تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
۹۶۱-۹۷۵
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3209.1823

مقاله پژوهشی

تأثیر اوره و سولوپتاس بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت فوق شیرین (*Zea mays* var Basin) در پاسخ به رژیم‌های مختلف آبیاری

مجید قنبری[۱]، علی مختصی بیدگلی[۲*]، کامران منصور قناعی پاشاکی[۳]، پرنیان طالبی سیه‌سران[۴]
۱. دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. دانشجوی دکترای زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۳

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کود اوره و سولوپتاس و کمبود آب آبیاری بر خصوصیات مختلف مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت فوق شیرین رقم Basin و در مزرعه انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۵ در مجتمع کشاورزی و دام‌پروری ورامین اجرا شد. عوامل موردبررسی شامل سه سطح تنش کمبود آب بر اساس آبیاری ۱۵ (شاهد)، ۳۰ (تنش متوسط) و ۴۵ (تنش شدید) درصد ظرفیت زراعی، چهار سطح کود اوره شامل صفر (شاهد)، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و چهار سطح کود پتاس از منبع سولوپتاس شامل صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. نتایج این تحقیق نشان داد برهمکنش رژیم‌های آبیاری و کودهای شیمیایی بر طول و عرض برگ، تعداد ردیف دانه، وزن هزار دانه، فتوسنتز و آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود. در شرایط تنش متوسط، بهینه عملکرد دانه از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس به دست آمد. همچنین، در شرایط تنش شدید، بیشترین میزان فتوسنتز و فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شاهد مشاهده گردید. به‌طورکلی، می‌توان نتیجه گرفت کاربرد توأم ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و سولوپتاس موجب افزایش ۳۷/۸۹٪ عملکرد دانه نسبت به شاهد تحت شرایط تنش متوسط شد که نشان‌دهنده توانایی کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و همچنین افزایش فتوسنتز در شرایط تنش بوده و در بروز مقاومت در گیاه ذرت فوق شیرین و کاهش افت شدید عملکرد بسیار مؤثر است. درنهایت، کاربرد ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و پتاس در شرایط تنش متوسط جهت حصول عملکرد بهینه و رشد مطلوب ذرت فوق شیرین توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: **آنزیم، اجزای عملکرد، ذرت دانه‌ای، کم‌آبی، مناطق خشک**

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) به دلیل ویژگی‌های بسیار زیاد، به‌ویژه قدرت سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون، در تمام دنیا گسترش‌یافته و جایگاه سوم را بعد از گندم و برنج ازنظر سطح زیر کشت به خود اختصاص داده است (Ghețe et al., 2018). ذرت فوق شیرین گیاهی است تک‌لپه، یک‌ساله، تک‌پایه، از خانواده پوآسه و میوه آن گندمه است که موارد استفاده زیادی در کشاورزی و صنعت دارد (Ghețe et al., 2018). سطح زیر کشت ذرت در دنیا ۱۹۷۱۸۵۹۳۶ هکتار و میزان تولید آن ۱۱۳۴۷۴۶۶۶۷ تن و عملکرد آن ۷/۰۲۷۹ تن در هکتار است (FAO, 2017). سطح زیر کشت ذرت در ایران ۱۷۴۰۳۳ هکتار، میزان تولید آن ۱۲۲۳۰۸۶ تن و عملکرد آن ۵/۷۵۴۷ تن در هکتار است

* نگارنده پاسخگو: علی مختصی‌بیدگلی. پست الکترونیک: mokhtassi@modares.ac.ir

(FAO, 2017). مراکز مهم تولید ذرت ایران استان‌های فارس، خوزستان و کرمانشاه می‌باشند (Ministry of Agriculture, 2018). به‌طورکلی هیبریدهای ذرت فوق شیرین برای عرض‌های جغرافیایی بالا که دمای ۲۱ تا ۳۲ درجه سلسیوس را به مدت ۳ تا ۴ ماه دارا باشند مناسب بوده و تنش خشکی بدون حضور سایر تنش‌ها حدود ۴۰ تا ۶۰٪ از عملکرد ذرت را کاهش می‌دهد (Dastbandan Nejad et al. 2010).

نیتروژن یکی از عناصر غذایی اصلی در تعیین زیست‌توده و عملکرد گیاهان زراعی از طریق تأثیر بر شاخص سطح برگ (دریافت تشعشع) و ظرفیت فتوسنتزی به ازای هر واحد سطح برگ است (Campelol et al., 2019). چنانچه جذب نیتروژن به دلیل کاهش فراهم بودن این عنصر در خاک کم شود محتوی نیتروژن گیاه کاهش می‌یابد و گیاه از طریق کاهش اسیمیلاسیون مواد نیتروژن‌دار به این عدم تعادل واکنش نشان می‌دهد و این امر موجب کاهش میزان رشد و تجمع مادهٔ خشک می‌شود؛ بنابراین احتمال اختلال در فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی گیاه براثر کمبود نیتروژن وجود دارد و در بسیاری از تجربه‌های آزمایشگاهی که به گیاهان مقدار محدودی نیتروژن داده شد، این احتمال ثابت شده است (Bassi et al., 2018). پتاسیم فراوان‌ترین عنصر غذایی در سطح بخش بالایی خاک است؛ اما این شرایط، لزوماً بدان معنا نیست که پتاسیم قابل‌دسترس‌ترین عنصر برای گیاه است. زیرا، مقدار پتاسیم قابل‌دسترس برای گیاه به میزان پتاسیم موجود در بخش قابل‌دسترس (محلول و تبادلی) بستگی دارد (Wang et al. 2013). پتاسیم در اعمال فیزیولوژیکی ازجمله؛ سوخت‌وساز کربوهیدرات یا تشکیل و تجزیه و انتقال نشاسته، سوخت‌وساز ترکیب پروتئین‌ها، کنترل و تنظیم فعالیت‌های عناصر کانی اساسی گوناگون، خنثی کردن اسیدهای آلی ازنظر فیزیولوژیکی مهم، فعال‌سازی آنزیم‌های مختلف، تسریع رشد بافت‌های مریستمی و تنظیم روابط حرکات روزنه‌ها و آب نقشی اساسی دارد (Tisdale et al. 2003). نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان داد کمبود آب از طریق کاهش دسترسی بلال به مواد پرورده باعث کاهش میزان تشکیل دانه می‌شود (Sah et al., 2020). جلوگیری از فتوسنتز در پتانسیل کم آب باعث کاهش ذخایر کربوهیدرات در زمان گرده‌افشانی شده که می‌تواند منجر به عدم توسعه بافت‌های زایشی گردد (Li et al., 2018). کمبود آب در طی مرحله ظهور کاکل و اوایل رشد دانه، تعداد دانه در بلال و درنتیجه پتانسیل عملکرد را کاهش می‌دهد (Sah et al., 2020). علاوه بر کمبود آب، کمبود نیتروژن و پتاسیم موردنیاز می‌تواند فشار مضاعفی را بر رشد و عملکرد گیاه وارد آورد. نیتروژن عنصر ضروری برای رشد بوده و تغییر در مقادیر قابل‌دسترس آن به‌ویژه در شرایط تنش آب عملکرد گیاه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Al-Kaisi and Yin, 2003). تحقیقات بسیاری در خصوص تأثیر مثبت نیتروژن بر افزایش تعداد دانه در بلال، وزن دانه، عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت ثبت‌شده، ازاین‌رو تمایل به استفاده از مقادیر بیشتر کود اوره وجود دارد (Megyes et al. 2005; Zeidan et al. 2006). سایر پژوهش‌ها نشان داد عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، روند پر شدن دانه، عمق نفوذ ریشه و فعالیت‌های بیوشیمیایی در ذرت در شرایط تنش خشکی به‌شدت کاهش می‌یابد، درحالی‌که کاربرد پتاسیم موجب کاهش اثرات سوء تنش خشکی بر صفات فوق و افزایش عمق نفوذ ریشه می‌گردد. همچنین کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شدید خشکی، سبب افزایش عملکرد کمی و فعالیت برخی از آنزیم‌ها می‌گردد (Wang et al., 2013; Valadabadi and Aliabadi Farahani, 2008). با توجه به این‌که بیشتر اراضی کشور تحت تأثیر تنش خشکی بوده و ذرت فوق شیرین گیاهی حساس به تنش خشکی است، همچنین به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی به‌عنوان نوعی راهکار مقاومت به تنش خشکی و تأثیر آن بر بهبود رشد و نمو ذرت فوق شیرین، در این راستا، جهت بررسی چگونگی تأثیر سطوح مختلف کود اوره در ترکیب با کود پتاس بر بهبود مقاومت ذرت فوق شیرین در شرایط کمبود آب از طریق اندازه‌گیری تغییرات در میزان عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی ذرت فوق شیرین، پژوهش فوق در شرایط مزرعه‌ای انجام شد.

