 2007). میزان کم نزولات آسمانی و پراکنش نامنظم آن سبب بروز تنش آبی در طول دوره رشد گیاهان زراعی می‌شود (Solomon, 2007). اجزای عملکرد دانه گندم به‌نحو متفاوتی، بسته به مرحله فنولوژیک گیاه، تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرند. حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش آبی مرحله گل‌دهی است (Emam, 2011)، هرچند کمبود آب در مراحل قبل و بعد از گل‌دهی ممکن است به کاهش عملکرد از طریق کاهش تعداد سنبله و عقیمی سنبلک‌ها منجر شود (Emam & Niknejad, 2011). Bakhshandeh (2004) در بررسی اثر تنش آبی بر روی دو رقم گندم در مراحل مختلف نموی نشان داد که شدت و نوع خسارت در دو رقم به مرحله نموی مریستم نوک ساقه و میزان تنش آبی بستگی دارد. Emam *et al.* (2007) با مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم انجام دادند مشاهده کردند که تنش آبی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد به‌استثنای تعداد سنبلچه در هر سنبله و تعداد سنبله در مترمربع شده است. و بیش‌ترین کاهش عملکرد ناشی از تعداد دانه در سنبله و کاهش وزن هزاردانه در شرایط تنش آبی بوده است.

محتوای نسبی آب یکی از چندین روش اندازه‌گیری وضعیت آبی بافت است، که رابطه نزدیکی با پتانسیل آبی برگ دارد (Lawler, 1995) که می‌تواند توانایی گیاه را برای در امان‌بودن از شدت تنش تحت تأثیر قرار دهد و درنتیجه بر عملکرد و پایداری آن مؤثر باشد. Siddique *et al.* (2000) بیان کردند که با افزایش تنش آبی محتوای نسبی آب برگ‌های گندم کاهش پیدا می‌کند که علت آن کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشک می‌باشد. در اثر تنش آبی میزان دی‌اکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش می‌یابد، درحالی‌که کاربرد سیلیکون منجر به کاهش میزان فعالیت پراکسید هیدروژن و خسارت ناشی از تنش اکسیدکننده گردید. Li *et al.* (2007) اثرات سیلیکون را بر روی میزان تحمل خشکی ذرت تحت شرایط گلخانه مطالعه کردند. نتایج آزمایش نشان داد که تحت شرایط تنش ملایم، کاربرد سیلیکون باعث افزایش عملکرد به‌میزان ۲۳ تا ۳۱ درصد می‌شود. هم‌چنین در تیمار سیلیکون محتوای کلروفیل در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش یافت. هم‌چنین سیلیکون به‌علت سیلیسی‌کردن سلول‌های برگ، باعث افزایش دوام و پایداری غشای سلول و درنتیجه افزایش فتوسنتز آن می‌گردد. این امر در ابتدا باعث افزایش دوام برگ و دوره پرشدن دانه در شرایط تنش می‌شود و در ادامه باعث حفظ پایداری غشای سلول می‌گردد که منجر به حفظ محتوای نسبی آب و کاهش نشت مواد سلولی و درنتیجه تداوم جریان انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده به دانه می‌شود. Ma & Yamaji (2006) بیان نمودند که سیلیکون با رسوب در زیر لایه کوتیکولی (باضخامت ۰/۱ میکرومتر) برگ و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول- سیلیس و درنتیجه افزایش ضخامت لایه کوتیکولی و موم آن،

www.SID.ir

Archive of SID

باعث کاهش تعرق از سطح برگ و پوست گیاهی می‌شود. درنتیجه این عمل محتوای آب گیاه زیاد می‌شود و توسعه برگی و تولید ماده خشک نیز افزایش می‌یابد. Tale Ahmad & Haddad (2011) بیان نمودند که تیمار سیلیکون باعث افزایش در فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیدکنندگی کاتالاز و پراکسیداز و هم‌چنین افزایش در محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و پروتئین محلول در برگ‌هایی می‌گردد که تحت تنش آبی قرار گرفته‌اند.

با توجه به بروز پدیده خشکسالی ومحدودیت منابع آب در کشور به‌خصوص در جنوب ایران هدف از انجام این پژوهش کاهش اثرات تنش خشکی از طریق کاربرد برگی سیلیکون و بررسی آن بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، پروتئین دانه و عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم نان[1] و گندم دوروم[2] در شرایط تنش آبی آخر فصل بود.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب در هفت کیلومتری شهرستان داراب، استان فارس با طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ارتفاع ۱۱۵۰ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. پیش از اجرای آزمایش و برای اطلاع از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر شد (جدول ۱). تیمارهای آزمایش شامل: فاکتور اصلی رژیم آبیاری در دو سطح، آبیاری مطلوب به‌عنوان شاهد و قطع آبیاری از اواخر مرحله گل‌دهی (٦۹، کد ZGS) تا رسیدن فیزیولوژیک و فاکتور فرعی رقم گندم شامل گندم نان رقم چمران و گندم دوروم رقم شبرنگ و کاربرد سیلیکون در مرحله اواسط گل‌دهی (٦٥، کد ZGS) (Zadokes *et al*., 1974) به‌عنوان فاکتور فرعی فرعی به‌صورت محلول پاشی در چهار سطح صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار سیلیکون در نظر گرفته شد (Mohammadi *et al*., 2012). عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر بود. سپس اقدام به کرت‌بندی در ابعاد ۳×۲ شد و بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متری و در عمق یک سانتی‌متری خاک با تراکم ٤۰۰ بوته در مترمربع کشت شدند. بافت خاک از نوع سیلتی لومی بود. ارقام گندم با دست در تاریخ ۱۸ آذرماه ۱۳۹٦ کشت شدند.

۲. ۱. محاسبه آب موردنیاز کرت‌ها

میزان آب موردنیاز برای هر کرت براساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲٤/٥٪ وزنی) محاسبه شد. در این روش ابتدا قطعه زمینی به مساحت ۲ مترمربع مشخص شد و به شکل حوضچه درآمد. سپس این حوضچه به‌طور سنگین آبیاری شد و روی آن با پلاستیک پوشانده شد. پس از قطع آبیاری و فروکش‌کردن آب، در فواصل زمانی هر ۱۲ ساعت یک‌بار از عمق صفر تا ۱ متری توسعه ریشه نمونه‌برداری کرده و مقدار رطوبت آن به‌روش وزنی اندازه‌گیری شد. این عمل آن‌قدر ادامه داده شد تا سرانجام مقدار رطوبت در دو اندازه‌گیری پشت سر هم تقریباً با هم برابر شدند که این مقدار رطوبت براساس رابطه (۱) برابر با رطوبت ظرفیت زراعی می‌باشد (Araus *et al*., 2002).

