



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۶ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۳
صفحه‌های ۴۱۶-۳۹۹

اثر مصرف سیلیکون بر عملکرد دانه ارزش معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی

شهین خدابنده^۱، علی سپهری^{۲*}، گودرز احمدوند^۳ و امیرحسین کشتکار^۴

۱. کارشناس ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۰۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۱۱

چکیده

کمبود آب مهم‌ترین عامل غیرزیستی محدودکننده، برای دستیابی به عملکرد پتانسیل گیاهان زراعی است. تأثیر مصرف سیلیکون بر عملکرد ارزش معمولی در شرایط تنش خشکی در مزرعه، به صورت آزمایشی شامل سه دور آبیاری پس از ۶۰ (بدون تنش)، ۹۰ (تنش متوسط) و ۱۲۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر و چهار روش مصرف سیلیکون شامل بدون مصرف (شاهد)، محلول‌پاشی، محلول‌پاشی به‌اضافه مصرف به‌همراه آب آبیاری و مصرف به‌همراه آب آبیاری، در سال زراعی ۱۳۹۱، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های یک بار خردشده با سه تکرار در همدان اجرا شد. نتایج نشان داد که اثر تنش و سیلیکون بر کلیه صفات به استثنای بازده مصرف آب در وضعیت تنش و تعداد دانه در سنبله بعد از مصرف سیلیکون معنادار بود. عملکرد بیولوژیک و دانه به‌ترتیب در تنش متوسط ۱۵ و ۲۲ و در تنش شدید ۳۳ و ۴۲ درصد کاهش داشتند. اثر متقابل خشکی و سیلیکون بر وزن هزاردانه، عملکرد دانه و بازده مصرف آب معنادار بود. مصرف سیلیکون به‌صورت محلول‌پاشی به‌اضافه مصرف به‌همراه آب آبیاری بیشترین اثر مثبت را بر وزن دانه، بازده مصرف آب، شاخص برداشت و نسبت فایده به هزینه داشت. آنالیز تحلیل اقتصادی تیمارها افزایش نسبت فایده به هزینه را در هر سه روش مصرف سیلیکون نشان داد، ولی افزایش در روش محلول‌پاشی توأم با آب آبیاری بیشتر بود. از این رو توصیه می‌شود، در مصرف سیلیکون از هر دو روش به‌طور توأم استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: بیوماس، تبخیر و تعرق، تنش آب، درآمد خالص، شاخص برداشت.

۱. مقدمه

تغییر شرایط آب‌وهوایی در چند دهه اخیر به کاهش مقدار توزیع بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، از جمله ایران منجر شده است. تنش خشکی علت اصلی کاهش رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود [۴۹]. به نظر می‌رسد با توجه به تغییر الگوهای بروز خشکی، تغییر در راهبردهای مناسب برای کاهش اختلاف عملکرد واقعی و پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی در این مناطق ضروری است [۴۶].

ارزن معمولی^۱ گیاه مناسبی برای کاشت در مناطق کم‌آب است [۳۸]. رشد سریع، قابلیت تطابق بالا، مقاومت نسبی به خشکی و شوری، درصد زیاد پروتئین، پربرگی و خوش‌خوراکی، نبود اسید پروسیک، سازوکار فتوسنتزی چهارکربنه، توان تولیدی مناسب و بالا بودن کارایی مصرف آب آن نسبت به گونه‌های سه‌کربنه، سبب شده به صورت یک گیاه علوفه‌ای ایده‌آل در نواحی با محدودیت آب، مطرح شود [۴۴]. این گیاه یکی از گونه‌های سازگار به خشکی است که بررسی صفات ویژه آن می‌تواند به شناسایی سازوکارهای مؤثر در مقابله با خشکی کمک کند [۱]. ارزن قادر است از طریق گلدهی زودتر [۱۲] و همزمان نبودن نمو پنجه‌ها تأثیرات خشکی را کاهش دهد [۳۴].

سیلیکون دومین عنصر فراوان در پوسته زمین به‌شمار می‌رود و به شکل سیلیسیک اسید^۲ توسط گیاهان قابل جذب است [۳۱]. سیلیکون به‌عنوان عنصر ضروری برای گیاهان شناخته نشده و نقش آن در بیولوژی گیاه کمتر درک شده است، ولی از طریق ریشه جذب می‌شود و وظایف مهمی را در گیاهان زراعی ایفا می‌کند، ورس را به حداقل می‌رساند و مقاومت در مقابل بیماری‌ها و آفات را افزایش می‌دهد. همچنین، جهت‌گیری برگ‌ها را در مقابل نور و به تبع آن فتوسنتز را افزایش می‌دهد [۱۶].

تأثیرات سودمند سیلیکون هنگامی که گیاهان تحت تنش‌های مختلف محیطی و غیرمحیطی قرار می‌گیرند، بیشتر است [۵۳]. سیلیکون در بسیاری از موارد با تحریک رشد، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش میزان گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود [۱۷]. مصرف سیلیکون موجب افزایش مقدار محصول و همچنین افزایش درصد پر شدن دانه‌ها شده و به افزایش عملکرد دانه برنج منجر می‌شود [۱۸]. کاربرد مقادیر کم سیلیکون می‌تواند در افزایش عملکرد دانه و رشد غلات مفید باشد، ولی استفاده بیش از حد سیلیکون نه تنها نفعی ندارد، بلکه سبب کاهش رشد و عملکرد دانه در گیاه گندم می‌شود [۵۲].

مطالعات زیادی در مورد تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد گیاهان علوفه‌ای در مناطق مختلف انجام گرفته است. با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۲۰ روز عملکرد علوفه ارزن نوتریغید ۳۵/۷ درصد کاهش داشته است [۶]. محققان در مطالعه تأثیر تنش خشکی طی مراحل نمو سنبله و پر شدن دانه، در ارزن مرواریدی مشاهده کردند که عملکرد دانه، اجزای عملکرد و عملکرد دانه تحت تأثیر تنش در مرحله نمو سنبله، قرار نگرفت [۳۴]، درحالی‌که تنش آبی در مرحله پر شدن دانه موجب کاهش عملکرد دانه، تعداد دانه در واحد سطح و وزن هزاردانه شد.

گزارش‌های متعددی در مورد اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو گیاه بر کاهش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت وجود دارد [۱۴، ۲، ۴]. واکنش عملکرد گیاهان زراعی به تنش، به شدت تنش، نوع گیاه و مرحله رشد بستگی دارد [۸]. در واکنش ذرت، سورگوم و ارزن به کم‌آبیاری، مشاهده شد که در شرایط تنش شدید ارزن دارای بیشترین بازده مصرف آب بود، اما در شرایط آبیاری مطلوب و تنش با شدت کم، سورگوم بیشترین بازده مصرف آب را داشت [۵۱].

1. *Panicum miliaceum*

2. Si[OH]₄

سیلیکون از منبع سیلیکات کلسیم، بدون مصرف، محلول پاشی، مصرف به همراه آب آبیاری به اضافه محلول پاشی و مصرف به همراه آب آبیاری در کرت های فرعی در سه تکرار، در مزرعه اجرا شد. محلول پاشی سیلیکون با غلظت ۱۰ میلی مولار و مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به مقدار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بود. تیمار سیلیکون ۳۰ روز پس از کاشت و به فاصله دو هفته یکبار، تا پایان دوره رشد ادامه داشت.

