



# به زراعی کشاورزی

دوره ۲۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۹

صفحه‌های ۷۳-۸۷

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

سودابه رضا بیگی<sup>۱</sup>، احسان بیژن‌زاده<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲. دانشیار، گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

### چکیده

به منظور 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 به صورت 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 به ترتیب ۴۲/۵ و ۴۴/۹ درصد افزایش را نشان دادند. در رقم چمران کاربرد برگی سیلیکون به میزان ۳ میلی‌مولار محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و پروتئین دانه را به ترتیب به میزان ۴۰، ۴۳، ۴۲ و ۵۶/۴ درصد افزایش داد که در نهایت 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 ( $r=0/815^{**}$ ) و تعداد سنبله در مترمربع ( $r=0/814^{**}$ ) و در شرایط تنش آبی پس از گل‌دهی با تعداد سنبله در مترمربع ( $r=0/937^{**}$ ) و کلروفیل کل ( $r=0/840^{**}$ ) به دست آمد. به‌طور کلی، محلول‌پاشی به میزان 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

Sodابه Reza Beigi<sup>1</sup>, Ehsan Bijanzadeh<sup>2\*</sup>

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.

## ۱. مقدمه

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 امان بودن از شدت تنش تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه 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 به میزان ۲۳ تا ۳۱ درصد می‌شود. هم‌چنین در تیمار سیلیکون محتوای کلروفیل در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش یافت. هم‌چنین سیلیکون به علت سیلیسی کردن سلول‌های برگ، باعث افزایش دوام و پایداری غشای سلول و در نتیجه 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 در نتیجه تداوم جریان انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده به دانه می‌شود. Ma & Yamaji (2006) بیان نمودند که سیلیکون با رسوب در زیر لایه کوتیکولی (با ضخامت ۰/۱ میکرومتر) برگ و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول-سیلیس و در نتیجه افزایش ضخامت لایه کوتیکولی و موم آن،

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی روی زمین است که از زمان اهلی شدن 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 ۴۰ تا ۶۰ 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 سنبلك‌ها منجر شود (Emam & Niknejad, 2011). Bakhshandeh (2004) در بررسی اثر تنش آبی بر روی دو رقم گندم در مراحل مختلف نمو نشان داد که شدت و نوع خسارت در دو رقم به مرحله نمو مرستم 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 سنبله‌چه در هر سنبله و تعداد سنبله در مترمربع شده است. و بیش‌ترین

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

گل‌دهی (۶۹، 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 (۶۵، 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 گاواهن برگردان‌دار، دیسک و لولر بود. سپس اقدام به کرت‌بندی در ابعاد ۲×۳ شد و بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متری و در عمق یک سانتی‌متری خاک با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع کشت شدند. بافت خاک از نوع سیلتی لومی بود. ارقام گندم با دست در تاریخ ۱۸ آذرماه ۱۳۹۶ کشت شدند.

## ۱.۲. محاسبه آب موردنیاز کرت‌ها

میزان آب موردنیاز برای هر کرت براساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲۴/۵٪ 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 فروکش کردن 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) = مقدار رطوبت

$$\times 100 \frac{(\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک تر})}{\text{وزن خاک خشک}}$$

وزن خاک خشک

باعث کاهش تعرق از سطح برگ و پوست گیاهی می‌شود. در نتیجه این عمل محتوای آب گیاه زیاد می‌شود و توسعه برگگی 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 و محدودیت منابع آب در کشور به‌خصوص در جنوب ایران هدف از انجام این پژوهش کاهش اثرات تنش خشکی از طریق کاربرد برگگی سیلیکون و بررسی آن بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، پروتئین دانه و عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم نان<sup>۱</sup> و گندم دوروم<sup>۲</sup> 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 ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ارتفاع ۱۱۵۰ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلینت 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

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

به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۹

## ۲.۲. اندازه‌گیری فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل در اواخر گل‌دهی و بعد از اعمال تنش آبی از جوان‌ترین برگ سبز (برگ پرچم) ۰/۵ گرم از نمونه‌تر برگ سبز و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد که به تدریج اضافه می‌شد، در داخل یک هاون چینی به خوبی ساییده شدند. سپس عصاره حاصل در تاریکی و در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگه‌داری شد و مواد جامد به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با ۶۰۰۰ 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 ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت گردید و سپس میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از روابط (۴) تا (۷) محاسبه شد (Arnon, 1967).

