نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۹
۵۵-۷۱
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2020.16384.2491

تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون بر انتقال مجدد مواد پرورده و عملکرد دو رقم گندم نان و ماکارونی در شرایط تنش آبی آخر فصل

سودابه رضابیگی[۱]، *احسان بیژن‌زاده[۲] و علی بهپوری[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران،
[۲]دانشیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران،
[۳]استادیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱٤؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰٤/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: گندم از لحاظ سطح زیر کشت و محصول تولیدی در جهان، رتبه اول را در بین غلات به خود اختصاص داده است و یکی از گیاهان عمده مورد کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. حساسیت گندم به کم‌آبی در همه مراحل یکسان نیست؛ مرحله رشد زایشی نسبت به کم‌آبی بسیار حساس است که کاربرد سیلیکون می تواند تا حدی مقاومت گیاه به کمبود آب در این مرحله را افزایش دهد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر میزان انتقال مجدد مواد پرورده و عملکرد دانه گندم در شرایط تنش آبی آخر فصل رشد انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر سیلیکون بر انتقال مجدد و عملکرد دو رقم گندم نان و ماکارونی تحت شرایط تنش آبی پایان فصل، پژوهشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ به اجرا درآمد. سطوح آزمایش شامل تنش آبی در دو سطح آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از اواخر گل‌دهی، محلول‌پاشی سیلیکون در سطوح صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و ارقام شامل گندم نان (چمران) و ماکارونی (شبرنگ) بودند. در این پژوهش انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده و کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثرات اصلی تنش آبی پایان فصل، ارقام و سیلیکون بر محتوای انتقال مجدد مواد پرورده، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه معنی‌دار بود. کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده و مشارکت مواد پرورده و میزان انتقال مجدد مواد پرورده در شرایط تنش آبی و مصرف ۳ میلی‌مولار سیلیکون به‌ترتیب ۱۲/۷، ۲۵/۳ و ۱٦ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون افزایش داشتند. هم‌چنین تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه در شرایط تنش آبی و ۳ میلی‌مولار سیلیکون به‌ترتیب ٤۳ و ۱۳ درصد افزایش نشان دادند. در شرایط آبیاری مطلوب، عملکرد دانه با وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت ($r=۰/٥٤٥^{**}$). در شرایط تنش آبی عملکرد دانه با وزن هزاردانه ($r=۰/٥۲۰^{**}$)، شاخص برداشت ($r=۰/٤۰٤^{*}$)، عملکرد زیست‌توده ($r=۰/۸۱۰^{**}$) و مشارکت مواد پرورده ($r=۰/٤٥۹^{*}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد.

* مسئول مکاتبه: bijanzd@shirazu.ac.ir

نتیجه‌گیری: در رقم چمران کاربرد برگی سیلیکون به‌میزان ۳ میلی‌مولار باعث افزایش انتقال مجدد مواد پرورده و کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده به‌ترتیب به‌میزان ٦٧/٢ و ٣٨/٧ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون شد که در نهایت منجر به افزایش ١٩/٧ درصدی عملکرد دانه در رقم چمران نسبت به رقم شبرنگ در شرایط تنش آبی گردید. بنابراین کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون می‌تواند راهکاری مناسب در بهبود و افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش آبی آخر فصل در مناطق نیمه‌خشک باشد.

واژه‌های کلیدی: رقم چمران، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده، وزن هزاردانه

مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی روی زمین و به‌عنوان منبع عمده تأمین کالری و پروتئین موردنیاز جمعیت کشور است؛ به‌طوری‌که نیمی از پروتئین و ٦٥ درصد کالری دریافتی روزانه هر فرد را تشکیل می‌دهد (٢٠). علاوه بر این، تأمین انرژی موردنیاز روزانه، قسمت اعظم پروتئین، املاح و ویتامین‌های گروه B را نیز تأمین می‌کند. این گیاه دارای گونه‌های متعددی است ولی بیش‌ترین سطح زیر کشت ۹۰ درصد و بیش‌ترین میزان تولید ٩٤ درصد مربوط به گونه گندم نان (*Triticum aestivum* L.) می‌باشد (٢٠). خشکی از جمله تنش‌های محیطی است که در بیش‌تر نقاط جهان و ایران وجود دارد (٣). بلوم (١٩٩٦) بیان نموده که خشکی یک تنش چندبعدی است که گیاهان را در سطوح مختلف سازمانی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (٩). حساسیت گندم به کم‌آبی در همه مراحل یکسان نیست و مراحل رشد طولی ساقه، غلاف رفتن و گلدهی نسبت به کم‌آبی بسیار حساس‌اند (١٢). گودینگ و همکاران (٢٠٠٣)، گزارش کردند تنش کمبود آب با کوتاه کردن دوره پرشدن دانه، باعث کاهش عملکرد دانه، وزن هزاردانه و وزن هکتولیتری می‌گردد (٢٩). امروزه روش‌های متفاوتی جهت مقابله با اثرات تنش کمبود آب مدنظر قرار گرفته است (٤١). محلول‌پاشی درواقع اسپری کردن عناصر غذایی بر برگ‌ها و ساقه‌های گیاه و جذب آن از این مکان‌ها است (١٣). سیلیکون جزء یکی از عناصر فراوان موجود در خاک است. به‌دلیل این‌که در دسته عناصر ضروری برای رشد گیاهان قرار نگرفته توجه زیادی به نقش زیستی آن در گیاه نشده است. اخیراً در پژوهش‌های صورت‌گرفته به اثرات مفید و حاصلخیزی آن در چندین گونه گیاهی اشاره شده است. به‌ویژه در زمان بروز تنش‌های محیطی با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و بالا بردن محتوای اسمولیت نقش مهمی را در ایجاد مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاهان ایفا می‌کند (٤). علی‌رغم فراوان بودن این ماده در سطح کره زمین، به‌دلیل همراه بودن آن با سایر عناصر از دسترس گیاه خارج است؛ بنابراین می‌توان با افزودن کودهای حاوی سیلیکون که حاوی فرم قابل‌دسترس آن به‌صورت $Si_2(OH)$ می‌باشد گیاه را در برابر تنش‌های محیطی مقاوم نمود (٢٢). به‌طورکلی، سه منبع اصلی در طول دوره پر شدن دانه گندم برای تجمع مواد معدنی (کربنی، نیتروژن و غیره) در دانه ذکر شده است که ازجمله آن می‌توان به فتوسنتز جاری اندام‌های مختلف، انتقال مجدد مواد پرورده در اندام‌های رویشی قبل از مرحله گرده‌افشانی و انتقال مجدد بخش ناچیزی از مواد معدنی ذخیره‌شده پس از مرحله گرده‌افشانی اشاره کرد (٨). فتحی (٢٠٠٦)، گزارش نمود که عملکرد دانه و پروتئین در گندم به‌وسیله کارآیی گیاه در تخصیص ماده خشک و نیتروژن به دانه تعیین می‌شود.

