اثر مصرف سیلیسیوم بر صفات مرفوفیزیولوژیک، عملکرد و محتوای عناصر معدنی دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی

عزیز کرملاچعب[۱*]، عبدالمهدی بخشنده[۲]، محمد حسین قرینه[۳]،
محمدرضا مرادی تلاوت[۴] و قدرت‌اله فتحی[۵]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۱/۲۱)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سیلیسیوم بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای آن و کیفیت دانه گندم رقم چمران در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش سطوح تنش خشکی (آبیاری پس از تخلیه ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) در کرت‌های اصلی و سیلیسیوم (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم سیلیس خالص در هکتار) (از منبع پتاسیم سیلیکات) در کرت‌های فرعی جای داده شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش میزان نشت الکترولیتی، موم کوتیکول، محتوای سیلیسیوم برگ و دانه و نیتروژن دانه شد، اما بر صفات عملکرد و اجزای آن و محتوای پتاسیم دانه تأثیر منفی داشت. تنش ملایم و شدید باعث کاهش به‌ترتیب ۱۷ و ۳۸ درصد عملکرد نسبت به شاهد بدون تنش شد. اثر کاربرد سیلیسیوم به جز بر صفت تعداد سنبله در مترمربع، بر سایر صفات معنی‌دار بود. سیلیسیوم بیشترین تأثیر را بر میزان نشت الکترولیتی داشته و سبب کاهش ۳۵ درصدی این شاخص گردید. هم‌چنین مصرف ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم سبب افزایش محتوای در برگ و دانه، پتاسیم دانه و عملکرد و اجزای آن شد. میزان افزایش عملکرد دانه با مصرف ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم، ۶ درصد بوده و در تنش شدید این میزان به ۱۴ درصد افزایش یافت. بنابراین با توجه به فراوانی و در دسترس بودن سیلیسیوم، مصرف این عنصر در شرایط تنش می‌تواند به‌عنوان یک عنصر مفید برای گیاه گندم مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، صفات فیزیولوژیکی، کاربرد سیلیسیوم، عملکرد دانه گندم

۱، ۲،۳ و ۴. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، دانشیار، استادیار و استاد گروه زراعت دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
*: مسؤل مکاتبات، پست الکترونیکی: azizchaab@gmail.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

مقدمه

تنش‌های محیطی از جمله عواملی هستند که استفاده از حداکثر پتانسیل آب، خاک و گیاه در جهت حداکثر تولید را محدود می‌کنند. تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدود کنندهٔ رشد و تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است (۳). ثابت شده که به‌دلیل اینکه مواد غذایی به صورت محلول در آب جذب گیاه می‌شود. بنابراین هرگونه محدودیت در منابع آبی، منجر به محدودیت در کلیه منابع غذایی شده و گیاه گندم مجبور به کم کردن رشد رویشی و اتمام زود هنگام آن مرحله و شروع مرحله زایشی می‌گردد. در نتیجه ارتفاع بوته، اجزای عملکرد و عملکرد کاهش می‌یابد (۱۶). به‌نظر می‌رسد که در شرایط کمبود آب استفاده و تنظیم غلظت برخی از عناصر می‌تواند به عنوان یک استراتژی برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش خشکی مؤثر بوده و زمینه سازگاری گیاه را فراهم آورد. سیلیسیوم دومین عنصر از لحاظ فراوانی در سطح کره زمین، و مقدار آن بین ۰/۱ تا ۰/۶ میلی‌مول در دسی‌متر مکعب خاک می‌باشد، ولی به‌عنوان عنصر اساسی برای گیاهان محسوب نگردیده و نقش آن در بیولوژی گیاهان به‌طور کامل درک نشده است. سیلیسیوم به فرم‌های مختلف از جمله اسید مونوسیلیسیک [$Si(OH)_4$] در خاک وجود دارد. در اندام هوایی با از دست دادن آب، اسید مونوسیلیسیک غلیظ شده، و به فرم ژل سیلیس ($SiO_2.nH_2O$) تبدیل و باعث افزایش تحمل گیاه به تنش می‌شود (۷).

لیانگ و همکاران (۱۲) به این نتیجه رسیدند که کاربرد سیلیسیوم سبب رسوب آن در غشاء سلولی و سیلیسی و سخت شدن، و کاهش معنی‌دار میزان نشت الکترولیتی می‌شود. دلیل این امر را در این می‌دانند که سیلیسیوم در درون گیاه یک عنصر غیر متحرک است و پس از رسوب در داخل سلول به صورت ژل سیلیکا پلیمر شده در می‌آید و دیگر برای گیاه غیر قابل استفاده می‌شود و تنها نقش استحکام و پایداری را خواهد داشت. ما و یاماجی (۱۵) بیان نمودند که سیلیسیوم با رسوب در زیر لایه کوتیکولی (با ضخامت ۰/۱ میکرومتر) برگ و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول- سیلیس به ضخامت ۲/۵ میکرو متر و در نتیجه افزایش ضخامت لایه کوتیکول و موم آن باعث کاهش تعرق از سطح برگ و پوست گیاهی که در شرایط تنش خشکی قرار دارد می‌شود. در نتیجه این عمل محتوای آب گیاه افزایش و توسعه برگی و عملکرد نیز افزایش می‌یابد. طالع احمد و حداد (۱۹) در آزمایشی بر روی دو ژنوتیپ گندم در شرایط تنش خشکی گزارش دادند که تنش خشکی اعمال شده باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ شده و کاربرد سیلیسیوم در این شرایط، محتوای نسبی آب برگ را در سطح ۱ درصد افزایش داد. گنگ و همکاران (۸) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی در گندم، کاربرد ۲/۱۱ میلی‌مول سدیم سیلیکات در کیلوگرم خاک در کشت گلدانی، باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ‌ها نسبت به حالت تنش خشکی گردید. سودمندی سیلیسیوم در تحمل تنش خشکی در غلات مربوط به فعالیت بیشتر H^+-ATPase موجود در غشاء و H^+-PPase در تونوپلاست و جذب بیشتر یون پتاسیم، افزایش غلظت داخل سلول و جذب و نگهداری آب و تأثیر بر فعالیت برخی آنزیم‌ها و فرایندهای فیزیولوژیکی می‌باشد (۱۱). سیلیسیوم سبب می‌شود که دیواره سلول‌های آندودرمی ریشه سیلیسی شده و بعد از اینکه ظرفیت این قسمت‌ها جهت سیلیسی شدن تکمیل شد، قسمت عمده سیلیسیوم به اندام هوایی ارسال شده و در آنجا تجمع کرده و باعث افزایش غلظت این عنصر می‌شود (۴).