Chlorophyll *a* = (رابطه ۴)  
 $(19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V / 100W$

Chlorophyll *b* = (رابطه ۵)  
 $(19.3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663}) V / 100W$

Total chlorophyll = (رابطه ۶)  
 Chlorophyll *a* + Chlorophyll *b*

Carotenoid = (رابطه ۷)  
 $(100 \times A_{470}) - (3.27 \times \text{mg chl. a}) - (104 \text{ mg chl. b}) / 227$

## ۳.۲. اندازه‌گیری پروتئین دانه

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

Protein(%) = grain nitrogen (%) × 6.2 (رابطه ۸)

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 (ET<sub>c</sub>) در مراحل مختلف رشد گندم با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

(رابطه ۲)  $ET_c = K_c \cdot ET_0$

که در آن ET<sub>c</sub>: تبخیر- تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، ET<sub>0</sub>: تبخیر- تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K<sub>c</sub>: ضریب گیاهی است. تبخیر- تعرق گیاه مرجع ET<sub>0</sub> 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:

(رابطه ۳)  $IR = ET_c (Ea \times LR)$

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 ۲/۴ میلی‌متر و در اردیبهشت‌ماه که زمان برداشت بود ۱/۷ میلی‌متر بود که قابل چشم‌پوشی می‌باشد. هم‌چنین کل میزان بارندگی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در منطقه داراب ۹۶۲ میلی‌متر بود. در مجموع 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 ۴۸۹۱ مترمکعب در هکتار بود.

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

و ضریب همبستگی از نرم افزار SPSS صورت گرفت. هم چنین مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شده است.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. محتوای کلروفیل کل

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس کلروفیل کل نشان داد که برهم کنش سیلیکون و تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل کل با ۱۳/۰۶ میلی گرم بر گرم وزن تر در شرایط تنش خشکی و کاربرد برگی ۳ میلی مولار سیلیکون و کمترین میزان این صفت با ۷/۵۰ میلی گرم بر گرم وزن تر در شرایط عدم مصرف سیلیکون به دست آمد (جدول ۳). غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت مبدأ شناخته می شود، 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 می تواند به عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه ای در فتوسنتز به حساب می آید (Ghosh et al., 2004). با افزایش تنش آبی، میزان کلروفیل برگ گندم کاهش پیدا می کند (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 می یابد (Manivaannan et al., 2007).

#### ۲.۴. اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)

به منظور اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) پس از آن که برگ های تازه پرچم در اواخر گل دهی و بعد از اعمال تنش آبی وزن شدند، در دمای ثابت ۳۰ درجه سانتی گراد و زیر نور چراغ با شدت روشنایی ۶۰۰ تا ۷۰۰ لوکس در داخل آب قرار داده شدند تا برگ ها به اندازه نیاز آب جذب نمایند و پس از ۴ تا ۶ ساعت به حالت آماس درآیند. آنگاه برگ های آماس شده را برداشته و با کاغذ صافی خشک نموده و وزن آماس شده برگ ها اندازه گیری شد. سپس برگ ها در دمای ۷۰ درجه در آون به مدت ۴۸ ساعت خشک و توزین شدند. آنگاه محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۹) محاسبه شد (Alizadeh, 1999):

$$RWC = \text{(رابطه ۹)}$$

$$(FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

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

برداشت در تاریخ ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷، از دو ردیف وسط هر کرت که به صورت دست نخورده باقی مانده بودند، صورت گرفت. برداشت کرت های آزمایشی به صورت دستی از سطح خاک با داس و در سطح یک متر مربع انجام شد و بوته های برداشت شده از هر کرت به آزمایشگاه منتقل شدند. به منظور تعیین عملکرد دانه نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و دمای ۷۲ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. هم چنین پس از جداسازی دانه ها و اندازه گیری اجزای عملکرد، وزن دانه ها با ترازو توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SAS