اهداف طرح عبارت بودند از (۱) تحقیق درزمینه استفاده از کودهای شیمیایی اوره و سولوپتاس در سیستم‌های کشاورزی مرسوم کشور به‌منظور جبران اثرات تنش خشکی فصلی؛ (۲) به دست آوردن ترکیب مناسبی از کودهای شیمیایی اوره و سولوپتاس جهت تغذیه گیاه ذرت فوق شیرین و جبران خسارات ناشی از تنش خشکی؛ و (۳) بررسی اثرات بیوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی کودهای شیمیایی اوره و سولوپتاس در ذرت فوق شیرین.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و کاربرد کودهای شیمیایی اوره و سولوپتاس بر عملکرد، اجزای عملکرد، برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه ذرت فوق شیرین (*Zea mays* var Basim)، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در مجتمع کشاورزی و دام‌پروری ورامین با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۹۷۴ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح آبیاری ۱۵ (شاهد)، ۳۰ (تنش متوسط) و ۴۵ (تنش شدید) درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس خاک، چهار سطح کود اوره مطابق آزمون خاک شامل صفر، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و چهار سطح کود پتاس از منبع سولوپتاس مطابق آزمون خاک شامل صفر، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. سطوح تنش خشکی اعمال‌شده، مابین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک منطقه تحت آزمایش برای تعیین واکنش گیاه به سطوح متفاوت آب خاک تعیین گردید (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه موردمطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تجزیه خاک مزرعه موردمطالعه

Table1. Physicochemical properties of the studied soil

بافت خاک Texture	ظرفیت زراعی FC	نقطه پژمردگی دائم PWP	گوگرد S	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن کل T.N	ماده آلی O.M	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	عمق نمونه‌برداری SD
-	% by volume		--------mg.kg^{-1}--------			---------%-------		-	$dS.m^{-1}$	cm
loam	18.27	9.52	51.5	228	17	0.12	0.8	7.6	1.1	0-30

مقادیر کودهای شیمیایی موردنیاز بر اساس نتایج آزمون خاک مشخص گردید. یک‌سوم کود اوره و تمامی کود پتاس از منبع سولوپتاس قبل از کشت به خاک اضافه شد. مابقی کود اوره طی اقساط مساوی در دو مرحله، هشت برگی و شروع تاسل‌دهی به خاک اضافه گردید. طول هر کرت آزمایشی ۶ متر و عرض ۳ متر بود. فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها به ترتیب سه متر و ۳/۵ متر در نظر گرفته شد. همچنین، برای کشت، تراکم ۲۵ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از نشت آب به سایر کرت‌ها از آبیاری به‌صورت قطره‌ای- نواری (T-tape) استفاده گردید. زمان‌بندی آبیاری بر اساس درصد تخلیه رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در منطقه ریشه و عمق بهینه خاک برای جذب آب آبیاری برای ذرت حدود ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید. مقدار رطوبت خاک ابتدا به روش وزنی و سپس با استفاده از دستگاه TDR مدل (Trime- IMKO- Gmbh, D-76275, Germany) (FM) در عمق ذکرشده تعیین گردید. برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه‌شده توسط TDR[1] و درصد حجمی رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به روش وزنی از منحنی کالیبراسیون استفاده شد. برای استفاده از TDR، در مرکز هر واحد آزمایشی یک لوله دسترسی[2] از جنس PVC تعبیه شد. همچنین، برای تعیین مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده گردید. با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده و رابطه ۱ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس خاک در منطقه مؤثر ریشه ارزیابی شد:

[۱] MAD (حداکثر تخلیه مجاز)[3] $= (FC-PWP)/(FC-\theta)$

در این رابطه، FC و PWP به ترتیب رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی[4] و نقطه پژمردگی دائم[5] (جدول ۱) و θ درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری است (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). حداکثر تخلیه مجاز، بیشترین مقدار آبی است که در صورت خروج از

[1] Time-Domain Reflectometry
[2] Access tube
[3] Maximum allowable depletion
[4] Field capacity (FC)
[5] Permanent wilting point (PWP)

خاک، میزان رطوبت حجمی آب خاک از نقطه پژمردگی دائم عبور کرده و گیاه از بین می‌رود. θ بر اساس تیمارهای آبیاری تنظیم‌شده و مقدار آب موردنیاز برای آبیاری از رابطه ۲ محاسبه گردید:

$$Vd = MAD \times ASW \times Rz \times 10 \qquad [۲]$$

در این رابطه، Vd حجم آب آبیاری (میلی‌متر)، ASW[6] آب قابل‌دسترس خاک برابر با ۱۱۷/۶ میلی‌متر در هر متر عمق خاک و Rz عمق مؤثر ریشه برابر با ۰/۳ متر می‌باشند. آب قابل‌دسترس خاک عبارت از مقدار آب موجود در ناحیه ریشه بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). مقدار آب استفاده‌شده برای آبیاری همه تیمارها در مرحله رشد رویشی پس از استقرار گیاه تا مرحله رسیدگی گیاه اعمال گردید. بذر ذرت فوق شیرین از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. در مرحله رسیدگی عملیات برداشت صورت گرفت و برحسب رطوبت ۷۵٪، عملکرد دانه کنسروی اندازه‌گیری شد. در زمان برداشت، برای تعیین خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و اجزای عملکرد تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شدند. میانگین ارتفاع بوته و طول برگ با استفاده از خط کش میلی‌متری برحسب سانتی‌متر، میانگین قطر بلال و برگ با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتال MITUTOYO و دقت ۰/۰۱ میلی‌متر برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (Fereidouni et al., 2016). در هر بوته تعداد ردیف دانه و تعداد دانه در ردیف شمارش گردید. به‌منظور تخمین وزن هزار دانه، یک نمونه هزارتایی به‌طور تصادفی از برداشت نهایی هر کرت، به کمک دستگاه شمارش بذر جدا و توزین گردید. برای خشک‌کردن از آون تهویه‌دار با دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت استفاده گردید. توزین نمونه‌ها با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم انجام شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه کنسروی بر عملکرد بیولوژیک به دست آمد. جهت اندازه‌گیری پروتئین، یک میلی‌لیتر از معرف برادفورد به‌همراه ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی پس از مخلوط شدن کامل با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر قرائت‌شده و برحسب میلی‌گرم پروتئین بر گرم بافت تر بیان گردید (Bradford, 1976). به‌منظور اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز، ۰/۲ گرم از بافت گیاهی تازه منجمد شده در بافر پتاسیم فسفات ۰/۰۵ مولار با pH=۷ در دمای صفر تا ۴ درجه سانتی‌گراد ساییده و عصاره‌گیری شد. سپس همگن حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴-۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. محلول واکنش شامل عصاره آنزیمی، بافر و پراکسید هیدروژن با غلظت نهایی ۱۰ میلی‌مولار در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد (Cakmak and Horst, 1991). فتوسنتز گیاه با استفاده از سیستم تبادل گاز قابل‌حمل[7] (Li-Cor 6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA) اندازه‌گیری گردید. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ (SAS, 2012) تجزیه شد. قبل از تجزیه واریانس، آزمون نرمالیتی انجام گرفت و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد احتمال استفاده شد. در مواقعی که اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه معنی‌دار شد، برای تفسیر بهتر نتایج و برای جلوگیری از مقایسه میانگین‌های طولانی و پیچیده، برش‌دهی فیزیکی برای رژیم‌های آبیاری، کود اوره و سولوپتاس انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و قطر بلال