لی و همکاران (۱۰) بیان نمودند که سیلیسیوم به علت سخت و سیلیسی کردن سلول‌های برگ، باعث افزایش دوام و پایداری غشاء سلول و در نتیجه افزایش فتوسنتز آن می‌گردد. این امر سبب اولاً افزایش دوام برگ و دوره پر شدن دانه در شرایط تنش می‌شود و امکان رشد و افزایش وزن دانه‌ها فراهم می‌گردد. ثانیاً حفظ پایداری غشاء سلول منجر به حفظ محتوای نسبی آب و کاهش نشت مواد سلولی و در نتیجه تداوم جریان انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره شده به دانه و ثالثاً حفظ جریان فتوسنتز و افزایش مواد فتوسنتزی جاری دانه و افزایش وزن دانه و عملکرد می‌گردد. آزمایشی که کایا و همکاران (۹) روی ذرت انجام دادند، نشان داد که در شرایط تنش خشکی، وزن تر و خشک گیاه کاهش می‌یابد و کاربرد سیلیسیوم در این شرایط منجر به افزایش این پارامترها شده، رشد گیاه را بهبود و مقدار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

عملکرد را افزایش می‌دهد. گزارش شده حد بحرانی میزان سیلیسیوم در خاک برای گیاه برنج بطور متوسط ۳۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و یک هشتم این مقدار برای گیاه گندم مورد نیاز می‌باشد (۱۴). به‌طورکلی خوزستان یکی از مهم‌ترین مناطق از لحاظ تولید گندم کشور می‌باشد که با دارا بودن شرایط خاص آب و هوایی، همواره شرایط مساعدی برای وقوع تنش‌های مخرب محیطی به‌ویژه خشکی پایان دوره را در خود داشته است. به همین منظور پژوهش حاضر با هدف بررسی سطوح سیلیسیوم بر صفات مرفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای آن در گندم در شرایط تنش خشکی انتهای فصل اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع رامین خوزستان اجرا گردید. این منطقه جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود و برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. شهر رامین با داشتن متوسط بارندگی سالیانه حدود ۱۶۹ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۲۳ درجه سانتی‌گراد، از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود.

آزمایش به‌صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش خشکی پایان دوره رشد در سه سطح بدون تنش خشکی، تنش خشکی ملایم و تنش خشکی شدید، به‌ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک، به‌عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. سطوح مختلف تیمار تنش از ابتدای مرحله گل‌دهی گیاه تا زمان رسیدگی اعمال شدند. تنش خشکی از طریق روش وزنی اعمال گردید و جهت تعیین دقیق زمان آبیاری برای هر تیمار هر دو روز یکبار به‌وسیله مته از کرت‌های فرعی در عمق نفوذ ریشه نمونه‌برداری به‌عمل آمد تا درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. درصورت تخلیه رطوبت خاک به حد مورد نظر، حجم آب مورد نیاز برای هر بار آبیاری در هر تیمار محاسبه و آبیاری شد (۲).

مقادیر مختلف سیلیسیوم (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم سیلیس در هکتار) به عنوان فاکتور فرعی درنظر گرفته شدند و از منبع پتاسیم سیلیکات (دارای ۳۰ درصد سیلیس و ۳۰ درصد پتاسیم) تأمین و قبل از کشت به خاک اضافه شد. نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره، و میزان آن ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (به‌صورت پایه و دو مرحله سرک) در اختیار گیاه قرار گرفت. کود فسفره مورد نیاز به‌میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار از منبع فسفات آمونیوم در زمان کاشت مصرف شد. طول و عرض هر کرت فرعی دو متر و دارای ۱۰ خط کاشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بود. برای جلوگیری از تأثیر تیمارها بر هم، بین کرت‌های اصلی و فرعی به‌ترتیب ۲ و ۱ متر فاصله منظور شد.

پس از شخم و تهیه مناسب زمین، بذر گندم رقم چمران با تراکم ۳۵۰ بذر در متر مربع به صورت خطی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر خطوط کشت و عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متری به‌صورت دستی در دهه اول آذر ماه کشت و آبیاری صورت گرفت. برداشت نهایی با توجه به‌زمان رسیدگی دانه و در رطوبت ۱۴ درصد از طریق اندازه‌گیری رطوبت بذرها به‌وسیله رطوبت‌سنج در تیمارهای مختلف از ۲۰ تا ۳۰ اردیبهشت ماه طی سه نوبت به‌صورت دستی و با داس از سطح زمین و از دو خط میانی هر کرت فرعی با در نظر گرفتن نیم متر حاشیه از هر طرف انجام شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک: میزان نشت الکترولیتی (EL) به‌روش لوتس و همکاران (۱۳) محاسبه گردید. بدین ترتیب که نمونه‌های تهیه شده از جوان‌ترین برگ توسعه یافته به آزمایشگاه انتقال و با استفاده از پانچ از هر برگ دیسک‌های دایره‌ای تهیه شد. قطعات حاصل پس از آنکه سه مرتبه با آب مقطر شسته، به لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر انتقال داده شدند. این نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه بر روی شیکر با ۱۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و هدایت الکتریکی (EC_1) آنها با استفاده از دستگاه EC سنج تعیین گردید. سپس نمونه‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند و EC_2 اندازه‌گیری و درصد EL نمونه‌های با استفاده از رابطه EC_2/EC_1 تعیین شد.

برای اندازه‌گیری مقدار موم کوتیکول سه نمونه یک

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد نظر در زمان شروع آزمایش

عمق‌خاک (cm)	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	عناصر قابل جذب (ppm)				سیلیسیوم کل* (ppm)	مواد آلی (٪) O.M	بافت خاک
			K	P	N	Si			
۰- ۳۰	۷/۴	۳/۶	۱۶۴	۷/۲	۵/۴	۲۲/۳	۷۲/۴	۰/۷۶	لومی رسی