جدول ۱. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری

اسیدیت خاک	پتاسیم	فسفر	کربن آلی	نیترژن کل	شن	سیلت	رس	هدایت الکتریکی
(ds.m <sup>-1</sup> )	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ds.m <sup>-1</sup> )
۷/۸۵	۱۲۰	۶۵	۰/۷	۰/۱۶	۴۱/۰۸	۴۰/۱۶	۱۸/۷۶	۱/۱۵

کاروتنوئید با  $6/10$  میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط تنش آبی و محلول‌پاشی  $3$  میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با  $3/36$  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 کاهش یافته و نمی‌تواند نقش حفاظتی خود را انجام دهد (Wang et al., 2010). کاروتنوئید نقش کلیدی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه دارند اما این رنگدانه بسیار حساس به آسیب اکسایش است و گزارش شده 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 به دلیل 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 به میزان  $44/9$  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  $22/01$  درصد در تیمار سه میلی‌مولار و کم‌ترین میزان این صفت با  $11$  درصد در  $1$  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

در شرایط اکسیداسیون و تنش‌های محیطی مانند خشکی میزان تولید رادیکال‌های فعال و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدی افزایش می‌یابد و مشخص شده 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  $25$  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  $3$  میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش خشکی کلروفیل  $42/5$  درصد افزایش داشت (جدول ۳).

### ۲.۳. 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  $3$  میلی‌مولار محتوای کاروتنوئید افزایش یافت، بیش‌ترین میزان کاروتنوئید با  $7/73$  میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی  $3$  میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با  $6/26$  میلی‌گرم در گرم وزن تر در عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد. هم‌چنین بیش‌ترین میزان

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

بافت‌های گیاهی، سیلیکون به فرم سیلیکا ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NH}_2\text{O}$ ) در آپوپلاست دیواره سلولی رسوب کرده 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 صورت گرفته مشخص شده است که برگ‌های 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).

به ارقام حساس در شرایط تنش آبی نشان داد (Siddiqui 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 محدود شدن 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

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	کلروفیل کل	کاروتنوئید	میانگین مربعات			محتوای نسبی آب برگ	پروتئین	ارتفاع گیاه	تعداد سنبله در مترمربع	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
			سیلیکون	رقم	تجزیه						
تکرار	۱۹/۳۲**	۱/۳۴**	۰/۰۳ ns	۰/۳۹*	۱۹/۰۸**	۶۷۵۹ ns	۲۵۴۶۴۵ ns	۶۵۰۷۰۰**			
رژیم آبیاری	۱۴۵/۶۰*	۷۰/۷۱**	۲/۱۶*	۵/۵۴*	۵۳۷۶/۳۳**	۱۲۰۰۰۰*	۸۳۱۶۱۷ ns	۲۶۱۷۳۰۶ ns			
خطای کرت اصلی	۴/۲۸**	۰/۲۲ ns	۰/۰۵ ns	۰/۱۴ ns	۱۲/۳۳**	۳۸۳۰ ns	۵۹۲۲۰۶	۲۸۴۴۰۰			
رقم	۵۸/۰۸**	۳/۵۵**	۰/۶۸**	۰/۷۴**	۳۲۰/۳۳**	۳۹۶۷۵*	۲۱۳۰۶۶ ns	۲۹۸۶۲۰۷ ns			
سیلیکون	۲۹/۹۹**	۹/۱۱**	۱/۸۲**	۵/۶۶**	۶۰/۱۳**	۳۴۴۹۰ ns	۳۰۹۶۳۹ ns	۲۶۶۵۴۷ ns			
رژیم آبیاری × رقم	۰/۷۵ ns	۰/۰۹ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۸ ns	۵۷۱۳۲**	۲۹۴۲۲۰ ns	۴۶۵۰۰۷ ns			
رژیم آبیاری × سیلیکون	۸/۳۶**	۰/۹۳**	۰/۵۲**	۱/۳۵**	۱۱/۰۵**	۴۰۰۰۹۸**	۵۳۰۱۰۳۶*	۲۲۲۴۷۵**			
رقم × سیلیکون	۰/۳۲ ns	۰/۰۳ ns	۰/۱۵ ns	۰/۱۰ ns	۷/۵۰*	۸۵۶۰۱**	۴۵۶۲۷۵ ns	۳۹۸۷۵ ns			
رژیم آبیاری × رقم × سیلیکون	۰/۵۱ ns	۰/۱۵ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۱ ns	۱/۲۵ ns	۵۹۳۱۰**	۳۲۹۷۵ ns	۱۲۲۷۵ ns			
خطای کرت فرعی	۰/۵۱	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۱۱	۱/۷۳	۳۶۴۴/۱۴	۱۶۶۱۹۵۰	۷۳۵۲۱			
ضریب تغییرات	۶/۲۸	۶/۹۷	۱۷/۵۰	۱۲/۴۳	۱/۹۷	۸/۷۳	۹/۴۸	۳/۸۶			