به‌عبارت‌دیگر در غلات پس از مرحله گرده‌افشانی، دانه‌ها مقصد بسیار فعالی برای جذب کربن و نیتروژن می‌باشند (۲۶). محدودیت منابع آب در کشور به‌خصوص در جنوب ایران سبب شد تا در پژوهش حاضر تأثیر کاربرد برگی سیلیکون را بر انتقال مجدد مواد پرورده و عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم نان و گندم ماکارونی در شرایط تنش آبی آخر فصل مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب واقع در هفت کیلومتری شهرستان داراب با طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ارتفاع ۱۱۸۰ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. پیش از اجرای آزمایش و برای اطلاع از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، نسبت به نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر اقدام شد (جدول ۱). فاکتورهای آزمایش شامل رژیم آبیاری در دو سطح، آبیاری مطلوب به‌عنوان شاهد و تنش آبی به‌صورت قطع آبیاری از اواخر مرحله گل‌دهی (کد ٦٩، ZGS) تا رسیدن فیزیولوژیک و فاکتور دوم رقم گندم شامل ارقام گندم نان رقم چمران و گندم ماکارونی رقم شبرنگ و فاکتور سوم کاربرد برگی سیلیکون در مرحله اواسط گل‌دهی (کد ٦٥، ZGS) (٤٩) در چهار سطح صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار سیلیکون در نظر گرفته شد. 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 با فواصل ۲۰ سانتی‌متری و در عمق یک سانتی‌متری خاک به‌صورت دستی در تاریخ ۱۸ آذرماه ۱۳۹٦ کشت شدند. میزان آب موردنیاز برای هر کرت بر اساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲٤/٥ درصد 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 منطقه توسعه ریشه نمونه‌برداری کرده و مقدار رطوبت آن به روش وزنی اندازه‌گیری شد. این عمل آن‌قدر ادامه داده شد تا سرانجام مقدار رطوبت در دو اندازه‌گیری پشت سر هم تقریباً باهم برابر شدند که این مقدار رطوبت برابر با رطوبت ظرفیت زراعی می‌باشد (۱ و ۱۵).

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 (۱۵). مراحل محاسبه نیاز آبی به‌طور خلاصه به‌شرح ذیل می‌باشد:

۱- تبخیر- تعرق گیاه (ETc) در مراحل مختلف رشد گندم با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \qquad (1)$$

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 زیر محاسبه شد.

$$IR = ET_c (Ea \times LR) \quad (۲)$$

که در آن، IR میزان آب آبیاری، Ea کارایی مصرف آب، LR میزان آبشویی.

قبل از هر آبیاری وضعیت رطوبتی خاک به‌وسیله مته نمونه‌برداری پایش و آبیاری بر اساس رسیدن رطوبت خاک هر کرت به ظرفیت مزرعه انجام گردید. 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. در مجموع میزان آب مصرفی 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 ٤٨٩١ مترمکعب در هکتار بود.

برای تعیین انتقال مجدد مواد پرورده به دانه در دو مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک تعداد ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت آزمایش کف بر شده و سپس در آون به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از رسیدگی محصول از نمونه‌های برداشت‌شده وزن کل بوته، وزن کل سنبله، وزن دانه در سنبله و تعداد دانه در سنبله با استفاده از ترازوی حساس و بذر شمار اندازه‌گیری شد. میزان، کارآیی و در نهایت سهم انتقال مجدد با استفاده از روش‌های پیشنهادی کاکس و همکاران (۲۰۰٦) و پاپاکوستا و گیاناس (۱۹۹۱) محاسبه شد (۱۵ و ۳۸).

= (گرم بر مترمربع) انتقال مجدد مواد پرورده
ماده خشک برگ و ساقه و کاه در هنگام رسیدگی- ماده خشک گیاه در هنگام گل‌دهی (۳)

= (درصد) مشارکت مواد پرورده
(عملکرد دانه در هنگام رسیدگی/ ماده خشک گیاه در هنگام گل‌دهی) × ۱۰۰ (٤)

= (درصد) کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده
(مقدار ماده خشک کل گیاه در هنگام گل‌دهی/ انتقال مجدد مواد پرورده) ×۱۰۰ (۵)

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

Table 1. Physical and chemical properties of the soil used in the test at a depth of 30 cm.

واکنش خاک pH	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل N (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
7.85	120	65	0.7	0.16	41.08	40.16	18.76	1.15

برداشت در تاریخ ۲۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷ هنگامی‌که کل بوته‌های مزرعه زرد شدند، 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، بوته‌های موجود در مساحت یک مترمربع از وسط هر کرت برداشت شدند و به‌مدت ٤٨ ساعت در آون و دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. هم‌چنین پس از جداسازی دانه‌ها و اندازه‌گیری اجزای عملکرد، وزن دانه‌ها با ترازو و توزین و عملکرد دانه بر حسب

کیلوگرم در هکتار تعیین شد. برای تجزیه واریانس داده‌ها و ضرایب همبستگی از نرم‌افزار SAS استفاده شد. هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد محاسبه شدند.

نتایج و بحث

میزان انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده: نتایج تجزیه واریانس میزان انتقال مجدد داده‌ها نشان داد که اثر ساده سیلیکون و اثرات متقابل تنش در سیلیکون، رقم در سیلیکون و تنش در رقم در سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان انتقال مجدد با ۸٦/۳۳ گرم بر مترمربع در شرایط تنش آبی در رقم شبرنگ با کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ۲۸/۳۳ گرم بر مترمربع در شرایط عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌های مشارکت مواد پرورده نشان داد که اثر ساده تنش و سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل تنش در رقم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان مشارکت مواد پرورده با مقدار ۱۰۱/۹۱ درصد در شرایط آبیاری مطلوب در رقم چمران و کم‌ترین میزان این صفت با ۷۸/۳۳ درصد در شرایط تنش آبی مشاهده شد (شکل ۱). هم‌چنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سیلیکون و اثر متقابل تنش در سیلیکون و رقم در سیلیکون و اثر سه‌گانه رقم در تنش در سیلیکون بر کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کارآیی با مقدار ۱۵/۱۳ درصد در تنش آبی رقم چمران با کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ۹/۲۸ درصد در شرایط عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۳). بوداکی و همکاران (۲۰۰۷) ضمن اشاره به وجود تفاوت‌های معنی‌دار ازنظر کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده در بین ارقام جو بیان کردند که ارقام دارای میزان انتقال مجدد مواد پرورده بالاتر از کارآیی بالاتری نیز برخورد دارند (۱۱). برای اساس نتایج احمدی و همکاران (۲۰۰٤) کارآیی ساقه در انتقال ذخایر در شرایط تنش آبی در حدود ۳۳ درصد بود (۲). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، یانگ و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که پیری زودرس می‌تواند باعث افزایش انتقال مجدد مواد پرورده از ساقه شود (۵۲). اهدایی و وینز (۱۹۹٦)، پلات و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که تنش آبی میزان انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها را کاهش می‌دهد آن‌ها دلیل این امر را به احتمال زیاد مشارکت ذخایر ساقه در تنظیم اسمزی می‌دانند چون افزایش در محتوای قندهای محلول ازجمله واکنش‌هایی است که گیاهان مختلف ازجمله گندم برای کاهش پتانسیل اسمزی خود و در نتیجه افزایش جذب آب و مقابله با تنش آبی از خود بروز می‌دهند (۱۹ و ٤۰). عزت‌احمدی و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که با اعمال تنش آبی، بازدهی انتقال مجدد ماده پرورده و درصد انتقال مجدد ماده پرورده به‌ترتیب حدود ۱۸ و ۵۰/٦ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش یافت (۲۳). بلوم و همکاران (۱۹۹۸) با پژوهش روی ارقام مختلف جو و گندم اعلام کردند هنگامی‌که ظرفیت فتوسنتزی گیاهی توسط تنش آبی یا گرمای بعد از گرده‌افشانی کاهش می‌یابد، پرشدن دانه به‌طور قابل‌توجهی وابسته به انتقال مجدد ذخایر ساقه است (۷). آن‌ها در چنین شرایطی میزان مشارکت ذخایر ساقه را در شکل‌گیری