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد ارتفاع بوته و قطر بلال تحت‌تأثیر کود اوره و سولوپتاس و ارتفاع بوته همچنین، تحت‌تأثیر رژیم‌های آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین ارتفاع بوته در شاهد (۱۹۵/۱۲ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع بوته در تنش شدید (۱۴۶/۴۷ سانتی‌متر) دیده شد که ۳۳/۲۱٪ نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). ازنظر کود اوره و سولوپتاس، بیشترین ارتفاع بوته به‌ترتیب در ۲۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۱۹۶/۸۰ و ۱۸۳/۲۷ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع بوته در شاهد (۱۲۳/۸۶ و ۱۵۲/۵۲ سانتی‌متر) وجود داشت که به‌ترتیب ۳۷/۰۶ و ۱۶/۷۷٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳).

[6] Available Soil Water

[7] Portable gas exchange system

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کود شیمیایی بر عملکرد کمی و خصوصیات فیزیولوژیکی در گیاه ذرت فوق شیرین (Zea mays var Basin) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

Table 2. Analysis of variance (mean square) of effect of chemical fertilizer on qualitative yield and physiological Characteristics in Super Sweet Corn (*Zea mays* var Basin) under different irrigation regimes

S.O.V منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر بلال Corn diameter	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf diameter	تعداد ردیف دانه Rows number of grain	دانه در ردیف Grains in row
بلوک (تکرار) Block (Replication)	2	376.77^{ns}	1.03^{ns}	6.92^{ns}	0.14^{ns}	0.54^{ns}	0.67^{ns}
رژیم‌های آبیاری Irrigation Regimes (I)	2	28995.21**	0.81^{ns}	1651.38**	25.62**	43.29**	734.72**
اوره Urea (U)	3	37528.32**	22.60**	7145.22**	77.32**	270.28**	1175.53**
رژیم‌های آبیاری × اوره I × U	6	193.76^{ns}	0.67^{ns}	90.07**	0.36**	6.58**	59.65**
سولوپتاس Solopotass (S)	3	6279.34**	3.49**	1364.85**	8.46**	27.80**	130.69**
رژیم آبیاری × سولوپتاس I × S	6	204.00^{ns}	0.36^{ns}	33.65**	0.13*	1.26^{ns}	4.10**
اوره × سولوپتاس U × S	9	48.00^{ns}	0.92^{ns}	32.12**	0.25**	4.83**	2.33**
رژیم‌آبیاری×اوره×سولوپتاس I × U × S	18	83.36^{ns}	0.56^{ns}	18.11**	0.15**	1.20^{ns}	1.65*
خطای آزمایش Error	94	174.80	0.48	6.71	0.05	0.93	0.90
ضریب تغییرات CV (%)	-	*7.83*	*19.38*	*4.96*	*4.13*	*9.36*	*6.12*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V منابع تغییرات	درجه آزادی df	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index	سرعت فتوسنتز گیاه Photosynthesis Rate	پروتئین دانه Grain protein	کاتالاز Catalase
بلوک (تکرار) Block (Replication)	2	50.61^{ns}	0.06^{ns}	5.03^{ns}	1.56**	0.16^{ns}	0.01^{ns}
رژیم‌های آبیاری Irrigation Regimes (I)	2	10040.69**	33.84**	1544.17**	1222.85**	216.32**	188.95**
اوره Urea (U)	3	98543.90**	35.01**	1430.28**	485.69**	12.40**	8.35**
رژیم‌های آبیاری × اوره I × U	6	22566.82**	1.10**	51.84**	16.18**	0.62**	5.06**
سولوپتاس Solopotass (S)	3	10585.70**	11.08**	553.87**	157.60**	3.82**	0.70**
رژیم‌های آبیاری × سولوپتاس I × S	6	680.33**	0.67*	8.10*	1.14**	0.17^{ns}	1.77**
اوره × سولوپتاس U × S	9	220.24**	0.28^{ns}	10.60**	1.28**	0.19^{ns}	0.04**
رژیم‌آبیاری× اوره ×سولوپتاس I × U × S	18	251.33**	0.23^{ns}	2.11^{ns}	0.99**	0.19^{ns}	0.04**
خطای آزمایش Error	94	85.32	0.24	3.18	0.30	0.11	0.005
ضریب تغییرات CV (%)	-	*2.59*	*8.45*	*6.45*	*3.88*	*4.53*	*1.84*

**: معنی‌داری در سطح ۱٪؛ *: معنی‌داری در سطح ۵٪؛ ^{ns}: غیر معنی‌دار

**: significant at 1%; *: significant at 5%; ^{ns}: non-significant

همچنین، بیشترین قطر بلال به‌ترتیب در ۲۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۱۹۶/۸۰ و ۱۸۳/۲۷ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع بوته در شاهد (۱۲۳/۸۶ و ۱۵۲/۵۲ سانتی‌متر) وجود داشت که به‌ترتیب ۳۷/۰۶ و ۱۶/۷۷٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۳. اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و کودهای اوره و سولوپتاس بر صفات اندازه‌گیری شده در ذرت فوق شیرین

Table 3. Main effects of irrigation regimes and urea and solopotass fertilizers on measured traits in Super Sweet Corn

تیمار Treatment		ارتفاع بوته Plant height	قطر بلال Corn diameter	عملکرد دانه Grain yield	پروتئین دانه Grain protein
		cm	cm	$Ton.ha^{-1}$	$mg.g^{-1}FW$
رژیم‌های آبیاری Irrigation Regimes	15% FC (Control)	195. 12^{a}	3.69^{a}	6.55^{a}	9.50^{a}
	30% FC(Moderate Stress)	164.68^{b}	3.58^{a}	6.12^{b}	7.85^{b}
	45% FC (Severe Stress)	146.47^{c}	3.43^{a}	4.93^{c}	5.29^{c}
	LSD	*5.35*	*0.28*	*0.20*	*0.13*
کود اوره Urea Fertilizer	Control	123.86^{d}	2.41^{c}	4.58^{d}	6.77^{d}
	150 $Kg.ha^{-1}$	167.63^{c}	3.83^{b}	5.67^{c}	7.44^{c}
	200 $Kg.ha^{-1}$	186.75^{b}	3.86^{ab}	6.86^{a}	7.87^{b}
	250 $Kg.ha^{-1}$	196.80^{a}	4.18^{a}	6.34^{b}	8.10^{a}
	LSD	*6.18*	*0.32*	*0.23*	*0.16*
کود سولوپتاس Solopotass Fertilizer	Control	152.52^{d}	3.13^{b}	5.21^{d}	7.23^{c}
	100 $Kg.ha^{-1}$	164.75^{c}	3.65^{a}	5.63^{c}	7.32^{c}
	150 $Kg.ha^{-1}$	174.50^{b}	3.62^{a}	6.13^{b}	7.70^{b}
	200 $Kg.ha^{-1}$	183.27^{a}	3.87^{a}	6.47^{a}	7.92^{a}
	LSD	*6.18*	*0.32*	*0.23*	*0.16*

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری یک درصد در آزمون LSD با هم ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level by the LSD test