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

به زراعی کشاورزی

دوره ۲۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۹

جدول ۳. برهم کنش 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 (%)	محتوای نسبی آب پروتئین دانه (%)	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد بیولوژیک (kg.ha)	عملکرد دانه (kg.ha)
صفر میلی مولار		۱۲/۱۰b	۶/۲۶c	۱۹a-c	۱۷/۳۵b	۷۵/۶۶b	۱۳۴۹۱b-d	۷۴۹۰bc
یک میلی مولار	آبیاری	۱۳/۰۶ab	۶/۹۳b	۱۸bc	۱۸/۰۴b	۷۶/۶۶b	۱۳۱۹۱cd	۷۵۱۰bc
دو میلی مولار		۱۳/۲۶a	۷/۱۶ab	۱۸/۱bc	۱۸/۱۷b	۷۸/۳۳a	۱۳۶۰۸bc	۷۷۹۰b
سه میلی مولار		۱۴/۰۶a	۷/۷۳a	۲۳/۶a	۲۲/۶۵a	۷۸/۸۳a	۱۵۵۷۱ab	۸۲۳۰a
صفر میلی مولار		۷/۵۰d	۳/۳۶e	۱۱d	۹/۳۹c	۵۳/۱۶e	۱۱۴۵۸d	۵۷۰۰e
یک میلی مولار	تنش آبی	۸/۸۰c	۴/۲۵d	۱۰/۴d	۱۰/۴۰c	۵۵d	۱۳۱۱۶cd	۶۰۰۰de
دو میلی مولار		۹/۲۰c	۴/۶۶d	۱۶/۳c	۱۶/۳۵b	۵۶/۱۶d	۱۱۷۹۱d	۶۲۵۰d
سه میلی مولار		۱۳/۰۶ab	۶/۱۰c	۲۲/۰۱ab	۲۳/۰۸a	۶۰/۵c	۱۶۳۳۳a	۷۱۰۰c

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

### ۳.۴. 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 ۲۲/۶۵ درصد در شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی سه میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ۱۷/۳۵ 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 از آنجایی‌که 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<sub>2</sub> 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. از آنجاکه تنش اکسیداتیو 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).



### ۳.۵. ارتفاع بوته

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثرات اصلی رقم و سیلیکون و اثر تنش آبی در سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد و برهم کنش رقم در سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد روی ارتفاع بوته معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان ارتفاع با مقدار ۶۰/۵ سانتی متر در محلول پاشی سه میلی مولار سیلیکون و کمترین میزان این صفت با مقدار ۵۳/۱۶ سانتی متر در شرایط عدم مصرف سیلیکون در تنش آبی به دست آمد (جدول ۳). رقم چمران در تیمار سه میلی مولار سیلیکون با مقدار ۷۱/۳۳ سانتی متر نسبت به رقم چمران تحت تیمار عدم مصرف سیلیکون با مقدار ۶۸ سانتی متر اختلاف ۴/۶ درصدی با هم داشتند (شکل ۱). کاهش ارتفاع در اثر تنش آبی احتمالاً با کاهش فتوسنتز به دلیل 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. برهم کنش رقم و سیلیکون بر ارتفاع بوته گندم (میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار نمی‌باشد).

