اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی سیلیکون بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی گندم در منطقه سیستان

مجتبی خواجه[۱]، سید محسن موسوی‌نیک[۲]، علیرضا سیروس‌مهر[۳]، پرویز یدالهی ده‌چشمه*[۴] و ایوب امیری[۵]

۱ و ۵) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲) دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۴) باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران.

* **نویسنده مسئول:** Parviz.yd@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۰۲ **تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۰۶**

چکیده

سیلیکون دومین عنصر موجود در خاک است که دارای اثر مفیدی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده می‌باشد. به منظور بررسی اثر سیلیکون در افزایش تحمل به شرایط خشکی در گندم، این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای این آزمایش شامل تنش کمبود آب (خشکی) در سه سطح ۵۰ ، ۷۵ و ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (FC) و محلول‌پاشی اسیدسیلیکون در سطوح صفر (شاهد)، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار در سه مرحله بودند. در این آزمایش تنش خشکی موجب کاهش صفات ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه، طول سنبله، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل a، کلروفیل b و پروتئین شد. آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) میزان پرولین را ۴۱/۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. محلول‌پاشی سیلیکون در بالاترین سطح (۱/۵ میلی‌مولار) موجب افزایش تمام پارامترهای مورد بررسی از جمله عملکرد دانه (۲۶۰۰/۹ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۷۶۵۱/۶ کیلوگرم در هکتار)، پروتئین (۱۳/۰۳ درصد) و پرولین (۳۶/۰۲ میکرومول بر گرم وزن تر) گردید، اما تعداد سنبله در مترمربع بر اثر محلول‌پاشی این ماده تغییر معنی‌داری نداشت. در بررسی برهمکنش محلول‌پاشی سیلیکون (۱/۵ میلی‌مولار) در شرایط تنش شدید باعث افزایش ۳۵/۹۵ درصدی کلروفیل b نسبت به عدم محلول‌پاشی گردید. در مطالعه حاضر محلول‌پاشی سیلیکون کارایی بالایی در افزایش عملکرد در گیاه گندم در شرایط آب و هوایی سیستان از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، خشکی، سیلیکون و کلروفیل.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

مقدمه

تقریباً ۳۲ درصد از مناطق کشت گندم در کشورهای در حال توسعه، انواع مختلفی از تنش خشکی را در طول فصل رشد تجربه می‌کنند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و میانگین بارندگی آن در حدود یک سوم (۲۴۰ میلی‌متر) میانگین جهانی بارندگی می باشد، بنابراین با تنش‌های خشکی و خشکسالی‌های متناوبی درگیر است (اکبری‌مقدم، ۱۳۹۱). بالا بودن میزان تبخیر و تعرق، ویژگی‌های نامناسب فیزیوکوشیمیایی خاک، ویژگی‌های نامناسب گیاه زراعی و مدیریت نامناسب مزرعه به همراه محدودیت آبی باعث می‌شوند که عملکرد گندم به ویژه در مناطق دیم در حد پایینی باشد، به‌طوری‌که با وجود بالا بودن مقطعی بارندگی و با خوش‌بینی وزارت جهاد کشاورزی، عملکرد گندم آبی ۳۴۵۵ کیلوگرم در هکتار و عملکرد گندم دیم ۹۷۶/۳ کیلوگرم در هکتار عنوان شده است (بی‌نام، ۱۳۹۲). به نظر می‌رسد تنش خشکی و کاهش آب در بافت‌های گیاهی سبب کاهش رشد، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، تحت تاثیر قرار گرفتن تنفس، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و تجمع پرولین می‌شود (طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۷؛ یدالهی و همکاران، ۱۳۹۳الف؛ یدالهی و همکاران، ۱۳۹۳ب؛ Tayebi *et al.*, 2012؛ Shamsi, 2010). لذا، کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل گردیده و گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است در اثر این تنش به پرولین تبدیل شده و در نتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌شود (Lawlor and Cornic, 2002). بر همین اساس محققان بسیاری اثر منفی و کاهنده تنش خشکی را بر عملکرد و اجزای عملکرد، کلروفیل a و b، پروتئین و پرولین به اثبات رسانده‌اند (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ سعیدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۷؛ یدالهی و همکاران، ۱۳۹۳ب؛ طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۹). از آن‌جا که گیاهان به‌طور متناوب در معرض تنش‌های مختلف محیطی مانند خشکی و شوری قرار می‌گیرند، در چنین شرایطی اغلب اوقات عدم تغذیه کافی از عناصر غذایی، اثر خشکی را تشدید و پیچیده‌تر کرده و گاهاً می‌تواند در صورت تنش خیلی شدید، بقای گیاه را نیز تحت تاثیر قرار دهد (Misra and Srivastava, 2000; Yadav and Bhathagar, 2001). تحقیقات نشان می‌دهد که اگر انتخاب جهت تغذیه معدنی مناسب صورت گیرد، می‌توان تولید نسبتاً بالایی را در این محیطها به‌دست آورد (امیری و همکاران، ۱۳۹۲). سیلیکون یکی از عناصر فراوان در خاک است، اما به دلیل اینکه در دسته عناصر ضروری برای رشد گیاهان قرار نگرفته توجه زیادی به نقش بیولوژیکی آن در گیاه نشده است. گیاهان سیلیکون را به‌طور عمده به‌صورت سیلیسیلیک اسید ($Si(OH)_4$) جذب و میزان تجمع آن در گیاه به‌طور قابل‌توجهی از یک درصد تا ۱۰ درصد وزن خشک در گونه‌های مختلف متفاوت است (امیری و همکاران، ۱۳۹۲؛ Mimmo *et al.*, 2012؛ Liang *et al.*, 1996). اخیراً در تحقیقات انجام شده به اثر مفید آن در چندین گونه گیاهی اشاره شده است، به‌ویژه در زمان بروز تنش‌های محیطی، با افزایش در فعالیت آنزیم‌های

