بررسی تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی

ساره پزشک[1]، محمدجعفر ملکوتی، محمدمهدی طهرانی و لیلا رضاخانی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛ **PezeshkSareh1987@Gmail.com**

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛ **mjmalakouti@modares.ac.ir**

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **mtehrani2000@yahoo.com**

محقق بخش تحقیقات شیمی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **leila.rezakhani@yahoo.com**

ص **335 - 347**

دریافت: **1401/2/19** و پذیرش: **1401/12/9**

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب کرج به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی 95-1394 اجرا گردید. عامل اصلی آبیاری در دو سطح آبیاری کامل و تنش (40 % کمتر از نیاز آبی گیاه)، عامل فرعی شامل محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم در سه سطح (صفر، 2/5 و 5 کیلوگرم در هکتار)، در سه مرحله‌ی ساقه-روی، ظهور سنبله و مرحله‌ی خمیری شدن و مصرف خاکی سیلیکات‌پتاسیم در دو سطح (صفر و 20 کیلوگرم در هکتار) در مرحله‌ی ساقه‌روی بود. نتایج نشان داد که کاربرد سیلیکات پتاسیم (مصرف خاکی و محلول‌پاشی) موجب افزایش عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی گندم شد. کاهش آبیاری از 100% به 60% نیاز آبی گندم موجب کاهش عملکرد دانه گندم به مقدار 8/3% شد ولی کاربرد سیلیکات پتاسیم این کاهش را جبران نمود به‌طوری که در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه گندم با محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم، 30/6% نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی بدست آمد و محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم، موجب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار 31% نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم شد. از این رو با توجه به نتایج بازده اقتصادی در مقایسه با عرف کشاورزان می‌توان توصیه کرد که در شرایط تنش خشکی، از محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت پنج در هزار طی مراحل رشد گندم استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: رژیم آبیاری، سیلیکات‌پتاسیم، گندم رقم سیوند

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

مقدمه

خشکی یکی از رایج‌ترین تنش‌های محیطی است و مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (نژاداحمدی و همکاران، 2013). تنش خشکی به‌طور میانگین سبب کاهش 50 درصدی عملکرد دانه گیاهان زراعی در جهان می‌شود (حیدری و کریمی، 2014). در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کم بودن و توزیع غیریکنواخت بارندگی از سالی به سال دیگر، عملکرد سال‌های متوالی نوسانات فراوانی نشان می‌دهد. علاوه بر آن زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق، سبب بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان می‌شود (مقصودی، 1395). نواحی تحت تنش به نواحی گفته می‌شود که میزان بارندگی سالانه آن‌ها کمتر از 500 میلی‌متر باشد (محمودی و همکاران، 1385). کشور ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک کره زمین، با مشکل کم‌آبی مواجه است و با متوسط نزولات 240 میلی‌متر در سال (یک سوم متوسط بارندگی جهان)، طبق تعریف آمبرژه، جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد و سالانه خسارات زیادی را از کمبود آب در بخش کشاورزی متحمل می‌شود (مقصودی، 1395).

رشد فزاینده جمعیت و نیاز بیشتر به محصولات کشاورزی و محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی مسئله‌ی کم‌آبی را به‌گونه‌ای بسیار جدی فراروی کشور قرار داده است (پورمراد و همکاران، 1397). لذا تنش خشکی بایستی همواره به عنوان یکی از چالش‌های مهم تولید محصولات کشاورزی، مد نظر قرار بگیرد. به نظر می‌رسد که در شرایط کمبود آب، کاربرد و تنظیم غلظت برخی از عناصرغذایی می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش خشکی مؤثر باشد و زمینه سازگاری گیاه را فراهم آورد. تغذیه صحیح گیاه یکی از راهکارهای کاهش اثرهای زیان‌بار تنش‌ها است و نقش فراوانی در جلوگیری از کاهش عملکرد دارد. در همین ارتباط، نقش برخی عناصر نظیر سیلیسیم مورد توجه برخی متخصصین تغذیه گیاهی قرار گرفته است (صالح و همکاران، 1394؛ رضاخانی و همکاران، 2019). سیلیسیم دومین عنصر از لحاظ فراوانی در سطح کره زمین است و غلظت آن در محلول خاک از 0/01 تا 1/99 میلی‌مول در لیتر نوسان می‌کند (کرملاچعب و همکاران، 1392). گیاه گندم با هر بار کاشت در فصل رویشی حدود 50 تا 150 کیلوگرم سیلیسیم در هر هکتار از خاک برداشت می‌کند (بارکر و پیلبیم، 2007). بنابراین لازم است تا سیلیسیم برداشت شده از خاک جبران گردد. بررسی‌ها نشان داده است که سیلیسیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گیاه گندم و سورگوم به‌ویژه در مواقعی که گیاه در معرض تنش باشد، نقش مهمی دارد (رضاخانی و همکاران، 2019، 2020).