(رابطه ۱)

$$\text{مقدار رطوبت} = \frac{(\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک‌تر})}{\text{وزن خاک خشک}} \times ۱۰۰$$

1. *Triticum aestivum* L.
2. *Triticum durum*

www.SID.ir

Archive of SID

نیاز آبی گندم به‌صورت روزانه با استفاده از میانگین روزانه داده‌های پارامترهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد داراب و با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Daneshmand *et al.*, 2006). مراحل محاسبه نیاز آبی به‌طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد:

۱ – تبخیر– تعرق گیاه (ETc) در مراحل مختلف رشد گندم با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

$ET_c = K_c . ET_0$ (رابطه ۲)

که در آن ET_c: تبخیر– تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، ET_0: تبخیر– تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K_c: ضریب گیاهی است. تبخیر– تعرق گیاه مرجع ET_0 با استفاده از داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد داراب به‌دست آمد.

۲– میزان آب آبیاری در هر دور آبیاری با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد:

$IR = ET_c (Ea \times LR)$ (رابطه ۳)

که در آن IR: میزان آب آبیاری، Ea: راندمان مصرف آب، و LR: میزان آبشویی می‌باشد.

پس از اندازه‌گیری میزان آب، آبیاری برای تمام کرت‌ها تا مرحله گل‌دهی به‌صورت یکسان و به‌صورت نشتی انجام شد و در انتهای مرحله گل‌دهی آبیاری تیمارهای قطع آبیاری در کرت‌های تعیین‌شده متوقف شد. میزان بارندگی در فروردین‌ماه ۱۳۹۷ که زمان اعمال قطع آبیاری در کرت‌های آزمایشی بود ۲/٤ میلی‌متر و در اردیبهشت‌ماه که زمان برداشت بود ۱/۷ میلی‌متر بود که قابل چشم‌پوشی می‌باشد. هم‌چنین کل میزان بارندگی در سال زراعی ۹۷–۱۳۹٦ در منطقه داراب ۹٦/۲ میلی‌متر بود. درمجموع میزان آب مصرفی براساس روش زمان– حجم (Grime *et al.*, 1987) برای تیمار آبیاری مطلوب با ۱۰ دور آبیاری ۵۹۲۰ مترمکعب در هکتار و در تیمار قطع آبیاری پس از مرحله ابتدای گل‌دهی با ۷ دور آبیاری ٤۸۹۱ مترمکعب در هکتار بود.

۲. ۲. اندازه‌گیری فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل در اواخر گل‌دهی و بعد از اعمال تنش آبی از جوان ترین برگ سبز (برگ پرچم) ۰/۵ گرم از نمونه‌تر برگ سبز و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد که به‌تدریج اضافه می‌شد، در داخل یک هاون چینی به‌خوبی سابیده شدند. سپس عصاره حاصل در تاریکی و در دمای ٤ درجه سلسیوس در یخچال نگه‌داری شد و مواد جامد به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با ٦۰۰۰ دور در دقیقه رسوب داده شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی را با ۹ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب عصاره استخراج‌شده با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A) ساخت شرکت Shimadzu کشور ژاپن در طول‌موج‌های ٦٤۵ و ٦٦۳ نانومتر قرائت گردید و سپس میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از روابط (٤) تا (۷) محاسبه شد (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll } a = (19.3\times A\ 663 - 0.86\times A\ 645)\ V/100W$$ (رابطه ٤)

$$\text{Chlorophyll } b = (19.3\times A\ 645 - 3/6\times A663)V/100W$$ (رابطه ۵)

$$\text{Total chlorophyll} = \text{Chlorophyll } a + \text{Chlorophyll } b$$ (رابطه ٦)

$$\text{Carotenoid} = (100\times A470) - (3.27\times \text{mg chl. a}) - (104\ \text{mg chl. b})/227$$ (رابطه ۷)

۲. ۳. اندازه‌گیری پروتئین دانه

درصد نیتروژن دانه گیاه (نمونه آسیاب‌شده یک گرمی) توسط دستگاه کجلدال مدل Vapodest 45S ساخت شرکت Gerhand انجام شد. سپس با استفاده از رابطه (۸) محتوای پروتئین محاسبه گردید (Alkier *et al.*, 1972):

$\text{Protein}(\%) = \text{grain nitrogent}\ (\%) \times 6.2$ (رابطه ۸)

www.SID.ir

Archive of SID

۲. ٤. اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) پس از آن‌که برگ‌های تازه پرچم در اواخر گل‌دهی و بعد از اعمال تنش آبی وزن شدند، در دمای ثابت ۳۰ درجه سانتی‌گراد و زیر نور چراغ با شدت روشنایی ٦۰۰ تا ۷۰۰ لوکس در داخل آب قرار داده شدند تا برگ‌ها به‌اندازه نیاز آب جذب نمایند و پس از ٤ تا ٦ ساعت به حالت آماس درآیند. آنگاه برگ‌های آماس‌شده را برداشته و با کاغذ صافی خشک نموده و وزن آماس شده برگ‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها در دمای ۷۰ درجه در آون به‌مدت ٤۸ ساعت خشک و توزین شدند. آنگاه محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۹) محاسبه شد (Alizadeh, 1999):

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100 \quad \text{(رابطه ۹)}$$

که در آن FW: وزن برگ تازه، TW: وزن برگ آماس‌شده و DW: وزن برگ خشک نمونه است.

برداشت در تاریخ ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷، از دو ردیف وسط هر کرت که به‌صورت دست‌نخورده باقی‌مانده بودند، صورت گرفت. برداشت کرت‌های آزمایشی به‌صورت دستی از سطح خاک با داس و در سطح یک مترمربع انجام شد و بوته‌های برداشت‌شده از هر کرت به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور تعیین عملکرد دانه نمونه‌ها به‌مدت ٤۸ ساعت در آون و دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. هم‌چنین پس از جداسازی دانه‌ها و اندازه‌گیری اجزای عملکرد، وزن دانه‌ها با ترازو توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و ضریب همبستگی از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام‌شده است.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. محتوای کلروفیل کل

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس کلروفیل کل نشان داد که برهم‌کنش سیلیکون و تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کلروفیل کل با ۱۳/۰٦ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در شرایط تنش خشکی و کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ۷/۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در شرایط عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۳). غلظت کلروفیل به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت مبدأ شناخته می‌شود، زیرا غلظت کلروفیل برگ یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاه است، بنابراین کاهش آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای در فتوسنتز به‌حساب می‌آید (Ghosh *et al.*, 2004). با افزایش تنش آبی، میزان کلروفیل برگ گندم کاهش پیدا می‌کند (Antolin *et al.*, 1995). در پژوهشی روی آفتابگردان در شرایط تنش آبی نشان داده شد که مقدار کلروفیل در واحد سطح برگ گیاهان در معرض تنش افزایش و محتوای کلروفیل کل این گیاهان در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد (Manivaannan *et al.*, 2007).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

اسیدیته خاک	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)
۷/۸۵	۱۲۰	٦۵	۰/۷	۰/۱٦	٤۱/۰۸	٤۰/۱٦	۱۸/۷٦	۱/۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