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

اکسیدکننده و بالا بردن محتوای اسمولیت‌ها نقش مهمی را در ایجاد مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاهان و به‌طور خاص در گندم ایفا می‌کند (امیری و همکاران، ۱۳۹۲؛ طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۷؛ طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۹؛ Gong *et al.*, 2003 ؛Epstein., 1999). در یک آزمایش اثر اسید سیلیکون بر گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که در مقایسه با تیمار خشکی کاربرد Si باعث افزایش در فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیدکننده (SOD، CAT و GR) می‌شود (Gong *et al.*, 2005). علاوه بر این محمدی و همکاران (۱۳۹۰) برهمکنش تنش خشکی با سیلیکون را در ارقام گندم بر تعداد دانه، وزن سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد معنی‌دار و مثبت اعلام کردند. بنابراین، با توجه اهمیت گندم و نیاز شدید مردم به این محصول و نیز با در نظر گرفتن آب و هوای خشک کشور، نیاز به اقداماتی جهت کاهش اثر تنش احساس می‌شود، لذا این آزمایش با هدف بررسی اثر سیلیکون بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی گندم در شرایط تنش خشکی به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

برای مطالعه اثر محلول‌پاشی سیلیکون در شرایط محدود آبیاری بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم رقم کلک افغانی، این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در چاه‌نیمه اجرا شد. شهرستان زابل در موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا قرار دارد. آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن جزء اقلیم‌های خشک و بسیار گرم با تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. بافت خاک محل آزمایش رسی لومی بود و میزان متوسط رطوبت قابل دسترس گیاه از تفاوت آب خاک در نقطه ظرفیت مزرعه برابر ۰/۲۳۱ مترمکعب خاک تعیین گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول۱: ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	ماده آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	لای	رس	شن	بافت خاک
		درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم		درصد			
۱/۶	۷/۵	۱/۶۳	۰/۰۷	۱۰/۴	۱۴۸	۲۸	۳۰	۴۲	رسی‌لومی

تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی شامل سه سطح آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید)، آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه (تنش متوسط) و آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) و محلول‌پاشی سیلیکون نیز در سطوح صفر، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار بودند. بعد از آماده‌سازی کرت‌های به طول چهار متر و عرض دو متر و با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و روی ردیف چهار سانتی‌متر عملیات کاشت در شش آذر ۱۳۹۲ انجام گرفت. اولین آبیاری برای تمام تیمارها

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1394.7.26.1.8]

بلافاصله بعد از کاشت اعمال گردید. پس از آن آبیاری بر اساس عرف منطقه به روش نشتی انجام شد. پس از استقرار کامل بوته‌ها (دو ماه پس از کاشت) اقدام به اعمال تیمارهای تنش آبیاری گردید. برای‌اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه TDR[1] استفاده شد و زمانی که رطوبت خاک به هر یک از مقادیر مشخص شده می‌رسید، آبیاری به روش کرتی انجام می‌شد. محلول‌پاشی سیلیکون طی سه مرحله در فصل رشد گیاه (قبل از پنجه‌زنی، پایان پنجه‌زنی و قبل از گل‌دهی) انجام شد. محلول‌پاشی‌ها در ساعت چهار بعد از ظهر و در هوای صاف و ملایم اعمال گردید، به‌طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند. جهت برداشت نهایی، در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ بعد از حذف اثر حاشیه، از هر کرت چهار ردیف میانی برداشت شده و جهت‌اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد بیولوژیک، طول سنبله، وزن هزار دانه، کلروفیلa، کلروفیلb، پروتئین و پرولین مورد استفاده قرار گرفت. برای‌اندازه‌گیری محتوای کلروفیل ۰/۲ گرم از ماده تر (برگ)، همراه با ۰/۵ گرم سولفات منیزیم و ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد که به تدریج اضافه می‌شد، در داخل یک هاون چینی به خوبی ساییده شدند. بعد از تهیه عصاره برگ، آن را از کاغذ صافی گذرانده سپس نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه در ۲۵۰۰ دور سانتریفیوژ گردید تا عصاره یکنواختی از هر نمونه به‌دست آمد. سپس طیف جذبی عصاره توسط اسپکتروفتومتر (مدل شمادزو UV 160) در طول موج‌های ۶۶۵، ۶۴۵ و ۶۷۰ برای‌اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کل قرائت گردید و محتوای کلروفیل برگ‌ها با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (Prochazka, 1998):

معادله ۱: $Chl\ a = (۱۲/۱۹\ A۶۶۵) - (۳/۴۵\ A۶۴۵)$

معادله ۲: $Chl\ b = (۲۱/۹۹\ A۶۴۵) - (۵/۳۲\ A۶۶۵)$

درصد پروتئین دانه با استفاده از ضریب تبدیل ۶/۲۵ در درصد نیتروژن به‌دست آمد (پروانه، ۱۳۸۳). به منظوراندازه‌گیری پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. به این منظور ۰/۵ گرم از نمونه برگ وزن و ضمن ساییدن داخل هاون چینی به تدریج ۱۰ سی‌سی اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد، به آن اضافه شد. محلول حاصل به لوله آزمایش درب‌دار منتقل شد و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. ۳۰۰۰ دور در دقیقه از عصاره حاصل یک سی‌سی برداشته در لوله آزمایش ریخته و سپس یک سی‌سی معرف نین هیدرین و یک سی‌سی اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و یک ساعت در بن‌ماری ۱۰۰ درجه قرار گرفت تا رنگ آجری تولید شد. سپس جهت توقف واکنش‌ها در آب یخ قرار داده شد و بعد از سرد شدن، در هر لوله آزمایش چهار میلی‌لیتر از محلول تولوئن اضافه گردید، در هر لوله، دو فاز تشکیل شد. فاز بالایی که حاوی کمپلکس رنگی بود، برای‌اندازه‌گیری میزان پرولین استفاده شد و میزان جذب نور آن در طول موج ۵۲۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر از جدول استاندارد