عملکرد دانه حدود ۲۲ تا ٦٦ درصد وزن خشک دانه گزارش کردند. طوسی مجرد و قنادها (۲۰۰۷) در آزمایشی وقوع تنش آبی را در ۸ رقم گندم بررسی کردند و بیان نمودند که به‌طورکلی مجموع سهم ماده پرورده انتقال‌یافته از میانگره پدانکل و بقیه میانگره‌ها در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط عدم تنش افزایش یافت که دلیل آن برخورد دوره پرشدن دانه با تنش آبی پایان فصل بوده است (٤۹). رضایی مرادعلی و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که تشدید تنش رطوبتی سهم انتقال مجدد در پرشدن دانه را تا ۲۳ درصد افزایش داد (٤۲). مطابق با نتایج این پژوهش اهدایی و همکاران (۲۰۰٦) و ما و همکاران (۲۰۱۳) روی گندم و مادح خاکسار و همکاران (۲۰۱۵) روی ذرت دانه‌های بیان کردند که تنش آبی باعث افزایش کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده ذخایر از ساقه به دانه شد (۱۸، ۳۳ و ۳۵). به‌طورکلی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد میزان انتقال مجدد مواد پرورده و کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده در شرایط تنش آبی و کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون در رقم چمران به‌ترتیب ٦۷/۲ و ۳۸/٦ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون افزایش داشت.

تعداد دانه در سنبله: نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه تحت اثر ساده تنش در سطح احتمال ۵ درصد و اثر ساده سیلیکون، تنش در سیلیکون، رقم در سیلیکون و اثر سه‌گانه تنش در رقم در سیلیکون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان تعداد دانه در سنبله با مقدار ٤۹/۹۸ دانه در شرایط تنش آبی با کاربرد برگی ۲ میلی‌مولار سیلیکون در رقم شبرنگ و کم‌ترین میزان این صفت با ۳۵ دانه در شرایط عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۳). مرحله گل‌دهی در گندم از مراحل حساس زندگی گیاه بوده به‌نحوی‌که کمبود آب می‌تواند موجب عدم تلقیح و ناباروری گلچه‌ها در سنبله گردد. هم‌چنین، تعدادی از تخمک‌های تلقیح‌شده در اثر تنش آبی سقط می‌شوند و در نهایت تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد. اعمال تنش در مرحله گرده‌افشانی باعث عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها می‌گردد که این موضوع می‌تواند دلیلی برای کاهش تعداد دانه در سنبله باشد (٤۱). پاک‌نژاد و همکاران (۲۰۰۷) اعلام نمودند تعداد دانه در گندم، تحت‌تأثیر تنش آبی کاهش پیدا می‌کند (۳۹). فلاح و همکاران (۲۰۰٤) بیان نمودند، سیلیکون از طریق کاهش اثرات تنش آبی تعداد سنبلچه در سنبله را بهبود داده و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در سنبلچه و تعداد سنبلچه در هر سنبله دارد بنابراین هر عاملی که سبب افزایش تعداد دانه در سنبلچه و تعداد سنبلچه در سنبله شود تعداد دانه در سنبله را نیز افزایش می‌دهد (۲٤). در این پژوهش در شرایط تنش آبی، کاربرد برگی ۲ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۳۰ درصدی تعداد دانه در سنبله نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون شد (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش آبی، سیلیکون و رقم بر انتقال مجدد مواد پرورده و عملکرد و اجزای عملکرد گندم.

Table 2. Results of analysis of variance of water stress, silicon and cultivar effects on assimilate remobilization, yield and yield components of wheat.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS							
		میزان انتقال مجدد مواد پرورده Assimilate remobilization (gr/m^2)	مشارکت مواد پرورده Remobilization contribution (%)	کارآیی انتقال مجدد Remobilization efficiency (%)	تعداد دانه در سنبله (Grain number/spike)	وزن هزاردانه 1000-grain weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)
تکرار Replication	2	104.64^{ns}	1166**	0.32^{ns}	57.63^{ns}	4.69^{ns}	2546456^{ns}	14.48^{ns}	650700^{**}
تنش S	1	17.52^{ns}	2596**	2.48^{ns}	842.67^{*}	1530.13^{*}	8316675^{ns}	594.52^{**}	26730675^{**}
خطای کرت اصلی Main Plot Error	2	36.52	514	4.13	29.49	55.72	592206	1.68	284400
رقم C	1	15.18^{ns}	567^{ns}	5.13^{ns}	36.21^{ns}	67.12^{ns}	21306675^{**}	381.47^{**}	29862075^{**}
سیلیکون Si	3	859**	2804**	65.08**	575.55^{**}	131.30^{*}	30963925^{**}	99.64^{*}	2665475^{**}
تنش×رقم Si×C	1	0.18^{ns}	945*	2.23^{ns}	23.25^{ns}	0.07^{ns}	29422008^{**}	42.26^{ns}	4650075^{**}
تنش×سیلیکون S×Si	3	510**	355^{ns}	46.45**	529.32^{**}	93.34^{ns}	5301036^{*}	30.59^{ns}	222475^{*}
رقم×سیلیکون Si×C	3	2423**	152^{ns}	26.73**	297.46^{**}	22.31^{ns}	4562758^{ns}	25.25^{ns}	39875^{ns}
تنش×رقم×سیلیکون S×C×Si	3	2005**	290^{ns}	115.41**	151.58^{**}	19.32^{ns}	329758^{ns}	7.33^{ns}	12275^{ns}
خطای کرت فرعی Subplot Error	28	86.75	149.56	2.12	18.23	35.95	1661950	26.79	73521
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		18.63	14.10	15.45	12.43	16.14	9.48	9.95	3.86

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشند.

^{ns}, * and ** are Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه تنش آبی در سیلیکون در رقم بر انتقال مجدد مواد پرورده، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده و تعداد دانه در سنبله گندم نان و ماکارونی.