گنگ و همکاران (2008) در مورد اثر سیلیسیم در دفاع از گندم در برابر تنش اکسیداتیو تحت تنش خشکی نشان دادند که استفاده از سیلیسیم، پتانسیل آب گیاهان را در مرحله‌ی پرشدن دانه افزایش می‌دهد. با کاهش مقدار عوامل تنش اکسیداتیو نظیر پراکسیدهیدروژن، تحمل گیاه به تنش خشکی افزایش می‌یابد. سودمندی سیلیسیم در تحمل تنش خشکی در غلات مربوط به فعالیت بیشتر H^+-ATPas موجود در غشا و جذب بیشتر یون پتاسیم، افزایش غلظت داخل سلولی آن و جذب و نگهداری آب می‌باشد (کایا و همکاران، 2006). نتایج تحقیق طهرانی و همکاران (1401) بر اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر گیاه گندم رقم چمران در یک خاک آهکی با بافت لوم رسی سیلتی و با مقدار سیلیسیم قابل جذب 52 میلی‌گرم در کیلوگرم تحت شرایط تنش خشکی (60 درصد نیاز آبی) در استان هرمزگان، نشان داد که مصرف خاکی 20 کیلوگرم سیلیکات پتاسیم در هکتار، موجب افزایش 16 درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به عدم کاربرد سیلیکات پتاسیم شد. نتایج تحقیق کرملاچعب و همکاران (1393) بر روی اثر مصرف سیلیکات پتاسیم

بر عملکرد گندم رقم چمران در شرایط تنش خشکی در استان خوزستان، نشان داد که مصرف 30 کیلوگرم در هکتار سیلیکات پتاسیم، سبب افزایش عملکرد دانه گندم به مقدار 14 درصد شد. مقصودی و امام (1395) در پژوهش مزرعه‌ای که بر روی واکنش ارقام گندم نان به محلول‌پاشی 6 مولار سیلیکات سدیم در شرایط تنش خشکی بعد از گلدهی انجام دادند، نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، ارتفاع بوته و طول سنبله شد و محلول‌پاشی سیلیسیم موجب افزایش 16 درصدی عملکرد دانه شد. مهرگان و همکاران (1397) گزارش کردند که در گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens* L.) کاربرد سیلیسیم اثرات تنش خشکی را تعدیل کرد، به‌طوری‌که در همه سطوح خشکی تیمار سیلیسیم از منبع سیلیکات‌پتاسیم به‌ویژه با غلظت دو میلی‌مولار باعث افزایش رشد، وزن خشک گیاه و شاخص مقاومت به تنش شد. پارساپور و همکاران (1398) با بررسی تأثیر محلول-پاشی برگی سیلیسیم در شرایط تنش خشکی، نشان دادند که حضور سیلیسیم و به‌خصوص ذرات نانو نقش چشمگیری در بهبود عملکرد دانه گندم و همچنین توزیع مجدد مواد فتوسنتزی داشت. لی و همکاران (2007) اثر سیلیسیم را بر رشد گیاه ذرت تحت شرایط خشکی در گلخانه مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند تحت شرایط تنش ملایم و شدید، مصرف سیلیسیم باعث افزایش عملکرد گردید.

هر عاملی که عملکرد را افزایش دهد، کارایی مصرف آب را نیز افزایش می‌دهد. به همین ترتیب هر عاملی که تبخیر و تعرق را کاهش دهد و تأثیر نامطلوب زیادی بر عملکرد نداشته باشد، کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (هاشمی دزفولی و همکاران، 1374). عملکرد دانه و بازده مصرف آب، رابطهٔ مستقیم دارند .افزایش عملکرد دانه موجب افزایش بازده مصرف آب خواهد شد (نباتی، 1383). سیلیسیم به جهت تأثیر مستقیمی که بر بهبود وضعیت جذب و انتقال آب در آوندها دارد، موجب افزایش کارایی مصرف آب خواهد شد (ما و یاماجی، 2006). نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که کاربرد سیلیسیم کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد به طوریکه سیلیسیم در دیواره‌های سلولی اپیدرم در هر دو سطح برگ تجمع می‌یابد. در نتیجه تلف شدن آب از کوتیکول کاهش می‌یابد. هم‌چنین هنگامی‌که تعرق زیاد است از فروریختن آوندها جلوگیری می‌نماید. علاوه بر این، سیلیسیم از شدت تعرق گیاه نیز می‌کاهد. یکی از علت‌های کاهش بازده مصرف آب تلفات آب از طریق روزنه‌های باز برای گیاهانی است که از اتمسفر اطراف، CO_2 جذب می‌کنند. سیلیسیم از طریق افزایش هدایت CO_2 (شن و همکاران، 2010) و صرفه‌جویی در تلفات آب با تغییر در پاسخ روزنه‌ای و جبران آب از دست رفته از برگ‌ها با تسهیل جذب و انتقال آب بر این معضل غلبه می‌کند (هاتوری و همکاران، 2007). سیلیسیم با جلوگیری از تلفات آب در اطراف روزنه و اصلاح خواص فیزیکی دیواره‌ی سلول‌های نگهبان بر هدایت روزنه‌ای اثر می‌گذارد (یوئنو و آگاریا، 2005). هم‌چنین ماهیت آبدوستی سیلیسیم می‌تواند به حفظ آب در برگ‌ها کمک کند (رومرو آراندا و همکاران، 2006) و از سوی دیگر به شکل یک مانع، از دست دادن آب از طریق کوتیکول را بوسیله‌ی کریستال‌های ذخیره شده در سلول-های اپیدرمی کاهش دهد (ترنهولم و همکاران، 2004).