[1]Time Domain Reflectometry

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

به‌دست آمد (Bates *et al.*,1973). تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته ($p<۰/۰۱$) تحت اثر کم آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش شدت تنش ارتفاع بوته کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین ارتفاع از تیمار آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد) و کم‌ترین آن با ۲۷/۸ درصد کاهش در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) در زمان گل‌دهی حاصل شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تنش خشکی از طریق کاهش سرعت رشد گیاه موجب کاهش ارتفاع می‌شود و هر چه زمان اعمال تنش به مراحل انتهایی فصل رشد نزدیک‌تر باشد تنش اثر کم‌تری بر ارتفاع گیاه دارد (یدالهی و همکاران، ۱۳۹۳ب) بر اساس نتایج تحقیق محمدی و همکاران (۱۳۸۵) افزایش رشد رویشی گیاه گندم در شرایط عدم تنش خشکی مشاهده شد. اسیدسیلیکون باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه ($p<۰/۰۵$) گردید (جدول ۲). به‌طوری‌که بیش‌ترین ارتفاع در سطح محلول‌پاشی به میزان ۱/۵ میلی‌مولار دیده شد که در مقایسه با محلول‌پاشی یک میلی‌مولار و شاهد به ترتیب ۱۴/۴ و ۵/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). محققان زیادی گزارش کردند که سیلیکون در رشد و ارتفاع و عملکرد گیاهان زراعی و هم‌چنین در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان مختلف، اثر مثبت بی‌شماری را دارا می‌باشد (امیری و همکاران، ۱۳۹۲). در همین راستا Gong و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی سیلیکون بر گندم، افزایش ارتفاع بوته را به اثبات رسانده‌اند.

طول سنبله

اثر زمان‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسیدسیلیکون بر طول سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول۲). به‌طوری که در تنش شدید با میانگین ۴/۶۰ سانتی‌متر، کاهش ۳۸/۲۵ درصدی در مقایسه با عدم تنش مشاهده شد (جدول ۳). طول سنبله صفتی است که معمولاً نقش تعیین کننده‌ای در میزان عملکرد دانه دارد. البته شاخص معینی جهت تولید دانه یا وزن دانه تولید شده نیست. این صفت معمولاً توارثی بوده و کم‌تر تحت اثر محیط قرار می‌گیرد (معاونی و همکاران، ۱۳۸۹). هر قدر شرایط مساعدتر باشد فاصله میان‌گره‌ها بر روی خوشه بیش‌تر می‌گردد و تراکم کم می‌شود و برعکس شرایط نامساعد محیط به‌ویژه خشکی موجب می‌گردد که محور خوشه رشد کافی ننماید و فاصله میان‌گره‌ها در خوشه تقلیل یابد و تراکم زیاد گردد (محمدی و همکاران،۱۳۹۰). در همین راستا تحقیقاتی شده است که تنش خشکی باعث کاهش طول سنبله گندم می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵). محلول‌پاشی ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سیلیکون

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

نسبت به عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب ۱۳/۱ و ۳۴/۳ درصد افزایش طول سنبله را نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۳). به نظر می‌رسد با مصرف سیلیکون رشد گیاه افزایش می یابد و منجر به افزایش ارتفاع گیاه می شود و از آن‌جایی که طول سنبله جزیی از سنجش ارتفاع گیاه می باشد پس باعث افزایش طول سنبله شده است (Gong *et al.*, 2003).

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس بر ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن هزار دانه، تعداد سنبله و عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع	طول سنبله	وزن هزار دانه	تعداد سنبله	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
تکرار	۲	۶۴۳/۰	۲/۲	۷۰۲/۳	۳۴۹۲۴/۷	۲۳۷۰۷۴۹۹	۸۷۳۹۸۰/۴**
تنش خشکی	۲	۱۱۱۲/۴**	۱۸/۴**	۷۴۰/۵**	۳۶۶۰۳/۴**	۸۵۸۴۷۸۱۵**	۳۱۱۷۱۲۳/۵**
خطای اصلی	۴	۶۹/۴	۵/۳۸	۱۲۲/۵	۵۲۳۰/۲	۲۰۰۱۹۴۹	۱۶۲۲۲۷/۲
سیلیکون	۲	۱۹۹/۰*	۱۴/۰۲**	۱۹/۹*	۹۶/۴^{ns}	۶۹۸۷۳۳۰**	۲۱۹۷۸۰/۵*
سیلیکون×تنش	۴	۵۹/۱^{ns}	۰/۴^{ns}	۱/۰۲^{ns}	۱۴۳۵/۸^{ns}	۵۵۴۲۳۵^{ns}	۲۴۱۴۶/۸^{ns}
خطای فرعی	۱۲	۵۰/۲	۰/۶	۴/۶	۱۰۱۸/۱	۶۹۳۱۹۸	۴۷۸۹۹/۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۲۹	۱۳/۹۸	۶/۴۲	۱۲/۴۶	۱۲/۳۴	۹/۰۰

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

جدول ۳: مقایسه میانگین ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن هزار دانه، تعداد سنبله و عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون

تیمار	ارتفاع (سانتی‌متر)	طول سنبله (سانتی‌متر)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد سنبله	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
آبیاری (رطوبت قابل استفاده)						
٪۹۰ FC (شاهد)	۷۹/۷۷a	۷/۴۵a	۴۲/۶۳a	۳۲۵/۰۰a	۹۹۸۵/۶a	۳۰۰۷/۱a
٪۷۵ FC (تنش متوسط)	۶۹/۳۳a	۵/۸۱b	۳۳/۳۷ab	۲۴۳/۷۸ab	۶۴۱۹/۳b	۲۴۵۳/۹b
٪۵۰ FC (تنش شدید)	۵۷/۵۵b	۴/۶۰c	۲۴/۴۹b	۱۹۹/۲۲b	۳۸۳۴/۷c	۱۸۳۰/۸c
سیلیکون (میلی مولار)						
عدم محلول‌پاشی	۶۴/۵۵b	۴/۷۶c	۳۲/۰۷b	۲۵۶/۶۷a	۵۸۹۱/۴b	۲۲۹۳/۸b
۱	۶۸/۲۲ab	۵/۴۸b	۳۳/۳۸ab	۲۵۸/۸۹a	۶۶۹۶/۶b	۲۳۹۷/۱ab
۱/۵	۷۳/۸۸a	۷/۲۵a	۳۵/۰۴a	۲۵۲/۴۴a	۷۶۵۱/۶a	۲۶۰۰/۹a

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که اثر سطوح مختلف کم آبیاری ($p<۰/۰۱$) و محلول‌پاشی ($p<۰/۰۵$) بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). در بین تیمارهای آبیاری، آبیاری کامل و تنش شدید به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزار دانه را دارا بودند که آبیاری مطلوب وزن هزار دانه را ۴۵ درصد نسبت به تنش شدید افزایش داد (جدول ۳). کاهش وزن هزار دانه گندم در اثر تنش خشکی توسط محققان گزارش شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۵). امام و همکاران (۱۳۸۶) بیان داشتند که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی موجب کاهش وزن هزار دانه شده است و بیش ترین کاهش عملکر دانه ناشی از وزن هزار دانه بود. دلیل اصلی کاهش وزن هزاردانه در تنش‌های پایان فصل برخورد دوره پر شدن دانه با کمبود رطوبت است. اکبری‌مقدم (۱۳۹۱) با بررسی شدت و زمان اعمال تنش خشکی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

گزارش کرد که تنش خشکی با کوتاه کردن دوره پر شدن دانه، باعث کاهش عملکرد دانه و وزن هزاردانه شده و بیش‌ترین اثر آن در دوره پر شدن دانه، بین روزهای اول تا چهاردهم بعد از گرده‌افشانی است. تنش خشکی در مرحله گل‌دهی موجب عدم رشد دانه و کاهش تعداد دانه می‌شود. اثر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه‌ها بسیار بارز است، چون عملکرد بالقوه بسته به تعداد دانه و وزن هزار دانه می‌باشد که این موضوع مستلزم تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها می‌باشد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۲). در بین تیمار محلول‌پاشی اسیدسیلیکون به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزار دانه مربوط به سطح ۱/۵ میلی‌مولار و شاهد با ۸/۶ درصد اختلاف مشاهده شد. وزن هزار دانه با محلول‌پاشی ۱/۵میلی‌مولار اسید سیلیکون نسبت به یک میلی‌مولار حدود ۴/۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). Gong و همکاران (۲۰۰۳) گزارش دادند تحت تنش خشکی سیلیکون سبب کاهش کم‌تر وزن سنبله در همه ارقام گندم شده است، آن‌ها هم‌چنین اظهار نمودند سیلیکون از طریق تقویت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی سبب افزایش وزن هزار دانه می گردد.

تعداد سنبله در مترمربع

تنش خشکی بر تعداد سنبله در مترمربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲)، به‌طوری‌که آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه کم‌ترین تعداد سنبله در مترمربع و آبیاری کامل بیش‌ترین آن را تولید کرد و باعث افزایش ۳۸/۷ درصد تعداد سنبله در مترمربع نسبت به تنش شدید در مرحله گل‌دهی شد، ولی بین تنش ملایم و شاهد از نظر آماری اختلافی نبود (جدول ۳). امام و ثقه‌الاسلامی (۱۳۸۴) اثر سوء تنش رطوبتی در مراحل پنجه‌زنی، ساقه رفتن و حجیم شدن غلاف برگ پرچم بر تعداد سنبله در مترمربع را گزارش کردند. محمدی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نتیجه گرفتند که تعداد سنبله در مترمربع در اثر تنش خشکی کاهش یافت که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. اگرچه تیمار محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسیلیکون بیش‌ترین سنبله در مترمربع و عدم محلول‌پاشی یا (شاهد) کم‌ترین سنبله در مترمربع را دارا بود اما این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). در همین راستا Agarie و همکاران (۱۹۹۳) بیان نمودند سیلیکون باعث افزایش تعداد پنجه و در نتیجه افزایش تعداد سنبله در برنج شد.