* : سیلیسیوم اندازه‌گیری شده به وسیله بافر استات سدیم و pH = ۴

سانتی‌مترمربع از برگ را جدا کرده و پس از شستشو با آب مقطر و حذف گرد و غبار موجود روی سطح برگ، این نمونه‌ها یکی بعد از دیگری در یک ظرف حاوی ۱۰ میلی‌لیتر محلول تتراکلرید کربن، هر کدام به مدت ۳۰ ثانیه شستشو انجام داده و خارج شدند. سپس عصاره حاصل که حاوی موم می‌باشد را روی حرارت کم‌تر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا تبخیر صورت بگیرد. باقی‌مانده را با ترازوی سه رقم اعشار وزن و تقسیم بر سه شد، و مقدار موم برای هر سانتی‌مترمربع برحسب میلی‌گرم در واحد سطح برگ گزارش شد (۱). جهت تعیین درصد رطوبت نسبی برگ پرچم از هر واحد آزمایشی تعداد ۳ عدد برگ پرچم انتخاب و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند، به قطعات ۲ سانتی‌متری تقسیم و با دقت ۰/۰۰۱گرم توزین گردیدند (FW). سپس این قطعات به منظور تعیین وزن تورژسانس به مدت ۴ ساعت در شدت نور کم در داخل آب مقطر قرار داده شدند و وزن اشباع آنها اندازه‌گیری شد (SW). در نهایت این برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و سپس وزن خشک آنها تعیین گردید (DW). درصد رطوبت نسبی برگ پرچم با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۱۸).

$$RWC = (FW-DW/SW-DW) \times 100$$

جهت محاسبه میزان سیلیسیوم برگ پرچم از روش رنگ سنجی آمینومولیبدات آبی استفاده شد. به‌این صورت که از طریق تهیه عصاره نمونه مورد نظر طبق روش الیوت و سنیدر (۵) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Spectronic Genesys 5, U.S.A) در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت گردید. هم‌چنین میزان پتاسیم نمونه‌های به‌وسیله دستگاه فلیم فتومتر (Jenway, PFP-7) و درصد نیتروژن نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه کجلدال (2300 Kjeltec Analyzer unit, Germany) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری میزان عملکرد و اجزای آن: دو خط وسطی کرت را جدا نموده و تعداد پنجه بارور (تعداد سنبله) تعیین و به‌طور تصادفی ۲۰ سنبله از آن دو خط جدا شد و دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش و به‌عنوان تعداد دانه در سنبله گزارش شد. برداشت نهایی از دو خط وسطی و به‌طور جداگانه در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی و در رطوبت ۱۴ درصد صورت گرفت. دو نمونه ۵۰۰ عددی از بذرها جدا و توزین شدند و درصورت کمتر بودن میزان تفاوت از ۴ درصد، مجموع وزن آن دو نمونه به‌عنوان وزن هزار دانه گزارش شد. میزان عملکرد در هکتار برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD در سطح ۵ درصد استفاده گردید. درصورت معنی‌داری اثرات متقابل از روش برش‌دهی جهت تفسیر اثر استفاده گردید سپس میانگین‌ها با روش L.S.Means مقایسه گردیدند. جهت رسم منحنی‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و سیلیسیوم بر میزان نشت الکترولیتی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). برش‌دهی اثر متقابل نیز نشان داد که با افزایش سطوح تنش، تفاوت معنی‌داری میان سطوح سیلیسیوم وجود داشت (جدول ۴). نتایج نشان داد که بیشترین و کم‌ترین درصد نشت از تیمارهای به‌ترتیب تنش خشکی شدید بدون سیلیسیوم و تیمار بدون تنش و بدون سیلیسیوم به‌دست آمده است. کاربرد ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید باعث کاهش معنی‌دار نشت به‌ترتیب ۲۴/۵ و ۲۵/۵ درصد گردید. هم‌چنین در شرایط

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

بدون سیلیسیوم تنش ملایم و شدید باعث افزایش نشت به‌میزان به‌ترتیب ۳۵/۵ و ۴۹/۰ درصد نسبت به شاهد گردید. بیشترین تفاوت مقدار نشت در بین سطوح تنش خشکی در تیمار بدون کاربرد سیلیسیوم بوده و با افزایش مقدار سیلیسیوم این تفاوت کاهش یافته است. کاربرد سیلیسیوم در شرایط بدون تنش خشکی اثر معنی‌داری بر درصد نشت الکترولیتی نداشته و با افزایش سطوح تنش اثر آن بیشتر و معنی‌دار شده است (جدول ۵). بنابراین می‌توان بیان نمود که در شرایط تنش خشکی، جهت حفظ پایداری غشاء سلول، نیاز به سیلیسیوم قابل توجه خواهد شد. زهو و همکاران (۲۱) گزارش دادند که کاربرد سیلیسیوم در شرایط تنش شوری در گیاه خیار باعث کاهش درصد نشت و علت آن را کاهش تولید پراکسیداتیو لیپید و پراکسید هیدروژن بیان کردند. هم‌چنین یادآور شدند که کاربرد سیلیسیوم در این شرایط باعث افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و دهیدرو آسکوربات ردوکتاز می‌شود، که نتیجه آن کاهش تخریب غشاء سلول و افزایش پایداری آن و کاهش نشت الکترولیتی و افزایش تحمل گیاه به اثرات منفی ناشی از تنش و افزایش رشد می‌شود. در این زمینه نتایج مشابهی در آزمایشی روی سورگوم (۱) گزارش شده است.

اثر تنش خشکی بر مقدار موم کوتیکول معنی‌دار بود (جدول ۲) و تنش ملایم و شدید باعث افزایش به‌ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد مقدار موم کوتیکول نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). با توجه به اینکه تبخیر و تعرق گیاهی هم از طریق روزنه‌ها برگ و هم از طریق کوتیکول صورت می‌گیرد، می‌توان چنین بیان نمود که گیاه در شرایط تنش جهت جلوگیری از خروج آب از طریق برگ، با وجود آسیب به غشاء سلولی، اقدام به کاهش تبخیر و تعرق از طریق کوتیکول به‌واسطه افزایش موم کوتیکول می‌نماید. معمولاً تلفات از کوتیکول نسبتاً کم است، ولی در شرایط تنش خشکی همین مقدار اندک می‌تواند نقش مؤثری به‌خصوص در مراحل بحرانی رشد گیاه داشته باشد. کاربرد ۱۰ کیلوگرم سیلیسیوم تأثیر معنی‌داری بر موم کوتیکول نداشته، لیکن مقادیر ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم باعث افزایش معنی‌دار به مقادیر به‌ترتیب ۱۸/۰ و ۲۳/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. نتایج نشان دهنده وجود یک همبستگی مثبت بین مقدار کاربرد سیلیسیوم و موم کوتیکول می‌باشد (شکل ۱). در این زمینه احمد و همکاران (۱) یافتد که سیلیسیوم با رسوب در زیر کوتیکول برگ‌ها و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول- سیلیس، از انجام تعرق گیاهی از راه کوتیکول به‌دلیل افزایش غلظت سیلیسیوم و موم روی آن، جلوگیری به‌عمل می‌آورد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد گردید. تنش ملایم و شدید باعث کاهش به‌ترتیب ۱۳ و ۲۶ درصد محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). اثر سیلیسیوم بر محتوای نسبی آب معنی‌دار اما اثر متقابل آن با تنش خشکی غیر معنی‌دار بود (جدول ۲) و سیلیسیوم باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ‌ها گردید، به‌طوری‌که بیشترین مقدار محتوای نسبی آب در تیمار کاربرد ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم و کم‌ترین درصد آن مربوط به شاهد می‌باشد. رابطه مثبت معنی‌داری بین سیلیسیوم و محتوای نسبی آب دارد. افزایش مقدار کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش بسیار زیاد محتوای نسبی آب برگ‌ها گردید. به‌طوری‌که بیشترین مقدار سیلیسیوم باعث افزایش ۱۶ درصدی آن نسبت به شاهد گردید (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد که حضور سیلیسیوم از طریق افزایش غلظت داخل سلول به‌واسطه افزایش زیاد یون‌های پتاسیم و سیلیسیوم، باعث افزایش محتوای نسبی آب می‌شود.