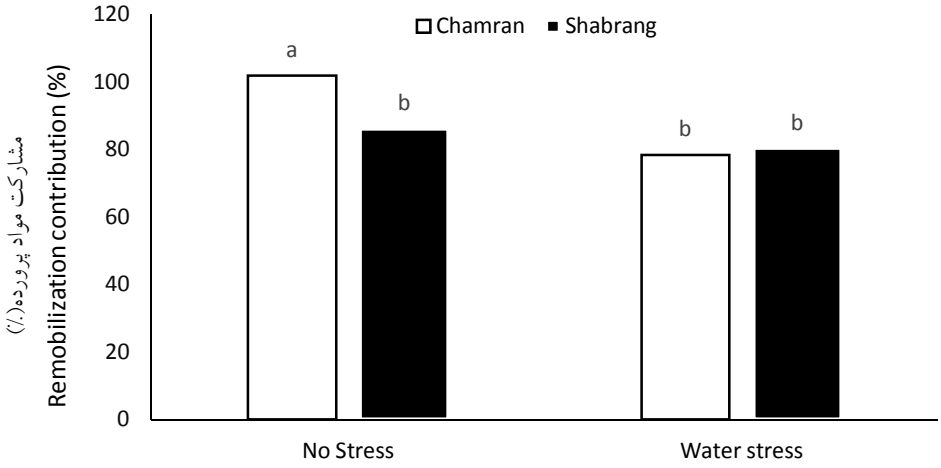
Table 3. Mean comparison of triple effects of water stress in silicon in cultivar on assimilate remobilization, remobilization efficiency and grain number per spike of bread and durum wheat.

تعداد دانه در سنبله Grain number per spike		کارآیی انتقال مجدد Remobilization efficiency (%)		میزان انتقال مجدد Assimilate remobilization (g/m^2)		سیلیکون Silicone	رژیم آبیاری Irrigation regime
ارقام Cultivars							
Shabrang	Chamran	Shabrang	Chamran	Shabrang	Chamran		
53.23^{a}	43.93^{abc}	12.82 ^{ab}	13.40 ^{ab}	29.33^{de}	47.66^{cd}	Si_0	No stress
16.97^{fg}	25.98^{ef}	6.30 $^{d-g}$	4.90 ^{efg}	54.66 ^{bc}	69.33^{ab}	Si_1	
29.97^{de}	27.65^{e}	8.90^{cd}	4.39^{fg}	46.66^{cd}	41 ^{cd}	Si_2	
14.15^{g}	29.27^{e}	7.75^{cde}	3.80^{g}	69.33^{ab}	37 ^{cde}	Si_3	
35^{cde}	39.36^{bcd}	10.20 ^{bc}	9.28^{cd}	28.33^{ed}	54 ^{bc}	Si_0	Water stress
39.55^{bcd}	28.83^{e}	3.73^{g}	13.36^{ab}	29.33^{ed}	17 ^{e}	Si_1	
49.98^{a}	40.21^{bc}	7.51^{cef}	14.30^{a}	56.33^{bc}	52 ^{bc}	Si_2	
28.87^{e}	46.39^{ab}	15.01^{a}	15.13^{a}	86.33^{a}	81.33 ^{a}	Si_3	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level using LSD test.

وزن هزاردانه: نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن هزاردانه تحت اثر سیلیکون و تنش در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد و اثرات متقابل و اثر سه‌گانه و اثر ساده رقم بر وزن هزاردانه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین وزن هزاردانه با مقدار ٤۲/۷۹ گرم در تیمار آبیاری و کم‌ترین میزان با مقدار ۳۱/۵۰ گرم در تیمار تنش آبی به‌دست آمد (جدول ٤). بیش‌ترین میزان وزن هزاردانه با ٤۰/۸٤ گرم در تیمار ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ۳۲/۸۹ گرم در تیمار عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ٤). امام و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند که تنش آبی در مرحله گلدهی موجب کاهش وزن هزاردانه شد است و بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه ناشی از وزن هزاردانه بود (۲۰). دلیل اصلی کاهش وزن هزاردانه در تنش‌های پایان فصل برخورد دوره پرشدن دانه با کمبود رطوبت است. گنگ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش دادند تحت تنش آبی سیلیکون سبب کاهش کم‌تر وزن سنبله در همه ارقام گندم شده است، آن‌ها هم‌چنین بیان نمودند سیلیکون از طریق تقویت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی سبب افزایش وزن هزاردانه می‌گردد (۲۷). که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد به‌گونه‌ای که با کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون وزن هزاردانه ۱۹/۵ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون افزایش یافت (جدول ٤).



شکل ۱- اثر متقابل تنش آبی و رقم بر مشارکت مواد پرورده ارقام گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

Fig. 1. Interaction effect of water stress and cultivar on remobilization contribution of wheat cultivars. (Means with similar letters are not significantly different based on LSD test at 1% probability levels).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده تنش و سیلیکون بر وزن هزاردانه و شاخص برداشت.

Table 4. Mean Comparison of simple effects of water stress and silicon on 1000-grain weight and harvest index.

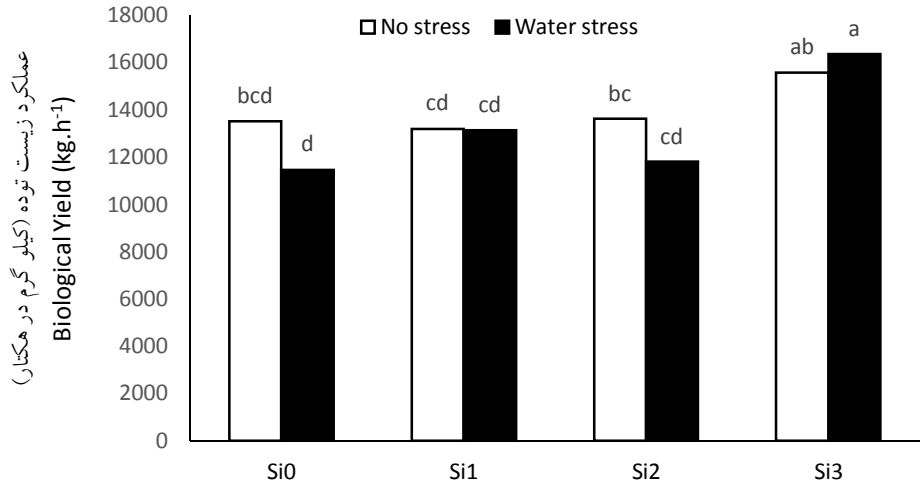
شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	وزن هزاردانه (گرم) 1000-grain weight (g)	تیمار Treatment
		رژیم آبیاری Irrigation regime
55.49^{a}	42.79^{a}	آبیاری مطلوب Normal irrigation
48.45^{b}	31.50^{b}	تنش آبی Water stress
		ارقام Cultivar
54.79^{a}	38.29^{a}	رقم چمران Chamran
49.15^{b}	35.96^{a}	رقم شبرنگ Shabrang
		سیلیکون Si
48.49^{b}	32.89^{b}	صفر میلی‌مولار 0mM Si
51.09^{ab}	36.75^{ab}	یک میلی‌مولار 1mM Si
53.04^{ab}	38.09^{ab}	دو میلی‌مولار 2mM Si
55.27^{a}	40.84^{a}	سه میلی‌مولار 3mM Si

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر یک از اثرات اصلی بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column and treatment followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level using LSD test.