عملکرد بیولوژیک

اثر بر عملکرد بیولوژیکی کم آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش شدید کم‌ترین و آبیاری کامل با ۶۱/۵ درصد افزایش، بیش‌ترین عملکرد بیولوژیکی را تولید کرد (جدول ۳). گزارش شده است که کاهش فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای و هم‌چنین مقدار کلروفیل کم‌تر در شرایط تنش می‌تواند منجر به کاهش تولید زیست‌توده شود (Liu *et al.*, 2004). تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و اثر بر فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه به‌عنوان جزیی از عملکرد بیولوژیک

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

می‌شود (فرخی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰). در موضعی مشابه قندی و جلالی (۱۳۹۲) و هم‌چنین محمدی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند کمبود آب و بروز تنش خشکی در محیط رشد گندم باعث کاهش اندازه‌گیاه و وزن خشک اندام‌ها، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها، کاهش عملکرد و شاخص برداشت می‌شود. اثر محلول‌پاشی اسید سیلیکون به عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). محلول‌پاشی اسیدسیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد و کم‌ترین آن در عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار اسید سیلیکون موجب افزایش ۱۲/۴۸ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار یک میلی‌مولار و ۲۳ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد مصرف سیلیکون باعث جهت‌گیری برگ‌ها در مقابل آفتاب و در نتیجه افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌شود (Gottardi *et al.*, 2012). این اثر مفید سیلیکون به تغییرات آناتومیکی به وسیله رسوب سیلیکون در دیواره سلولی نسبت داده شده است (Ma and Takahashi 2002). طبق گزارش‌های پژوهشگران با مصرف سیلیکون، عملکرد دانه در گیاه گندم افزایش یافت (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج آزمایش امیری و همکاران (۱۳۹۲) نیز با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت اثر محلول‌پاشی ($p<۰/۰۵$) و تنش خشکی ($p<۰/۰۱$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، آبیاری کامل بیش‌ترین و تنش شدید با ۳۹/۱۱ درصد کاهش، کم‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد (جدول ۳). در بسیاری از مطالعات، واکنش عملکرد به رژیم‌های آبیاری به علت اثر آب و هوایی در سال‌های مختلف یکسان نبوده است، به همین علت گزارش‌های متفاوتی در مورد مراحل حساس رشد و نمو گندم نسبت به تنش آب وجود دارد (Gupta *et al.*, 2001). به نظر می‌رسد که تنش خشکی در مرحله تقسیم سلولی از طریق کاهش اکسین و افزایش میزان اسید آبسیزیک باعث کاهش تقسیم سلولی، و در مرحله پر شدن دانه، از طریق میزان اسید آبسیزیک و کاهش فعالیت‌های آنزیمی و کاهش دوره پر شدن دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر مبنی بر کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی با یافته‌های قندی و جلالی (۱۳۹۲) و هم‌چنین محمدی و همکاران (۱۳۹۰) در گندم مطابقت دارد. محلول‌پاشی سیلیکون با عث افزایش عملکرد دانه گردید، به‌طوری‌که محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار از این کود آلی عملکرد دانه را به نسبت محلول‌پاشی یک میلی‌مولار و عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب ۵/۷۴ و ۱۱/۸۰ درصد افزایش داد (جدول ۳). نتایج بسیاری از تحقیقات حاکی از اثر مثبت کاربرد سیلیکون بر عملکرد گیاه می‌باشد (محمدی، ۱۳۹۰؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۲) سیلیکون با کاهش تعرق باعث ایجاد تحمل به خشکی می شود (محمدی، ۱۳۹۰). به نظر می‌رسد سیلیکون در غلات با افزایش مقدار محصول و هم‌چنین افزایش پر شدن دانه‌ها منجر به بهبود عملکرد اقتصادی می‌شود.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

درصد پروتئین

اثر اسید سیلیکون و کم آبیاری بر میزان پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما برهمکنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۴). آبیاری کامل بیش‌ترین میزان پروتئین و تنش شدید با ۵۲/۴ درصد کاهش کم‌ترین صفت مذکور را به خود اختصاص داد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی در نتیجه واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تغییر اسیدآمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط است (Ranjan *et al.,* 2001). در همین راستا طالع‌احمد و حداد (۱۳۸۷) نیز کاهش پروتئین گندم در تنش خشکی را گزارش کردند. تیمارها محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار اسید سیلیکون و عدم محلول‌پاشی (شاهد) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان پروتئین دانه را دارا بودند، به‌طوری که محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار به میزان ۱۶/۵ درصد افزایش پروتئین دانه را نسبت به محلول‌پاشی یک میلی‌مولار و ۲۷/۴ درصد افزایش نسبت به عدم محلول‌پاشی داشت (جدول ۵). نتایج مشابه توسط Gong و همکاران (۲۰۰۵) و طالع‌احمد و حداد (۱۳۸۹) در گندم به‌دست آمده است. بر طبق این نتایج کاربرد سیلیکون می‌تواند خسارت اکسیداتیو به گیاهان تحت تنش خشکی را کاهش داده و در نتیجه در تحمل به تنش، نقش داشته باشد. حداد و مشیری (۱۳۸۹) در بررسی اثر سیلیکون خارجی بر تغییرات ناشی از تنش خشکی در برگ‌های جو مشاهده کردند که تنش شوری به‌طور معنی‌داری میزان پروتئین محلول برگ را کاهش می‌دهد، درحالی‌که سیلیکون مقدار پروتئین برگ گیاهان تنش دیده را افزایش داد. از آن‌جا که تنش اکسیداتیو سبب تخریب پروتئین می‌شود، می‌توان گفت که سیلیکون در مقابله با تنش اکسیداتیو مؤثر است (طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۷؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۹).