آبیاری به صورت نشتی و با لوله پلی اتیلن انجام گرفت و حجم آب مصرفی با کتور اندازه گیری شد. دور آبیاری تیمارها متفاوت و حجم آب مصرفی آنها یکسان بود. هر کرت آزمایشی شامل هشت خط کاشت به طول پنج متر و به فاصله ۲۵ سانتی متر از یکدیگر بود. تراکم بوته مورد استفاده برای همه کرت های آزمایشی ۱۰۰ بوته در متر مربع بود. با توجه به آزمون خاک قبل از کاشت ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل به زمین داده شد. کشت در ۲۱ اردیبهشت انجام گرفت. کلیه عملیات داشت شامل وجین، کوددهی، آبیاری و مبارزه با آفات انجام گرفت.

برداشت بوته ها برای محاسبه عملکرد دانه و کل ماده خشک از مساحت دو متر مربع از وسط هر کرت و از ارتفاع پنج سانتی متری از سطح زمین صورت گرفت. بازده مصرف آب نسبت به عملکرد دانه و بیوماس نیز از تقسیم عملکرد دانه و کل ماده خشک تولیدی (کیلوگرم) بر مقدار آب مصرف شده (متر مکعب) به دست آمد. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه به کل ماده خشک محاسبه شد. شایان ذکر است تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه براساس ۲۰ بوته از هر کرت به دست آمد.

به منظور تحلیل اقتصادی درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه تولید (درآمد ناخالص نسبت به

در بررسی تأثیر کم آبیاری در چچم، ارزن و کلزای علوفه ای نتیجه گیری شد که هر چند بیشترین ماده خشک گونه های مورد بررسی در تیمار آبیاری کامل به دست آمد، بازده مصرف آب در شرایط بدون آبیاری در همه گونه ها از برتری معناداری نسبت به تیمارهای مختلف آبیاری برخوردار بود و با افزایش آبیاری، بازده مصرف آب کاهش یافت [۲۵]. با وجود تأکید زیاد بر نقش سیلیکون در افزایش بازدهی محصولات، تاکنون در مورد ارزن مطالعه جامعی انجام نگرفته است.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیرات مصرف سیلیکون بر عملکرد ارزن در شرایط تنش خشکی است. از آنجا که بازده مقدار مصرف آب در شرایط محدودیت آبیاری، تابع شرایط رشد و تغذیه گیاه است [۴۲]، در این پژوهش، رابطه عملکرد دانه ارزن و اجزای عملکرد با بازده مصرف آب نیز تجزیه و تحلیل شد.

۲. مواد و روش ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۱ در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، با ارتفاع ۱۷۴۱/۵ متر از سطح دریا و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی انجام گرفت. منطقه مورد بررسی از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه خشک و سرد با میانگین بارندگی سالیانه ۳۳۳ میلی متر و متوسط درجه حرارت ۲۴ درجه سانتی گراد در گرم ترین ماه سال، براساس آمار هواشناسی ۵۵ ساله است و دارای بافت خاک شنی لومی با اسیدیته ۷/۵ است.

آزمایش با یک رقم ارزن معمولی به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح آماری بلوک های کامل تصادفی و سه دور آبیاری براساس ۶۰ (بدون تنش)، ۹۰ (تنش متوسط) و ۱۲۰ (تنش شدید) میلی متر تبخیر از تشتک کلاس A در کرت های اصلی و چهار روش مصرف

۳.۲. تعداد دانه در سنبله

تعداد دانه در سنبله بین تیمارهای کم‌آبیاری تفاوت معناداری داشت (جدول ۱)، به‌طوری‌که تنش متوسط و شدید حدود ۱۷ درصد دانه کمتری نسبت به شاهد تولید کردند و از این لحاظ تفاوتی بین آنها وجود نداشت (جدول ۲). تنش رطوبتی به‌دلیل کاهش تعداد گلچه‌های بارور، تعداد دانه در سنبله را کاهش داد [۳۹]. از دلایل کاهش تعداد دانه در تنش کم‌آبی، می‌توان به کاهش تعداد گل‌هایی که به دانه تبدیل می‌شوند اشاره کرد [۲۷].

در این آزمایش، تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر کاربرد سیلیکون و اثر متقابل تنش و سیلیکون قرار نگرفت (جدول ۱). همچنین در مطالعه‌ای دیگر کاربرد سیلیکون تعداد دانه در سنبله گندم را در شرایط تنش افزایش داد [۵]، اما در این آزمایش مصرف سیلیکون اثر منفی ناشی از تنش خشکی را بر تعداد دانه در سنبله جبران نکرد.

۳.۳. وزن هزاردانه

بین تیمارهای آبیاری از لحاظ وزن هزاردانه اختلاف معناداری مشاهده شد. در این آزمایش تیمار شاهد با حدود ۹ درصد افزایش نسبت به تنش شدید، بیشترین وزن هزاردانه را داشت (جدول ۲). در بررسی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد ارزن معمولی نشان داده شد که تنش خشکی در مرحله ظهور سنبله موجب کاهش وزن هزاردانه می‌شود [۴۵]. در شرایط تنش شدید، آب کافی برای پر شدن دانه وجود نداشت، بنابراین مقصدهای فیزیولوژیکی به‌خوبی پر نشد و در نتیجه وزن هزاردانه به‌شدت کاهش یافت [۱۵].

وزن هزاردانه در تیمار سیلیکون و همچنین اثر متقابل آبیاری و سیلیکون به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد تفاوت معناداری داشت (جدول ۱).

هزینه کل) براساس سیلیکات کلسیم مصرفی از منبع داخلی به‌ازای هر کیلوگرم ۱۰۰۰۰۰۰ ریال محاسبه شد.

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS آنالیز و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. همچنین جنبه اقتصادی مصرف سیلیکون نسبت به افزایش عملکرد تحت تیمارهای مختلف محاسبه شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تعداد سنبله در بوته

با توجه به تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای آبیاری و مصرف سیلیکون به‌تنهایی تأثیر معناداری بر تعداد سنبله در بوته داشتند، درحالی‌که اثر متقابل آنها معنادار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش متوسط کم‌آبی نسبت به تیمار شاهد از لحاظ تعداد سنبله در بوته اختلاف معناداری نداشت، درحالی‌که تنش شدید با حدود ۲۰ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد، کمترین تعداد سنبله را به خود اختصاص داد (جدول ۲). کاهش تعداد سنبله در بوته در شرایط تنش می‌تواند در جهت تنظیم مقصدهای فیزیولوژیکی، نسبت به مقدار تولید مواد پرورده مربوط شود [۴۵].

در بررسی تأثیر تیمارها مشاهده شد که تیمار مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به‌اضافه محلول پاشی سیلیکون و تیمار مصرف سیلیکون تنها همراه آب آبیاری بیشترین تعداد سنبله در بوته‌ها را داشتند و در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲). سیلیکون از طریق حفظ رطوبت لازم برای افزایش پنجه‌زنی و در نهایت افزایش تعداد ساقه موجب افزایش تعداد سنبله در بوته شد. همچنین در برنج، سیلیکون سبب افزایش تعداد پنجه و در نهایت حفظ تعداد ساقه‌های تولیدی شد [۲۶].