رسوب سیلیسیم در ریشه‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها موجب استحکام دیواره‌ی سلولی و کاهش تعرق کوتیکولی می‌شود، بنابراین مقاومت به تنش خشکی را افزایش می‌دهد (ما و یاماجی، 2006). بنابراین اثرهای مفید سیلیسیم با تنزل بیش از حد آب توسط تعرق (ساوانت و همکاران، 1999) یا با رسوب کریستال‌های سیلیکات در زیر سلول‌های اپیدرمی برگ‌ها و ساقه‌ها (ترنهولم و همکاران، 2004) ارتباط دارد که می‌تواند تلفات آب از طریق کوتیکول را کاهش دهد. با توجه به افزایش جمعیت جهان تا سال 2050 میلادی و نیاز غذایی بیشتر، افزایش تولید در واحد سطح گندم که یکی از اساسی‌ترین و مهم‌ترین منابع تغذیه در کشور به شمار

می‌رود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (صیادی و همکاران، 1398). از آنجا که مطالعات در زمینه کاهش آب مصرفی و یافتن راه‌حل مناسب برای جبران آن در مزارعی که با مشکل کم‌آبی مواجه هستند، مورد توجه کمی قرار گرفته است، لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی (1395-1394) در مزرعه‌ی تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب واقع در 15 کیلومتری شهر کرج با موقعیت جغرافیایی 50 درجه و 57 دقیقه طول شرقی و 35 درجه و 45 دقیقه عرض شمالی با ارتفاع 1280 متری از سطح دریا، میانگین بارندگی سالانه 252 میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه 13/4 درجه سانتی‌گراد به صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار با کشت گندم رقم سیوند (Sivand) (موسسه اصلاح بذر و تهیه نهال) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل، فاکتور اصلی رژیم آبیاری در دو سطح آبیاری کامل (100 درصد نیاز آبی گندم) و تنش (40 درصد کمتر از نیاز آبی به‌صورت کاهش ساعت آبیاری در هر دوره) و فاکتور فرعی شامل شش تیمار، شاهد (F_0H_0)، مصرف خاکی 20 کیلوگرم در هکتار سیلیکات‌پتاسیم (F_0H_{20})، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار ($F_{2.5}H_0$)، محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار به‌همراه مصرف خاکی 20 کیلوگرم در هکتار ($F_{2.5}H_{20}$)، محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم با غلظت پنج در هزار (F_5H_0) و محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم با غلظت پنج در هزار به‌همراه مصرف خاکی 20 کیلوگرم در هکتار (F_5H_{20}) بود. سیلیکات‌پتاسیم (سیلیسیم 30 و پتاسیم 15 درصد) به‌صورت محلول‌پاشی در سه مرحله‌ی ساقه‌روی، ظهور سنبله و مرحله‌ی خمیری شدن و به‌صورت مصرف خاکی در مرحله‌ی ساقه‌روی مورد استفاده قرار گرفت. برای خنثی بودن اثر پتاسیم، کود کلرور پتاسیم به کرت‌های شاهد در حالت تنش و آبیاری کامل داده شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل کاشت اندازه‌گیری شد (جدول 1).

جدول 1- ویژگی‌های خاک مزرعه مؤسسه تحقیقات خاک و آب در عمق 30-0 سانتیمتری

بافت خاک	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	SP	O.C	P	K	Mn	Fe	Zn	Cu	B	Si
			درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم (شکل قابل جذب)							
لوم	1/55	7/7	30/35	0/72	14/2	273	15/6	4/38	1/92	1/58	0/62	34

آب مورد استفاده برای آبیاری مزرعه با اسیدیته 7/51 و هدایت الکتریکی برابر با 390 میکرو زیمنس بر سانتی‌متر کیفیت مطلوبی برای استفاده داشت. زمین محل مورد آزمایش در طول سال قبل آیش بود. دوره‌های آبیاری بر اساس آمارهای پیش‌بینی هواشناسی و رطوبت خاک مشخص شد. آبیاری با سیستم آبیاری قطره‌ای با فشار و دبی مشخص نازل‌ها انجام شد. تنش از اواسط فروردین ماه به‌صورت اختلاف ساعت آبیاری نسبت به آبیاری کامل اعمال شد. اعمال تنش آبی با تنظیم دبی آب مصرفی در هر نوبت آبیاری به کمک پارشال فلوم در ورودی آب به هر کرت و با توجه به مشخص بودن میزان نیاز آبی گندم در محل اجرای تحقیق بود. پس از اتمام دوره رشد گیاه، میزان تبخیر و تعرق و نیاز آبی بر اساس معادله پنمن منتیث فائو (FAO Penman-Monteith equation) به‌صورت دقیق توسط نرم‌افزار Cropwat برآورد شد و با مقدار آب داده

شده به مزرعه مقایسه شد و درصد اعمال تنش به‌صورت دقیق محاسبه شد (جدول 2).

جدول 2- میزان آب آبیاری و نیاز آبی گیاه

برآورد نیاز آبی توسط نرم‌افزار نت وات (m^3)	آبیاری	میزان آب آبیاری (m^3)	نیاز آبی محل موردنظر توسط نرم‌افزار کراپ وات (m^3)	درصد آبیاری نسبت به نیاز آبی
3800	معمولی	3315/72	2957	-
	تنش	1901/97		64/3