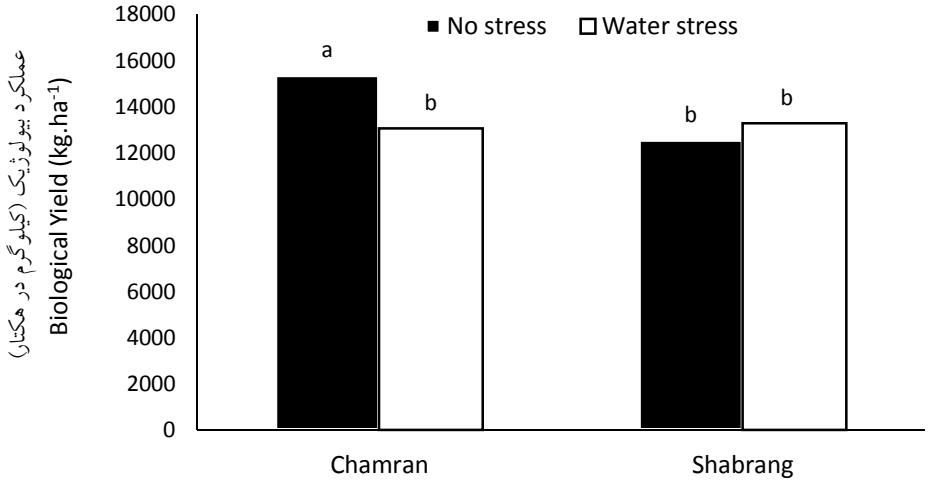
شاخص برداشت: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش آبی و رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان شاخص برداشت با مقدار ۵۵/٦٦ درصد در تیمار آبیاری و کم‌ترین میزان این صفت با ٤٨/٤٥ درصد در تیمار تنش آبی به‌دست آمد. بیش‌ترین میزان شاخص برداشت با مقدار ٥٤/٩٦ درصد در رقم چمران و کم‌ترین میزان این صفت با ٤٩/١٥ درصد در رقم شبرنگ به‌دست آمد، که به احتمال زیاد ناشی از مکانیسم مناسب جذب، تجمع و انتقال بهتر مواد هیدرات‌کربن به دانه در انتهای دوره رشد بوده است. بیش‌ترین میزان شاخص برداشت با ۵۵/۲۷ درصد مربوط به تیمار ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با ٤٨/٤٩ درصد در شرایط عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد (جدول ٤). شاخص برداشت نشان‌دهنده انتقال ماده خشک به قسمتی از گیاه است که برداشت می‌شود (۳۱). برخی پژوهشگران بر این باورند که تنش آبی به‌طور یکسانی عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و بنابراین این شاخص کم‌تر تحت‌تأثیر محیط افزایش یا کاهش می‌یابد. کاهش شاخص سطح برداشت در شرایط تنش آبی بعد از گلدهی به کاهش دسترسی به مواد پرورده جاری طی دوره پر شدن دانه نسبت داده شده است (۲۰). محمدی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند، سیلیکون به‌دلیل کاهش اثر تنش عملکرد دانه را بهبود بخشیده و سبب افزایش شاخص برداشت می‌شود (۳٦). زوکارینی (۲۰۰۸)، بیان نمود سیلیکون عملکرد دانه را بیش‌تر از عملکرد زیست توده افزایش داد و سبب بهبود شاخص برداشت شد (٥٤)؛ که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد به‌گونه‌ای که کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۱۲/۲ درصدی شاخص برداشت شد (جدول ٤).

عملکرد زیست‌توده: نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سیلیکون و رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر تنش در سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد و اثر تنش در رقم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تیمار ۳ میلی‌مولار سیلیکون تحت شرایط تنش نسبت به سایر تیمارها بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده را با مقدار ۱٦۳۳۳ کیلوگرم بر هکتار را در این صفت به خود اختصاص داد، ولی تیمار عدم مصرف سیلیکون تحت شرایط تنش با کم‌ترین عملکرد زیست‌توده با مقدار ۱۱٤٥۸ کیلوگرم بر هکتار افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۲). در رقم چمران در شرایط تنش آبی ۱۵ درصد کاهش در عملکرد زیست‌توده نسبت به شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد (شکل ۳). عملکرد زیست‌توده شامل وزن خشک تمامی بخش‌های هوایی گیاه است که تحت‌تأثیر شرایط آب و هوایی، خاک و گیاه قرار می‌گیرد (۲۰). کاهش سطح فتوسنتزکننده و هم‌چنین کاهش میزان فتوسنتز براثر تنش آبی، باعث کاهش تجمع ماده خشک می‌شود (٤۳). تنش آبی در گیاه با کاهش آب برگ و درنتیجه بسته شدن 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 زیست‌توده می‌شود (۲۵). مصطفی‌زاده‌فرد و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند با کاهش کاربرد سیلیکون در برنج تحت تنش، مقدار کاه آن افزایش یافت، هم‌چنین آن‌ها بیان نمودند سیلیکون اثرات منفی تنش در گیاهان را کاهش داده و باعث افزایش سطح برگ که به تبع آن باعث افزایش فتوسنتز در گیاه شده و باعث رشد رویشی و اندام‌های هوایی در گیاه می‌شود (۳٤). که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد به گونه‌ای که با افزودن سیلیکون در شرایط تنش آبی باعث افزایش ۳۰ درصدی عملکرد زیست‌توده شد (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر تنش آبی و سیلیکون بر عملکرد زیست‌توده ارقام گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند). Si_0: عدم مصرف سیلیکون، Si_1: یک میلی‌مولار سیلیکون، Si_2: دو میلی‌مولار سیلیکون، Si_3، سه میلی‌مولار سیلیکون.

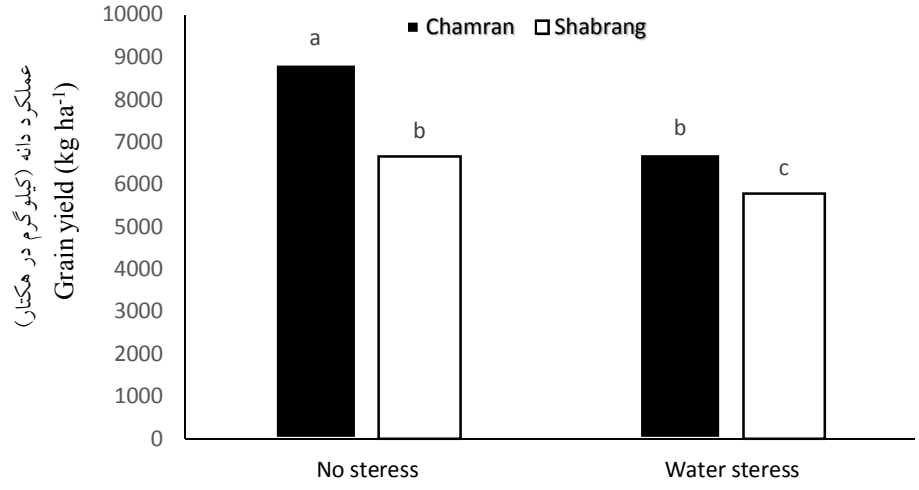
Fig. 2. Effect of water stress and silicon on biological yield of wheat cultivars. Means with similar letters are not significantly different based on LSD test at 1% probability levels .Si_0: no silicon application, Si_1: 1 mM silicon: Si_2: 2mM silicon, Si_3: 3mM silicon.