پژوهش‌گران 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 میلی مولار سیلیکون باعث افزایش ۱۲/۱ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون شد (جدول ۳).

### ۳.۶. تعداد سنبله در مترمربع

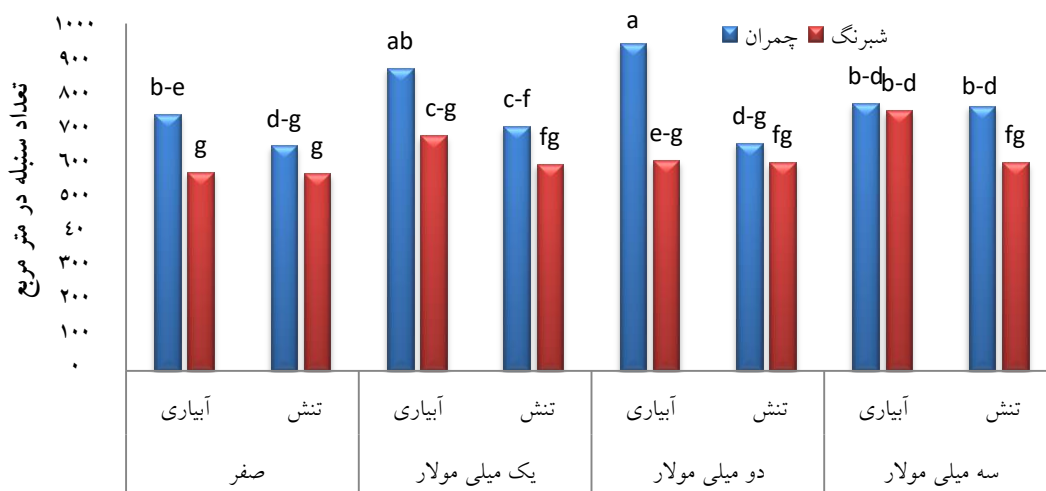
نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که تعداد سنبله تحت اثر سه‌گانه رژیم آبیاری در رقم در سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان تعداد سنبله در مترمربع با مقدار ۷۶۲ در تیمار سه میلی مولار سیلیکون در رقم چمران و کمترین میزان این صفت با ۵۶۹ سنبله در مترمربع در رقم شبرنگ و تیمار عدم مصرف سیلیکون به دست 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

شرایط آب و هوایی، خاک و گیاه قرار می‌گیرد (Emam & Niknejad, 2011). خشکی با اثرات متفاوتی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر گیاه دارد مانند بسته شدن 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 در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و اثر بر فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوط از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه به عنوان جزئی از عملکرد بیولوژیک می‌شود (Farrokhanian et al., 2011). یافته‌های پژوهش حاضر به گونه‌ای است که در شرایط تنش آبی، محلول پاشی ۳ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۲۹/۸ درصدی بر عملکرد بیولوژیک نسبت به عدم مصرف سیلیکون شد (جدول ۳).