پرولین

پرولین تحت اثر تنش خشکی ($p<0/01$) قرار گرفت (جدول ۴). در شرایط تنش، بیش‌ترین میزان پرولین در تیمار تنش شدید با میانگین ۴۳/۲۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر و کم‌ترین آن در تیمار شاهد با میانگین ۲۵/۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر وجود داشت (جدول ۵). در سایر تیمارهای تنش نیز تجمع پرولین مشاهده شد که با نتایج طالع‌احمد و حداد (۱۳۸۹)، حداد و مشیری (۱۳۸۹) و Sharma و Kuhad (۲۰۰۶) مطابقت داشت. تجمع پرولین تحت شرایط تنش ممکن است به دلیل کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات یا افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز باشد (Sharma and Kuhad, 2006). پرولین نقش محافظت‌کنندگی آنزیم‌های سیتوزولی (حفاظت از آنزیم کربوکسیلاز) و ساختار سلولی را بر عهده دارد لذا پرولین در شرایط تنش، در سلول انباشت می شود (اکبری‌مقدم، ۱۳۹۱). در این آزمایش محلول‌پاشی سیلیکون هم باعث افزایش میزان پرولین شد، به گونه‌ای که بیش‌ترین میزان پرولین در تیمار تنش شدید

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

همراه با محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار (۳۶/۰۲ میکرومول بر گرم وزن تر) سیلیکون حاصل شد (جدول ۵). در بررسی‌های انجام شده توسط طالع‌احمد و حداد (۱۳۸۹) در گندم و حداد و مشیری (۱۳۸۹) در جو میزان پرولین در تیمار خشکی افزایش یافت ولی در اثر تیمار سیلیکون- خشکی تجمع میزان پرولین کاهش یافت. نقش پرولین در هنگام تنش، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها، جلوگیری از تجزیه ماکرومولکول‌ها، دخالت در حفظ استحکام دیواره‌ی سلولی و پاکسازی هیدروکسیل‌های تولیدی تحت تنش در گیاه است. به نظر می‌رسد سیلیکون با افزایش میزان پرولین این وظایف را شدت می‌بخشد (حداد و مشیری، ۱۳۸۹).

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس درصد پروتئین، پرولین، کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پروتئین	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	۲	۲/۸	۹/۳	۱/۰	۰/۰۰۵
تنش خشکی	۲	۱۵۱/۲**	۷۱۸/۹**	۰/۲*	۰/۶*
خطای اصلی	۴	۰/۲۱	۲۱/۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
سیلیکون	۲	۲۹/۲**	۳۸/۷*	۰/۱*	۰/۷*
سیلیکون × تنش	۴	۰/۳ns	۵/۸ns	۰/۰۱ns	۰/۰۵*
خطای فرعی	۱۲	۰/۶	۶/۸	۰/۰۶	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۰۵	۷/۶	۶/۴۹	۹/۰۸

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

جدول ۵: مقایسه میانگین درصد پروتئین، پرولین، کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون

تیمار	پروتئین (درصد)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
آبیاری(رطوبت قابل استفاده)			
FC ٪۹۰ (شاهد)	۱۵/۴۹a	۲۵/۴۰c	۱/۱۹a
FC ٪۷۵ (تنش متوسط)	۱۰/۴۹b	۳۴/۲۶b	۱/۰۶b
FC ٪۵۰ (تنش شدید)	۷/۳۷c	۴۳/۲۷a	۰/۸۶c
سیلیکون(میلی مولار)			
عدم محلول‌پاشی	۹/۴۵c	۳۲/۰۰b	۰/۹۱c
۱	۱۰/۸۷b	۳۴/۹۱a	۱/۰۲b
۱/۵	۱۳/۰۳a	۳۶/۰۲a	۱/۱۸a

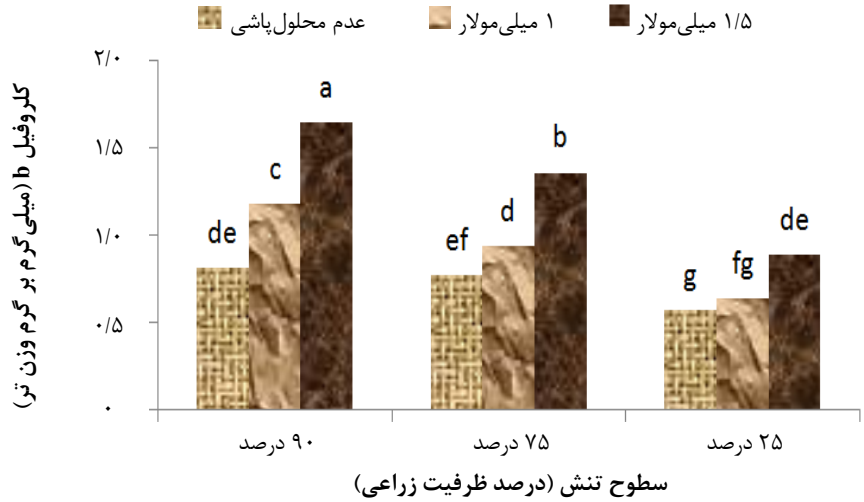
میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

کلروفیل a و b

کلروفیل a تحت اثر تنش خشکی و اسید سیلیکون ($p<۰/۰۵$) قرار گرفت (جدول ۴). تنش خشکی شدید (۲۵ درصد) و متوسط (۷۵ درصد) به ترتیب باعث کاهش ۲۷/۷۳ و ۱۸/۸۶ درصدی در میزان کلروفیل a گردید (جدول ۵). در شرایط تنش‌های محیطی مانند خشکی میزان تولید رادیکال‌های فعال و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدی افزایش می‌یابد (Gong *et al.*, 2005). مشخص شده است که تخریب کلروفیل نتیجه پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و تشکیل هیدروپراکسید اسیدهای چرب موجود در غشاء می‌باشد (طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۷). قسمتی از کاهش کلروفیل در زمان تنش