بر اساس نتایج تجزیه‌ی خاک و نیاز تغذیه‌ای گندم، 300 کیلوگرم در هکتار کود اوره گرانول به‌صورت سرک در سه تقسیط، 100 کیلوگرم در هکتار مونوپتاسیم فسفات، 100 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و 100 کیلوگرم در هکتار کود کامل میکرو به‌صورت مصرف خاکی همراه با آب آبیاری و هم‌چنین محلول‌پاشی کود مونوپتاسیم فسفات با غلظت 6 در هزار در مرحله ساقه‌روی بر روی تمامی کرت‌های آزمایشی به‌صورت یکسان اعمال شد. هر کرت دارای 9 خط کشت با ابعاد دو در دو مترمربع با فاصله یک متر بین تکرارها بود. چند نوبت وجین علف به‌صورت دستی بر روی تمامی کرت-های آزمایشی انجام گرفت. در طی فصل رشد کلیه مراقبت‌های لازم صورت گرفت. برداشت نهایی در مرحله رسیدگی کامل دانه‌ها با حذف 30 سانتی‌متر از هر طول و عرض کرت از سطحی حدود 2 مترمربع (5 خط کشت) انجام شد. صفات شامل عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی اندازه-گیری شد. همچنین کارایی مصرف آب (WUE)[1] (عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم به ازای واحد آب مصرفی بر حسب مترمکعب) محاسبه شد. برای تجزیه‌ی آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل فاکتور آبیاری (تنش خشکی) و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد و بر وزن هزاردانه و کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما بر صفات طول خوشه، تعداد دانه در خوشه و ارتفاع اندام هوایی معنی‌دار نبود (جدول 3).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاهش آبیاری از 100 درصد به 60 درصد نیاز آبی گندم، موجب کاهش عملکرد دانه گندم به مقدار 8/3 درصد شد ولی کاربرد سیلیکات پتاسیم، کاهش عملکرد را جبران نمود به‌طوری که در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه با کاربرد سیلیکات پتاسیم 30/6 درصد افزایش یافت و بیشترین مقدار عملکرد دانه معادل (8100 کیلوگرم در هکتار) از محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم بدست آمد و با تیمارهای (F_0H_{20} و $F_{2.5}H_{20}$) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط بدون تنش نیز کاربرد سیلیسیم موجب افزایش عملکرد دانه گندم به مقدار 18/3 درصد شد (جدول 4). مقدار افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی بیشتر بود. عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی در تیمارهای مصرف سیلیکات پتاسیم شامل ($F_{2.5}H_0$ و F_0H_{20} و F_5H_0 و $F_{2.5}H_{20}$)، با عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل (F_0H_0 و F_5H_{20}) در یک گروه آماری قرار گرفت.

1. Water use efficiency

جدول 3-تجزیه واریانس اثر تیمارها بر پارامترهای اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد دانه	وزن هزاردانه	طول خوشه	ارتفاع اندام هوایی	تعداد دانه در خوشه	کارایی مصرف آب
تکرار	2	34614^{ns}	1/72^{ns}	0/015^{ns}	3/02^{ns}	0/66^{ns}	0/017^{ns}
تنش خشکی (A)	1	3850312**	39/70*	0/010^{ns}	131/25**	0/01^{ns}	2265**
خطا (A)	2	555239**	2/20^{ns}	0/011^{ns}	29/35^{ns}	0/39^{ns}	0/371**
سیلیکات پتاسیم (B)	5	1895875**	21/96**	0/206**	86/93**	10/58**	0/097**
تنش خشکی×سیلیکات پتاسیم	5	305741*	22/94**	0/002^{ns}	8/44^{ns}	0/42^{ns}	0/119**
خطا (B)	18	79805	5/07	0/18	8/67	0/49	0/011
ضریب تغییرات%	-	3/60	5/16	1/53	2/76	1/36	3/4

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال 5% و 1%

جدول 4- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد دانه گندم

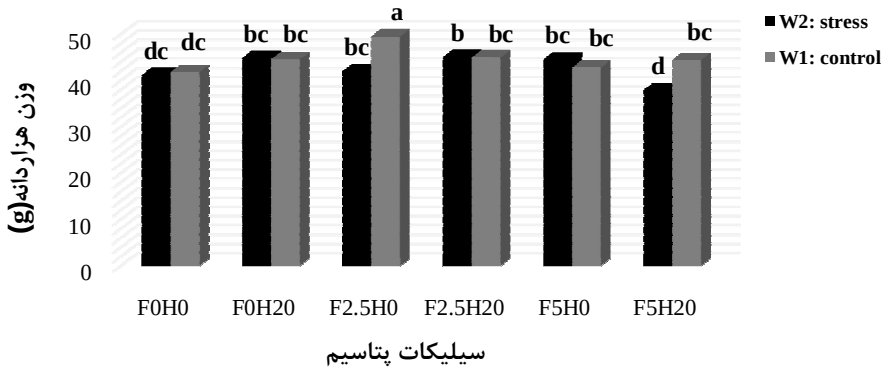
سطوح آبیاری	سیلیکات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
100% نیاز آبی	F_0H_0	7200c
	$F_{2.5}H_0$	8466a
	F_5H_0	8516a
	F_0H_{20}	8233a
	$F_{2.5}H_{20}$	8383a
	F_5H_{20}	7900ab
60% نیاز آبی	F_0H_0	6200d
	$F_{2.5}H_0$	7066c
	F_5H_0	8100ab
	F_0H_{20}	7900ab
	$F_{2.5}H_{20}$	8083ab
	F_5H_{20}	7466bc