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

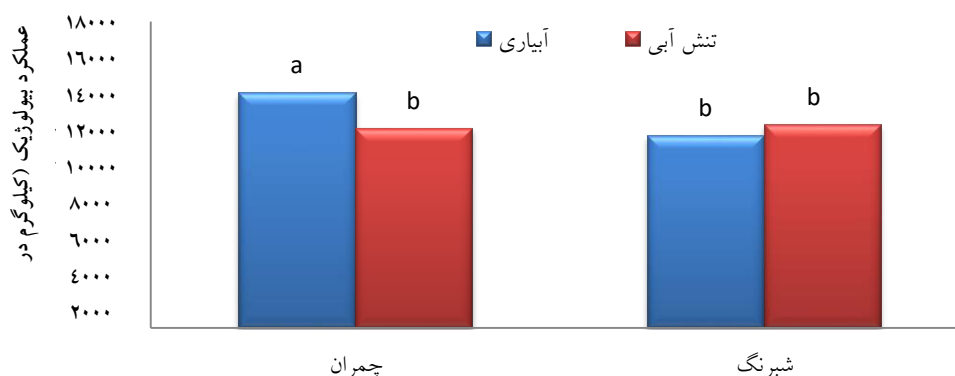
### ۷.۳. عملکرد بیولوژیک

نتایج به دست آمده 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 به خود 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



شکل ۲. برهم کنش رژیم آبیاری و سیلیکون بر تعداد سنبله در مترمربع در ارقام گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشند).

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



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

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

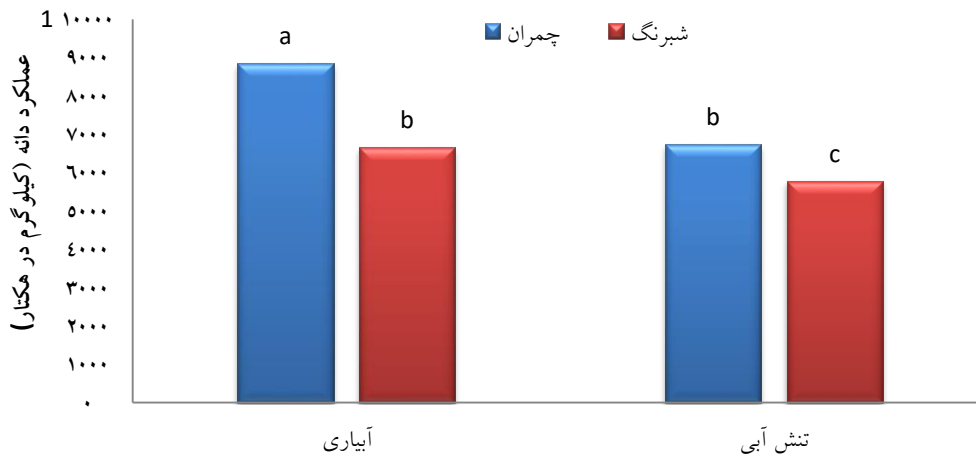
### ۳.۸. عملکرد دانه

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 ۴). 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

فتوستز 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 ۱۶/۱۱ 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 ۴).



شکل ۴. برهم کنش رژیم آبیاری و رقم بر عملکرد دانه ارقام گندم

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

همچنین در شرایط تنش آبی نشان داد عملکرد دانه 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 ۴).

#### ۴ 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 و محتوای نسبی آب برگ می‌باشد به‌گونه‌ای که محتوای کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی ۲۶/۵ درصد کاهش داشت که با افزودن کاربرد برگی سیلیکون در سطح سه میلی‌مولار ۴۲/۵ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون مشاهده شد.

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 (جدول ۴). 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 ( $r=0/815^{**}$ ) و تعداد سنبله در مترمربع ( $r=0/814^{**}$ ) و در شرایط تنش آبی پس از گل‌دهی با تعداد سنبله در مترمربع ( $r=0/937^{**}$ ) و کلروفیل کل ( $r=0/840^{**}$ ) دیده شد (جدول ۴). (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

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

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم (بالای قطر در شرایط آبیاری و پایین قطر در شرایط تنش آبی)