در شرایط اکسیداسیون و تنش‌های محیطی مانند خشکی میزان تولید رادیکال‌های فعال و درنتیجه پراکسیداسیون لیپیدی افزایش می‌یابد و مشخص‌شده است که تخریب کلروفیل نتیجه پراکسیداسیون لیپیدهای غشا (Gong *et al.*, 2005) و تشکیل هیدروپراکسید اسیدهای چرب موجود در غشا می‌باشد (Tale Ahmad & Hadad, 2011). هم‌چنین کاهش میزان کلروفیل کل تحت تنش آبی در گندم و گونه‌های مختلف دانه تسبیحی (*Aegilops* spp.) گزارش شده است (Dulai *et al.*, 2006). در پژوهش دیگری کاهش ۲۵ درصدی در محتوای کلروفیل در گیاه گندم تحت تأثیر تنش آبی گزارش شده است (Gautam *et al.*, 2011). Mussa (2006) طی آزمایشی که انجام داد به این نتیجه رسید که تحت شرایط تنش میزان کلروفیل کاهش می‌یابد ولی مصرف سیلیکون سبب افزایش کلروفیل در گیاه ذرت می‌شود که با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت به‌گونه‌ای که با افزودن ۳ میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش خشکی کلروفیل کل ٤٢/٥ درصد افزایش داشت (جدول ۳).

۳. ۲. محتوای کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش رژیم آبیاری در سیلیکون بر محتوای کاروتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و قطع آبیاری با افزایش مصرف سیلیکون از صفر تا ۳ میلی‌مولار محتوای کاروتنوئید افزایش یافت، بیش‌ترین میزان کاروتنوئید با ۷/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ٦/٢٦ میلی‌گرم در گرم وزن تر در عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد. هم‌چنین بیش‌ترین میزان کاروتنوئید با ٦/١٠ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط تنش آبی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ۳/۳٦ میلی‌گرم در گرم وزن تر در عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۳). یکی از وظایف کاروتنوئیدها، حفاظت نوری رنگیزه‌های فتوسنتزی است که در شرایط تنش آبی غلظت کاروتنوئید کاهش‌یافته و نمی‌تواند نقش حفاظتی خود را انجام دهند (Wang *et al.*, 2010). کاروتنوئید نقش کلیدی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه دارند اما این رنگدانه بسیار حساس به آسیب اکسایش است و گزارش‌شده که تنش آبی موجب آسیب اکسایش در بافت‌های گیاه می‌گردد و از این طریق بر میزان کاروتنوئید تأثیر می‌گذارد (Prochazkova *et al.*, 2001). کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئید در شرایط تنش آبی می‌تواند عمدتاً به‌دلیل اکسیدشدن آن‌ها توسط گونه‌های فعال و تخریب ساختار آن‌ها باشد (Flexas *et al.*, 2008). در پژوهش حاضر محلول‌پاشی سه میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش آبی باعث افزایش کاروتنوئید به‌میزان ٤٤/٩ درصد شد (جدول ۳).

۳. ۳. محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای نسبی آب برگ تحت برهم‌کنش سیلیکون و رژیم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ با مقدار ۲۲/۰۱ درصد در تیمار سه میلی‌مولار و کم‌ترین میزان این صفت با ۱۱ درصد در ۱ میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش آبی به‌دست آمد به‌گونه‌ای که با افزایش مصرف سیلیکون از صفر تا سه میلی‌مولار محتوای نسبی آب برگ روند صعودی داشت (جدول ۳). افزایش تنش آبی مقدار آب نسبی گیاه گندم را کاهش داده و به‌طور معمول ارقام متحمل به خشکی، محتوای آب نسبی بیش‌تری را نسبت

www.SID.ir

Archive of SID

به ارقام حساس در شرایط تنش آبی نشان داد (Siddiqu *et al.*, 2000). محتوای نسبی آب یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی مهم است که همبستگی خوبی با مقاومت به خشکی نشان می‌دهد (Colom & Vazzana, 2003). ضمناً کاهش نسبی آب برگ تحت شرایط تنش آبی باعث محدودشدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی می‌شود (Jahanbinzin *et al.*, 2003). محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش آبی با هدایت روزنه‌ای، همبستگی داشته و کاهش مقدار آن در شرایط کمبود آب منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب دی‌اکسید کربن شده و در نهایت سبب افت فتوسنتز می‌گردد (Mailer *et al.*, 2002). در بررسی تأثیر تنش آبی بر سورگوم و ذرت در شرایط مزرعه‌ای گزارش شد که افزایش شدت تنش آبی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود. در بافت‌های گیاهی، سیلیکون به فرم سیلیکا (SIO_2, NH_2o) در آپوپلاست دیواره سلولی رسوب‌کرده و باعث استحکام بافت می‌گردد (Sang *et al.*, 2002). سیلیکون با رسوب در دیواره خارجی سلول‌های اپیدرم برگ، میزان کاهش آب از طریق روزنه‌ها را پایین می‌آورد. در بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص شده است که‌برگ‌های گندمی که در شرایط تنش آبی با سیلیکون خارجی تیمار گردیده‌اند در مقایسه با نمونه‌های شاهد دارای بافت زبرتر و ضخیم‌تری هستند (Gong *et al.*, 2005). بنابراین سیلیکون با کاهش تعرق باعث ایجاد تحمل به تنش آبی می‌گردد. در این پژوهش کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۵۰ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون در تنش آبی شد (جدول ۳).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثرات رژیم آبیاری، سیلیکون و رقم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد و اجزای عملکرد گندم

	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل کل	کاروتنوئید	محتوای نسبی آب برگ	پروتئین دانه	ارتفاع گیاه	تعداد سنبله در مترمربع	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
تکرار	۲	۱۹/۳۲**	۱/۳٤**	۰/۰۳ ns	۰/۳۹*	۱۹/۰۸**	٦۷٥۹ns	۲٥٤٦٤٥٦ns	٦٥۰۷۰۰**
رژیم آبیاری	۱	۱٤٥/٦۰*	۷۰/۷۱**	۲/۱٦*	٥/٥٤*	٥۳۷٦/۳۳**	۱۲۰۰۰۰*	۸۳۱٦٦۷٥ns	۲٦۷۳۰٦۷٥*
خطای کرت اصلی	۲	٤/۲۸**	۰/۲۲ns	۰/۰٥ns	۰/۱٤ns	۱۲/۳۳**	۳۸۳۰ns	٥۹۲۲۰٦	۲۸٤٤۰۰
رقم	۱	٥۸/۰۸**	۳/٥٥**	۰/٦۸**	۰/۷٤**	۳۲۰/۳۳**	۳۹٦۷٥*	۲۱۳۰٦٦۷٥**	۲۹۸٦۲۰۷٥**
سیلیکون	۳	۲۹/۹۹**	۹/۱۱**	۱/۸۲**	٥/٦٦**	٦۰/۱۳**	۳٤٤۹۰ns	۳۰۹٦۳۹۲٥**	۲٦٦٥٤۷٥**
رژیم آبیاری ×رقم	۱	۰/۷٥ns	۰/۰۹ns	۰/۰۰٥ns	۰/۰۱ns	۰/۰۸ns	٥۷۱۳۲**	۲۹٤۲۲۰۰۸**	٤٦٥۰۰۷٥**
رژیم آبیاری ×سیلیکون	۳	۸/۳٦**	۰/۹۳**	۰/٥۲**	۱/۳٥**	۱۱/۰٥**	٤۰۰۰۹۸**	٥۳۰۱۰۳٦*	۲۲۲٤۷٥**
رقم×سیلیکون	۳	۰/۳۲ns	۰/۰۳ns	۰/۱٥ns	۰/۱۰ns	۷/٥۰*	۸٥٦۰۱**	٤٥٦۲۷٥۸ns	۳۹۸۷٥ns
رژیم آبیاری× رقم×سیلیکون	۳	۰/٥۱ns	۰/۱٥ns	۰/۰۰٥ns	۰/۰۱ns	۱/۲٥ns	٥۹۳۱۰**	۳۲۹۷٥۸ns	۱۲۲۷٥ns
خطای کرت فرعی	۲۸	۰/٥۱	۰/۱٦	۰/۰۹	۰/۱۱	۱/۷۳	۳٦٤٤/۱٤	۱٦٦۱۹٥۰	۷۳٥۲۱
ضریب تغییرات		٦/۲۸	٦/۹۷	۱۷/٥۰	۱۲/٤۳	۱/۹۷	۸/۷۳	۹/٤۸	۳/۸٦