در گیاهان با وقوع تنش، تطابق اسمزی رخ خواهد داد یعنی در اثر تجمع یون‌های، مواد محلول و نیز مواد آلی، محتوای مواد محلول در سلول‌های برگ افزایش می‌یابد. این بالا بودن محتوای مواد محلول باعث می‌شود که وقتی برگ گیاه در آب مقطر غوطه‌ور می‌شود (برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب)، مواد سیتوپلاسمی به محیط آپوپلاستی نشت می‌کند و آبگیری بیشتری در مقایسه با برگ شاهد داشته و در نتیجه محتوای آب برگ در گیاه تنش دیده پایین می‌باشد. در حضور عناصری مانند سیلیسیوم و روی در تنش، عناصر در تعادل خواهند بود و سلول قدرت حفظ ساختار خود را پیدا

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گندم تحت تیمارهای تنش خشکی و مصرف سیلیسیوم

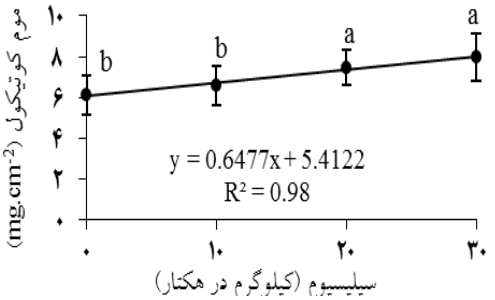
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		نشت الکترولیتی	موم کوتیکول	محتوی نسبی آب برگ	سنبله در مترمربع	دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	غلظت سیلیسیوم	پتاسیم دانه	نیتروژن دانه
									برگ پرچم / دانه		
بلوک	۲	۰/۰۹ ns	۱/۰۳ ns	۳/۱۳ ns	۲۷۷/۶ ns	۲/۴۱ ns	۱۱/۳۹ ns	۸۱۴۰۴/۱۴ ns	۱۹/۴۲ ns / ۰/۰۳۸ ns	۰/۴۵ ns	۰/۰۱۴ ns
تنش خشکی (D)	۲	۷۱۴/۸**	۷/۸۵ ×	۱۵۲۴/۹۵ **	۴۶۲۷/۹ ×	۱۰۶/۸۸**	۵۵/۱۰**	۱۰۴۴۱۱۴۱/۳۷**	۸۶۱/۳۵** / ۲/۲۴*	۳۲۳/۷۷*	۰/۶۳**
اشتباه اصلی	۴	۱۳/۵۵	۰/۴۶	۲۱/۴۸	۵۲۷/۹	۱/۰۹	۰/۷۵	۱۱۶۶۲/۰۴	۱۸/۷۹ / ۰/۳۰	۴۶/۴۱	۰/۰۱۸
سیلیسیوم (Si)	۳	۷۷/۷۸*	۶/۳۸**	۱۷۹/۱۶ **	۶۷/۳۳ ns	۹/۱۳*	۷/۶۷*	۱۰۷۱۵۰/۶۴*	۲۸۹/۸۶** / ۱/۴۶**	۱۷۲/۱۹*	۰/۰۶۷ ns
D × Si	۶	۵۱/۳۰*	۰/۲۴ ns	۴۴/۷۱ ns	۳۷۲/۰ ns	۰/۰۸ ns	۱/۴۰ ns	۱۰۳۴۶۹/۷۴*	۵۱/۲۱** / ۰/۲۳ ns	۹/۶۴ ns	۰/۰۶۸*
اشتباه فرعی	۱۸	۱۸/۷۵	۰/۵۷	۴۵/۲۲	۱۲۷۳/۹	۲/۶۱	۱/۹۱	۳۲۳۰۰/۰۲	۱۱/۵۶ / ۰/۲۴	۵۰/۶۹	۰/۰۲۳
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۱۹	۱۰/۷۴	۸/۸۸	۷/۹۰	۶/۱۹	۳/۴۴	۴/۵۲	۸/۵۰ / ۲۰/۳۲	۱۱/۴۳	۷/۲۱

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار

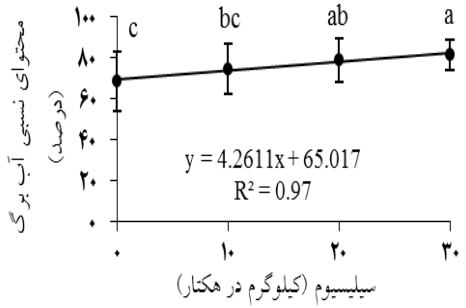
جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف تنش خشکی بر برخی صفات مورد بررسی گندم

سطوح تنش	موم کوتیکول ($mg\ cm^{-2}$)	محتوای نسبی آب (درصد)	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (گرم)	پتاسیم دانه ($mg\ g^{-1}\ DW$)	غلظت سیلیسیوم دانه ($mg\ g^{-1}\ DW$)
بدون تنش	۶/۲۵^{c}	۸۷/۱ ^{a}	۴۳۰/۷^{a}	۲۸/۹^{a}	۴۲/۲^{a}	۶۷/۷^{a}	۱/۹^{b}
تنش ملایم	۶/۹۷^{b}	۷۵/۴ ^{b}	۳۹۹/۵^{b}	۲۶/۶^{b}	۴۰/۴^{b}	۶۱/۸^{ab}	۲/۶^{a}
تنش شدید	۷/۸۷^{a}	۶۴/۵ ^{c}	۳۹۴/۴^{b}	۲۲/۹^{c}	۳۷/۹^{c}	۵۷/۴^{b}	۲/۷^{a}

در هر صفت میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.