نتایج تحقیق حقیقت‌نیا و طهرانی (1398) بر رشد گندم رقم شیرودی در یک خاک آهکی با مقدار سیلیسیم قابل جذب 19/8 میلی‌گرم در کیلوگرم تحت شرایط تنش خشکی (60 درصد نیاز آبی) در استان فارس، نشان داد که مصرف خاکی 20 کیلوگرم سیلیکات پتاسیم در هکتار و محلول‌پاشی 5 کیلوگرم سیلیکات پتاسیم در هکتار، موجب افزایش به‌ترتیب 8/5 و 10 درصدی عملکرد دانه گندم شد. کاربرد سیلیسیم با افزایش شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی و یا به عبارتی کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی منجر به بهبود اجزای عملکرد و در نهایت افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی می‌گردد (مقصودی و امام، 1395). در تحقیقی محلول-پاشی 1/5 میلی‌مولار از این کود، عملکرد دانه را به نسبت محلول‌پاشی یک میلی‌مولار و عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب 5/74 و 11/80درصد افزایش داد (خواجه و همکاران، 2015). کاربرد سیلیسیم در گلرنگ باعث افزایش معنی-داری عملکرد دانه شد به‌طوری‌که با افزایش سیلیسیم از صفر به 2 میلی‌مولار، عملکرد دانه 8/3 درصد افزایش یافت (امیری و همکاران، 2014). تغذیه بهینه سیلیسیم سبب افزایش رشد و تولید حجمی و وزنی ریشه‌ها می-شود که در نهایت سطح کل جذب‌کننده عناصر افزایش می‌یابد (یوسفی و اثنی عشری، 1396). کاربرد سیلیسیم

در غلات موجب افزایش مقدار محصول و افزایش درصد پر شدن دانه می‌شود که از این طریق باعث افزایش عملکرد می‌گردد (فلاح و همکاران، 2004). سیلیسیم تحت شرایط تنش، باعث افزایش عملکرد در گندم، ذرت و برنج می‌گردد (لی و همکاران، 2007; گنگ و چن، 2012). همچنین در تحقیقی کاربرد سیلیسیم موجب بهبود و افزایش عملکرد دانه ارقام گندم گردید و بیشترین تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیسیم در شرایط تنش خشکی 40 درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و افزایش 16 درصدی عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد به همراه داشت، که با نتایج گرفته شده از این تحقیق مطابقت دارد (مقصودی و امام، 1395).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد سیلیکات پتاسیم در هر دو شرایط تنش خشکی و عدم تنش، موجب افزایش وزن هزاردانه گندم نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم شد به‌طوریکه بیشترین مقدار وزن هزاردانه (49/5 گرم) مربوط به محلول‌پاشی با غلظت 2/5 در هزار سیلیکات‌پتاسیم ($F_{2.5}H_0$) در شرایط آبیاری کامل (عدم تنش خشکی) بود که سبب افزایش 18/53درصدی وزن هزاردانه نسبت به شاهد خود شد (شکل 1). در شرایط تنش خشکی وزن هزاردانه گندم با کاربرد خاکی 20 کیلوگرم در هکتار سیلیکات پتاسیم و محلول‌پاشی 2/5 در هزار سیلیکات پتاسیم ($F_{2.5}H_{20}$)، به مقدار 9/5 درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. همچنین تنها در این سطح از کاربرد سیلیکات پتاسیم در شرایط 60 درصد نیاز آبی، مقدار وزن هزاردانه بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود.

نتایج تحقیق مقصودی و امام (1395) نشان داد که وزن هزاردانه گندم تحت تأثیر معنی‌دار تنش خشکی 60 و 40 درصد ظرفیت زراعی قرار گرفت، محلول‌پاشی سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار 14/52 و 19/21 درصدی وزن هزاردانه به ترتیب در شرایط تنش ملایم و شدید در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان داد که کاربرد سیلیسیم در برنج باعث افزایش وزن هزاردانه گردید که این افزایش بیشتر به خاطر جایگزینی این عنصر در پالئا (درون پوشینه) و لما (برون پوشینه) بوده است. سیلیسیم هم‌چنین از طریق انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی سبب افزایش وزن هزاردانه می‌شود (خدابنده‌لو و همکاران، 1393).



شکل 1- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر وزن هزاردانه گندم

F: محلول پاشی سیلیکات پتاسیم

H: مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم

F_0H_0: شاهد (بدون مصرف سیلیکات پتاسیم)

F_0H_{20}: مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم با غلظت 20 کیلوگرم بر هکتار

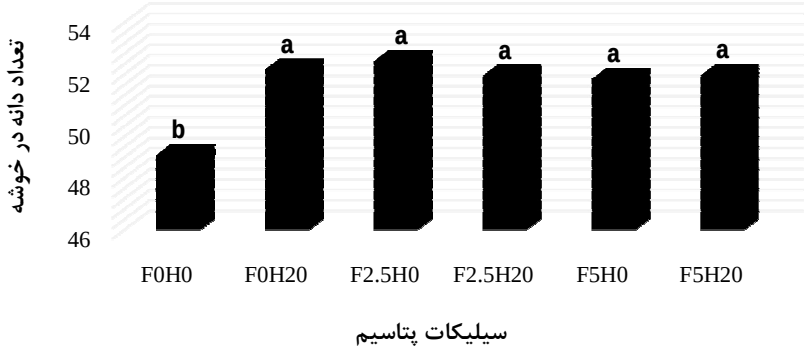
$F_{2.5}H_0$: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار

$F_{2.5}H_{20}$: مصرف توأم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار و مصرف خاکی 20 کیلوگرم بر هکتار

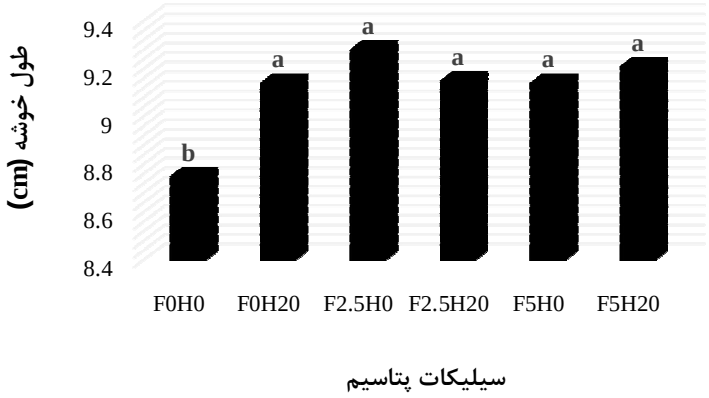
F_5H_0: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 5 در هزار