اثر مصرف سیلیکون بر عملکرد دانه آرزن معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی

جدول ۱. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد و بازده مصرف آب آرزن تحت تأثیر تنش‌های مختلف کم آبی

بازده مصرف آب (نیوماس)	بازده مصرف آب (دانه)	مصرف آب	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در بوته	درجات آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۵*	۰/۰۴۵*	۵۰/۸*	۱۷۶۵۳۳۷*	۱۲۱۹۰۵۰/۳*	۰/۰۰۵ ^{ns}	۷۳۵/۵*	۲/۰۳*	۲	تکرار		
۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۴۱*	۱۸۷/۳**	۱۲۳۰۱۷۶/۶**	۷۰۶۰۹۹۷/۱**	۰/۰۲۸*	۲۲۰۵۵/۰۸**	۴/۸۷*	۲	سطوح تنش		
۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۶/۱	۳۳۶۷۶/۰۶	۱۴۹۵۷۶/۰۳	۰/۰۰۴	۴۸۵/۴	۰/۳۱	۴	خطای اصلی		
۰/۰۶۲**	۰/۰۵۲**	۲۷/۳**	۱۸۵۰۷۸۲/۹**	۱۰۶۳۴۱۷**	۰/۰۲۲**	۱۹۴/۵ ^{ns}	۱/۲۵**	۳	سیلیکون		
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۶*	۶/۳ ^{ns}	۸۴۱۴۷/۵ ^{ns}	۱۲۲۱۱۴/۸*	۰/۰۰۳*	۱۵۳/۸ ^{ns}	۰/۱۴۸ ^{ns}	۶	تنش × سیلیکون		
۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۳/۰۶	۴۹۶۷۹/۵	۳۴۹۰۳/۶	۰/۰۰۱۲	۲۰/۱۲	۰/۱۸	۱۸	خطای فرعی		
۵/۱۵	۸/۵۲	۳/۲	۴/۳۱	۶/۵۶	۳/۳۷	۲/۷۴	۷/۷۴		ضریب تغییرات		

ns و ** - پدرتیب غیرممتاز، ممتاز در سطح ۵ و ۱ درصد

شهین خدابنده‌لو و همکاران

جدول ۲. مقایسه میانگین عملکرد و اجزای آن و بازده مصرف آب آرزن تحت تأثیر تنش‌های مختلف کم‌آبی

بازده مصرف آب بیوماس (kg/m ³)	بازده مصرف آب دانه (kg/m ³)	شاخص برداشت (%)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	وزن هزاردانه (g)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در بوته	تیمار
۱/۰۵ ^a	۰/۶۱ ^a	۵۸/۷۵ ^a	۶۱۵۷/۸ ^a	۳۶۳۵/۳ ^a	۱/۰۸ ^a	۵۸۵/۰ ^a	۶/۰ ^a	بدون تنش
۱/۰۳ ^a	۰/۵۴ ^{ab}	۵۳/۲۵ ^b	۵۳۳۰/۸ ^b	۲۸۰۰/۰ ^b	۱/۰۳ ^{ab}	۴۸۴/۰ ^b	۵/۸ ^a	تنش متوسط
۰/۹۹ ^a	۰/۵۰ ^b	۵۱/۰۸ ^b	۴۱۰۱/۱ ^c	۲۱۰۳/۳ ^c	۰/۹۸ ^b	۴۸۰/۹ ^b	۲/۸ ^b	تنش شدید
۰/۹۳ ^c	۰/۴۶ ^d	۵۲/۳ ^c	۴۶۰۴/۲ ^d	۲۴۲۵/۸ ^d	۰/۹۶ ^c	۵۲۰/۳ ^a	۵/۱ ^c	سیلیکون
۰/۹۸ ^b	۰/۵۲ ^c	۵۴/۱ ^b	۵۰۲۹/۴ ^c	۲۷۵۵/۰ ^c	۱/۰۳ ^b	۵۱۱/۱ ^a	۵/۴ ^{bc}	بدون مصرف محلول پاشی
۱/۱۱ ^a	۰/۶۴ ^a	۵۶/۴ ^a	۵۶۶۲/۳ ^a	۳۲۴۱/۱ ^a	۱/۰۸ ^a	۵۲۰/۷ ^a	۶/۰ ^a	محلول پاشی + آب آبیاری
۱/۰۶ ^a	۰/۵۷ ^b	۵۴/۶ ^b	۵۳۵۷/۰ ^b	۲۹۶۲/۵ ^b	۱/۰۵ ^{ab}	۵۱۴/۵ ^a	۵/۶ ^{ab}	مصرف آب آبیاری

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

۳.۴. تعداد دانه در سنبله

تعداد دانه در سنبله بین تیمارهای کم آبیاری تفاوت معناداری داشت (جدول ۱)، به طوری که تنش متوسط و شدید حدود ۱۷ درصد دانه کمتری نسبت به شاهد تولید کردند و از این لحاظ تفاوتی بین آنها وجود نداشت (جدول ۲). تنش رطوبتی به دلیل کاهش تعداد گلچه‌های بارور، تعداد دانه در سنبله را کاهش داد [۳۹]. از دلایل کاهش تعداد دانه در تنش کم آبی، می‌توان به کاهش تعداد گل‌هایی که به دانه تبدیل می‌شوند اشاره کرد [۲۷].

در این آزمایش، تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر کاربرد سیلیکون و اثر متقابل تنش و سیلیکون قرار نگرفت (جدول ۱). همچنین در مطالعه‌ای دیگر کاربرد سیلیکون تعداد دانه در سنبله گندم را در شرایط تنش افزایش داد [۵]، اما در این آزمایش مصرف سیلیکون اثر منفی ناشی از تنش خشکی را بر تعداد دانه در سنبله جبران نکرد.

۳.۵. وزن هزاردانه

بین تیمارهای آبیاری از لحاظ وزن هزاردانه اختلاف معناداری مشاهده شد. در این آزمایش تیمار شاهد با حدود ۹ درصد افزایش نسبت به تنش شدید، بیشترین وزن هزاردانه را داشت (جدول ۲). در بررسی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد ارزن معمولی نشان داده شد که تنش خشکی در مرحله ظهور سنبله موجب کاهش وزن هزاردانه می‌شود [۴۵]. در شرایط تنش شدید، آب کافی برای پر شدن دانه وجود نداشت، بنابراین مقصدهای فیزیولوژیکی به خوبی پر نشد و در نتیجه وزن هزاردانه به شدت کاهش یافت [۱۵].

وزن هزاردانه در تیمار سیلیکون و همچنین اثر متقابل آبیاری و سیلیکون به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد تفاوت معناداری داشت (جدول ۱). تیمار عدم مصرف سیلیکون نسبت به تیمارهای مصرف سیلیکون وزن هزاردانه کمتری

داشت. دو تیمار محلول پاشی سیلیکون به اضافه مصرف همراه آب آبیاری و مصرف سیلیکون تنها همراه آب آبیاری در یک گروه قرار داشتند و بیشترین وزن هزاردانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). محققان اظهار داشتند سیلیکون تحت تنش خشکی، سبب می‌شود تا وزن سنبله در ارقام گندم به مقدار کمتری کاهش یابد [۲۰]. همچنین سیلیکون از طریق تسریع و تقویت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام زایشی سبب افزایش وزن هزاردانه می‌شود که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد [۲۰].

۳.۶. عملکرد دانه

تنش خشکی به طور معناداری بر عملکرد دانه تأثیر گذاشت و آن را کاهش داد (جدول ۲). بیشترین کاهش عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در تنش شدید رطوبتی رخ داد که اختلاف معناداری با سایر تیمارها داشت، به طوری که این تیمار تنش، عملکرد دانه را ۴۲/۱ درصد کاهش داد (جدول ۲). در بررسی ارقام ارزن مرواریدی سازگار با شرایط تنش و بدون تنش نشان داده شد که عملکرد دانه در محیط‌های تنش‌زا ۸۲۸ تا ۱۱۳۶ کیلوگرم در هکتار و در محیط‌های بدون تنش ۳۱۲۳ تا ۳۹۴۲ کیلوگرم در هکتار متغیر است [۵۷].