شکل ۱. اثر سطوح سیلیسیوم بر مقدار موم کوتیکول.
حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح سیلیسیوم است.



شکل ۲. اثر سطوح سیلیسیوم بر محتوای نسبی آب برگ پرچم.
حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح سیلیسیوم است.

جدول ۴ . برش‌دهی اثر متقابل تنش خشکی و سیلیسیوم در تیمارهای تنش خشکی بر میزان نشت الکترولیتی، عملکرد دانه و غلظت سیلیسیوم برگ و نیتروژن دانه گندم

سطوح تنش خشکی	درجه آزادی	نشت الکترولیتی	عملکرد دانه	غلظت سیلیسیوم برگ	نیتروژن دانه
بدون تنش	۳	۹/۶۱ ns	۳۲۸۸۴ ns	۶/۰۸ ns	۰/۲۰۱ **
تنش ملایم	۳	۶۴/۷۶ *	۱۵۳۳۰۳ *	۱۳۴/۱۳ **	۰/۰۰۲ ns
تنش شدید	۳	۱۰۶/۰۲ **	۱۲۷۹۰۲ *	۲۵۲/۰۷ **	۰/۰۰۱ ns

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار

کرده و نشت مواد کم‌تر صورت می‌گیرد و در نتیجه محتوای نسبی آب آن افزایش می‌یابد (۱۱).

نتایج آزمایش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش تعداد سنبله در مترمربع شد. تنش ملایم و شدید باعث کاهش به‌ترتیب ۷ و ۷/۵ درصد این جزء نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). مطالعات نشان داده که ساقه اصلی گندم در شرایط تنش به فتوسنتز و تولید مواد آسیمیلات ادامه داده و تولیدات خود را برای مصرف و رشد خود نگهداری می‌کند و در این شرایط انتقال مواد به ساقه‌های فرعی کاهش و ناباروری آنها افزایش می‌یابد (۶). تعداد دانه در سنبله حساس‌ترین جزء عملکرد به کمبود آب است. اثر تنش خشکی بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۲)، و مقایسه میانگین اثرات ساده تنش خشکی نشان داد که تعداد دانه در سنبله نیز تحت تأثیر تنش قرار گرفت. به‌طوری‌که تنش ملایم و شدید باعث کاهش معنی‌دار آن نسبت به تیمار بدون تنش گردید. بیشترین و کم‌ترین مقادیر تعداد دانه در سنبله از تیمارهای به‌ترتیب شاهد و تنش خشکی شدید حاصل شد (جدول ۳).

احتمالاً تنش خشکی اعمال شده به خروج گرده صدمه زده و باعث خشکی آنها شده و تعداد دانه‌های تشکیل شده در سنبله را کاهش داده است. کاربرد سیلیسیوم به مقدار ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار شاهد شده، اما ۱۰ کیلوگرم سیلیسیوم اثر معنی‌داری بر روی آن نداشته است. هم‌چنین افزایش سیلیسیوم باعث افزایش تعداد دانه در سنبله شده و این روند تا مقدار ۲۰ کیلوگرم سیلیسیوم مشاهده شده و در مقدار بیشتر از آن تعداد دانه در سنبله ثابت باقی ماند (شکل ۳).

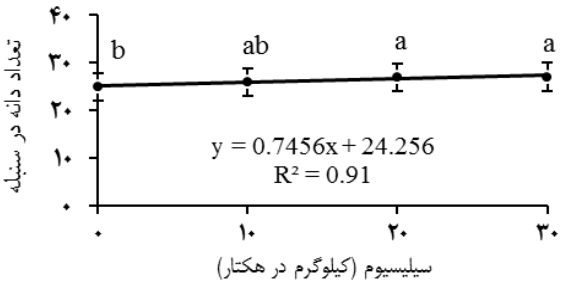
وزن هزار دانه معمولاً بیشتر تحت‌تأثیر ژنوتیپ و محیط می‌باشد. بنابراین شرایط محیطی به‌ویژه شرایط پس از مرحله تشکیل دانه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر وزن دانه خواهد داشت. وقتی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، برای این‌که از اثرات تنش فرار کند، اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند. بنابراین به‌دلیل کوتاه شدن طول دوره پرشدن دانه، وزن

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

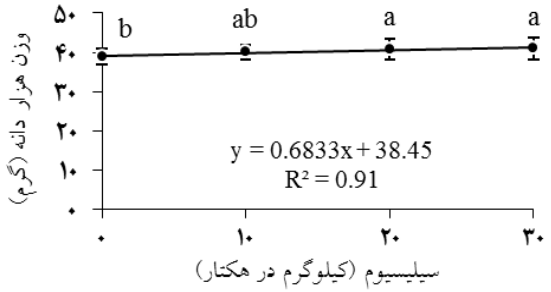
جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایشی بر برخی صفات مورد بررسی گندم

تیمارهای آزمایشی		نشت الکترولیتی	عملکرد دانه	غلظت سیلیسیوم برگ	نیتروژن دانه
سطوح تنش	سیلیسیوم ($kg\ ha^{-1}$)	(درصد)	(کیلوگرم در هکتار)	($mg\ g^{-1}\ DW$)	(درصد)
بدون تنش	صفر	۲۶/۲^{a}	۴۹۵۸/۳^{a}	۲۸/۹^{a}	۱/۶۳^{b}
	۱۰	۲۷/۵^{a}	۴۹۴۷/۷^{a}	۳۱/۵^{a}	۱/۸۵^{b}
	۲۰	۲۹/۰^{a}	۴۸۱۱/۴^{a}	۳۱/۵^{a}	۲/۱۵^{a}
	۳۰	۳۰/۳^{a}	۴۷۴۴/۷^{a}	۳۲/۲^{a}	۲/۱۶^{a}
تنش ملایم	صفر	۴۰/۷^{a}	۳۲۳۹/۱^{b}	۳۲/۴^{c}	۲/۰۸^{a}
	۱۰	۳۶/۰^{ab}	۳۹۵۳/۹^{ab}	۴۰/۰^{b}	۲/۰۹^{a}
	۲۰	۳۱/۴^{b}	۴۱۹۳/۸^{a}	۴۳/۸^{ab}	۲/۰۵^{a}
	۳۰	۳۰/۷^{b}	۴۲۵۲/۲^{a}	۴۸/۲^{a}	۲/۰۴^{a}
تنش شدید	صفر	۵۱/۳^{a}	۲۸۰۰/۰^{c}	۳۷/۵^{b}	۲/۳۶^{a}
	۱۰	۴۵/۱^{ab}	۲۸۶۵/۲^{bc}	۴۳/۳^{b}	۲/۴۰^{a}
	۲۰	۴۰/۵^{bc}	۳۱۱۰/۸^{ab}	۵۳/۱^{a}	۲/۴۰^{a}
	۳۰	۳۷/۶^{c}	۳۲۳۹/۸^{a}	۵۷/۶^{a}	۲/۴۱^{a}

در هر صفت میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر سطح تنش اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.