F_5H_{20}: مصرف توأم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت پنج در هزار و مصرف خاکی با غلظت 20 کیلوگرم بر هکتار

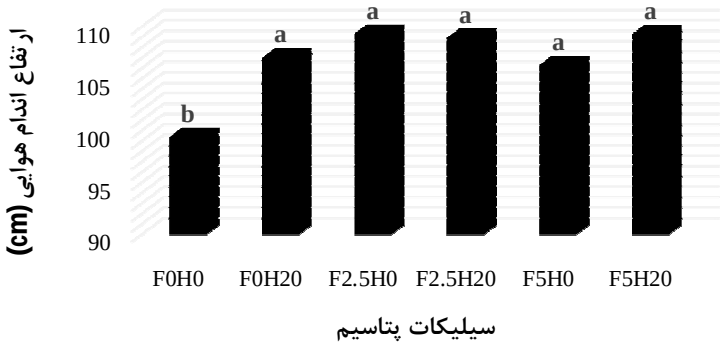
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سیلیکات پتاسیم بر تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی گندم در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد سیلیسیم (مصرف خاکی و محلول‌پاشی) موجب افزایش تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی گندم نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد سیلیسیم) شد. در بین باقی تیمارها اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد (شکل 2 و 3 و 4).



شکل 2- مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد سیلیکات پتاسیم بر تعداد دانه در خوشه گندم



شکل 3- مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد سیلیکات پتاسیم بر طول خوشه گندم



شکل 4- مقایسه میانگین اثر اصلی سیلیکات پتاسیم بر ارتفاع اندام هوایی گندم

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی، کارایی مصرف آب با کاربرد سیلیکات پتاسیم نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. بیشترین کارایی مصرف آب از محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم در شرایط 60 درصد نیاز آبی گندم بدست آمد و با تیمار مصرف خاکی 20 کیلوگرم در هکتار سیلیکات پتاسیم به همراه محلول‌پاشی 2/5 در هزار سیلیکات پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول 5).

پژوهش‌های زیادی انجام شده است که نشان می‌دهد با کاهش مصرف آب و اعمال تنش خشکی، علیرغم کاهش معنی‌دار عملکرد محصول، کارایی مصرف آب یعنی تولید به ازای واحد آب مصرفی، افزایش پیدا می‌کند (وارگا و همکاران، 2015؛ جعفری و همکاران، 1397)، هرچند در برخی پژوهش‌ها نیز تنش خشکی، کاهش کارایی مصرف آب را بدنبال داشته است (رحیمی و همکاران، 1398). در تحقیقی که توسط خدابنده‌لو و همکاران (1393) در گیاه ارزن انجام شد نتایج نشان داد که مصرف سیلیسیم همراه آب آبیاری به همراه محلول-پاشی سیلیسیم و تیمار عدم مصرف آن که به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند، دارای بیشترین و کمترین بازده مصرف آب بودند. سیلیسیم میزان جذب یون سدیم و کلسیم را در ریشه و بخش هوایی کاهش می‌دهد. کاهش جذب سدیم در تیمارهای سیلیسیم به دلیل اثر ممانعتی سیلیسیم بر میزان تعرق گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد. در مجموع، مصرف عنصر سیلیسیم ضمن کاهش اثر منفی تنش کم آبی در گیاه، موجب افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد (رضوی، 1385؛ امیری‌نژاد، 1391). نتایج آزمایش‌های محمدنیا و همکاران (1397) بر روی ریحان، همچنین فراهانی و همکاران (1400) بر روی گل محمدی نیز نشان داد که کاربرد سیلیکات‌پتاسیم باعث افزایش کارایی مصرف آب شد، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

جدول 5-کارایی مصرف آب تحت دو رژیم آبیاری 60 و 100 درصد نیاز آبی گندم

سطوح آبیاری	سیلیکات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)
100% نیاز آبی 3316 مترمکعب در هکتار	F_0H_0	7200c	2/17f
	$F_{2.5}H_0$	8466a	2/55e
	F_5H_0	8516a	2/56e
	F_0H_{20}	8233a	2/48e
	$F_{2.5}H_{20}$	8383a	2/53e
	F_5H_{20}	7900ab	2/38ef
60% نیاز آبی 1902 مترمکعب در هکتار	F_0H_0	6200d	3/26d
	$F_{2.5}H_0$	7066c	3/72c
	F_5H_0	8100ab	4/27a
	F_0H_{20}	7900ab	4/15ab
	$F_{2.5}H_{20}$	8083ab	4/25a
	F_5H_{20}	7466bc	3/92bc

F: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم

H: مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم

F_0H_0: شاهد (بدون مصرف سیلیکات پتاسیم)

F_0H_{20}: مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم با غلظت 20 کیلوگرم بر هکتار

$F_{2.5}H_0$: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار

$F_{2.5}H_{20}$: مصرف توأم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار و مصرف خاکی 20 کیلوگرم بر هکتار

F_5H_0: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 5 در هزار

F_5H_{20}: مصرف توأم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت پنج در هزار و مصرف خاکی با غلظت 20 کیلوگرم بر هکتار