پژوهشگران در بررسی تأثیر نیتروژن و تنش خشکی بر اجزای عملکرد، عملکرد و کیفیت دانه ذرت SC 704 (Jalilian et al., 2014) و بررسی تأثیر تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب و نیتروژن گیاه ذرت SC 704 (Ghobadi et al., 2015) گزارش نمودند اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته و قطر بلال معنی‌دار بود. آنان دریافتند با افزایش شدت تنش خشکی، تولیدات فتوسنتزی کاهش‌یافته، سهم کل گیاه و به‌ویژه بلال از آسمیلات‌های فتوسنتزی کم‌تر شده و درنتیجه ارتفاع گیاه و قطر بلال کاهش می‌یابد. در اثر کمبود آب حجم سلول، تقسیم سلولی، دیواره‌سازی سلول و اندازه کلی اندام‌های گیاه کاهش‌یافته و در مراحل مختلف رشد، به‌ویژه در مرحله رویشی باعث کاهش آب در بافت‌های گیاهی و درنتیجه کاهش آماس سلولی شده که درنهایت منجر به کاهش ارتفاع گیاه و کاهش قطر بلال می‌گردد (Earl and Davis, 2003). در این میان، مصرف کود اوره از طریق افزایش اندازه و دوام سطح برگ در شرایط تنش خشکی، موجب افزایش کارایی استفاده از نور (Lack et al., 2006) و مصرف کود پتاسه از طریق کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های مزوفیل گیاه (Wang et al., 2013) موجب افزایش کارایی مصرف آب گیاه و افزایش ارتفاع بوته و قطر بلال در طول دوره رشد ذرت فوق شیرین در شرایط تنش خشکی گردید. کاربرد کود پتاسیم باعث بسته شدن نسبی روزنه در گیاه شده و درنتیجه نگهداشت آب درون‌سلولی، نهایتاً منجر به کاهش اثر منفی تنش و افزایش ارتفاع گیاه و قطر بلال می‌گردد (Wang et al., 2013).

طول و عرض برگ

نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که طول و عرض برگ تحت‌تأثیر رژیم‌های آبیاری، کود اوره، کود سولوپتاس، برهمکنش‌های رژیم‌های آبیاری و کود اوره، رژیم‌های آبیاری و کود سولوپتاس، کود اوره و سولوپتاس و برهمکنش رژیم‌های آبیاری و کودهای شیمیایی مصرفی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در کلیه سطوح رژیم‌های مختلف آبیاری و کود اوره، بیشترین مقادیر طول و عرض برگ، مربوط به تیمار مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس و کم‌ترین مقادیر آن مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۴).

جدول ۴. اثرات برهمکنش رژیم‌های آبیاری×کود اوره×کود سولوپتاس بر صفات اندازه‌گیری شده در ذرت فوق شیرین (برش‌دهی در سطح رژیم‌های آبیاری و کود اوره).

Table 4. Interaction effects of irrigation regimes ×nitrogen fertilizer×potassium fertilizer on measured traits in Super Sweet Corn (Slice on the level of irrigation regimes and urea fertilizer).

رژیم‌های آبیاری Irrigation Regimes	کود اوره Urea Fertilizer	کود سولوپتاس Solopotass Fertilizer	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf diameter	تعداد دانه در ردیف Grains number in row
			cm	cm	
شاهد 15% FC (Control)	Control	Control	30.66±1.76^{d}	4.00±0.11^{c}	8.83±0.32^{c}
		100 Kg.ha^{-1}	35.33±1.45^{c}	4.26±0.14^{b}	10.26±0.29^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	40.66±0.66^{b}	4.43±0.12^{b}	11.23±0.14^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	44.66±2.02^{a}	4.86±0.06^{a}	12.76±0.43^{a}
		LSD	*3.05*	*0.24*	*0.98*
	150 Kg.ha^{-1}	Control	45.00±1.73^{b}	5.16±0.12^{b}	10.76±0.14^{c}
		100 Kg.ha^{-1}	55.33±0.88^{a}	6.43±0.12^{a}	15.40±0.20^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	57.33±0.88^{a}	6.56±0.06^{a}	15.76±1.12^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	60.00±1.15^{a}	6.80±0.11^{a}	18.63±0.77^{a}
		LSD	*4.69*	*0.37*	*2.17*
	200 Kg.ha^{-1}	Control	62.33±1.45^{c}	6.73±0.17^{b}	20.83±0.20^{b}
		100 Kg.ha^{-1}	60.00±1.15^{c}	6.76±0.14^{b}	22.73±0.99^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	66.33±0.88^{b}	7.20±0.11^{ab}	23.86±1.58^{ab}
		200 Kg.ha^{-1}	72.00±1.15^{a}	7.46±0.08^{a}	26.23±0.39^{a}
		LSD	*3.47*	*0.52*	*3.22*
	250 Kg.ha^{-1}	Control	70.00±0.57^{c}	7.10±0.05^{b}	24.40±0.37^{b}
		100 Kg.ha^{-1}	74.66±0.88^{b}	7.46±0.06^{a}	26.36±0.55^{ab}
		150 Kg.ha^{-1}	75.00±1.15^{b}	7.60±0.05^{a}	26.33±1.42^{ab}
		200 Kg.ha^{-1}	80.66±0.88^{a}	7.70±0.11^{a}	27.53±0.99^{a}
		LSD	*3.06*	*0.26*	*2.23*
تنش متوسط 30%^{c} FC (Moderate Stress)	Control	Control	26.00±2.30^{c}	3.00±0.11^{b}	7.00±0.11^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	28.66±2.33^{bc}	3.33±0.12^{b}	7.76±0.14^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	33.33±2.40^{b}	3.80±0.11^{a}	8.60±0.23^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	42.00±1.52^{a}	4.23±0.14^{a}	9.23±0.14^{a}
		LSD	*7.00*	*0.46*	*0.62*
	150 Kg.ha^{-1}	Control	45.00±2.88^{c}	5.10±0.20^{b}	11.43±0.47^{c}
		100 Kg.ha^{-1}	50.33±0.88^{bc}	5.53±0.17^{b}	13.70±0.60^{bc}
		150 Kg.ha^{-1}	55.66±1.20^{ab}	6.26±0.14^{a}	15.33±0.35^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	59.66±1.45^{a}	6.80±0.05^{a}	18.13±1.14^{a}
		LSD	*5.98*	*0.54*	*2.68*
	200 Kg.ha^{-1}	Control	60.33±2.90^{ab}	6.23±0.14^{bc}	16.50±0.40^{c}
		100 Kg.ha^{-1}	54.66±1.76^{b}	6.00±0.11^{c}	19.36±0.55^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	60.33±1.45^{ab}	6.40±015^{b}	21.46±0.65^{ab}
		200 Kg.ha^{-1}	67.66±1.45^{a}	6.86±0.08^{a}	23.00±0.92^{a}
		LSD	*7.78*	*0.36*	*2.60*
	250 Kg.ha^{-1}	Control	52.33±1.45^{b}	6.06±0.17^{c}	19.56±0.23^{c}
		100 Kg.ha^{-1}	62.66±1.45^{b}	6.70±0.10^{b}	22.40±0.26^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	67.33±1.76^{b}	7.00±0.11^{ab}	24.96±0.43^{a}
		200 Kg.ha^{-1}	67.33±145^{a}	7.26±0.14^{a}	25.83±0.44^{a}
		LSD	*5.65*	*0.52*	*1.39*
تنش شدید 45% FC (Severe Stress)	Control	Control	19.66±0.88^{d}	2.30±0.10^{c}	4.30±0.20^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	25.33±0.88^{c}	2.40±0.05^{bc}	5.63±0.08^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	30.66±1.76^{b}	2.56±0.03^{b}	6.40±0.20^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	36.00±1.15^{a}	2.86±0.06^{a}	7.56±0.23^{a}
		LSD	*3.93*	*0.26*	*0.56*
	150 Kg.ha^{-1}	Control	40.66±0.66^{c}	4.00±0.11^{c}	9.76±0.14^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	40.66±0.66^{c}	5.00±0.11^{b}	11.16±0.20^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	50.33±1.45^{b}	5.16±0.12^{b}	12.53±0.14^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	57.66±1.45^{a}	5.53±0.08^{a}	13.30±0.15^{a}
		LSD	*4.46*	*0.30*	*0.25*
	200 Kg.ha^{-1}	Control	43.66±0.88^{c}	4.56±0.48^{b}	12.10±0.23^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	47.66±1.45^{c}	5.53±0.08^{a}	12.80±0.23^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	57.00±1.52^{b}	6.00±0.11^{a}	13.46±0.20^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	65.00±1.73^{a}	6.36±0.08^{a}	14.50±0.17^{a}
		LSD	*5.03*	*0.87*	*0.44*
	250 Kg.ha^{-1}	Control	50.00±1.15^{c}	5.63±0.12^{c}	12.56±0.23^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	53.66±1.45^{c}	6.06±0.06^{b}	13.56±0.12^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	59.33±0.66^{b}	6.50±0.11^{a}	14.43±0.12^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	65.00±1.73^{a}	6.76±0.14^{a}	15.63±0.12^{a}
		LSD	*5.11*	*0.42*	*0.51*