ns، * و **: نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. برهم‌کنش سیلیکون و رژیم آبیاری بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب برگ، پروتئین دانه و عملکرد دانه

سطح سیلیکون	رژیم آبیاری	کلروفیل کل (mg/g fresh weight)	محتوای کاروتنوئید (mg/g fresh weight)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	پروتئین دانه (٪)	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد بیولوژیک (kg.ha)	عملکرد دانه (kg.ha)
صفر میلی‌مولار	آبیاری	۱۲/۱۰b	٦/۲٦c	۱۹a-c	۱۷/۳٥b	۷٥/٦٦b	۱۳٤۹۱b-d	۷٤۹۰bc
یک میلی‌مولار		۱۳/۰٦ab	٦/۹۳b	۱۸bc	۱۸/۰٤b	۷٦/٦٦b	۱۳۱۹۱cd	۷٥۱۰bc
دو میلی‌مولار		۱۳/۲٦a	۷/۱٦ab	۱۸/۱bc	۱۸/۱۷b	۷۸/۳۳a	۱۳٦۰۸bc	۷۷۹۰b
سه میلی‌مولار		۱٤/۰٦a	۷/۷۳a	۲۳/٦a	۲۲/٦٥a	۷۸/۸۳a	۱٥٥۷۱ab	۸۲۳۰a
صفر میلی‌مولار	تنش آبی	۷/٥۰d	۳/۳٦e	۱۱d	۹/۳۹c	٥۳/۱٦e	۱۱٤٥۸d	٥۷۰۰e
یک میلی‌مولار		۸/۸۰c	٤/۲٥d	۱۰/٤d	۱۰/٤۰c	٥٥d	۱۳۱۱٦cd	٦۰۰۰de
دو میلی‌مولار		۹/۲۰c	٤/٦٦d	۱٦/۳c	۱٦/۳٥b	٥٦/۱٦d	۱۱۷۹۱d	٦۲٥۰d
سه میلی‌مولار		۱۳/۰٦ab	٦/۱۰c	۲۲/۰۱ab	۲۳/۰۸a	٦۰/٥c	۱٦۳۳۳a	۷۱۰۰c

میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۳. ٤. پروتئین دانه

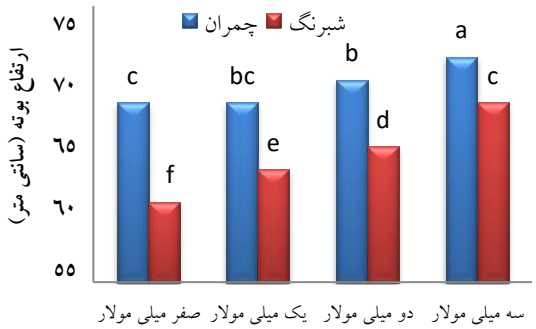
نتایج تجزیه واریانس برای پروتئین دانه نشان داد که برهم‌کنش رژیم آبیاری در سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و قطع آبیاری با افزایش مصرف سیلیکون از صفر تا ۳ میلی‌مولار پروتئین دانه افزایش یافت. بیش‌ترین میزان پروتئین دانه با ۲۲/٦٥ درصد در شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی سه میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ۱۷/۳٥ درصد در عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد. هم‌چنین بیش‌ترین میزان پروتئین دانه با ۲۳/۰۸ درصد در شرایط تنش آبی و کاربرد سه میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ۹/۳۹ درصد در شرایط عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۳). Fathi (2006) گزارش نمود که عملکرد دانه و پروتئین در گندم به‌وسیله کارایی گیاه در تخصیص ماده خشک و نیتروژن به دانه تعیین می‌شود. Daniel & Triboi (2008) در آزمایش‌های جداگانه بر روی ذرت و گندم به این نتیجه رسیدند که تنش آبی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری گردید، آن‌ها دلیل این امر را کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام نمودند که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و ازآنجایی‌که درصد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیش‌تر است، بنابراین درصد پروتئین دانه در شرایط تنش آبی افزایش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی جذب و تثبیت CO_2 بر اثر بسته‌شدن نسبی روزنه‌ها و یا کاهش درجه بازشدن آن‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین میزان کل مواد پرورده برای پرشدن دانه کاهش می‌یابد، ولی تنش آبی انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه را کاهش نمی‌دهد و این امر سبب افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود (Ghobadi, 2010). Haddad & Moshiri (2010) در بررسی اثر سیلیکون خارجی بر تغییرات ناشی از تنش آبی در برگ‌های جو مشاهده کردند که تنش شوری به‌طور معنی‌داری میزان پروتئین محلول برگ را کاهش می‌دهد، درحالی‌که سیلیکون مقدار پروتئین گیاهان تنش دیده را افزایش داد. ازآنجاکه تنش اکسیدایتو سبب تخریب پروتئین می‌شود، می‌توان گفت که سیلیکون در مقابله با تنش اکسیداتیو مؤثر است (Tale Ahmad & Haddad, 2011). یافته‌های این پژوهش به‌گونه‌ای بود که محلول‌پاشی سه میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۵۹/۳ درصدی پروتئین دانه در شرایط عدم مصرف سیلیکون در تنش آبی شد (جدول ۳).

www.SID.ir

Archive of SID

۳. ۵. ارتفاع بوته

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثرات اصلی رقم و سیلیکون و اثر تنش آبی در سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد و برهم‌کنش رقم در سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد روی ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان ارتفاع با مقدار ۶۰/۵ سانتی‌متر در محلول‌پاشی سه میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با مقدار ۵۳/۱۶ سانتی‌متر در شرایط عدم مصرف سیلیکون در تنش آبی به‌دست آمد (جدول ۳). رقم چمران در تیمار سه میلی‌مولار سیلیکون با مقدار ۷۱/۳۳ سانتی‌متر نسبت به رقم چمران تحت تیمار عدم مصرف سیلیکون با مقدار ۶۸ سانتی‌متر اختلاف ۴/۶ درصدی با هم داشتند (شکل ۱). کاهش ارتفاع در اثر تنش آبی احتمالاً با کاهش فتوسنتز به‌دلیل نبود رطوبت خاک و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای انتقال مواد فتوسنتزی به بخش‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی خود بستگی دارد (Rostami & Kafi, 2009). براساس پژوهش Mohammadi *et al.* (2012)، افزایش رشد رویشی گیاه گندم در شرایط عدم تنش آبی مشاهده شد.