جدول 6- برآورد مقادیر هزینه-فایده

کود سیلیکات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	افزایش عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	قیمت گندم* (ریال)	افزایش درآمد هکتاری (هزار ریال)	هزینه کود (هزار ریال)	میزان سود (هزار ریال)
محلول‌پاشی 2/5	866	115000	99590	5250	94340
محلول‌پاشی 5	1900	115000	218500	10500	208000
مصرف خاکی 20	1700	115000	195500	15000	180500
مصرف خاکی 20+محلول‌پاشی 2/5	1883	115000	216545	20250	196295
مصرف خاکی 20+محلول‌پاشی 5	1266	115000	145590	25500	120090

*قیمت یک کیلو گندم 115000 ریال در سال 1401

نتیجه‌گیری کلی

بر طبق نتایج پژوهش حاضر، کاربرد سیلیکات پتاسیم (مصرف خاکی و محلول‌پاشی) موجب افزایش عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی گندم شد. کاهش آبیاری از 100 درصد به 60 درصد نیاز آبی گندم، موجب کاهش عملکرد دانه گندم به مقدار 8/3 درصد شد ولی کاربرد سیلیکات پتاسیم این کاهش را جبران نمود به‌طوری که در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه گندم با محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم، 30/6 درصد نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. همچنین موجب افزایش 12/5 درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به شاهد (آبیاری 100 درصد و عدم کاربرد سیلیسیم) گردید. از این رو در شرایط تنش خشکی می‌توان تا حدودی مصرف بهینه آب را با کاربرد سیلیکات پتاسیم در مزرعه مدیریت نمود. بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی (60 درصد نیاز آبی گندم) بدست آمد و محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم، موجب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار 31 درصد نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم شد. به طورکلی مصرف سیلیکات پتاسیم سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم و کارایی مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی شد و توانست اثرات سوء تنش خشکی را کاهش دهد. با توجه به نتایج بازده اقتصادی (جدول 6) در مقایسه با عرف کشاورزان می‌توان توصیه کرد که در شرایط تنش خشکی، از محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت پنج در هزار، طی مراحل رشدی گندم استفاده شود.

فهرست منابع

1. پارساپور، ع.، ع، بخشنده.، م.ح، قرینه.، ح، فیضی.، و م.ر، مرادی تلاوت. 1398. تأثیر محلول‌پاشی برگی و سیلیسیم دی اکسیدنانو و غیرنانو بر عملکرد و توزیع مجدد ماده خشک گندم در شرایط تنش خشکی. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی. 12(2): 388-377.
2. پورمراد، م.، م.ج، ملکوتی.، و م.م، طهرانی. 1397. بررسی اثر اسیدهیومیک و اسیدفولویک بر روی عملکرد گندم و کارایی مصرف آب تحت تنش خشکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی).32(5):977-985.
3. حقیقت‌نیا، ح.، و م.م، طهرانی. 1398. بررسی تأثیر سیلیکات پتاسیم بر گندم رقم شیرودی تحت شرایط تنش خشکی. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. زنجان.
4. خدابنده‌لو، ش.، ع، سپهری.، گ، احمدوند.، و الف.ح، کشتکار. 1393. اثر مصرف سیلیکون برعملکرد دانهٔ ارزن معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی. مجله به‌زراعی کشاورزی. 16(2):399-416.
5. صالح، ج.، ن، نجفی.، و ش، اوستان. 1394. تأثیر مصرف سیلیسیم بر رشد، ترکیب شیمیایی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط شور. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 72. صفحات 240-229.
6. صیادی، ف.، م، سعیدی.، س، جلالی هنرمند.، ش، ساسانی.، و م.الف، قبادی. 1398. اثر تنش کم‌آبی انتهای فصل بر خصوصیات فیزیولوژیکی منابع جاری، ذخیره‌ای و ظرفیت تولیدی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) مناطق معتدله. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. 11(2): 723-737.
7. طهرانی، م.م.، ل، رضاخانی. 1401. بررسی تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی کود و آب در شرایط تنش خشکی. گزارش نهایی با شماره فروست 62096. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