شکل ۳. اثر سطوح سیلیسیوم بر تعداد دانه در سنبله
حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح سیلیسیوم است.



شکل ۴. اثر سطوح سیلیسیوم بر وزن هزار دانه
حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح سیلیسیوم است.

نهایی دانه‌ها کم می‌شود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید. تنش ملایم و تنش شدید هر دو باعث کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴/۲ و ۱۰ درصد شده است (جدول ۳). نتایج موجود در شکل ۴ نشان می‌دهد که در حضور سیلیسیوم اعم از شرایط تنش و بدون تنش وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. مقدار ۱۰ کیلوگرم سیلیسیوم اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشته اما مقادیر بیشتر از آن باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه به‌ترتیب ۳/۴ و ۳/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. وجود یک رابطه مثبت بین مقادیر سیلیسیوم و وزن هزار دانه در این شکل قابل توجه است. اما این رابطه در سطوح بالاتر سیلیسیوم ثابت باقی مانده و افزایش سیلیسیوم تأثیری بر وزن هزار دانه ندارد.

برش‌دهی اثرات متقابل تیمارها نشان دهنده تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش ملایم و شدید، در میان مقادیر مختلف سیلیسیوم می‌باشد (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

میانگین اثر متقابل تیمارها بر عملکرد دانه در جدول ۵، بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد به مقدار ۴۹۵۸ کیلوگرم در هکتار و تیمار تنش شدید بدون کاربرد سیلیسیوم (۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. در شرایط بدون تنش، کاربرد سیلیسیوم اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشته، اما در شرایط تنش ملایم بدون کاربرد سیلیسیوم مقدار عملکرد دانه ۳۷۶۲ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. در این شرایط سیلیسیوم به مقادیر ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی‌دار آن به مقادیر به‌ترتیب ۱۰/۳ و ۱۲ درصد شده است. البته اختلاف معنی‌دار بین این دو سطح از نظر افزایش عملکرد مشاهده نشد. هم‌چنین مقدار ۱۰ کیلوگرم سیلیسیوم در هکتار باعث افزایش ۴/۸ درصدی عملکرد شده، اما این افزایش معنی‌دار نیست. در شرایط تنش شدید بدون کاربرد سیلیسیوم عملکرد دانه ۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و کاربرد ۱۰ کیلوگرم سیلیسیوم اثر معنی‌داری بر آن نداشته، لیکن دو مقدار ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم باعث افزایش معنی‌دار آن به مقادیر به‌ترتیب ۱۰ و ۱۴ درصد شده است. بنابراین در چنین شرایطی برای حصول عملکرد بالا کاربرد ۲۰ کیلوگرم سیلیسیوم در هکتار مناسب می‌باشد. به‌علاوه در شرایط بدون کاربرد سیلیسیوم تنش خشکی ملایم و شدید باعث کاهش عملکرد دانه به‌ترتیب ۲۴ و ۴۳/۵ درصد شده است. نتایج نشان دهنده وجود رابطه مثبت بین مقادیر سیلیسیوم و عملکرد دانه در هکتار در شرایط تنش ملایم و شدید می‌باشد. البته این رابطه در سطوح بالای سیلیسیوم ثابت و تفاوت بین مقادیر ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم هم در تنش ملایم و هم شدید غیر معنی‌دار می‌باشد.

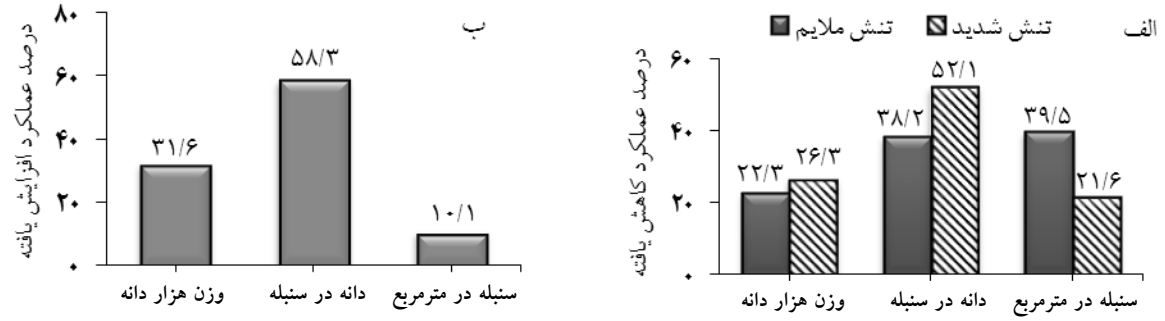
به‌طورکلی مقدار عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی شدید و ملایم به‌ترتیب ۱۷ و ۳۸ درصد نسبت به تیمار بدون تنش کاهش یافته است. به طبع این کاهش ناشی از کاهش ایجاد شده در تک تک اجزای عملکرد می‌باشد. نتایج نمودار ۱- الف نشان دهنده تأثیر کاهشی هر یک از اجزای عملکرد بر مقدار کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که در شرایط تنش ملایم بیشترین تأثیر را تعداد سنبله در مترمربع و دانه در سنبله را در کاهش عملکرد دارا می‌باشد و تأثیر جزء سوم عملکرد به مراتب پایین‌تر به‌دست آمده است. در شرایط تنش شدید نتایج متفاوت است. به‌طوری‌که کاهش دانه در سنبله، بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد دانه داشته است و کمترین تأثیر ناشی از تعداد سنبله در مترمربع می‌باشد. کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش ۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شده است (۱۲ و ۱۴ درصد به‌ترتیب در تنش ملایم و شدید). بنابراین با توجه به نتایج شکل۵- ب، صفت تعداد دانه در سنبله دارای بیشترین تأثیر، به اندازه ۵۸/۳ درصد در این افزایش نسبت به سایر اجزا، بر عملکرد دانه می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان نمود که سیلیسیوم از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در شرایط تنش باعث افزاش عملکرد دانه شده است.