شکل ۱. برهم‌کنش رقم و سیلیکون بر ارتفاع بوته گندم (میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.)

پژوهش‌**گران** زیادی گزارش کردند که سیلیکون در رشد و ارتفاع و عملکرد گیاهان زراعی و هم‌چنین در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان مختلف، اثرات مثبت بی‌شماری را دارا می‌باشد (Amiri *et al.*, 2013). Singh (2006) طی بررسی روی گیاه گندم گزارش نمود که با مصرف سیلیکون ارتفاع بوته تحت شرایط تنش آبی و نرمال افزایش می‌یابد. Gong *et al.* (2005) نیز نشان دادند سیلیکون از طریق بهبود توانایی برگ‌ها در جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی، میزان رشد و ارتفاع گیاه را افزایش داد در این پژوهش کاربرد برگی سه میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۱۲/۱ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون شد (جدول ۳).

۳. ۶. تعداد سنبله در مترمربع

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که تعداد سنبله تحت اثر سه‌گانه رژیم آبیاری در رقم در سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین میزان تعداد سنبله در مترمربع با مقدار ۷۶۲ در تیمار سه میلی‌مولار سیلیکون در رقم چمران و کم‌ترین‌ترین میزان این صفت با ۵۶۹ سنبله در مترمربع در رقم شبرنگ و تیمار عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (شکل ۲). Emam *et al.* (2005) اثر سوء تنش رطوبتی در مراحل پنجه‌زنی، ساقه رفتن و حجیم شدن غلاف برگ پرچم بر تعداد سنبله در مترمربع را گزارش کردند. Mohammadi *et al.* (2012) نیز نتیجه گرفتند که تعداد سنبله در مترمربع در اثر تنش خشکی کاهش یافت. Emam *et al.* (2007) گزارش کردند که در شرایط مطلوب رشدی عملکرد بیش‌ترین همبستگی را با تعداد دانه در سنبله داشت اما در شرایط خشکی بیش‌ترین همبستگی عملکرد با تعداد سنبله در مترمربع بود. در مطالعه Azizinya *et al.* (2005) نقش تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه در عملکرد گندم تحت شرایط خشکی بارزتر بود. Nourmand *et al.* (2001) پیشنهاد دادند که جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش

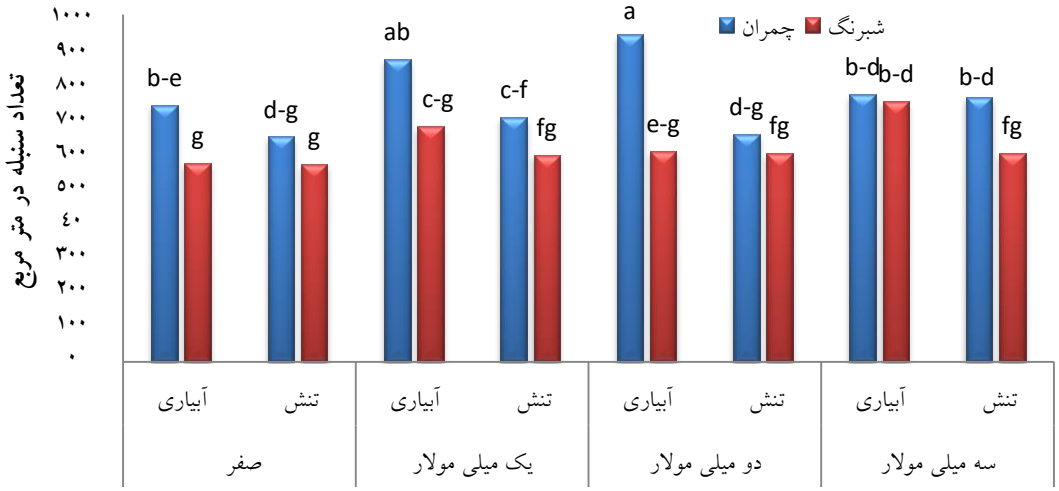
www.SID.ir

Archive of SID

خشکی ابتدا باید تعداد سنبله در واحد سطح را افزایش داد. در این پژوهش با افزودن سه میلی‌مولار سیلکون نسبت به مصرف ۱ میلی‌مولار سیلیکون ۲۱/۷ درصد افزایش در تعداد سنبله در مترمربع در شرایط تنش آبی مشاهده شد (شکل ۲).

۳. ۷. عملکرد بیولوژیک

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سیلیکون و رقم در سطح احتمال ۱ درصد، رژیم آبیاری × سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد و اثر رژیم آبیاری × رقم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تیمار سه میلی‌مولار تحت شرایط تنش نسبت به سایر تیمارها بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک را با مقدار ۱۶۳۳۳ کیلوگرم در هکتار را در این صفت به‌خود اختصاص داد که با تیمار عدم مصرف سیلیکون ۱۱۴۵۸ کیلوگرم در هکتار افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۳). از طرفی در رقم چمران در شرایط تنش آبی ۱۵ درصد کاهش در عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد (شکل ۳). عملکرد بیولوژیک شامل وزن خشک تمامی بخش‌های هوایی گیاه است که تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی، خاک و گیاه قرار می‌گیرد (Emam & Niknejad, 2011). خشکی با اثرات متفاوتی که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر گیاه دارد مانند بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش تورژسانس کاهش سطح فتوسنتزکننده و هم‌چنین کاهش میزان فتوسنتز بر اثر تنش خشکی، باعث کاهش تجمع ماده خشک می‌شود (Solomon, 2007). Emam *et al.* (2007) نیز نتایج مشابهی مبنی بر کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر تنش آبی گزارش کردند. گزارش شده است که کاهش فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای و هم‌چنین مقدار کلروفیل کم‌تر در شرایط تنش می‌تواند منجر به کاهش تولید زیست‌توده شود (Liu *et al.*, 2004). تنش آبی در گیاه با کاهش آب برگ و درنتیجه بسته‌شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک‌سو و اثر بر فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوط از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه به‌عنوان جزئی از عملکرد بیولوژیک می‌شود (Farrokhania *et al.*, 2011). یافته‌های پژوهش حاضر به‌گونه‌ای است که در شرایط تنش آبی، محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۲۹/۸ درصدی بر عملکرد بیولوژیک نسبت به عدم مصرف سیلیکون شد (جدول ۳).