بررسی اجزای عملکرد نشان داد کاهش عملکرد اغلب ناشی از کاهش تعداد سنبله در بوته و کاهش تعداد دانه در سنبله بود (جدول ۲). نتایج برخی تحقیقات نشان داد، تنش خشکی در ارزن از طریق کاهش تعداد دانه در سنبله و کاهش وزن هزاردانه سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود [۲۹، ۳۵]. کاهش تعداد دانه ممکن است به دلیل اثر سوء تنش بر گرده‌افشانی و سقط برخی گل‌ها باشد [۱۳]. خشکی پس از گلدهی عملکرد دانه را کاهش می‌دهد که از طریق کاهش سه جزء مهم عملکرد یعنی تعداد سنبله در متر مربع، وزن دانه و تعداد دانه در سنبله ایجاد شد [۵۸]. محققان دیگر نیز کاهش عملکرد ارزن بر اثر تنش خشکی را نتیجه کاهش سه جزء مذکور عملکرد می‌دانند [۳۵، ۴۰].

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرهای متقابل سطوح آبیاری و سلیکون بر عملکرد و اجزای آن و بازده مصرف آب ارزن

بازده مصرف آب بیوماس (kg/m ³)	بازده مصرف آب دانه (kg/m ³)	شاخص برداشت (%)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	وزن هزاردانه (g)	تعداد سنبله		تیمار
						در بوته	در سنبله	
۰/۹ ^{bcde}	۰/۴ ^{ef}	۵۴/۳ ^c	۵۳۴۱/۰ ^{cd}	۲۹۰۱/۰ ^{cd}	۰/۹ ^{de}	۵۷۹/۰ ^a	۵۳ ^{cde}	بدون مصرف ۶۰ سلیکون × تنش
۱/۰ ^{bcd}	۰/۶ ^{bc}	۵۹/۳ ^{ab}	۶۰۳۶/۳ ^b	۳۵۷۴/۷ ^b	۱/۰ ^{ab}	۵۸۲/۶ ^a	۶۰ ^{abc}	محلول پاشی ۶۰
۱/۱ ^{ab}	۰/۷ ^{ab}	۶۲/۳ ^a	۶۸۶۱/۷ ^a	۴۲۷۵/۰ ^a	۱/۱ ^{ab}	۵۹۰/۰ ^a	۶۰ ^{ab}	محلول پاشی + آب آبیاری ۶۰
۱/۱۰ ^{ab}	۰/۶ ^{ab}	۵۹/۰ ^b	۶۲۹۲/۰ ^b	۳۷۹۰/۳ ^b	۱/۱۰ ^{ab}	۵۸۸/۳ ^a	۶۰ ^{abc}	مصرف با آب آبیاری ۶۰
۰/۹ ^{bcde}	۰/۵ ^{def}	۵۲/۳ ^{cd}	۴۸۰۸/۷ ^{ef}	۲۵۳۰/۳ ^{ef}	۱/۰ ^{bcde}	۴۹۸/۶ ^b	۵۳ ^{cde}	بدون مصرف ۹۰
۱/۱۰ ^{bcd}	۰/۵ ^{def}	۵۲/۰ ^{cd}	۵۰۸۶/۳ ^{de}	۲۷۰۸/۰ ^{de}	۱/۰ ^{abcd}	۴۷۴/۰ ^b	۵۳ ^{bcd}	محلول پاشی ۹۰
۱/۱۰ ^{ab}	۰/۶ ^{bc}	۵۴/۳ ^c	۵۶۵۲/۳ ^c	۳۰۹۲/۳ ^c	۱/۰ ^{bcd}	۴۸۷/۰ ^b	۶۳ ^{ab}	محلول پاشی + آب آبیاری ۹۰
۱/۰ ^{ab}	۰/۵ ^{bcd}	۵۳/۳ ^{cd}	۵۳۷۶/۰ ^{cd}	۲۸۶۹/۳ ^{cd}	۱/۰ ^{abcd}	۴۷۶/۶ ^b	۶۰ ^{abc}	مصرف با آب آبیاری ۹۰
۰/۹ ^e	۰/۴ ^f	۵۰/۰ ^d	۳۶۶۲/۰ ⁱ	۱۸۴۶/۳ ^h	۰/۹ ^f	۴۸۳/۰ ^b	۴۰ ^e	بدون مصرف ۱۲۰
۰/۹ ^{bcde}	۰/۴ ^{ef}	۵۰/۰ ^d	۳۹۶۵/۷ ^{hi}	۱۹۸۲/۳ ^{gh}	۰/۹ ^{ef}	۴۷۶/۶ ^b	۴۰ ^e	محلول پاشی ۱۲۰
۱/۰ ^{abc}	۰/۵ ^{bcd}	۵۲/۶ ^{cd}	۴۴۲۷/۷ ^{fg}	۲۳۵۶/۰ ^f	۱/۰ ^{bc}	۴۸۵/۳ ^b	۵۰ ^{de}	محلول پاشی + آب آبیاری ۱۲۰
۱/۰ ^{abcd}	۰/۵ ^{bcde}	۵۱/۶ ^{cd}	۴۳۰۲/۰ ^{gh}	۲۲۲۸/۰ ^{fg}	۱/۰ ^{bcde}	۴۷۸/۶ ^b	۵۰ ^{de}	مصرف با آب آبیاری ۱۲۰

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

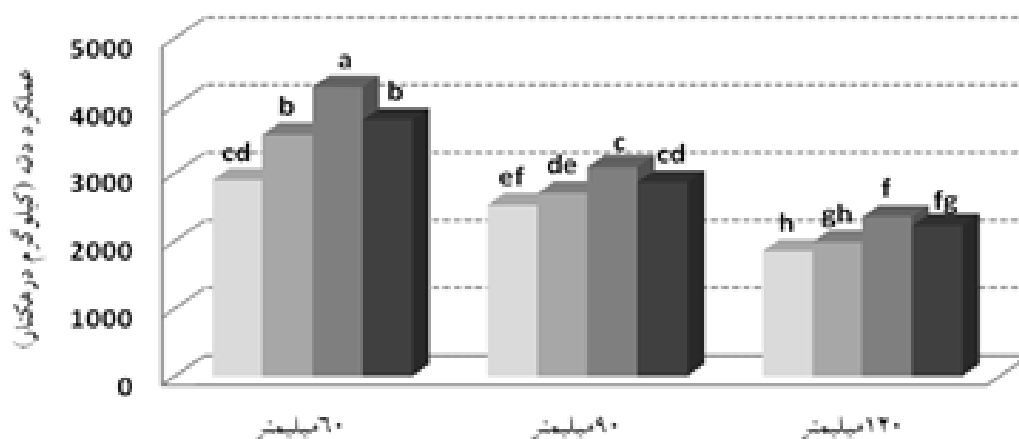
اثر مصرف سیلیکون بر عملکرد دانه ارزن معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی

کم‌آبی، مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به‌اضافهٔ محلول پاشی، می‌تواند موجب بهبود عملکرد دانه شود و حدود ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر از تیمار بدون تنش و عدم مصرف سیلیکون دانه تولید کند، این تیمار با تیمار مصرف سیلیکون تنها همراه آب آبیاری در یک گروه قرار داشت (جدول ۳).

نتایج بسیاری از تحقیقات حاکی از اثر مثبت کاربرد سیلیکون بر عملکرد گیاه است [۳۷]. سیلیکون با کاهش تعرق موجب ایجاد تحمل به خشکی می‌شود [۳]. همچنین بهبود عملکرد اقتصادی به‌وسیلهٔ تجمع سیلیکون مشاهده شده است [۳۶]. کاربرد سیلیکون در غلات موجب افزایش مقدار محصول و افزایش درصد پر شدن دانه‌ها که به افزایش عملکرد دانه منجر می‌شود، شده است [۱۸]. بسیاری از مطالعات نیز اثرهای مثبت سیلیکون در رشد را که موجب افزایش مادهٔ خشک محصول و سهولت در گرده‌افشانی می‌شود نشان می‌دهند [۲۸].