برش‌دهی اثر متقابل نشان داد که تنها در سطوح تنش خشکی ملایم و شدید، تفاوت معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) میان سطوح سیلیسیوم بر غلظت سیلیسیوم در برگ پرچم وجود داشت (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده حاکی از این بود که در شرایط تنش خشکی گیاه جهت افزایش غلظت داخل سلول مقدار بیشتری سیلیسیوم جذب می‌کند (۲۰). کاربرد ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم در هکتار در شرایط تنش ملایم و شدید باعث افزایش غلظت سیلیسیوم در اندام هوایی به‌ترتیب ۳۳ و ۳۵ درصد نسبت به تیمار بدون سیلیسیوم گردید. هم‌چنین تنش شدید بدون کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش معنی‌دار غلظت سیلیسیوم برگ به‌اندازه ۲۲/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. بنابراین نتایج نشان دهنده رابطه مثبت معنی‌داری بین سطوح تنش و سیلیسیوم بر غلظت آن در برگ پرچم می‌باشد. به‌طوری‌که بیشترین غلظت این عنصر در شدیدترین تنش و بیشترین مقدار کاربرد سیلیسیوم و کمترین مقدار آن از پایین‌ترین سطوح دو تیمار حاصل گردید (جدول ۵).

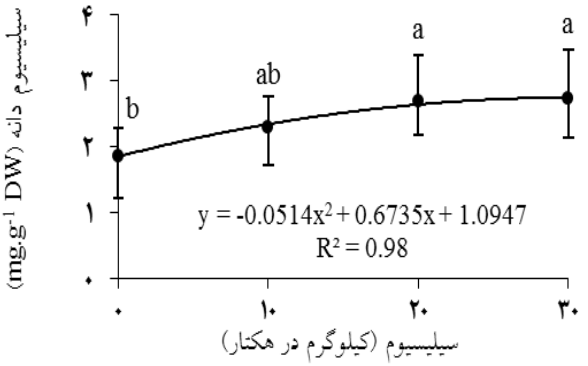
اثر تیمار تنش خشکی بر غلظت سیلیسیوم دانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج جدول ۳، تنش خشکی شدید و ملایم سبب افزایش معنی‌دار (تقریباً به یک

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

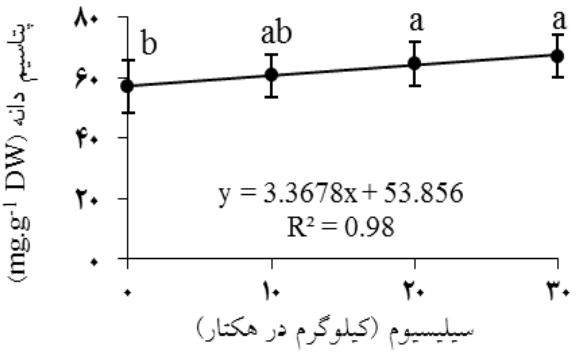


شکل ۵. سهم اجزای عملکرد در کاهش (الف) و افزایش (ب) عملکرد دانه تحت تیمارهای آزمایشی



شکل ۶. اثر سطوح سیلیسیوم بر غلظت سیلیسیوم دانه

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح سیلیسیوم است.



شکل ۷. اثر سطوح سیلیسیوم بر غلظت پتاسیم دانه

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح سیلیسیوم است.

اندازه) آن نسبت به شاهد شده است. بیشترین و کمترین غلظت سیلیسیوم در دانه در تیمارهای تنش شدید (۲/۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ) و شاهد (۱/۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ) به‌دست آمد. میانگین غلظت سیلیسیوم در دانه (۲/۴ میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ) کم‌تر از میانگین آن در برگ پرچم (۴۰ میلی‌گرم در گرم وزن خشک برگ) است، و نیز افزایش آن در بالاترین سطح تنش خشکی (۲۹/۵ درصد)، کم‌تر از افزایش آن در برگ پرچم (۳۵ درصد) نسبت به شاهد می‌باشد. با استناد به این نتایج می‌توان بیان نمود که غلظت سیلیسیوم در برگ پرچم بیشتر از غلظت آن در دانه تحت‌تأثیر کاربرد سیلیسیوم قرار گرفت و این نشان دهنده افزایش غلظت سیلیسیوم در اندام‌هایی که دارای تعرق بیشتر هستند می‌باشد. بنابراین در شرایط تنش، سیلیسیوم از طریق افزایش غلظت این عنصر در برگ پرچم، جهت کاهش تعرق و تأثیر کم‌تر بر روی ترکیبات دانه، می‌تواند در این شرایط به‌عنوان عنصر مفید مورد استفاده قرار بگیرد. در حضور ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم، غلظت آن در دانه به‌ترتیب ۳۱/۷ و ۳۰/۵ درصد افزایش یافت اما تیمار ۱۰ کیلوگرم تأثیر معنی‌داری بر آن نداشته است (شکل ۶). نتایج تحقیقات تونا و همکاران (۲۰) روی گندم، چن و همکاران (۴) روی برنج و احمد و همکاران (۱) روی سورگوم نشان داد که سیلیسیوم باعث افزایش غلظت آن در اندام هوایی گیاه از جمله دانه می‌گردد.

تنش خشکی شدید باعث کاهش معنی‌دار پتاسیم دانه (۱۵ درصد)، اما تنش ملایم اثر معنی‌دار بر آن نسبت به شاهد نداشته است (جدول ۳). لیانگ و همکاران (۱۱) بیان نمودند که جذب و انتقال پتاسیم نیازمند ATP می‌باشد، و با توجه به اینکه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

در شرایط تنش مقدار ATP کاهش می‌یابد، غلظت این عنصر در گیاه نیز تنزل پیدا می‌کند. نیاکانی و قربانلی (۱۷) یادآور شدند که کاهش پتانسیل آبی سبب کاهش جذب پتاسیم در ریشه شده که این خود سبب کاهش انتقال یون پتاسیم از ریشه به اندام هوایی می‌شود. براساس نتایج این آزمایش کاربرد ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم دانه به‌ترتیب ۱۱/۶ و ۱۴/۶ درصد نسبت به شاهد شد. نتایج شکل ۷ وجود رابطه مثبت بین مقادیر سیلیسیوم و غلظت پتاسیم در دانه را نشان می‌دهد. وفور مقادیر زیادی از پتاسیم در گیاه در شرایط تنش، نشانه تحمل گیاه به تنش می‌باشد. بنابراین کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش پتاسیم دانه شده و می‌توان بیان نمود که تحمل گیاه به تنش افزایش یافته است.