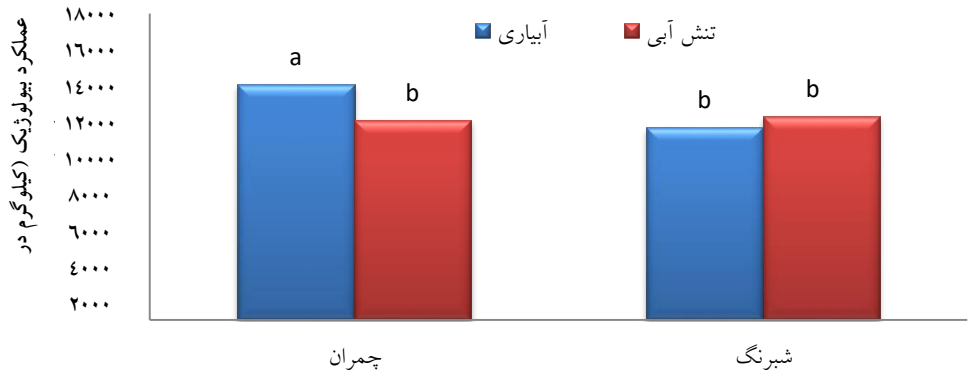


شکل ۲. بر هم‌کنش رژیم آبیاری و سیلیکون بر تعداد سنبله در مترمربع در ارقام گندم

(میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. بر هم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر عملکرد بیولوژیک گندم

(میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.)

۳. ۸. عملکرد دانه

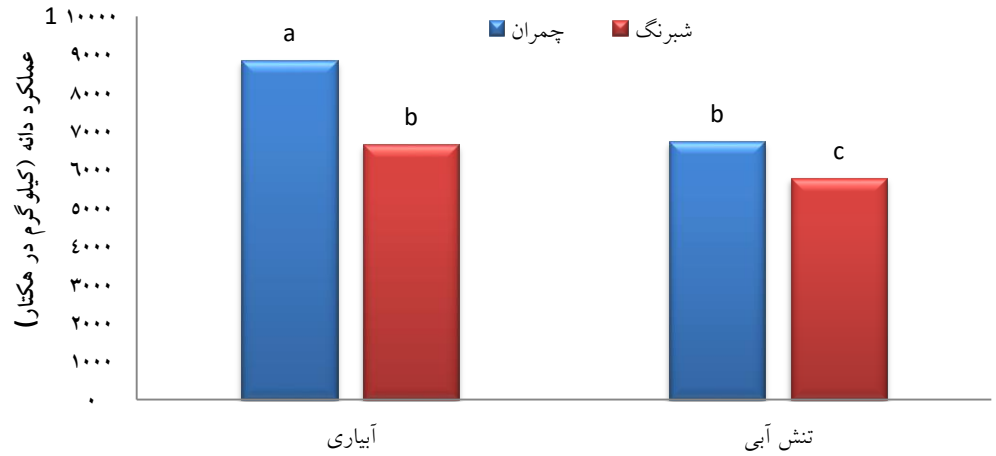
نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد و اثر رژیم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد، و برهم‌کنش رژیم آبیاری× سیلیکون و رژیم آبیاری× رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری و سیلیکون بر عملکرد دانه نشان داد بیش‌ترین میزان عملکرد دانه با ۷۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در کاربرد برگی سه میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش آبی و کم‌ترین میزان این صفت با ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر عملکرد دانه نشان داد رقم چمران در شرایط تنش آبی ۲۳/۸ درصد کاهش نسبت به شرایط آبیاری مطلوب داشت (شکل ٤). به‌نظر می‌رسد که تنش آبی در مرحله تقسیم سلولی از طریق کاهش اکسین و کاهش تقسیم سلولی و در مرحله پرشدن دانه، از طریق میزان اسید آبسزیک و کاهش فعالیت‌های آنزیمی و کاهش طول دوره پرشدن دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Saeedi *et al.*, 2010). Epstein & Bloom (2005) اظهار نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی از طریق افزایش جذب عناصر، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ، میزان فتوسنتز را افزایش داده و سبب انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر به اندام‌های زایشی شده که تولید سنبله در واحد سطح، دانه در سنبله، وزن هزاردانه و درنهایت عملکرد دانه گیاه گندم را افزایش می‌دهد. در پژوهشی مشابه، Maghsoudi & Emam (2016) بیان کردند که ارقام چمران و سیروان دارای بیش‌ترین عملکرد در شرایط تنش آبی بودند به‌گونه‌ای که کاربرد برگی سیلیکات سدیم باعث افزایش ۱٦/۱۱ درصدی عملکرد نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون در شرایط تنش آبی گردید. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد کاربرد برگی سیلیکون تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه گندم دارد، به‌گونه‌ای که مصرف سیلیکون به میزان سه میلی‌مولار ۱۹/۷ درصد افزایش در عملکرد دانه را نسبت به تیمار عدم مصرف سیلیکون داشت (جدول ۳).

۳. ۹. همبستگی میان عملکرد با سایر صفات در شرایط آبیاری مطلوب

نتایج همبستگی در شرایط آبیاری عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با کلروفیل کل ، محتوای کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد و پروتئین دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار داشت (جدول ٤).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤. برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر عملکرد دانه ارقام گندم

(میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.)

همچنین در شرایط تنش آبی نشان داد عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با کلروفیل کل، محتوای کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پروتئین دانه، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول٤). محاسبه ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و سایر صفات موردبررسی نشان داد که بیش‌ترین میزان همبستگی در شرایط آبیاری بین عملکرد دانه با کلروفیل کل ($r=۰/۸۱۵^{**}$) و تعداد سنبله در مترمربع ($r=۰/۸۱٤^{**}$) و در شرایط تنش آبی پس از گل‌دهی با تعداد سنبله در مترمربع ($r=۰/۹۳۷^{**}$) و کلروفیل کل ($r=۰/۸٤۰^{**}$) دیده شد (جدول ٤). Ghodsi *et al.* (2004) با مطالعه اثر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم اظهار داشتند که بین عملکرد دانه و تعداد سنبله در مترمربع همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. Jamali & Javid (2003) در آزمایش خود به این نتیجه رسیدند که عملکرد دانه گندم با صفت ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. Emam & Niknejad (2011) نشان دادند که محتوای نسبی آب برگ در هر دو شرایط تنش خشکی ($۰/٦۸۹^{**}$) و آبیاری مطلوب ($۰/۵۵٦^{*}$) دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارد. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک را در شرایط تنش آبی گزارش نمودند. به‌طورکلی در پژوهش حاضر، هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش آبی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و کلروفیل کل مشاهده گردید (جدول ٤).