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

اکسیدکننده می‌تواند نتیجه پراکسیداسیون غشاهای کلروپلاستی باشد. مصرف سیلیکون، کلروفیل a را افزایش داد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی بیش‌ترین مقدار از این ماده (۱/۵ میلی‌مولار) صفت مذکور را ۲۲/۸۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). این نتایج با یافته‌های طالع‌احمد و حداد (۱۳۸۹) و طالع‌احمد و حداد (۱۳۸۷) بر گندم مطابقت دارد. برهمکنش تنش و محلول‌پاشی سیلیکون بر کلروفیل b ($p<۰/۰۵$) معنی‌دار بود (جدول۴). در اثر تیمار خشکی محتوای کلروفیل a و b در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، در صورتی‌که کاربرد سیلیکون مانع از کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش می‌گردد، به‌طوری‌که کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون در شرایط تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) منجر به افزایش ۳۵/۹۵ درصدی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی در شرایط مشابه شد. در شرایط تنش متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و آبیاری کامل (۹۰ درصد ظرفیت زراعی) نیز روند مشابهی از محلول‌پاشی سیلیکون در افزایش کلروفیل b به‌دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱: برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون بر میزان کلروفیل b

اعمال سیلیکون باعث افزایش در فعالیت‌های فتوسنتزی تحت شرایط خشکی می‌گردد که موازی با افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزیک ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز و گلیسرآلدئید-۳-فسفات دهیدروژناز می‌باشد. سیلیکون با قرار گرفتن در آپوپلاسم دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی، علاوه بر استحکام برگ باعث تولید بافت ناهمواری در دو سطح برگ می‌شود که این امر باعث به تأخیرانداختن مرگ برگی در نتیجه افزایش در محتوای کلروفیل و کاهش در میزان تعرق روزنه‌ای می‌گردد. علاوه بر این افزایش میزان کلروفیل b در تیمار سیلیکون می‌توان به اثر سیلیکون در افزایش کارایی فتوسیستم ۲ اشاره کرد که توسط AL-Aghabary و همکاران (۲۰۰۴) در گیاه گوجه فرنگی که تحت تنش شوری قرار گرفته بود گزارش شده است. در همین راستا افزایش در میزان کلروفیل در این بررسی با پژوهش‌های صورت گرفته در گیاه

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

گندم (Gong *et al.*, 2005؛ طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۹؛ طالع‌احمد و حداد، ۱۳۸۷) و جو (حداد و مشیری، ۱۳۸۹) تحت تنش خشکی مطابقت کامل دارد. طی این بررسی در اثر تنش خشکی میزان کلروفیل a و b در مقایسه با تیمار آبیاری کامل به‌ترتیب به میزان ۲۷/۷ و ۴۲/۱ درصد کاهش یافت، لذا می‌توان نتیجه گرفت که میزان خسارت وارده به کلروفیل b تحت تنش خشکی بیش‌تر از کلروفیل a بوده است (جدول ۵). Oncel و همکاران (۲۰۰۰) بیان داشتند که مقدار زیادی از کلروفیل b موجود در کلروپلاست در کمپلکس‌های برداشت‌کننده نور در فتوسیستم ۲ قرار دارد. هم‌چنین این پژوهشگران بیان داشتند که در شرایط تنش، کمپلکس‌های برداشت‌کننده نور بیش‌تر آسیب می‌بینند که باعث کاهش شدید کلروفیل b در کلروپلاست و افزایش نسبت a به b تحت تنش خواهد بود.

نتیجه‌گیری

اگرچه زمان آبیاری می‌تواند بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه گندم اثر بگذارد، ولی میزان اثر آن بر هر یک از ویژگی‌ها متفاوت بود. تنش خشکی باعث کاهش صفات مورد بررسی از جمله عملکرد شد. محلول‌پاشی اسید سیلیکون موجب افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل a و b، پروتئین و پرولین شده در حالی‌که بر تعداد سنبله در مترمربع اثر معنی‌داری نداشت ولی تنش خشکی باعث کاهش ۶۳/۳ درصدی تعداد سنبله در مترمربع شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مصرف سیلیکون به جز کلروفیل b اثرات منفی تنش خشکی را در سایر صفات به‌طور معنی‌داری کاهش نداده است، لذا جهت پیشنهاد سیلیکون به‌عنوان تعدیل‌کننده اثر تنش در شرایط آب و هوایی مشابه آزمایشات تکمیلی مورد نیاز می‌باشد.

منابع

اکبری‌مقدم، ح. ۱۳۹۱. تسهیم ماده خشک و عکس‌العمل‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام گندم تحت تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد. پایان‌نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل. ۱۵۱ ص.

امام، ی. و ثقه‌الاسلامی، م. ج. ۱۳۸۴. عملکرد گیاهان زراعی، فیزیولوژی و فرآیندها. شیراز. انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۹۳ ص.

امیری، ا.، باقری، ع.ا.، خواجه، م.، نجف‌آبادی، ن. و یدالهی ده‌چشمه، پ. ۱۳۹۲. تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون بر عملکرد و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گلرنگ در شرایط تنش خشکی، مجله پژوهش‌های به‌زراعی. ۵ (۴): ۳۷۲-۳۶۱.

پروانه، و. ۱۳۸۳. کنترل کیفیت غذایی و آزمایشات شیمی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۱۷۸ ص.

حداد، ر. و مشیری، ز. ۱۳۸۹. تأثیر سیلیکون در افزایش تحمل به خشکی در مرحله دو برگی گیاه جو. ژنتیک نوین. ۵ (۴): ۵۸-۴۷.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

سعیدی، م.، مرادی، ف.، احمدی، ع.، سپهری، ر.، نجفیان، گ. و شعبانی، ا. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی انتهای فصل بر خصوصیات فیزیولوژیک و روابط منبع و مخزن در دو رقم گندم نان. مجله علول زراعی. ۱۲(۴): ۴۰۸-۳۹۲.