شکل ۳- اثر متقابل تنش آبی و ارقام بر عملکرد زیست‌توده (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

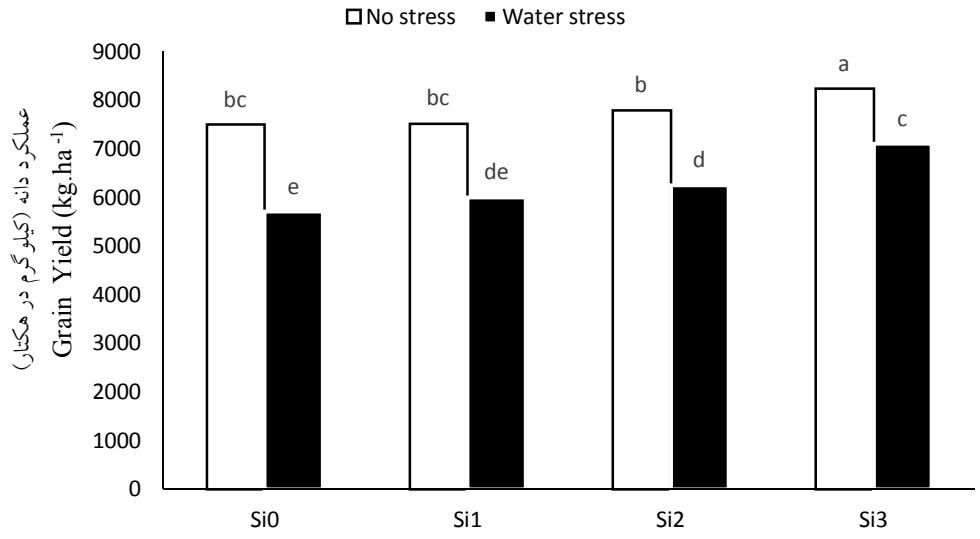
Fig. 3. Interaction effect of water stress and cultivar on biological yield of wheat. Means with similar letters are not significantly different based on LSD test at 1% probability levels.

عملکرد دانه: نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه تحت‌تأثیر اثرات ساده سیلیکون، رقم و تنش آبی و اثر متقابل تنش در رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر تنش آبی در سیلیکون در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط تنش آبی در رقم چمران ۱۹/۷ درصد کاهش در عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد (شکل ٤). بیش‌ترین میزان عملکرد با مقدار ۷۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۳ میلی‌مولار سیلیکون و کم‌ترین میزان این صفت با مقدار ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم مصرف سیلیکون در تنش آبی به‌دست آمد (شکل ۵). تنش رطوبتی در هر مرحله از رشد گیاه می‌تواند رشد و عملکرد گندم را از راه‌های گوناگونی تحت‌تأثیر قرار دهد میزان این تأثیر به‌مدت و شدت اعمال تنش وابسته است (۲۹). گنزالس و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه مشابه نتیجه گرفتند که تنش آبی باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (۲۸). به‌نظر می‌رسد که تنش آبی در مرحله تقسیم سلولی از طریق کاهش اکسین و افزایش میزان اسید آبسزیک باعث کاهش تقسیم سلولی و در مرحله پرشدن دانه، از طریق میزان اسید آبسزیک و کاهش فعالیت‌های آنزیمی و کاهش دوره پرشدن دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (٤٤). اپستین و بلوم (۱۹۹٤)، بیان نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش آبی 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 و وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (۲۲). در این پژوهش با افزودن ۳ میلی‌مولار سیلیکون باعث افزایش ۱۹/۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون شد (شکل ۵).



شکل ٤- اثر متقابل تنش آبی و رقم بر عملکرد دانه ارقام گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

Fig. 4. Interaction effect of water stress and cultivar on wheat grain yield. Means with similar letters are not significantly different based on LSD test at 1% probability levels.



شکل ۵- اثر تنش آبی و سیلیکون بر عملکرد دانه ارقام گندم (میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند). Si_0: عدم مصرف سیلیکون، Si_1: یک میلی‌مولار سیلیکون، Si_2: دو میلی‌مولار سیلیکون Si_3، سه میلی‌مولار سیلیکون.

Fig. 5. Effect of water stress and silicon on grain yield of wheat cultivars (Means with similar letters are not significantly different based on LSD test at 1% probability levels) .Si_0: no silicon application, Si_1: 1 mM silicon: Si_2: 2mM silicon, Si_3: 3mM silicon.

همبستگی بین عملکرد و اجزاء عملکرد و انتقال مجدد در شرایط آبیاری مطلوب ارقام گندم نان و ماکارونی: نتایج همبستگی در شرایط آبیاری کامل نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن هزاردانه ($r=۰/۵٤۵^{**}$) دارد (جدول ۵). در شرایط تنش آبی نیز عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن هزاردانه ($r=۰/۵۲۰^{**}$) و شاخص برداشت ($r=۰/٤۰٤^{*}$) و عملکرد زیست‌توده ($r=۰/۸۱۰^{**}$) و مشارکت مواد پرورده ($r=۰/٤۵۹^{*}$) داشت (جدول ۵). سنجری و یزدان‌سپاس (٤۵) در ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش آبی، همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین عملکرد دانه با شاخص برداشت در شرایط تنش آبی گزارش نمود. لیلا و الخاطیب (۲۰۱۳) در بررسی روابط بین صفات در گندم بین عملکرد دانه و وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌داری تحت شرایط تنش آبی گزارش نمود (۳۳) که همسو با نتایج پژوهش حاضر بود. در پژوهش حاضر وزن هزاردانه با عملکرد دانه در شرایط تنش آبی همبستگی مثبت دارد که با نتایج گاردنر (۲۰۰۳)، بولار و نیجار (۱۹۸٤) و دونالد (۲۰۰۱) مطابقت دارد (٦، ۱۷ و ۳۰). نادری و همکاران (۲۰۰۰) و سینگ و دیوپودی (۲۰۰۲) نیز ارتباط دو صفت عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت با عملکرد دانه را در شرایط تنش آبی با عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار دانسته اند (۳۷ و ٤۵). نتایج دیگری نیز مبنی بر همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با شاخص برداشت (۱۹ و ٤٦) و عملکرد زیست توده (٤۰) در شرایط تنش آبی گزارش شده است. مطابق با نتایج پژوهش حاضر در شرایط آبیاری مطلوب نتیجه پژوهش‌های برخی از پژوهشگران از عدم وجود همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص برداشت حکایت دارد (٤۸) البته از آن جایی‌که شاخص

برداشت از آزمایشی به آزمایش دیگر متغیر است و این تغییرات همیشه همسو با تغییرات عملکرد دانه نیست، بنابراین نمی‌توان تنها از شاخص برداشت به‌عنوان تنها صفت مناسب در ارزیابی عملکرد دانه گندم استفاده کرد و همبستگی بین عملکرد دانه با سایر صفات بسته به‌شدت تنش آبی، زمان وقوع تنش، دمای محیط در هنگام رسیدگی و نوع رقم متغیر است (۵۰).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم (بالای قطر در شرایط آبیاری و پایین قطر در شرایط تنش آبی).