٤ نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر این بود که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش ۲۳/۸ درصدی عملکرد رقم چمران نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد که علت آن کاهش برخی صفات بیوشیمیایی مانند محتوای کلروفیل، کاروتنوئید ومحتوای نسبی آب برگ می‌باشد به‌گونه‌ای که محتوای کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی ۲٦/۵ درصد کاهش داشت که با افزودن کاربرد برگی سیلیکون در سطح سه میلی‌مولار ٤۲/۵ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون مشاهده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤. ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم (بالای قطر در شرایط آبیاری و پایین قطر در شرایط تنش آبی)

صفت		کلروفیل کل (mg/g fresh weight)	محتوای کاروتنوئید (mg/g fresh weight)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	پروتئین دانه (٪)	ارتفاع (cm)	تعداد سنبله	عملکرد بیولوژیک (kg.ha)	عملکرد دانه (kg.ha)
کلروفیل کل	(mg/g fresh weight)		۰/۸۷۳**	۰/۷٦۲**	.۰/۸۳۷**	۰/۸۷۵*	−۰/٤۸۹*	۰/٦٦۷**	۰/۸٤۰**
محتوای کاروتنوئید	(mg/g fresh weight)	۰/۷۱۷**		۰/۷٤۲**	۰/۸٤٦**	۰/۷۹۲*	−۰/٤۷٦*	۰/۷۰۳**	۰/۸۱٤**
محتوای نسبی آب برگ	(٪)	.۰/۳۵۵	۰/٤۹۲*		۰/۹٤۰**	۰/٦۹۲**	−۰/۳۸٤	۰/۵۲۰**	۰/٦۹۰**
پروتئین دانه	(%)	۰/۵۵۲**	**۰/۷٤۵	.۰/۸۲٦**		۰/۷۱٤**	−۰/۳۸۷	۰/٦۲۰**	۰/۷۱۵**
ارتفاع	(cm)	۰/٦۷۹**	۰/۷۳۱**	۰/۵۵٦**	۰/۵۳۸**		−۰/۵۱۱*	۰/۵٦۷**	۰/۹۳۷**
تعداد سنبله		۰/۰٦۷	۰/۲۵۲	۰/۰۷۵	۰/۰۷٦	۰/۲۵٦		−۰/۱۰۵	۰/۵۵۳**
عملکرد بیولوژیک	(kg.ha)	۰/٦۵۵**	۰/۵۸۵**	۰/٦۷٦**	۰/۵۸٤**	۰/۷٦۹**	۰/۱۹۲		۰/۵٤۵**
عملکرد دانه	(kg.ha)	۰/۸۱۵**	۰/٦۲۵**	۰/٤۹۱*	۰/٤۸۸*	۰/۸۱٤**	۰/۰۷۱*	۰/۸۱۰**	

ns، * و **: نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد.

همچنین محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی ۲۱/٦ درصد کاهش داشت که با افزودن سیلیکون در شرایط تنش خشکی در سطح سه میلی‌مولار محتوای نسبی آب برگ ۵٤/۸ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون افزایش نشان داد. از طرفی گندم نان (رقم چمران) با مقدار ۷۷۹۷ کیلوگرم در هکتار عملکرد بالاتری را نسبت به گندم دوروم (رقم شبرنگ) با مقدار ٦۲۲۰ کیلوگرم در هکتار داشت که نشان‌دهنده برتری و مناسب‌بودن این رقم در منطقه داراب بود. در شرایط تنش خشکی مصرف سه میلی‌مولار سیلیکون بیش‌ترین میزان عملکرد را در رقم چمران با مقدار ۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون تولید کرد. همه صفات موردمطالعه تحت تأثیر مثبت سیلیکون قرار گرفتند، به‌طوری‌که کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پروتئین دانه، ارتفاع گیاه، تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه ارقام گندم نان و ماکارونی تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون افزایش یافت. محلول‌پاشی با سیلیکون با غلظت سه میلی‌مولار تأثیر بیش‌تری بر رشد و عملکرد ارقام گندم داشت. از طرفی پاسخ ارقام به سیلیکون متفاوت بوده به‌طوری‌که رقم چمران واکنش بیوشیمیایی بیش‌تری به محلول‌پاشی سیلیکون در مقایسه با شبرنگ نشان داد. به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد در تنش آبی استفاده از سیلیکون می‌تواند آثار کمبود آب را کاهش دهد. باتوجه به این‌که اثر مثبت سیلیکون تا غلظت سه میلی‌مولار افزایشی بود، بنابراین لازم است حتماً غلظت‌های بیش‌تر از سه میلی‌مولار نیز بررسی شود تا مشخص شود در چه غلظتی اثر سوء و منفی در گیاه ایجاد می‌شود.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٦. منابع

Alizadeh, A. (1999). Soil-water-plant relationship. Fredowsi Univ. Press. P, 279- 280. (in Persian)

Alkier, A.C., Racz, G.J. & Soper, R.j. (1972). Effects of foliar soil-applied nitrogen and soil nitrate-nitrogen level on the protein content of neepawa wheat. *Canadian Journal of Soil Science*, *52*, 301-309.

Amiri, A., Bagheri, A.A., Khajeh, M., Najafabadi, N. & Yadollahi, B. (2013). Effect of silicon foliar application on yield and antioxidant enzymes of safflower under drought stress. *Journal of Crop Research*, *9*, 372-361. (in Persian)

Antolin, M.C., Yoller, J. & Sanchez-Diaz, M. (1995). Effect of temporary drought on nitrate fed and nitrogen fixing of alfalf. *Plant Science*, *107*, 159-165. DOI: https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04108-7.

www.SID.ir

Archive of SID

Araus, J.L., Slafer, M.P., Reynolds, B. & Royo, C. (2002). Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for? *Annals of Botany, 89*, 925–940. DOI: doi: 10.1093/aob/mcf049

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy, 23*, 112-121.

Azizinya, S. H., Ghannadha, M. R., Zali, A., Yazdi-Samadi, B. & Ahmadi, A. (2005). An Evaluation of Quantitative Traits Related to Drought Resistance in Synthetic Wheat Genotypes in Stress and Non-stress Conditions. *Journal of Agronomy and crop science, 36*, 281-293. (in Persian)

Bakhshandeh, A. (2004). Effects of water stress on the development of the inflorescence in two spring wheat. *11th Australian conference of agronomy*, Rome, Italy. Pages 326.

Colom, M.R. & Vazzana, C. (2003). Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping love grass plants. *Environmental and Experimental Botany. 49*, 135-144. DOI: https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00065-5

Daneshmand, A. R., Shirani Rad, A. H. & Ardakani, M. R. (2006). Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Journal of Agricultural Sciences, 1,* 48-60. (in Persian)

Daniel, C. & Triboi, E. (2008). Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperature and water stress. *Journal of Agronomy, 16*, 1-12. DOI: https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00114-9

Dulai, S., Molnar, I., Pronay, J., Csernak, A., Tarnai, R. & Molnar-Lang, M. (2006). Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in Aegilops species originating from dry habitats. *Acts Biologica Szegediensis, 50*, 11-17.

Emam, Y. & Seghatoeslami, M. J. (2005). Cop Yield, Physiology and Processes. Shiraz University Press. Shiraz. (in Persian)

Emam, Y. (2011). Cereal Production. Shiraz University Press Fourth edition. 190 pages. (in Persian)

Emam, Y., Niknejad, M. (2011). An Introduction to the Physiology of Crop Yield, Shiraz University Press, Shiraz. (In Persian).