طالع‌احمد، س. و حداد، ر. ۱۳۸۷. تأثیر سیلیکون بر تحمل به خشکی در گندم. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی. ۸ (۱): ۱۷۰-۱۵۹.

طالع‌احمد، س. و حداد، ر. ۱۳۸۹. اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم‌های ضد اکسنده و محتوای تنظیم کننده‌های اسمزی در دو ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی. مجله به‌زراعی نهال و بذر. ۲-۲۶ (۲): ۲۲۵-۲۰۷.

فرخی‌نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان‌اسلام، ب. و ساسان‌دوست، ر. ۱۳۹۰. بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲ (۳): ۵۵۳-۵۴۵.

قندی، ا. و جلالی، ا.ه. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی ملایم آخر فصل رشد بر ویژگی‌های زراعی ارقام گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۶ (۲): ۱۳۴-۱۱۷.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ.ح. ۱۳۸۲. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). چاپ دهم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ ص.

محمدی، ح.، احمدی، ع.، مرادی، ف.، عباسی، ع.، پوستینی، ک.، جودی، م. و فاتحی، ف. ۱۳۹۰. ارزیابی صفات مهم برای بهبود عملکرد گندم تحت تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران. ۴۲(۲): ۳۸۵- ۳۷۳.

محمدی، ص.، سپهری، ع.، ابوطالبیان، م.ع. و حمزئی، ج. ۱۳۹۰. تأثیر سیلیکون بر عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی پایان رشد. ششمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی. ۱۱ و ۱۲ اسفند ماه ۱۳۹۰، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان. ۱۱۹-۱۱۷.

محمدی، ع.، مجیدی، ا.، بی همتا، م.ر. و حیدری‌شریف‌آبادئی، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی تنش خشکی بر روی خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی در تعدا ی از ارقام گندم. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۷۳: ۱۸۵-۱۹۲.

معاونی، پ.، ولدآبادی، ع. و ابراهیمی، ا. ۱۳۸۹.گندم. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس. ۱۳۶۱ ص.

بی‌نام. ۱۳۹۲. آمارنامه کشاورزی جلد اول محصولات زراعی سال زراعی ۹۰- ۱۳۸۹. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۳۷ ص.

یدالهی ده‌چشمه، پ.، اصغری‌پور، م.ر.، خیری، ن. و قادری، ا. ۱۳۹۳ (الف). اثر تنش خشکی و کودهای آلی بر عملکرد روغن و ویژگی‌های بیوشیمیایی گلرنگ. نشریه تولید گیاهان روغنی. ۱(۲): ۴۰-۲۷.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

یدالهی ده‌چشمه، پ.، باقری، ع.ا.، امیری، ا. و اسمعیل‌زاده، ص. ۱۳۹۳ (ب). اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی کیتوزان بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی آفتابگردان. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶ (۲۱): ۸۳-۷۳.

Agarie. S., Uchida, H., Agata, W., Kubata, F. and Kaufamn, B. 1993. Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.). Crop production and improvement technology No. 34. pp.225-234.

AL-Aghabary, K., Zhujun, Z. and Qinhua, S. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plant under salt stress. Plant Nutrition 27: 21011-2115.

Bates, L.S., Waldren, S.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water–stress studies. Plant soil 39: 205-207.

Epstein, E. 1999. Silicon. Plant Physiology 50: 641-64.

Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S. and Zhang, C.H. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. Journal Plant Nutrition 26:1055-1063.

Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Suomin, W. and Zhang, C.H. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science 169: 313-321.

Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Romheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, L. and Cesco, S. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta (*L.*)* Laterr) plants. Plant Physiology and Biochemistry 56: 14-23.

Gupta, N.K., Gupta, S. and Kumar, A. 2001. Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. Wheat, Barley and Triticale Abstracts 18: 497.

Lawlor, D.W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic cabon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25: 275-294.

Liang, Y., Chen, Q., Zhang, W. and Ding, R. 1996. Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in root of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Plant Physiology 160: 1157-1167.

Liu, F., Andersen, M.N. and Jensen, C.R. 2004. Root signal controls pod growth in drought-stressed soybean during the critical, abortion-sensitive phase of pod development. Field Crop Research 85:159-166.

Ma, J.F. and Takahashi, E. 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan, Elsevier Science.275 pp.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]

Misra, A. and Srivastava, N.K. 2000. Influence of water stress on Japanese Mint. Journal of herbs, Spices and medicinal Plant 7 (1):51-58.

Oncel, I., Keles, Y. and Ustun, A.S. 2000. Interactive of temperature and heavy metal stress on the growth and some biological compounds in wheat seedling. Environmental Pollution 107: 315-320.

Prochazka, S., Machaackova, I., Kreekule, J. and Sebanek, J. 1998. Plant physiology. Academia. Praha 484 PP.

Ranjan, R., Bohra, S.P. and Jeet, A.M. 2001. Plant Senescence. Jodhpur, agrobios, pp.18-42.

Shamsi, K. 2010. The effect of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrate and chlorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant 3: 1051-1060.

Sharma, K.D. and Kuhad, M.S. 2006. Influence of Potassium level and soil moisture regime on biochemical metabolites of Brassica Species. Brassica Journal 8: 71-74.

Tayebi, A., Afshari, h., Farahvash, F., Masood sinki, J. and Nezarat, S. 2012. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. Journal of Plant Physiology 2(3): 445-453.

Yadav, O.P. and Bhathagar, S.K. 2001. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non stress conditions. Field Crop Science 70: 201-208.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-06-09]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.26.1.8]