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

رژیم‌های آبیاری Irrigation Regimes	کود اوره Urea Fertilizer	کود سولوپتاس Solopotass Fertilizer	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Grain yield	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	کاتالاز Catalase
				Ton.ha^{-1}	μmolCO$_2$.m^{-2}.s^{-1}	mg.g^{-1}FW
شاهد 15% FC (Control)	Control	Control	512.16±5.40^{a}	3.99±0.08^{d}	11.53±0.32^{d}	3.00±0.05^{a}
		100 Kg.ha^{-1}	495.58±4.32^{b}	4.69±0.08^{c}	12.76±0.37^{c}	2.61±0.03^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	481.53±1.92^{bc}	5.12±0.05^{b}	14.43±0.29^{b}	2.32±0.02^{c}
		200 Kg.ha^{-1}	468.09±3.34^{c}	5.86±0.03^{a}	16.30±0.32^{a}	2.12±0.02^{d}
		LSD	*15.36*	*0.19*	*1.15*	*0.13*
	150 Kg.ha^{-1}	Control	467.17±10.68^{a}	5.66±0.05^{d}	15.20±0.52^{c}	2.65±0.05^{a}
		100 Kg.ha^{-1}	429.11±9.19^{b}	6.14±0.07^{c}	16.46±0.39^{bc}	2.40±0.02^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	406.61±2.93^{b}	6.58±0.08^{b}	17.96±0.35^{b}	2.16±0.02^{c}
		200 Kg.ha^{-1}	372.17±8.00^{c}	7.21±0.13^{a}	20.70±0.32^{a}	1.91±0.02^{d}
		LSD	*31.82*	*0.15*	*1.51*	*0.10*
	200 Kg.ha^{-1}	Control	327.04±9.65^{a}	6.12±0.08^{d}	17.40±0.37^{d}	2.30±0.02^{a}
		100 Kg.ha^{-1}	302.34±11.47^{ab}	6.73±0.10^{c}	19.63±0.52^{c}	2.11±0.02^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	285.63±2.94^{b}	7.49±0.09^{b}	21.50±0.32^{b}	1.84±0.03^{c}
		200 Kg.ha^{-1}	250.23±12.45^{c}	7.87±0.08^{a}	24.16±0.17^{a}	1.72±0.06^{d}
		LSD	*35.18*	*0.36*	*0.71*	*0.09*
	250 Kg.ha^{-1}	Control	294.18±2.74^{a}	6.97±0.06^{c}	21.20±0.30^{c}	2.21±0.01^{a}
		100 Kg.ha^{-1}	280.47±6.73^{a}	7.53±0.16^{b}	21.46±0.61^{c}	2.04±0.03^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	287.07±3.38^{a}	8.26±0.08^{a}	24.23±0.29^{b}	1.86±0.05^{c}
		200 Kg.ha^{-1}	272.34±14.72^{a}	8.52±0.04^{a}	25.20±0.32^{a}	1.66±0.06^{d}
		LSD	*23.31*	*0.38*	*0.91*	*0.15*
تنش متوسط 30%^{c} FC (Moderate Stress)	Control	Control	424.36±5.78^{a}	4.13±0.03^{d}	5.83±0.27^{d}	2.11±0.04^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	406.92±2.36^{b}	4.47±0.04^{c}	8.06±0.26^{c}	2.46±0.03^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	396.22±3.21^{bc}	4.95±0.03^{b}	10.10±0.26^{b}	2.87±0.03^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	384.74±3.93^{c}	5.26±0.06^{a}	12.70±0.37^{a}	3.26±0.03^{a}
		LSD	*15.40*	*0.13*	*1.06*	*0.13*
	150 Kg.ha^{-1}	Control	384.97±5.91^{a}	5.55±0.03^{d}	10.00±0.11^{d}	3.20±0.03^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	371.13±2.70^{b}	5.88±0.03^{c}	11.76±0.46^{c}	3.37±0.03^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	359.94±3.16^{c}	6.19±0.02^{b}	14.40±0.26^{b}	3.67±0.03^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	346.17±2.14^{d}	6.65±0.08^{a}	16.26±0.23^{a}	3.96±0.03^{a}
		LSD	*7.19*	*0.10*	*0.72*	*0.05*
	200 Kg.ha^{-1}	Control	356.45±3.33^{a}	6.25±0.03^{d}	15.53±0.24^{d}	4.07±0.03^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	347.87±4.22^{a}	6.55±0.03^{c}	16.33±0.37^{c}	4.19±0.02^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	324.67±2.51^{b}	6.78±0.02^{b}	17.93±0.38^{b}	4.32±0.02^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	322.32±4.31^{b}	7.05±0.03^{a}	19.96±0.32^{a}	4.51±0.03^{a}
		LSD	*12.72*	*0.10*	*0.63*	*0.11*
	250 Kg.ha^{-1}	Control	340.75±3.61^{a}	6.96±0.04^{a}	17.96±0.37^{c}	4.22±0.02^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	308.70±2.22^{b}	7.11±0.04^{a}	19.10±0.15^{b}	4.38±0.01^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	299.44±2.08^{c}	6.49±0.93^{a}	20.16±0.27^{ab}	4.53±0.03^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	300.88±5.39^{c}	7.62±0.05^{a}	20.76±0.31^{a}	4.68±0.04^{a}
		LSD	*6.27*	*1.65*	*1.11*	*0.11*
تنش شدید 45% FC (Severe Stress)	Control	Control	381.70±2.33^{a}	3.10±0.03^{a}	3.16±0.37^{d}	4.26±0.06^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	369.37±2.14^{b}	3.48±0.03^{a}	4.93±0.26^{c}	4.76±0.05^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	361.35±1.96^{b}	4.55±0.68^{a}	6.83±0.20^{b}	5.21±0.02^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	360.89±3.98^{b}	4.34±0.03^{a}	8.20±0.25^{a}	5.64±0.04^{a}
		LSD	*8.81*	*2.93*	*0.69*	*0.11*
	150 Kg.ha^{-1}	Control	357.16±2.81^{a}	3.92±0.04^{d}	5.93±0.34^{d}	5.37±0.05^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	347.26±2.24^{b}	4.27±0.04^{c}	7.13±0.43^{c}	5.75±0.07^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	333.90±2.04^{c}	4.77±0.04^{b}	8.16±0.29^{b}	6.03±0.05^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	333.92±2.86^{c}	5.20±0.03^{a}	9.73±0.24^{a}	6.32±0.08^{a}
		LSD	*9.75*	*0.17*	*0.33*	*0.11*
	200 Kg.ha^{-1}	Control	345.67±2.45^{a}	4.75±0.03^{d}	8.63±0.27^{d}	6.21±0.03^{d}
		100 Kg.ha^{-1}	331.22±1.89^{b}	5.17±0.03^{c}	9.83±0.24^{c}	6.53±0.04^{c}
		150 Kg.ha^{-1}	327.23±2.90^{bc}	5.49±0.01^{b}	10.96±0.14^{b}	6.82±0.05^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	320.15±2.70^{c}	5.87±0.04^{a}	12.40±0.26^{a}	7.02±0.04^{a}
		LSD	*9.82*	*0.13*	*0.59*	*0.16*
	250 Kg.ha^{-1}	Control	342.60±4.30^{a}	5.16±0.02^{d}	8.90±0.26^{c}	6.62±0.05^{c}
		100 Kg.ha^{-1}	326.80±3.62^{b}	5.54±0.07^{c}	10.40±0.26^{b}	6.93±0.03^{b}
		150 Kg.ha^{-1}	316.58±2.72^{bc}	5.93±0.03^{b}	11.83±0.37^{a}	7.11±0.02^{b}
		200 Kg.ha^{-1}	314.04±1.74^{c}	6.27±0.03^{a}	12.76±0.37^{a}	7.35±0.06^{a}
		LSD	*12.68*	*0.17*	*1.23*	*0.19*