بررسی تیمارهای کاربرد سیلیکون نشان داد، تیمار مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به‌اضافهٔ محلول پاشی، بیشترین میزان عملکرد اقتصادی را داشته و با سایر تیمارها تفاوت معناداری دارد. تیمار عدم مصرف سیلیکون با ۲۵/۱ درصد عملکرد دانهٔ کمتر نسبت به تیمار مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به‌اضافهٔ محلول پاشی، کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۲).

اثر متقابل سطوح آبیاری و سیلیکون بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری بدون تنش و مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به‌اضافهٔ محلول پاشی بود که با سایر تیمارهای بدون تنش اختلاف معناداری داشت. دو تیمار محلول پاشی سیلیکون و مصرف سیلیکون تنها همراه آب آبیاری در تیمار بدون تنش در یک گروه آماری قرار گرفتند که به ترتیب ۱۸/۸ و ۲۳/۴ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف سیلیکون عملکرد اقتصادی بیشتری تولید کردند (شکل ۱). نتایج نشان داد که در تنش متوسط



■ مصرف سیلیکون با آب آبیاری ■ محلول پاشی + آب آبیاری سیلیکون ■ محلول پاشی سیلیکون ■ بدون مصرف سیلیکون

شکل ۱. اثر متقابل سطوح آبیاری و سیلیکون بر عملکرد دانه بعد از اعمال تنش‌های متفاوت خشکی

۳.۷. عملکرد بیولوژیک

بیشترین میانگین عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد به مقدار ۶۱۵۷/۸ کیلوگرم در هکتار بود. تیمار تنش متوسط با میانگین ۵۲۳۰/۸ کیلوگرم در هکتار در گروه آماری بعدی قرار گرفت (جدول ۲). با کاهش آب آبیاری در تنش متوسط حدود ۱۵ درصد و با اعمال تنش شدید حدود ۳۳ درصد افت تولید در عملکرد بیولوژیک مشاهده شد (جدول ۲). این موضوع می‌تواند حاکی از تحمل نسبی گیاه به تنش متوسط کم‌آبی باشد. کمبود آب شدید اثرهای کاهش زیادی بر تشکیل ماده خشک برگ و سنبله در ارزن دارد [۱۴]. تنش خشکی عملکرد ماده خشک را در جو به‌طور خطی کاهش داد [۴۸].

عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر اثر متقابل سیلیکون و تنش قرار نگرفت (جدول ۱). در بین تیمارهای مصرف سیلیکون، تیمار مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به‌اضافه محلول‌پاشی سیلیکون بیشترین عملکرد بیولوژیک را داشت، تیمار عدم مصرف سیلیکون نیز کمترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد (جدول ۲). سیلیکون با تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش مهمی در افزایش تحمل به خشکی ایفا می‌کند [۱۹]. در تیمار مصرف سیلیکون فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش می‌یابد و افزایش فعالیت این آنزیم‌ها تحت تیمار سیلیکون موجب کاهش محتوای H_2O_2 سلول می‌شود، در نتیجه مانع خسارات اکسیداتیو ناشی از H_2O_2 شده و موجب افزایش وزن خشک گوجه‌فرنگی می‌شود [۱۱]. اثر مفید سیلیکون به اعمال تغییرات آناتومیکی به‌وسیله رسوب سیلیس در دیواره سلولی نسبت داده شده است [۳۳].

بررسی‌ها نشان داده است در حضور سیلیکون، افزایش عملکرد ذرت نتیجه افزایش وزن و تعداد برگ‌های گیاه و کاهش زاویه برگ با ساقه است [۲۱]. برای رشد، تولید و بیوماس زیاد در برنج، سطح بالایی از تجمع سیلیکون مورد

نیاز است و با تجمع کم سیلیکون کاهش چشمگیری در عملکرد و کیفیت دانه مشاهده می‌شود [۳۲].

۳.۸. شاخص برداشت

شاخص برداشت در سطح ۱ درصد تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۱). تیمار بدون تنش، بیشترین و تیمار تنش شدید، دارای کمترین شاخص برداشت بود (جدول ۲). کاهش شاخص برداشت در تنش کم‌آبی ممکن است به دلیل عقیم ماندن گلچه‌ها و کاهش وزن دانه باشد [۱۳]. شاخص برداشت در شرایط خشکی تابع نسبت آب استفاده‌شده پس از گرده‌افشانی است که هرچه بیشتر باشد، شاخص برداشت بیشتر خواهد بود [۴۱]. بنابراین شاخص برداشت را می‌توان به‌عنوان معیار انتخاب ارقام متحمل به خشکی در نظر گرفت. از این رو بهبود تسهیم ماده خشک به ساختارهای زایشی و دانه از جمله صفاتی است که می‌تواند سبب بهبود عملکرد دانه شود [۴۱].

اثر سیلیکون بر شاخص برداشت در سطح ۱ درصد معنادار بود. اما اثر متقابل آبیاری و سیلیکون بر شاخص برداشت معنادار نشد (جدول ۱). به‌طور کلی، تیمار عدم مصرف سیلیکون کمترین و مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به‌اضافه محلول‌پاشی سیلیکون، بیشترین شاخص برداشت را داشت و بین دو تیمار مصرف سیلیکون تنها همراه آب آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکون اختلاف معناداری مشاهده نشد (جدول ۲). سیلیکون به دلیل کاهش اثر تنش، عملکرد دانه را بهبود می‌بخشد و سبب افزایش شاخص برداشت می‌شود [۵]. سیلیکون عملکرد دانه را بیش از عملکرد بیولوژیک افزایش داد و سبب بهبود شاخص برداشت شد [۵۹].

۳.۹. بازده مصرف آب نسبت به عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد سطوح آبیاری در سطح ۵

اثر مصرف سیلیکون بر عملکرد دانه ارزن معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی

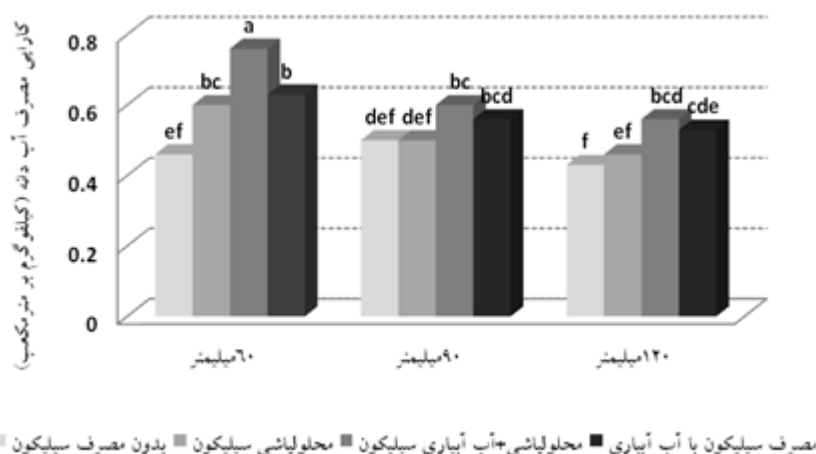
کاهش یافت [۲۴، ۲۹]. در این تحقیق، تأثیر سیلیکون نیز بر بازده مصرف آب دانه در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۱).

مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به اضافه محلول پاشی سیلیکون و تیمار عدم مصرف سیلیکون که به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند، دارای بیشترین و کمترین بازده مصرف آب نیز بودند (جدول ۲). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل آبیاری و سیلیکون بر بازده مصرف آب دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۱). تیمار بدون تنش و مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به اضافه محلول پاشی سیلیکون بیشترین بازده مصرف آب دانه را به خود اختصاص داد، در حالی که تیمار تنش شدید با عدم مصرف سیلیکون ضمن ۴۳/۴ درصد کاهش نسبت به تیمار مذکور، پایین‌ترین بازده مصرف آب دانه را داشت (جدول ۳).