صفت	کلروفیل کل	محتوای کاروتنوئید	محتوای نسبی آب برگ	پروتئین دانه	ارتفاع	تعداد سنبله	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
	(mg/g fresh weight)	(mg/g fresh weight)	(%)	(%)	(cm)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
کلروفیل کل	(mg/g fresh weight)	۰/۸۷۳**	۰/۷۶۲**	۰/۸۳۷**	۰/۸۷۵*	-۰/۴۸۹*	۰/۶۶۷**	۰/۸۴۰**
محتوای کاروتنوئید	(mg/g fresh weight)	۰/۷۱۷**	۰/۷۴۲**	۰/۸۴۶**	۰/۷۹۲*	-۰/۴۷۶*	۰/۷۰۳**	۰/۸۱۴**
محتوای نسبی آب برگ	(%)	۰/۳۵۵	۰/۴۹۲*	۰/۹۴۰**	۰/۶۹۲**	-۰/۳۸۴	۰/۵۲۰**	۰/۶۹۰**
پروتئین دانه	(%)	۰/۵۵۲**	**۰/۷۴۵	۰/۸۲۶**	۰/۷۱۴**	-۰/۳۸۷	۰/۶۲۰**	۰/۷۱۵**
ارتفاع	(cm)	۰/۶۷۹**	۰/۵۵۶**	۰/۵۳۸**	۰/۵۱۱*	-۰/۵۱۱*	۰/۵۶۷**	۰/۹۳۷**
تعداد سنبله		۰/۰۶۷	۰/۲۵۲	۰/۰۷۶	۰/۲۵۶	-۰/۱۰۵	۰/۵۵۳**	۰/۵۵۳**
عملکرد بیولوژیک	(kg/ha)	۰/۶۵۵**	۰/۵۸۵**	۰/۶۷۱**	۰/۵۸۴**	۰/۱۹۲	۰/۵۶۷**	۰/۵۴۵**
عملکرد دانه	(kg/ha)	۰/۸۱۵**	۰/۶۲۵**	۰/۴۹۱*	۰/۴۸۸*	۰/۰۷۱*	۰/۸۱۰**	۰/۸۱۰**

ns, \* و \*\*: نبود اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح ۵ و ۱ درصد.

به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد در تنش آبی استفاده از سیلیکون می تواند آثار کمبود آب را کاهش دهد. با توجه به این که اثر مثبت سیلیکون تا غلظت سه میلی مولار افزایشی بود، بنابراین لازم است حتماً غلظت های بیش تر از سه میلی مولار نیز بررسی شود تا مشخص شود در چه غلظتی اثر سوء و منفی در گیاه ایجاد می شود.

#### ۵. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۶. 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](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04108-7).

همچنین محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی ۲۱/۶ درصد کاهش داشت که با افزودن سیلیکون در شرایط تنش خشکی در سطح سه میلی مولار محتوای نسبی آب برگ ۵۴/۸ 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 ۶۲۲۰ کیلوگرم در هکتار داشت که نشان دهنده برتری و مناسب بودن این رقم در منطقه داراب بود. در شرایط تنش خشکی مصرف سه میلی مولار سیلیکون بیش ترین میزان عملکرد را در رقم چمران با مقدار ۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون تولید کرد. همه صفات مورد مطالعه تحت تأثیر مثبت سیلیکون قرار گرفتند، به طوری که 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 محلول پاشی سیلیکون افزایش یافت. محلول پاشی با سیلیکون با غلظت سه میلی مولار تأثیر بیشتری بر رشد و عملکرد ارقام گندم داشت. از طرفی پاسخ ارقام به سیلیکون متفاوت بوده به طوری که رقم چمران واکنش بیوشیمیایی بیشتری به محلول پاشی سیلیکون در مقایسه با شبرنگ نشان داد.

- 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](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. & Triboni, 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](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. *Acta 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.
- Farrokhanian, 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)
- Ghods, M. M., Chaichi, M., Jalal Kamali, R. & Mazaheri, D. (2004). Determine susceptibility 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). Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer NPK on three cropping system in vertisols 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.,

- 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., (ed), 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 RLakshmana, G.M.A. & Panneerselvam, R. (2007). Growth biochemical modification and proline metabolism in *Helianthus annuus* 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*, 11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> March, 117-119.
- Mussa, H. R. (2006). Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt stressed maize (*Zea mays* 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