Table 5. Correlation coefficients between yield and yield components of wheat cultivars (normal irrigation condition in above diagonal and water stress condition in below diagonal).

GY (kg.ha^{-1})	HI (%)	BY (kg.ha^{-1})	TGW (g)	GNP	RE (%)	RC (%)	DMR (gr/m^2)	صفت
0.098^{ns}	0.200^{ns}	0.086^{ns}	0.412*	-0.254^{ns}	-0.274^{ns}	0.094^{ns}		DMR(gr/m^2)
0.340^{ns}	0.358^{ns}	0.543**	0.351^{ns}	-0.190^{ns}	-0.36^{ns}		-0.168^{ns}	RC (%)
0.033^{ns}	-0.102^{ns}	0.189^{ns}	-0.216^{ns}	-0.405*		0.067^{ns}	-0.781**	RE (%)
0.360^{ns}	0.046^{ns}	0.077^{ns}	0.222^{ns}		0.327^{ns}	-0.019^{ns}	-0.182^{ns}	GNP
0.545**	0.60^{ns}	0.163^{ns}		0.103^{ns}	-0.058^{ns}	0.173^{ns}	0.022^{ns}	TGW (g)
0.102^{ns}	0.737**		0.324^{ns}	-0.148^{ns}	-0.301^{ns}	0.489^{ns}	0.178^{ns}	BY (kg.ha^{-1})
0.132^{ns}		-0.206^{ns}	0.359^{ns}	0.183^{ns}	0.185^{ns}	0.009^{ns}	-0.274^{ns}	HI (%)
	0.404*	0.810**	0.520**	0.019^{ns}	0.169^{ns}	0.459*	0.005^{ns}	GY (kg.ha^{-1})

DMR: میزان انتقال مجدد مواد پرورده، RC: مشارکت مواد پرورده، RE: کارآیی انتقال مجدد مواد، GNP: تعداد دانه در سنبله، TGW: وزن هزاردانه، BY: عملکرد بیولوژیک، HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه. ^{ns}، *و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشند.

DMR: Dry matter remobilization, RC: remobilization contribution, RE: remobilization efficiency, GNP: grain number per spike, TGW: 1000-grain weight, BY: biological yield, HI: harvest index, GY: grain yield. ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که کارآیی انتقال مجدد مواد در شرایط تنش آبی و کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون در رقم چمران ۳۸/۷ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون داشت، هم‌چنین مقدار ماده پرورده تولید شده در مرحله گرده‌افشانی عامل مهمی در انتقال مجدد ماده خشک به دانه می‌باشد، بنابراین با افزایش مقدار ماده خشک در این مرحله انتقال مجدد ماده خشک، سهم مهمی در پرکردن دانه دارا است. بیش‌ترین میزان انتقال مجدد مواد پرورده مربوط به رقم چمران در شرایط تنش آبی و کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون ۶۷/۲ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون داشت. بیش‌ترین مقدار مشارکت مواد پرورده مربوط به رقم چمران در شرایط تنش آبی و ۳ میلی‌مولار سیلیکون ۳۰/۶ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون به‌دست آمد. نتایج آزمایش نشان داد که میزان عملکرد در شرایط تنش آبی و با افزودن ۳ میلی‌مولار سیلیکون ۵۷/۷ درصد افزایش داشت. به‌طورکلی رقم چمران گندم نان با مقدار ۷۷۹۷ کیلوگرم در هکتار عملکرد بالاتری را نسبت به رقم شبرنگ گندم ماکارونی با مقدار ۶۲۲۰ کیلوگرم در هکتار نمود که نشان‌دهنده برتری و مناسب بودن این رقم در منطقه داراب هست. در شرایط تنش آبی تیمار ۳ میلی‌مولار سیلیکون بیش‌ترین میزان عملکرد دانه را در رقم چمران با مقدار ۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیکون تولید کرد. میزان انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده،

کارآیی انتقال مجدد، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه ارقام گندم نان و ماکارونی تحت‌تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون در شرایط تنش آبی افزایش یافت. به‌طورکلی کاربرد برگی ۳ میلی‌مولار سیلیکون می‌تواند راهکاری مناسب در بهبود و افزایش عملکرد دانه گندم به‌ویژه در رقم مناسبی مانند چمران در شرایط تنش آبی آخر فصل در مناطق نیمه‌خشک باشد.

منابع

1. Araus, J.L., Slafer, M.P., Reynolds, B. and Royo, C. 2002. Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for? Ann. Bot. 89: 925-940.
2. Ahmadi, A., Thirty-three dead, A.S. and Zali, A. 2004. Comparison of storage capacity and remobilization of photosynthetic materials and their contribution to yield in four wheat cultivars under favorable irrigation and drought stress. J. Agric. Sci. Iran. 35: 248-280.
3. Alizadeh, A. 2003. Relationship between water and water. Imam Reza University Press. 148p.(In Persian)
4. Amiri, A., Bagheri, A., Khajeh, M., Najafabadi, N. and Yadollahi, B. 2014. Effect of Silicon Foliar Application on Yield and Antioxidant Enzymes of Safflower under Drought Stress. J. Agric. Res. 4: 361-372.
5. Anderson, C.M. and Kohorn, B.D. 2001. Inactivation of Arabidopsis leads to reduced levels of sugars and drought tolerance. J. Plant Phys. 158: 1215-1219.
6. Bhullar, G.S. and Nijjar, C.S. 1984. Path analysis in durum wheat. Crop Imp. 11: 135-137.
7. Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserves mobilization. Euphytica. 100: 77-83.
8. Bahrani, A. 2011. Remobilization of dry matter in wheat: Effects of nitrogen application and post-anthesis water deficit during grain filling. International conference on biology, environment and chemistry. 5: 155-160.
9. Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Reg. 20: 135-148.
10. Blum, A. 1990. Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. J. Exp. Bot. 36: 432-440.
11. Budakli, E., Celike, N., Turk, M., Bayram, G., and Tas, B. 2007. Effects of post-anthesis drought stress on the stem-reserve remobilization supporting grain filling of two-rowed barley cultivars at different levels of nitrogen. J. Exp. Bot. 7: 949-953.
12. Carter, D.L. 1987. Water relations and irrigation. In EG Heyne (ed) Wheat and wheat improvement. 2nd edition. Agronomy Monograph no. 13: 390-395 characteristics of barley. J. Agron. 58: 453-454.
13. Cooper, M., Byth, D.E. and Woodruff, D.K. 1994. An investigation of the grain yield adaptation of advanced CIMMYT wheat lines to water stress environments in Queensland I: Crop physiological analysis. Aus. J. Agr. Res. 45: 965-984.
14. Cox, M.C., Qualset, C.O. and Rains, D.W. 1990. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. III: nitrogen translocation in relation to grain yield and protein. Crop Sci. 26: 737-740.
15. Daneshmand, A.R., Shirani Rad, A.H. and Ardakani, M.R. 2006. Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. J. Agric. Sci. 1: 48-60.
16. Donald, C.M. 1963. Composition among crop and pasture plants. Adv. Agro. 15: 1-118.
17. Del Blanco, I.A.S., Rajaram, S. and Kronstad, W.E. 2001. Agronomic potential of synthetic hexaploid wheat-derived populations. Crop Sci. 41: 670-676.