در تنش متوسط و شدید تیمار مصرف سیلیکون تنها همراه آب آبیاری و تیمار مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به اضافه محلول پاشی، نسبت به تیمار بدون تنش و عدم مصرف سیلیکون از لحاظ بازده مصرف آب دانه برتری معناداری داشتند (شکل ۲).

درصد تأثیر معناداری بر بازده مصرف آب نسبت به عملکرد دانه داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش نشان داد که تیمار تنش شدید نسبت به تیمار بدون تنش سبب کاهش معنادار بازده مصرف آب شده است (جدول ۲). بازده مصرف آب دانه در تنش متوسط نسبت به شاهد حدود ۱۱ درصد کاهش یافت و هر دو در یک گروه قرار داشتند (جدول ۲). اگرچه تنش رطوبت ممکن است از طریق انسداد روزنه‌ها بازده مصرف آب را افزایش دهد، باید توجه داشت که تنش بیش از حد می‌تواند از طریق کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک تأثیر معکوس بر بازده مصرف آب بگذارد [۷].

در این آزمایش، تیمار تنش شدید کمترین عملکرد دانه را تولید کرد، بنابراین کاهش عملکرد دانه بیشتر از کاهش مصرف آب بود و در نهایت بازده مصرف آب کاهش یافت. براساس نتایج دیگر تحقیقات، به طور معمول عملکردهای کم با بازده مصرف آب کمتر همراه‌اند [۱۴]. عملکرد دانه و بازده مصرف آب، رابطه مستقیم دارند. افزایش عملکرد دانه موجب افزایش بازده مصرف آب خواهد شد [۹]. کاهش عملکرد دانه ایجاد شده بر اثر تنش بیشتر از کاهش مصرف آب بود، از این رو بازده مصرف آب



شکل ۲. اثر متقابل سطوح آبیاری و سیلیکون بر بازده مصرف آب نسبت به عملکرد دانه بعد از اعمال تنش‌های متفاوت خشکی

۳.۱۰. بازده مصرف آب نسبت به عملکرد بیوماس

کم‌آبیاری تأثیر معناداری بر بازده مصرف آب نسبت به عملکرد بیوماس نداشت (جدول ۱). تأثیر سیلیکون بر بازده مصرف آب نسبت به عملکرد بیوماس در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۱). بیشترین و کمترین میزان بازده مصرف آب به ترتیب مربوط به تیمارهای مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به اضافه محلول‌پاشی و عدم مصرف سیلیکون بود. شایان ذکر است که تیمار مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به اضافه محلول‌پاشی و تیمار مصرف سیلیکون تنها همراه آب آبیاری تفاوتی از لحاظ آماری نداشتند (جدول ۲).

۳.۱۱. تحلیل اقتصادی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد سطوح آبیاری و سیلیکون هر دو در سطح ۱ درصد تأثیر معناداری بر درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه داشت (جدول ۴). در این آزمایش، تیمار شاهد با حدود ۵۱، ۴۲ و ۳۴ درصد افزایش نسبت به تنش شدید، به ترتیب بیشترین درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه را داشت (جدول ۵).

در بین تیمارهای سیلیکون، بیشترین و کمترین میزان درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه به ترتیب مربوط به تیمارهای مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به اضافه محلول‌پاشی و عدم مصرف سیلیکون در هر سه پارامتر بود. بین دو روش مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکون در نسبت فایده به هزینه و درآمد خالص اختلاف معناداری مشاهده نشد (جدول ۵).

اثر متقابل سطوح آبیاری و سیلیکون بر درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۴). بیشترین درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه مربوط به آبیاری

استفاده از سیلیکون جذب آب را توسط ریشه سورگوم بهبود بخشید و به تبع آن تحمل گیاه را به کمبود آب افزایش داد [۲۲]. سیلیکون احتمالاً به علت افزایش توانایی جذب آب و بهبود بازده مصرف آب موجب بهبود مقاومت به خشکی شده است [۵۶]. سیلیکون پس از جذب توسط ریشه به بخش هوایی گیاه انتقال می‌یابد و در دیواره سلول‌ها در سطح برگ و ساقه جایگزین می‌شود و از شدت تعرق می‌کاهد [۳۲]. بنابراین تغذیه مناسب سیلیکون میزان تعرق را کاهش می‌دهد [۳۰].

یکی از علت‌های کاهش بازده مصرف آب تلفات آب از طریق روزنه‌های باز برای گیاهانی است که از اتمسفر اطراف، CO_2 جذب می‌کنند. سیلیکون از طریق افزایش هدایت CO_2 [۵۰] و صرفه‌جویی در تلفات آب با تغییر در پاسخ روزنه‌ای [۱۰] و جبران آب ازدست‌رفته از برگ‌ها با تسهیل جذب و انتقال آب [۲۳] بر این معضل غلبه می‌کند. سیلیکون با جلوگیری از تلفات آب در اطراف روزنه و اصلاح خواص فیزیکی دیواره سلول‌های نگهبان بر هدایت روزنه‌ای اثر می‌گذارد [۵۵].

همچنین ماهیت آبدوستی سیلیکون می‌تواند به حفظ آب در بافت برگ‌ها کمک کند [۴۳] و از سوی دیگر به شکل یک مانع، از دست دادن آب از طریق کوتیکول را به وسیله کریستال‌های ذخیره‌شده در سلول‌های اپیدرمی کاهش دهد [۵۴]. رسوب سیلیکون در ریشه‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها موجب افزایش استحکام دیواره سلولی و کاهش تعرق کوتیکولی می‌شود، بنابراین مقاومت به تنش خشکی را افزایش می‌دهد [۳۲]. بنابراین اثرهای مفید سیلیکون با تنزل تلفات بیش از حد آب توسط تعرق [۴۷] یا با رسوب کریستال‌های سیلیکات در زیر سلول‌های اپیدرمی برگ‌ها و ساقه‌ها [۵۴] ارتباط دارد که می‌تواند تلفات آب از طریق کوتیکول را کاهش دهد.

اثر مصرف سیلیکون بر عملکرد دانه ارزن معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی

بدون تنش و مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به اضافه محلول پاشی بود که با سایر تیمارهای بدون تنش اختلاف معناداری داشت. دو تیمار محلول پاشی سیلیکون و مصرف سیلیکون تنها همراه آب آبیاری در تیمار بدون تنش از نظر هر سه پارامتر در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶). علاوه بر شرایط عدم تنش، در شرایط تنش مصرف سیلیکون به هر سه روش، می تواند موجب بهبود نسبت فایده به هزینه شود، به طوری که این نسبت در مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری به اضافه محلول پاشی در تنش شدید، ضمن ۱۴/۷ درصد افزایش، اختلاف معناداری با عدم مصرف سیلیکون داشت (جدول ۶).