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون برش داده‌شده، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد در آزمون LSD ندارند. (میانگین±خطای استاندارد)

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level by the LSD test. Mean±STDERR

نسبت کاهش طول و عرض برگ در تیمار عدم کاربرد کودهای شیمیایی در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۵/۱۹، ۳۵/۸۷ و ۲۵، ۳۷/۵٪ است، درحالی‌که نسبت کاهش طول و عرض برگ تحت تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۶/۵۲، ۱۹/۴۱ و ۵/۷۱، ۱۲/۲۰٪ است (جدول ۴). محققین در بررسی تغییرات شاخص‌های رشد رویشی سیر (*Allium sativum* L.) در سطوح مختلف کود شیمیایی گزارش نمودند بیشترین ابعاد برگ در حداکثر تیمار کودی حاصل‌شده و با عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (Noori et al., 2014). پژوهشگران در بررسی اثر تنش خشکی بر رشد و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی ذرت دریافتند که در تنش شدید، کاهش ابعاد برگ بیشتر از سایر سطوح بوده (Ur-Rahman et al., 2004). با افزایش مصرف نیتروژن به دلیل فراهمی نیتروژن موردنیاز برگ بر اندازه ابعاد آن افزوده شد (Valadabadi and Aliabadifarahani, 2010). کمبود نیتروژن سرعت ظهور برگ را به مقدار جزئی ولی میزان توسعه و دوام سطح برگ و به‌ویژه طول و عرض برگ را به‌شدت کاهش می‌دهد (Bakht et al., 2006). پژوهش‌ها نشان داد که کاربرد سولوپتاس در شرایط کمبود آب از طریق افزایش ابعاد برگ در گسترش مناسب برگ‌ها و افزایش دوام سطح برگ مؤثر بوده (Henteh and Aminian, 2017) و برگ‌ها آب کم‌تری از دست می‌دهند (Bahrani, 2014). مقادیر مناسب نیتروژن و پتاسیم در گیاه سبب ایجاد تعادل در پتانسیل آب گیاه و افزایش ساخت ترکیبات آلی شده که این امر سبب آماس سلول‌های برگی و افزایش در ابعاد برگ می‌گردد و همچنین انباشت مواد فتوسنتزی جهت تنظیم اسمزی در گیاه را تنظیم نمایند (El-Bassiony, 2006).

تعداد ردیف دانه و دانه در ردیف

تعداد ردیف دانه و دانه در ردیف، تحت‌تأثیر رژیم‌های آبیاری، کود اوره، کود سولوپتاس، برهمکنش‌های رژیم‌های آبیاری و کود اوره، کود اوره و سولوپتاس، همچنین، تعداد دانه در ردیف در برهمکنش رژیم‌های آبیاری و کود سولوپتاس در سطح احتمال یک درصد و تعداد دانه در ردیف در برهمکنش رژیم‌های آبیاری و کودهای شیمیایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۵. اثر برهمکنش رژیم‌های آبیاری×کود اوره بر صفات اندازه‌گیری‌شده در ذرت فوق شیرین (برش‌دهی در سطح رژیم‌های آبیاری).

Table 5. Interaction effects of irrigation regimes ×urea fertilizer on measured traits in Super Sweet Corn (slice in irrigation regimes levels)

رژیم‌های آبیاری Irrigation Regimes	کود اوره Urea Fertilizer	تعداد ردیف دانه Number of grain row	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index	پروتئین دانه Grain protein
			Ton.ha^{-1}	%	mg.g-1FW
شاهد 15% FC (Control)	Control	8.23±0.36^{b}	4.91±0.20^{d}	19.35±1.79^{c}	8.43±0.22^{d}
	150 Kg.ha^{-1}	11.68±0.46^{a}	6.40±0.17^{c}	30.30±1.75^{b}	9.40±0.07^{c}
	200 Kg.ha^{-1}	12.37±0.13^{a}	7.05±0.20^{b}	35.73±1.08^{a}	9.81±0.06^{b}
	250 Kg.ha^{-1}	12.45±0.13^{a}	7.82±0.18^{a}	38.71±0.89^{a}	10.36±0.08^{a}
	LSD	*0.89*	*0.56*	*4.17*	*0.37*
تنش متوسط 30%^{c} FC (Moderate Stress)	Control	6.17±0.38^{b}	4.70±0.13^{c}	24.93±1.09^{c}	7.30±0.05^{b}
	150 Kg.ha^{-1}	11.45±0.37^{a}	6.07±0.12^{b}	28.90±1.36^{b}	7.75±0.06^{ab}
	200 Kg.ha^{-1}	12.15±0.14^{a}	6.66±0.08^{a}	34.01±0.62^{a}	8.21±0.06^{a}
	250 Kg.ha^{-1}	12.25±0.20^{a}	7.05±0.23^{a}	35.31±0.76^{a}	8.13±0.34^{a}
	LSD	*0.87*	*0.44*	*2.92*	*0.51*
تنش شدید 45% FC (Severe Stress)	Control	4.33±0.11^{b}	4.12±0.45^{b}	13.88±1.16^{c}	4.57±0.11^{c}
	150 Kg.ha^{-1}	10.82±0.48^{a}	4.54±0.14^{b}	19.41±1.08^{b}	5.17±0.07^{b}
	200 Kg.ha^{-1}	10.60±0.36^{a}	5.32±0.12^{a}	24.40±1.05^{a}	5.59±0.05^{a}
	250 Kg.ha^{-1}	11.48±0.86^{a}	5.72±0.12^{a}	26.64±0.63^{a}	5.81±0.05^{a}
	LSD	*1.51*	*0.73*	*2.92*	*0.22*

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون برش داده‌شده، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد در آزمون LSD ندارند. (میانگین±خطای استاندارد)

Means in each sliced column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level by the LSD test. Mean±STDERR

نسبت کاهش تعداد ردیف دانه در تیمار عدم کاربرد کود اوره در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۲۵/۰۳ و ۴۷/۳۸٪ است، درحالی‌که نسبت کاهش تعداد ردیف دانه تحت تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱/۶۰ و ۷/۷۹٪ است (جدول ۵). نسبت افزایش تعداد ردیف دانه در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس در سطوح شاهد، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴۵/۰۵، ۴۰/۲۰، ۱۵/۴۸ و ۱/۱۶٪ است (جدول ۶). این در حالی است که بین سطوح مختلف کود اوره ازنظر تعداد ردیف دانه در هر سطح از رژیم‌های آبیاری (جدول ۵)، بین سطوح مختلف کود سولوپتاس ازنظر تعدد ردیف دانه در هر سطح از کود اوره (جدول ۶) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در کلیه سطوح رژیم‌های مختلف آبیاری و کود اوره، بیشترین تعداد دانه در ردیف، مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس و کم‌ترین مقادیر آن مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۴). نسبت کاهش تعداد دانه در ردیف در تیمار عدم کاربرد کودهای شیمیایی در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۲۰/۷۲ و ۵۱/۳۰٪ است، درحالی‌که نسبت کاهش تعداد دانه در ردیف تحت تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۶/۱۷ و ۴۳/۲۲٪ است (جدول ۴).