18. Ehdaie, B.G.A., Alloush, M., Madore, J. and Waines, G. 2006. Genotypic Variation for Stem Reserves and Mobilization in Wheat: II. Postanthesis Changes in Internode Water-Soluble Carbohydrates. J. Crop Sci. 47: 2093-2101.
19. Ehdaie, B. and Waines, J.G. 1996. Genetic variation for contribution of preanthesis assimlates to grain yield in spring wheat. J. Gen. Breed. 50: 47-56.
20. Emam, Y. 2011. Cereal Crop Production. Shiraz university press, Shiraz, Iran. 190p. (In Persian)
21. Emma, Y. 2007. Cereal Production. Shiraz University Press. Shiraz. 190p. (In Persian)
22. Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of science. 91: 11-17.
23. Ezat Ahmadi, M., Nour Mohammadi, Gh., Ghodsi, M. and Kafi, M. 2011. Effects of water stress and source limitation on accumulation and remobilization of dry mater in wheat genotypes. Iran. J. Field Crop Res. 9: 229-241. (In Persian with English Summary)
24. Fallah, A., Visperas, R.M. and Alejar, A.A. 2004. The interactive effect of silicon and spikelet filling in rice (*Oryza sativa* L.). Phil Agric. Sci. 87: 174-176.
25. Farrokhani Nia, M.M., Rushdie, B., Islam, R. and Sasan Dost, R. 2011. Some physiological characteristics and spring safflower yield under water deficit stress. J. Iran Crop Sci. 42: 545-553. (In Persian with English Summary)
26. Fathi, A. 2006. Effect of water stress in pollination and different nitrogen levels on yield and dry matter remobilization in different wheat cultivars. J. Agric. Sci. 2: 267-277.
27. Gong, H.Z., Chin, K., Wang, S. and Zhang, C. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. J. Plant Nut. 26: 1055-1063.
28. Gonzalez, A., Bermjo, V. and Gimeno, B.S. 2010. Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. J. Agric. Sci. 148: 319-328.
29. Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R. and Schofield, J.D. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on grain filling, drying and quality of water wheat. J. Cereal Sci. 37: 295-309.
30. Ghajar Sepanlou, M. 2003. Effects of soil water stress on grain yield, proline, and remobilization of four wheat cultivars in field study. J. Agric. Sci. Nat. Res. Khazar. 1: 14-22. (In Persian with English Summary)
31. Kochaki, A.H. and Seramandria, G.H. 2004. Physiology of crops (translation). Publications of Ferdowsi University of Mashhad. 400p.
32. Leilah, A.A. and Al-Khateeb, S. 2004. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. J. Arid Environ. 61: 483-496.
33. Ma, J., Huang, G.B., Yang, D.L. and Chai, Q. 2013. Dry matter remobilization and compensatory effects in various internodes of spring wheat under water stress. J. Crop Sci. 54: 331-339.
34. Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M., Aghakhani, A. and Feizi, M. 2008. Effects of leaching on soil desalinization for wheat crop in an arid region. Plant Soil Environ. 1: 20-29.
35. Madh Khaksar, A., Naderi, A., Mirror, A. and Lak, S. 2015. Interaction of irrigation and water disruption on the distribution of storage materials, current photosynthesis and its relationship with corn yield. J. Plant Phys. 25: 1993-1995.
36. Mohammadi, P., Sepehri, A., Abutalebian, M. and Hamzai, C. 2011. Effect of silicon on wheat yield under drought stress conditions. The 6th National Conference on New Ideas in Agriculture, 11th and 12th March 2011, Islamic Azad University, Khorasgan Branch. 1: 17-119. (In Persian)
37. Naderi, A., Hashemi Dezfuli, A.S., Rezaei, S. and Majidi Hervan, A. 2000. Correlation study of traits affecting grain weight and determination of the effect of some physiological parameters on grain yield of spring wheat genotypes under favorable conditions and drought stress. Abstract of the 6th Iranian Conference on Plant Breeding and Crop Production. Mazandaran University. (In Persian)

38.Papakosta, D.K. and Gagianas, A.A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. Agr. J. 83: 864-870.
39.Pak Nizhhad, F., Jami Al-Ahmadi, M., Pazoki, A. and Nasri, M. 2007. Effect of moisture stress on yield and yield components of two wheat cultivars. J. Environ. Ten. Plant Sci. 4: 1-15.
40.Plaut, Z., Butow, B.J., Blumenthal, C.S. and Wrigkey, C.V. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under postanthesis water deficit and elevated temperature. Field Crop Res. 86: 185-198.
41.Royo, C., Abaza, M., Blanco, R. and Garcia Del Moral, L.F. 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. Aus. J. Plant Phys. 27: 1051-5059.
42.Rezaei Marda'ali, M., Eyvazi, A., Mohammadi, S. and Shiralizadeh, S. 2013. Effect of drought stress on transfer of dry matter and grain yield of winter wheat genotypes. Iran. J. Crop Sci. 3: 272-262.
43.Sliman, Z.T., Refay, Y.A. and Mostafa, K.A. 2001. Effects of cycocel rate and time of application on performance of two bread wheat cultivars. Res. Bult. 44: 5-19.
44.Saeedi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Sepehri, R., Najafian, G. and Shabani, A. 2010. Effect of seasonal drought stress on physiological characteristics and reservoir and source relationships in two bread wheat cultivars. J. Agric. Cause. 124: 392-408.
45.Singh, S.P. and Diwivedi, V.K. 2002. Character association and path analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.). Agric. Sci. Digest. 22: 225-547.
46.Sharma, S.K. and Randawa, A.S. 2004. Path analysis in wheat. J. Res. Punjab Agric. Uni. 41: 183-185.
47.Sanjari, A.G. 1993. Study effects of yield components on yield of wheat varieties. J. Seed Plant. 9: 15-20.
48.Sanjarei Pirvatlou, A. and Yazdansepas, A. 2009. Genotypic variation of stem reserves in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes under post-anthesis drought stress condition. Iran. J. Field Crop Sci. 29: 181-191. (In Persian with English abstract)
49.Tusi Single, M. and Ghanadha, M.R. 2007. Evaluation of grain yield potential and re-application of dry matter to seed Commercial bread wheat bread in two conditions of normal and drought stress. J. Agric. Sci. Tech. 1: 323-339.
50.Tavakoli, A.R., Mahdavi-Moghadam, M. and Salemi, H.R. 2012. Effects of supplemental irrigation and nitrogen fertilizer on correlation coefficient and drought tolerance indices of rainfed bread wheat. J. Crop Pro. 7: 143-159.
51.Wardlaw, I.F. and Willenbrink, J. 2000. Mobilization of fructan reserves and changes in enzyme activities in wheat stems correlate with water stress during kernel filling. New Phyt. 148: 413-422.
52.Yang, J. and Zhang. J. 2003. Grain filling of cereals under soil drying. New Phyt. 169: 223-236.
53.Zadokes, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14: 415-421.
54.Zuccarini, P. 2008. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. Bio Plant. 23: 1-24.