Emam, Y., .Ranjbar, A. M. & Bahrani. M., J. (2007). Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post-anthesis drought stress. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 1*, 221-232.

Epstein, E., and Bloom, A. (2005). Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. *2nd ed. Sinecure Associates, Sunderland, Mass: Sinauer Associates, Inc*, 643-654.

Farrokhania, M. M., Rushdie B., Constable of Islam, R. & Susan Dost, R. (2011). Investigation of some physiological characteristics and spring safflower yield under water deficit stress. *Journal of Crop Sciences, 42*, 545-553. (in Persian)

Fathi, A. (2006). Evaluation of the effects of water stress on pollination stage and different nitrogen levels on yield and dry matter remobilization in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences, 2*, 267-277. (in Persian)

Flexas, J., Bota, J., Gales, J., Medrano, H. & Ribas-Carbo, M. (2008). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologic Plantarum, 127*, 343-35. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2006.00621.x

Gautam, P.P., Vera Prasad, P.V., Fritz, A.K., Kirkham, M.B.K. & Gill, B. (2011). Response of Aegilops species to drought stress during reproductive stages of development. *Functional Plant Biology, 39*, 51-59. DOI: https://doi.org/10.1071/FP11171.

Ghobadi, R. (2010). *Investigating the effects of different levels of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and some physiological traits of Single Crop corn 704.* Master's thesis (Agriculture), Borujerd University. 211 Pages. (in Persian)

Ghodsi, M. M., Chaichi, M., Jalal Kamali, R. & Mazaheri. D. (2004). Determine susceptibly of wheat growth stage to drought stress on grain yield and yield compounded. *Seed and Plant Journal, 20(4),* 25-34. (in Persian)

Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K, G., Mandal, A.K. & Hati, K.M. (2004). Comprative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer NPK on three cropping system in vertisoils of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technol, 95*, 85-93. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.02.012

Gong, H., Chin, K.Z., Wang, S. & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Journal of Plant Science, 169*, 313-321. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.023

Haddad, R. & Moshiri, Z. (2010). Effect of silicon on increasing drought tolerance in barley stage. *Genetic New, 5*, 47-58. (in Persian)

Hameed, A., Goher, M. & Iqbal, N. (2013). Drought induced programmed cell death and associated changes in antioxidants, proteases, and lipid peroxidation in wheat leaves. *Biologic Plant arum, 57*, 370–374. DOI: 10.1007/s10535-012-0286-9

Jahanbinzin, S.h., Tahmasebi Sorvestani, Z.,

www.SID.ir

Archive of SID

Madani S., AS, M. & Karim, Zadeh, G. (2003). Effect of dry stress on grain yield, some components of yield and resistance indices in barley genotypes. *Agricultural Sciences and Natural Resources, 4*, p. 3325. (in Persian)

Jamali, M.A. & Javid, M. A. (2003). Breeding of bread wheat for semi-dwarf character and high yield. *Wheat Information Service, 96,* 11-14

Lawler, D. W. (1995). The effect of water deficit on photosynthesis in Environment and Plant Metabolism. In: Smirnoff, N., (end), Bioss Scientific Publishers, Oxford, England, pp: 129-160.

Li, Q .F. Ma, C.C. & Shang, Q .L. (2007). Effects of silicon on photosynthesis and anti-oxidative enzymes of maize under drought stress. *Ying Yong Shengtai Xue Bao, 18,* 531 -536.

Liu, F., Andersen, M.N. & Jensen, C. R. (2004). Root signal controls pod growth in drought stressed soybean during the critical, abortion-sensitive phase of pod development. *Field Crop Research, 85,*159-166. DOI: 10.1016/S0378-4290(03)00164-3

Ma, J. F. &Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Science, 11,* 1- 6.

Maghsoudi, K. & Emam, Y. (2016). Response of bread wheat cultivars to foliar application of silicon under post anthesis drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing, 6,* 1-13. DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.6.19.1

Mailer, P., Baltensperger, D., Clayton, G., Johnson, A., Lafond, G., Mc Conkey, B., Schatz, B. & Starica, J. (2002). Pulse crop adaptation and impact across the Northern Great Plains. *Iranian Journal of Agricultural Sciences, 22,* 261-272. (in Persian)

Manivaannan, P., Abdul Jaleel, C., Sanka, B., Kishorekumar, A., Somasundaram RLakshmanna, G.M.A. & Panneerselvam, R. (2007). Growth biochemical modification and proline metabolism in *Helianthus annus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaced B. Biointerfaces, 59,* 141-149. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2007.05.002

Mohammadi, S., Sepehri, A. S., Abutalebian, M. A. & Hamzai, J. (2012). Effect of silicon on wheat yield under drought stress conditions. *Sixth National Conference on New Ideas in Agriculture, 11th and 12th March,* 117-119.

Mussa, H. R. (2006). Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt stressed maize (*Zea mayz* L.). *Journal of Agriculture and Biology, 2,* 293-297.

Nourmand, F., Rostami, M.A. & Ghannadha, M.R. (2001). A study of morpho-physiological traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), relationship with grain yield under normal and drought stress conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences, 32,* 785-794. (in Persian)

Prochazkova, D., Sairam, R. K., Srivastava, G. C. & Singh, D. V. (2001). Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science, 161,* 765- 771. DOI: 10.1016/S0168-9452(01)00462-9

Rostami, M. & Kafi, M. (2009). The Effect of Drought Stress on Yield Components and Oil Content of Safflower Cultivars under Irrigation with Arboretum. *Iranian Journal of Crop Research, 1,* 132-121. (in Persian)

Saeedi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Sepehri, R., Najafian, G. & Shabani, A. (2011). Effect of seasonal drought stress on physiological characteristics and reservoir and source relationships in two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences, 12*(4) :392-408

Sang, G.K., K.I.W.K., Eun, W.P. & Doil, C. (2002). silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. *Phytopathology, 92,* 1095-1103.

Shewry, P.R., 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany, 60, 1537*-1553.

Siddique, M. R., Hamid, B. A. & Islam, M.S. (2000). Drought stress effects on water relations of wheat. *Botany Bulletin academic science, 41,* 35-39. DOI: 10.1094/PHYTO.2002.92.10.1095.

Solomon, S. (2007). *Climate Change 2007- the Physical Science Basis: Working Group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press. London. UK.

Tale Ahmad, S. & Haddad, R. (2011). Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 1,* 17-27.DOI: https://doi.org/10.17221/92/2010-CJGPB

Tas, S. & Tas, B. (2007). Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in turkey. *World Journal of Agricultural Sciences, 3,* 178-183.

Wang, L. I., Fan, W., Loescher, W., Dunan, G., Liu, J., Cheng, H. & Luo, S. Li. (2010). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biological, 10,* 34-48. DOI: 10.1186/1471-2229-10-34.

Zadokes, J. C., Chang, T. T. & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research, 14,* 415-421. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

www.SID.ir