جدول ۶. اثرات برهمکنش کود اوره × کود سولوپتاس بر صفات اندازه‌گیری شده در ذرت فوق شیرین (برش‌دهی در سطح کود اوره).

Table 6. Interaction effects of urea fertilizer ×solopotass fertilizer on measured traits in Super Sweet Corn (slice in urea fertilizer level)

کود اوره Urea Fertilizer	کود سولوپتاس Solopotass Fertilizer	تعداد ردیف دانه Number of grain row	شاخص برداشت Harvest Index
شاهد (Control)	Control	5.26±0.39^{b}	14.36±1.76^{c}
	100 Kg.ha^{-1}	5.66±0.55^{b}	16.77±1.79^{bc}
	150 Kg.ha^{-1}	6.42±0.62^{ab}	20.98±1.69^{ab}
	200 Kg.ha^{-1}	7.63±0.73^{a}	25.42±1.62^{a}
	LSD	*1.76*	*5.12*
150 Kg.ha^{-1}	Control	8.88±0.23^{c}	20.61±1.48^{c}
	100 Kg.ha^{-1}	11.78±0.17^{b}	24.42±2.37^{bc}
	150 Kg.ha^{-1}	12.15±0.14^{ab}	28.28±1.75^{ab}
	200 Kg.ha^{-1}	12.45±0.14^{a}	31.51±1.90^{a}
	LSD	*0.53*	*5.62*
200 Kg.ha^{-1}	Control	10.98±0.36^{c}	27.56±1.66^{b}
	100 Kg.ha^{-1}	11.92±0.14^{b}	29.78±2.07^{b}
	150 Kg.ha^{-1}	12.41±0.09^{ab}	32.88±1.89^{ab}
	200 Kg.ha^{-1}	12.68±0.10^{a}	35.30±1.52^{a}
	LSD	*0.61*	*5.37*
250 Kg.ha^{-1}	Control	11.21±0.24^{a}	30.25±1.47^{b}
	100 Kg.ha^{-1}	12.05±0.20^{a}	32.57±1.95^{ab}
	150 Kg.ha^{-1}	12.46±0.17^{a}	34.83±2.04^{ab}
	200 Kg.ha^{-1}	11.34±1.24^{a}	36.56±1.79^{a}
	LSD	*1.87*	*5.43*

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون برش داده‌شده، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد در آزمون LSD ندارند. (میانگین±خطای استاندارد)

Means in each sliced column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level by the LSD test. Mean±STDERR

محققین در بررسی کاربرد سولفات پتاسیم در شرایط کم‌آبیاری در هیبریدهای ذرت و اثرات نیتروژن و تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش نمودند تنش رطوبتی تعداد ردیف دانه و دانه در ردیف را کاهش داده است (Jalilian et al., 2014; Henteh and Aminian, 2017). به نظر می‌رسد که دلیل اصلی این کاهش اختلال در خروج کلاله‌ها از بلال ناشی از تنش خشکی بوده و در اثر خشک شدن کلاله‌ها تعداد ردیف دانه

و دانه در ردیف کاهش یابد (Khalily et al., 2013)؛ اما برخی از محققین اظهار داشتند که در شرایط تنش خشکی، کود اوره از طریق توسعه بیشتر ریشه، مواد غذایی قابل‌جذب را برای رشد گیاه فراهم کرده (Blaise et al., 2005) و کود پتاسیم از طریق حفظ تعادل رطوبتی گیاه موجب بهبود اجزای عملکرد در ذرت می‌گردد (Miri et al., 2016). به نظر می‌رسد معنی‌دار نبودن تأثیر سطوح مختلف کودهای شیمیایی در هر یک از سطوح تنش خشکی و نحوه تأثیر آن بر تعداد ردیف دانه نشان‌دهنده ثبات نسبی این جزء از عملکرد دانه است. ازآنجاکه تعداد نهایی ردیف در هر بلال پیش از بقیه اجزای عملکردی روی ناحیه نموی بلال تعیین می‌شود، احتمالاً در مرحله تعیین تعداد ردیف دانه بلال رقابت چندانی بین مقصدهای فیزیولوژیک برای مواد فتوسنتزی وجود ندارد (Amany et al., 2006).

وزن هزار دانه و عملکرد دانه

وزن هزار دانه تحت‌تأثیر کلیه اثرات اصلی و برهمکنش‌های دو و سه‌گانه، همچنین، عملکرد دانه ازنظر اثرات اصلی و برهمکنش رژیم‌های آبیاری و اوره در سطح احتمال یک درصد و عملکرد دانه ازنظر رژیم‌های آبیاری و کود سولوپتاس در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در کلیه سطوح رژیم‌های مختلف آبیاری و کود اوره، بیشترین وزن هزار دانه، مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین مقادیر آن مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس بود (جدول ۴). نسبت کاهش وزن هزار دانه در تیمار عدم کاربرد کودهای شیمیایی در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۷/۱۴ و ۲۵/۴۷٪ است، درحالی‌که نسبت افزایش وزن هزار دانه تحت تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۰/۴۸ و ۱۵/۳۱٪ است (جدول ۴). نسبت کاهش عملکرد دانه در تیمار عدم کاربرد کود اوره و کود سولوپتاس در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۳۳/۳۸ و ۹۰/۰۶، ۰/۵۲ و ۳۵/۲۲٪ است، درحالی‌که نسبت کاهش عملکرد دانه تحت تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و سولوپتاس در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۰/۹۲ و ۳۶/۷۱، ۱۰/۸۴ و ۳۵/۷۹٪ است (جدول ۷).

جدول ۷. اثرات برهمکنش رژیم‌های آبیاری × کود اوره بر صفات اندازه‌گیری شده در ذرت فوق شیرین (برش‌دهی در سطح رژیم‌های آبیاری)

Table 7. Interaction effects of irrigation regimes×solopotass fertilizer on measured traits in Super Sweet Corn (slice in irrigation regimes level)

رژیم‌های آبیاری Irrigation Regimes	کود سولوپتاس Solopotass Fertilizer	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index
		Ton.ha^{-1}	%
شاهد 15% FC (Control)	Control	5.72±0.32^{c}	25.47±2.55^{b}
	100 Kg.ha^{-1}	6.27±0.31^{bc}	29.28±2.73^{ab}
	150 Kg.ha^{-1}	6.86±0.35^{ab}	33.31±2.26^{a}
	200 Kg.ha^{-1}	7.36±0.29^{a}	36.03±1.77^{a}
	LSD	*0.94*	*6.87*
تنش متوسط 30%^{c} FC (Moderate Stress)	Control	5.69±0.31^{b}	26.50±1.48^{c}
	100 Kg.ha^{-1}	6.00±0.29^{ab}	29.65±1.50^{bc}
	150 Kg.ha^{-1}	6.10±0.29^{ab}	32.13±1.19^{ab}
	200 Kg.ha^{-1}	6.64±0.26^{a}	34.88±0.94^{a}
	LSD	*0.85*	*3.80*
تنش شدید 45% FC (Severe Stress)	Control	4.23±0.23^{b}	17.62±1.75^{c}
	100 Kg.ha^{-1}	4.61±0.24^{b}	18.74±1.54^{bc}
	150 Kg.ha^{-1}	5.43±0.38^{a}	22.30±1.42^{ab}
	200 Kg.ha^{-1}	5.42±0.22^{a}	25.68±1.29^{a}
	LSD	*0.80*	*4.41*

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون برش داده‌شده، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد در آزمون LSD ندارند. (میانگین±خطای استاندارد)

Means in each sliced column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level by the LSD test. Mean±STDERR

کاهش در وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت در اثر کاهش آب آبیاری در واحد سطح تحت شرایط کم‌آبیاری در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (Ghobadi et al., 2015; Jalilian et al., 2014; Haji Hasani Asl et al., 2010). پژوهشگران، سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر و وسیع‌تر ناشی از مصرف کود اوره و همچنین افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی توسط گیاه را ازجمله مهم‌ترین دلایل فیزیولوژیک افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه تحت شرایط تنش رطوبتی عنوان کرده‌اند (Ghobadi et al., 2015). استفاده از کود سولوپتاس در شرایط تنش رطوبتی از طریق افزایش تولید ماده خشک و انتقال آن به قسمت‌های رویشی در تعدیل و تقلیل اثرات تنش خشکی بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه مؤثر است (Abid et al., 2016). میزان کربوهیدرات‌ها و نیتروژن ذخیره‌شده در طول دوره گلدهی در تشکیل دانه مؤثر بوده و کمبود نیتروژن ناشی از کمبود آب، وزن هزار دانه را از طریق کاهش مواد پرورده کم می‌کند. کمبود نیتروژن عملکرد دانه را از طریق کاهش تعداد و وزن هزار دانه کاهش می‌دهد (Muthukumar et al., 2005). تحقیقات حاکی از آن است که تجمع یون پتاسیم در گیاهان قبل از وقوع تنش‌هایی نظیر کمبود آب، تنش سرما و تنش شوری بیمه‌ای برای بقاء گیاه و جبران افت عملکرد ناشی از تنش به شمار می‌آید (Serraj and Sinclair, 2002).