جدول ۴. تجزیه واریانس درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه تولید ارزن تحت تأثیر تنش های مختلف کم آبی

میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	درآمد خالص	درآمد ناخالص	نسبت فایده به هزینه
تکرار	۲	*۳/۹۴	*۳/۹۴	*۱/۸۸
سطوح تنش	۲	۲/۰۰**	۲/۲۸**	۶/۶۱**
خطای اصلی	۴	۴/۸۴	۴/۸۴	۰/۲۰
سیلیکون	۳	۲/۹۱**	۳/۴۴**	۰/۸۴**
تنش × سیلیکون	۶	۳/۹۵*	۳/۹۵*	۰/۱۳*
خطای فرعی	۱۸	۱/۱۳	۱/۱۳	۰/۰۵
ضرب تغییرات		۹/۰۸	۶/۵۶	۶/۵۲

ns، * و ** : به ترتیب غیر معنادار، و معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵. مقایسه میانگین درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه تولید ارزن تحت تأثیر تنش های مختلف کم آبی

تیمار	درآمد خالص (Rial)	درآمد ناخالص (Rial)	نسبت فایده به هزینه
بدون تنش	۵۰۳۱۷۶۰ ^a	۶۵۴۳۴۵۰۰ ^a	۴/۳۱ ^a
تنش متوسط	۳۶۱۹۱۰۷۵ ^b	۵۰۴۰۰۰۰۰ ^b	۳/۵۴ ^b
تنش شدید	۲۴۵۱۴۶۵۰ ^c	۳۷۸۵۷۰۰۰ ^c	۲/۸۳ ^c
سیلیکون			
بدون مصرف	۳۰۰۱۳۲۷۵ ^c	۴۳۶۶۶۰۰۰ ^d	۳/۱۷ ^c
محلول پاشی	۳۵۵۹۷۲۷۵ ^b	۴۹۵۹۰۰۰۰ ^c	۳/۵۱ ^b
محلول پاشی + آب آبیاری	۴۳۵۴۷۲۷۵ ^a	۵۸۳۴۰۰۰۰ ^a	۳/۹۰ ^a
مصرف با آب آبیاری	۳۸۸۷۳۲۷۵ ^b	۵۳۳۲۶۰۰۰ ^b	۳/۶۵ ^b

میانگین ها با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرهای متقابل سطوح آبیاری و سیلیکون بر درآمد خالص، درآمد ناخالص و نسبت فایده به هزینه تولید ارزن

نسبت فایده به هزینه	درآمد ناخالص (ریال)	درآمد خالص (ریال)	تیمار
			سیلیکون × تنش
۳/۵۹ ^c	۵۲۲۱۸۰۰۰ ^{cd}	۳۷۶۷۱۱۰۰ ^c	بدون مصرف ۶۰
۴/۳۲ ^b	۶۴۳۳۸۰۰۰ ^b	۴۹۱۱۱۱۰۰ ^b	محلول پاشی ۶۰
۴/۹۰ ^a	۷۶۹۳۸۰۰۰ ^a	۵۹۷۱۱۱۰۰ ^a	محلول پاشی + آب آبیاری ۶۰
۴/۴۴ ^b	۶۸۲۲۰۰۰۰ ^b	۵۱۶۷۳۱۰۰ ^b	مصرف با آب آبیاری ۶۰
۳/۳۳ ^{cd}	۴۴۸۹۲۰۰۰ ^{ef}	۳۱۲۵۳۰۷۵ ^{de}	بدون مصرف ۹۰
۳/۴۸ ^c	۴۸۷۳۲۰۰۰ ^{de}	۳۴۴۱۳۰۷۵ ^{cd}	محلول پاشی ۹۰
۳/۷۶ ^c	۵۵۶۵۶۰۰۰ ^c	۳۹۳۳۷۰۷۵ ^c	محلول پاشی + آب آبیاری ۹۰
۳/۵۷ ^c	۵۱۶۳۰۰۰۰ ^{cd}	۳۵۹۹۱۰۷۵ ^{cd}	مصرف با آب آبیاری ۹۰
۲/۶۰ ^f	۳۳۲۳۴۰۰۰ ^h	۲۰۴۶۱۶۵۰ ^g	بدون مصرف ۱۲۰
۲/۷۲ ^{ef}	۳۵۶۷۶۰۰۰ ^{gh}	۲۲۲۲۳۶۵۰ ^{fg}	محلول پاشی ۱۲۰
۳/۰۵ ^{de}	۴۲۴۰۸۰۰۰ ^f	۲۶۹۵۵۶۵۰ ^{ef}	محلول پاشی + آب آبیاری ۱۲۰
۲/۹۵ ^{def}	۳۹۷۵۰۰۰۰ ^{fg}	۲۴۹۷۷۶۵۰ ^{fg}	مصرف با آب آبیاری ۱۲۰

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

۴. نتیجه گیری

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد در تنش شدید خشکی استفاده از سیلیکون می‌تواند آثار کمبود آب را تا حدودی کاهش دهد و عملکرد ارزن را حدود ۲۱ درصد بهبود بخشد. استفاده از سیلیکون به‌صورت محلول پاشی به اضافه مصرف سیلیکون همراه آب آبیاری تأثیر بهتری در افزایش صفات مرتبط با عملکرد داشت. از آنجا که سیلیکات کلسیم به نسبت ارزان و دسترسی به آن آسان است، در شرایط تنش، استفاده از سیلیکون ترجیحاً به‌روش محلول پاشی همراه با آب آبیاری، موجب افزایش معنادار درآمد خالص و در نتیجه افزایش نسبت فایده به هزینه می‌شود، بنابراین مصرف سیلیکون در شرایط کمبود آب در گیاه ارزن توجیه پذیر است و توصیه می‌شود در مصرف آن، همزمان از هر دو روش استفاده شود.

منابع

۱. تقه‌الاسلامی م ج، کافی م، مجیدی هروان ا، نورمحمدی ق، درویش ف و قاضی‌زاده ع (۱۳۸۴) اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر میزان قندهای محلول، درجه لوله شدن و میزان آب نسبی برگ برخی ژنوتیپ‌های ارزن معمولی (*Panicum milliaceum*). پژوهش‌های زراعی ایران. ۲(۳): ۲۱۹-۲۳۱.
۲. زارع فیض‌آبادی ا و قدسی م (۱۳۸۱) بررسی میزان تحمل به خشکی لاین‌ها و ارقام گندم مناطق سرد کشور. علوم و صنایع کشاورزی. ۱۶(۲): ۱۸۱-۱۸۹.
۳. طالع احمد س و حداد ر (۱۳۸۹) اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم‌های ضد اکسند و محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی در دو ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی. به‌زراعی نهال و بذر. ۲(۲): ۲۰۷-۲۲۵.

11. AL-Aghabary K, Zhujun Z and Qinhu S (2004) Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Plant Nutrition*. 27: 2101-2115.
12. Biddinger FR, Mahalakshmi V and Rao GDP (1987) Assessment of drought resistance in pearl millet. I. Factors affecting yields under stress. *Australian Journal Agriculture Research*. 38: 37-59.
13. Bradford KJ (1994) Water stress and the water relations of seed developments: A critical review, *Crop Science*. 34: 1-11.
14. Bruck H, Payne WA and Sattelmacher B (2000) Effect of phosphorus and water supply on yield, transpirational water use efficiency and carbon isotope discrimination of pearl millet. *Crop Science*. 40: 120-125.
15. Emam Y, Ranjbar AM and Bahrani MJ (2007) Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post-anthesis drought. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 11: 317-328.
16. Epstein E (1999) Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*. 50: 641-664.
17. Epstein E and Bloom A (2005) *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
18. Fallah A, Visperas RM and Alejar AA (2004) The interactive effect of silicon and spikelet filling in rice (*Oryza sativa* L.) *The Philippine Agricultural Scientist*. 87: 174-176.
19. Gong H, Zhu X, Chen K, Wang S and Zhang C (2005) Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*. 169: 313-321.
20. Gong H, Chen K, Chen G, Wang S and Zhang C (2003) Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Plant Nutrition*. 26:1055-1063.
۴. قدسی م، جلال کمالی م ر، چایچی م ر و مظاهری د (۱۳۸۲) تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ارقام گندم تحت تنش رطوبت در مراحل قبل و بعد از گرده‌افشانی در شرایط مزرعه‌ای. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱(۲): ۲۰۵-۲۱۶.
۵. محمدی ص (۱۳۹۱) اثر سیلیکون روی رشد و عملکرد در رقم گندم تحت تنش کمبود آب. دانشگاه بوعلی سینا. همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
۶. مهرانی ا (۱۳۷۶) بررسی اثر فواصل مختلف دور آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی ارزن علوفه‌ای نوتریفید. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی وزارت جهاد کشاورزی، شماره طرح ۷۳۰۰۵-۱۲-۱۰۷. ۵۸ صفحه.
۷. موسوی غ، میرهادی م، سیادت ع، نورمحمدی ق و درویش ف (۱۳۸۸) تأثیر تنش کم آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و راندمان مصرف آب سورگوم و ارزن علوفه‌ای. دانش نوین کشاورزی. ۱۵: ۱۰۱-۱۱۴.
۸. نادور ا ر، اردکانی م ر، نورمحمدی ف و نجفی ا (۱۳۸۴) بررسی اثر چهار سطح مختلف آبیاری قطره‌ای نواری بر راندمان مصرف آب و صفات مورفولوژیک ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۰). زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۱(۱): ۶۳-۷۳.
۹. نباتی ج (۱۳۸۳) اثر فواصل آبیاری بر خصوصیات زراعی، مورفولوژیکی و کیفی ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
10. Agarie S, Uchida H, Agata W, Kubata F and Kaufmann B (1993) Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.). *Crop Production and Improvement Technology*. 34: 225-234.