در شرایط بدون تنش خشکی، مقادیر ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم سیلیسیوم در هکتار باعث افزایش نیتروژن به‌ترتیب ۲۴/۲ و ۲۴/۶ درصد نسبت به شاهد شد، اما مقدار ۱۰ کیلوگرم سیلیسیوم اثر معنی‌داری بر درصد آن نداشت. از طرفی نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که سیلیسیوم در تنش خشکی ملایم و شدید هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر درصد نیتروژن دانه ندارد (جدول ۴). به‌علاوه تنش ملایم و شدید بدون کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش نیتروژن دانه به‌ترتیب ۲۱/۶ و ۳۱ درصد نسبت به شاهد گردید. نتایج نشان داد که سیلیسیوم تنها در شرایط بدون تنش تأثیر داشته و باعث افزایش بسیار زیاد نیتروژن دانه شده است، اما در شرایط تنش ملایم و شدید بی‌تأثیر بود (جدول ۵). احتمالاً عدم افزایش نیتروژن در حضور سیلیسیوم در شرایط تنش می‌تواند این دلیل باشد که با خشک شدن خاک، هم متصاعد شدن آمونیاک و هدر روی آن زیاد می‌شود و هم به‌علت افزایش pH محلول خاک میزان جذب آن کاهش می‌یابد. بنابراین حتی در حضور سیلیسیوم امکان افزایش نیتروژن دانه وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی در هر سطحی که باشد باعث تخریب غشاء سلول و افزایش میزان نشت و در نتیجه کاهش پایداری غشاء می‌گردد. داده‌ها بیانگر آن هستند که علاوه بر اثرات مستقیم تنش، اثرات غیر مستقیم آن سبب کاهش کارایی غشاء سلول و در نتیجه کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و رشد می‌شود. هم‌چنین تنش سبب کاهش معنی‌دار اجزای عملکرد و عملکرد (۳۸ درصد) و افزایش درصد نیتروژن دانه نسبت به تیمار شاهد شد. نتایج نشان داد که کاربرد سیلیسیوم در شرایط بدون تنش اثر معنی‌داری بر رشد گیاه نداشته، اما در شرایط تنش سبب کاهش میزان نشت و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گردید. در شرایط این پژوهش میزان افزایش عملکرد گندم در اثر کاربرد سیلیسیوم ۶ درصد (در شرایط تنش شدید افزایش ۱۴ درصد) بوده است. غلظت سیلیسیوم و پتاسیم در اثر کاربرد سیلیسیوم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این امر نشان می‌دهد که سیلیسیوم علاوه بر جذب و رسوب در گیاه سبب افزایش جذب پتاسیم می‌گردد. به‌نظر می‌رسد که سیلیسیوم علاوه بر اثرات مستقیم، به‌طور غیر مستقیم، از طریق افزایش پایداری غشاء سلول و موم کوتیکول و نیز تحریک جذب پتاسیم سبب افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش و در نتیجه افزایش عملکرد گردد. با توجه به فراوان بودن این عنصر و عدم آلودگی زیست محیطی آن، می‌تواند به‌عنوان یک عنصر مفید در شرایط تنش، جهت کاهش خسارات تنش خشکی و دست‌یابی به عملکرد مطلوب مورد استفاده قرار بگیرد.

منابع مورد استفاده

1. Ahmad, M., F. Hassen., U. Qadeer and A. Aslam. 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research* 6(3): 594-607.
2. Alizadeh, A. 2008. Soil and Plant Water Relations. Compilation. Publication of Imam Reza. PP: 132-146. (In Farsi).
3. Ashraf, M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances* 27: 84-93.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]

4. Chen, W., X. Yao., K. Cai and J. Chen. 2010. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research* 142:67–76.
5. Elliot, C. L. and G. H. Snyder. 1991. Autoclave-induced digestion for the calorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39: 1118-1119.
6. Emam, Y., A. Ranjbari and M. J. Bahrani. 2007. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under drought stress after anthesis. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 1: 317-328. (In Farsi).
7. Epstien, E. 1999. Silicon. Annu. Rev. *Plant Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641-664.
8. Gong, H. J., K. M. Chen., G. Chen., S. Wang and C. L. Zhang. 2005. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *In:* Proceeding of 13th International Soil Conservation Organisation Conference – Brisbane July. PP: 10-11.
9. Kaya, C., L. Tuna and D. Higgs. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown.under water - stress condition. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1469- 1480.
10. Li, Q. F., C. C. Ma and Q. L. Shang. 2007. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*18: 531-536.
11. Liang, Y., Q. Chen., Q. Liu., W. Zhang and R. Ding. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stressed barely (*Hordeum vulgar* L.). *Journal of Plant Physiol*ogy 160: 1157-1164.
12. Liang, Y., W. Sun., Y. G. Zhu and P. Christie. 2007. Mechanisms of Silicon-mediated alleviation of abiotic stress in higher plants, A Review. *Environmental Pollution* 147: 422-428.
13. Lutts, S., J. M. Kinet and J. Bouharmont. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78: 389–398.
14. Ma, J. F. and E. Takahashi. 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. *Elsevier Science* B.V. First edition.
15. Ma, J. F. and N. Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant science* 11(8): 1-6.
16. Mohammadi, A. A., A. Majid., M. R. Bihamta and H. Heydari Sharifabadi. 2006. Evaluation of drought stress on the morphological characteristics of cultivated wheat varieties. *Journal of Research and Development*. 73: 184-192. (In Farsi).
17. Neyakani, M. and M. Ghorbakli. 2007. The effect of drought stress on growth parameteres, photosynthetic factors, content of protein, Na and K in shoot and root in two soybean cultivars. *Herbs*. 8(1): 17-31. (In Farsi).
18. Ritchie, S. W., H. T. Nguyen and A. S. Haloday. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30:105-111.
19. Tale Ahmadi, S. and R. Haddad. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Journal of Genetic and Plant Breeding* 47(1): 17-27.
20. Tuna, A. L., C. Kaya., D. Higgs., B. Murillo-Amador., S. Aydemir and A. R. Girgin. 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany* 62: 10–16.
21. Zhu, Z., G. Wei., J. Li., Q. Qian and J. Yu. 2004. Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt- stressed cucumber. *Journal of Plant Science* 167: 527-533.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.12.2]