8. فراهانی، ح.، ن، ساجدی.، ح، مدنی.، م، چنگیزی.، و م.ر، نائینی. 1400. تأثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم برکارایی مصرف آب، خصوصیات عملکردی و عملکرد اسانس گیاه گل محمدی (*Rosa damascena* Miller) در شرایط تنش کمبود آب. نشریه علوم باغبانی ایران. 52(1):171-182.
9. کرملاچعب، ع.، م.ح، قرینه.، ع، بخشنده.، م.ر، مرادی تلاوت.، و ق، فتحی. 1392. تأثیر کاربرد سیلیسیم بر صفات فیزیولوژیکی و رشد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش خشکی آخر فصل. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. 5 (4): 433-442.
10. محمدنیا، ر.، ع، رضایی‌نژاد.، و ص، بهرامی‌نژاد. 1397. تأثیر دور آبیاری و کاربرد سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). نشریه علوم باغبانی ایران. 49(1):37-45.
11. مقصودی، ک.، و ی، امام. 1395. واکنش ارقام گندم نان به برگ‌پاشی سیلیسیم در شرایط تنش خشکی بعد از گلدهی. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. 6(19): 1-13.
12. مهرگان، ب.، ص، موسوی‌فرد.، و ع، رضایی‌نژاد. 1397. تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens* L.) تحت تنش خشکی. نشریه به‌زراعی کشاورزی. 20(1): 299-314.
13. نباتی، ج. 1383. اثر فواصل آبیاری بر خصوصیات زراعی، مورفولوژیکی و کیفی ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. پایان نامه کارشناسی ارشد.
14. هاشمی‌دزفولی، الف.ل.، ع، کوچکی.، و م، بنیان اول. 1374. افزایش عملکرد گیاهان زراعی (تألیف ان. کا. فاجریا.)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، چاپ اول.
15. یوسفی، ر.، و م، اثنی‌عشری. 1396. تأثیر میکرو و نانوذرات سیلیسیم بر غلظت عناصر پرمصرف، کم‌مصرف و میزان سیلیسیم گیاه توت‌فرنگی در شرایط کشت بدون خاک. نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. 8(1):57-71.
16. یوسفی، م.، ش، انتشاری.، م، سعادتمند. 1393. بررسی تأثیر تیمار سیلیسیم بر برخی خصوصیات ریخت‌شناسی، تشریحی و فیزیولوژیک گاوزبان ایران. نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال پنجم، شماره 18.
17. Barker, A.V., and D.J, Pilbeam. 2007. Hand book of Plant Nutrition. CRC Press. New York, USA.
18. Gong, H., and K, Chen. 2012. The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. Acta Physiologiae Plantarum. 34: 1589-1594.
19. Hattori, T., K, Sonobe., S, Inanaga., P, An., W, Tsuji., H, Araki., A.E, Eneji., and S, Morita. 2007. Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. Environmental and Experimental Botany. 60: 177-182.
20. Heidari, M., and V, Karami. 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 13(1): 9-13.
21. Kaya, C., L. Tuna., and D, Higgs. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. Journal of Plant Nutrition. 29: 1469-1480.
22. 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(3): 531-536.
23. Ma, J., and N, Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science 11: 392-397.

24. Nezhadahmadi, A., Z.H, Pradhan., and G, Faruq. 2013. Drought tolerance in wheat. The Scientific World Journal. 12 pp.
25. Rafi, M.M., and E, Epstein., R.H, Falk. 1997. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Physiology. 151: 497.
26. Rezakhani, L., B, Motesharezadeh., M.M, Tehrani., H, Etesami., and H, Mirseyed Hosseini. 2019. Phosphate–solubilizing bacteria and silicon synergistically augment phosphorus (P) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant fertilized with soluble or insoluble P source. Ecotoxicology and Environmental Safety.173:504-513.
27. Rezakhani, L., B, Motesharezadeh., M.M, Tehrani., H, Etesami., and H, Mirseyed Hosseini. 2020. Effect of Silicon and Phosphate-Solubilizing Bacteria on Improved Phosphorus (P) Uptake Is Not Specific to Insoluble P- Fertilized Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Plants. Journal of Plant Growth Regulation. 39 (1): 239-253. doi:10.1007/s00344-019-09978-x
28. Romero-Aranda, M.R., O, Jurado., and J, Cuartero. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Plant Physiology. 163: 847-855.
29. Savant, N.K., G.H, Snyder., and L.E, Datnoff. 1999. Silicon management and sustainable rice production. In: advances in agronomy. V. 58. D. L. Sparks ed. Academic press, San Diego. Ca. Pp. 151-199.
30. Shen, X., Y, Zhoua., L, Duana., Z, Li., A.E, Eneji., and J, Li. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. Journal of Plant Physiology. 167: 1248-1252.
31. Trenholm, L.E., L.E, Datnoff., and R.T, Nagara. 2004. Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. Augustine grass. Hort Technology. 14:487-490.
32. Ueno, O., and S, Agarie. 2005. Silica deposition in cell walls of the stomatal apparatus of rice leaves. Plant Production Science. 8:71-73.

Investigation of the Effect of Silicon on Wheat Yield and Water Use Efficiency under Water Stress Conditions

S. Pezeshk[1], M.J. Malakouti, M.M. Tehrani, and L. Rezakhani

M.Sc., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; E-mail: PezeshkSareh1987@Gmail.com

Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; E-mail: mjmalakouti@modares.ac.ir

Assistant Professor, Department of Soil Fertility, Chemistry and Plant Nutrition, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: mtehrani2000@yahoo.com

Researcher, Department of Soil Fertility, Chemistry, and Plant Nutrition, SWRI, AREEO, Karaj, Iran; E-mail: leila.rezakhani@yahoo.com

Received: May, 2022 , and Accepted: February, 2023

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of silicon on wheat yield and water use efficiency (WUE) in water stress conditions. The study site was Research Farm of Soil and Water Research Institute in Karaj. The experiment was conducted as a randomized complete block design with split plots, in 2018-219 season. The main factor was irrigation at two levels of full irrigation and stress (40% less than wheat water requirement), and the secondary factor including foliar application of potassium silicate at three levels (zero, 2.5 and 5 kg/ha) at three growth stages (shooting, flowering, and grain filling) and soil application of potassium silicate (zero and 20 kg/ha). The results showed that soil and foliar application of potassium silicate increased grain yield, thousand-grain weight, number of seeds per spike, spike length, and height of wheat plant. Reducing irrigation from 100% to 60% of wheat water requirement caused a decrease in grain yield by 8.3%, but the application of potassium silicate compensated for this decrease, such that under drought stress, wheat grain yield with application of 0.005 potassium silicate increased by 30.6% compared to the non-application of silicon. The highest WUE was obtained under water stress conditions and application of 5‰ potassium silicate increased the WUE by 31% compared to non-application. Therefore, in the conditions of water stress, compared to the farmers' practices, foliar application of potassium silicate with a concentration of 5‰ can be recommended during the growth stages of wheat.

Keywords: Irrigation regime, Potassium silicate, Wheat cv. Sivand

[1]. Corresponding author: Graduated M.Sc, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Karaj.