21. Gottardi S, Iacuzzo F, Tomasi N, Cortella G, Manzocco L, Pinton R, Römheld V, Mimmo T, Scampicchio M, Dalla Costa L and Cesco S (2012) Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 56: 14-23
22. Hattori T, Sonobe K, Araki H, Inanaga S and P Morita S (2008) Silicon application improves water uptake by sorghum through the alleviation of stress-induced increase in hydraulic resistance. *Plant Nutrition*. 31: 1482-1495.
23. Hattori T, Sonobe K, Inanaga S, An P, Tsuji W, Araki H, Eneji AE and Morita S (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.
24. Ibrahim YM, Marcarian V and Dobrenz AK (1995) Pearl millet response to different irrigation water levels: II. Porometer parameters, photosynthesis, and water use efficiency. *Emirates Journal of Agricultural Sciences*. 7: 20-38.
25. Jacobs J, Ward G and McKenzie F (2004) Effects of irrigation strategies on dry matter yields and water use efficiency of a range of forage species. Available at: <http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/1/5/533>.
26. Ioliano BO (1993) Rice in human nutrition. FAO. Food and nutrition series. No. 26. FAO. Rom.
27. Kafi M, Zand E, Kamkar B, Sharifi HR and Goldani M (2000) *Plant physiology*. Jihade Daneshgahi of Mashhad Publisher. P. 379.
28. Korndorfer GH and Lepsch I (2001) Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: *Silicon in Agriculture: Studies in Plant Science*. 8: 115-131.
29. Kumari S (1988) The effects of soil moisture stress on the development and yield of millet. *Agronomy*. 57: 480-487.
30. Liang Y (1999) Effects of silicon on enzyme and sodium, potassium and calcium concentration in barley under stress. *Plant and Soil*. 209: 217-224.
31. Liang Y C Chen Q Lui Q Zhang W and Ding R (2003) Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stress barley (*Hordeum vulgare*). *Plant Physiology*. 160: 1157-1164.
32. Ma JF and Yamaji N (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Plant Science*. 11: 392-397.
33. Ma JF and Takahashi E (2002) *Soil, Fertilizer and Plant Silicon Research in Japan*, Elsevier Science, Amsterdam.
34. Mahalakshmi V and Bidinger FR (1986) Water deficit during panicle development in pearl millet. Yield compensation by tillers. *Agricultural Science Cambridge*. 106: 113-119.
35. Mahalakshmi V and Biddinger FR (1985) Flowering response of pearl milled to water stress during panicle development. *Annals Applied of Biology*. 106: 571-578.
36. Matoh T, Murata S and Takahashi E (1991) Effect of silicate application on photosynthesis of rice plants. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 62: 248-251.
37. Menzies JG and Belanger RR (1996) Recent advances in cultural management of diseases of greenhouse crops. *Plant Pathology*. 18: 186-193.
38. Maman N, Lyon DJ, Mason SC, Galusha TD and Higgins R (2003) Pearl millet and grain sorghum yield response to water supply in Nebraska. *Agronomy*. 95: 1618-1624.
39. Ober ES and Sharp RE (2003) Electrophysiological

- responses of maize roots to low water potentials: relationship to growth and ABA accumulation. *Experimental Botany*. 54(383): 813-824.
40. Prasad UK, RD Pandey Gupta PK and Sharma NN (1986) Effect of irrigation on growth, water requirement, water use efficiency and yield of summer proso millet. *Indian Journal of Agronomy*. 31(3): 280-284.
41. Richards RA, Rebetzke GJ Condon AG and Van herwaarden AF (2002) Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*. 42: 111-121.
42. Richards RA, Lopez-Castaneda C, Gomez-Macpherson H and Condon AG (1993) Improving the efficiency of water use by plant breeding and molecular biology. *Irrigation Science*. 14: 93-104.
43. Romero-Aranda MR, Jurado O and Cuartero J (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Plant Physiology* 163: 847-855.
44. Safari f (2007) Effect plant dating and density on forage yield of *Panicum millaceum*. Thesis Master of Science in Agriculture, Department of agriculture and natural resources, Gorgan University, Iran.
45. Saghatoleslami M, MagidiHaravan M, Nourmohmadi G and Darvish F (2007) Effect of drought stress in growth different stages on yield and water use efficiency of five millet genotypes in South Khorasan. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 11: 215-225.
46. Sasani S, Jahansooz MR and Ahmadi A (2004) The effects of deficit irrigation on water- use efficiency, yield and quality of forage pearl millet. *Proceedings of the 4th international crop science congress*.
47. Savant NK, Snyder GH and Datnoff LE (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
48. Sharif S, Saffari M and Emam Y (2007) The effect of drought stress and cyccole on barley yield (cv. Valfagr). *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 10: 281-290.
49. Sharma P and Dubey RS (2005) Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*. 46: 209-221.
50. Shen X, Zhoua Y, Duana L, Li Z, Eneji AE and Li J (2010) Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology* 167: 1248-1252.
51. Singh BR and Singh DP (1995) Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Research*. 42: 57-67.
52. Singh K, Singh R, Singh JP, Singh Y and Singh KK (2006) Effect of level and time of silicon application on growth, yield and its uptake by rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agricultural Science*. 76: 410-413.
53. Tahir MA, Rahmatullah A, Aziz T, Ashraf M, Kanwal S and Maqsood MA (2006) Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum L.*) under salinity stress. *Pakistan. Botany*. 38: 1715-1722.
54. Trenholm LE, Datnoff LE and Nagara RT (2004) Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. Augustine grass. *HortTechnology*. 14:487-490.
55. Ueno O and Agarie S (2005) Silica deposition in cell walls of the stomatal apparatus of rice leaves. *Plant Production Science*. 8:71-73.

56. Vaculik M, Lux A, Luxova M, Tanimoto E and Lichtscheidl I (2009) Silicon mitigates cadmium inhibitory effects in young maize plants. *Environmental and Experimental Botany*. 67: 52-58.
57. Yadav OP and Bhatnagar SK (2001) Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non- stress conditions. *Field Crops Research*. 70: 201-208.
58. Yadav RS, Hash CT, Bidinger FR and Howarth CJ (1999) Identification and utilization of quantitative trait loci to improve terminal drought tolerance in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). PP: 108-114. In: J. M. Ribaut and D. Poland (Eds.), *Molecular approaches for the genetic improvement of cereals for stable production in water- limited environments* (final report). A strategic planning workshop, held at CIMMYT, El Batan, Mexico, 21-25 June.
59. Zuccarini P (2008) Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biological Plantarum*. 23: 1-24.