شاخص برداشت و فتوسنتز گیاه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فتوسنتز گیاه تحت‌تأثیر کلیه اثرات اصلی و برهمکنش‌های دو و سه‌گانه، همچنین، شاخص برداشت ازنظر اثرات اصلی و برهمکنش‌های رژیم‌های آبیاری و اوره، اوره و سولوپتاس در سطح احتمال یک درصد و ازنظر رژیم‌های آبیاری و کود سولوپتاس در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نسبت افزایش شاخص برداشت در تیمار عدم کاربرد کود اوره و کود سولوپتاس در شرایط تنش متوسط و کاهش آن در شرایط تنش شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۲۲/۳۸ و ۳۹/۴۰، ۳/۸۸ و ۴۴/۵۵٪ است، درحالی‌که نسبت کاهش شاخص برداشت تحت تیمار ۲۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و سولوپتاس در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۹/۶۲ و ۴۵/۳۰، ۳/۲۹ و ۴۰/۳۰٪ است (جداول ۵ و ۶). نسبت افزایش شاخص برداشت در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس در سطوح شاهد، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴۳/۵۰، ۳۴/۵۹، ۲۱/۹۲ و ۱۷/۲۵٪ است (جدول ۷). در کلیه سطوح رژیم‌های مختلف آبیاری و کود اوره، بیشترین فتوسنتز گیاه، مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین مقادیر آن مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس بود (جدول ۴). نسبت افزایش فتوسنتز تحت تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس در شرایط آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید نسبت به شاهد به‌ترتیب ۵۴/۲۴، ۷۱/۹۱ و ۷۵/۲۳٪ است (جدول ۴). در شرایط کم‌آبی کاهش شاخص برداشت به حساسیت بیشتر رشد زایشی به رویشی نسبت داده شده است (Megyes et al., 2004). قبادی و همکاران (Ghobadi et al., 2015) اظهار داشتند، در شرایط تنش متوسط با مصرف مقادیر نیتروژن از مجموع مواد فتوسنتزی تولیدشده در گیاه نسبت بیشتری به دانه اختصاص می‌یابد و درنتیجه شاخص برداشت به علت اثر مثبت نیتروژن بر فتوسنتز و مواد فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد اما در شرایط تنش شدید سهم کم‌تری از آسیمیلات‌های فتوسنتزی به دانه اختصاص‌یافته و درنتیجه شاخص برداشت کاهش می‌یابد. سودمندی سولوپتاس در شرایط تنش خشکی می‌تواند از طریق تأثیر مثبت در واکنش‌های آنزیمی، تنفس، جذب و تثبیت CO_2 و تأثیر آن بر فتوسنتز از طریق تنظیم کار روزنه‌ها و روابط آب در گیاه و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی (Wang et al., 2013) باشد که نهایتاً منجر به فراهمی بیشتر آب برای گیاه و افزایش مقاومت گیاه به کم‌آبی می‌گردد. تغییرات غلظت کربوهیدرات‌های تجمع یافته در گیاه در القای سازوکارهای تحمل در برابر تنش‌های آبی بسیار مهم است، زیرا این ترکیبات به‌طور مستقیم با واکنش‌های فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی و تنفس در ارتباط هستند (Yordanov et al., 2003). محققین گزارش نمودند که کمبود نیتروژن از طریق پایین آوردن شاخص سطح برگ، برهم زدن سوخت‌وساز درون‌سلولی، تخریب پروتئین‌ها و نیز پیری زودرس برگ‌ها روی پروتئین روبیسکو تأثیر منفی گذاشته و موجب اختلال در فرآیند فتوسنتز گیاه می‌گردد (Pandey et al., 2000).

پروتئین دانه و فعالیت آنزیم کاتالاز

پروتئین دانه تحت‌تأثیر اثرات اصلی و برهمکنش رژیم‌های آبیاری و اوره و آنزیم کاتالاز در کلیه اثرات اصلی و برهمکنش‌های دو و سه‌گانه در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۲). نسبت کاهش پروتئین دانه در تیمار عدم کاربرد کود اوره در شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۵/۴۷ و ۸۴/۴۶٪ است، درحالی‌که نسبت افزایش پروتئین دانه تحت تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در شرایط آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۸/۶۲، ۱۰/۲۰ و ۲۱/۳۴٪ است (جدول ۵). ازنظر کود سولوپتاس، بیشترین پروتئین دانه در ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۷/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین پروتئین دانه در شاهد (۷/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) وجود داشت که ۸/۷۱٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). در کلیه سطوح رژیم‌های مختلف آبیاری و کود اوره، کم‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز، مربوط به تیمار شاهد و بیشترین مقادیر آن مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس بود (جدول ۴). نسبت کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولوپتاس در شرایط آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید نسبت به شاهد به‌ترتیب ۸۰/۷۲، ۵۴/۹۱ و ۴۲/۰۴٪ است (جدول ۴). محققان دریافتند که افزایش پروتئین و فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه در مواجه با شرایط تنش‌زا، به شرایط رطوبتی خاک، فراهمی نیتروژن و پتاسیم در گیاه وابسته است (Ghobadi et al., 2015). دراین‌بین، تحقیقات پژوهشگران نشان داد که فراهمی نیتروژن گیاه، میزان پروتئین و فعالیت آنزیم کاتالاز را تحت-تأثیر قرار داده و با افزایش جذب آب از طریق خلل و فرج کوچک‌تر و غشای آلی ذرات خاک، تناسب مطلوبی را برای فراهمی نیتروژن و رطوبت خاک برقرار نموده است (Yu-Kui et al., 2009). از سوی دیگر، کود پتاس از طریق افزایش جذب عناصر پتاسیم و روی، افزایش محتوای پروتئین استرس اسمزی ناشی از تنش خشکی را کاهش داده و با افزایش مقاومت ذرت به تنش خشکی (Valadabadi and Aliabadi Farahani, 2008) در رشد و توسعه گیاه برای افزایش جذب آب در شرایط تنش مؤثر است. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی دارای سیستم دفاعی با کارایی بالا هستند که از آن جمله می‌توان به واکنش‌های آنزیمی شامل کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز و واکنش‌های غیر آنزیمی شامل آلفا توکوفرول و کاروتنوئیدها اشاره کرد (Blokhina et al., 2003). علاوه بر این مواد، افزایش غلظت پروتئین‌های محلول، پرولین و ... نیز وجود دارد (Li et al., 2006). نیازمندی بالای گیاهان به پتاسیم تحت تنش‌های غیرزنده مختلف می‌تواند به نقش بازدارندگی پتاسیم در مقابل تولید فرم‌های اکسیژن فعال طی فتوسنتز و اکسید شدن NADPH وابسته باشد (Cakmak, 2005).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج توصیه می‌گردد که استفاده ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب کود اوره و پتاس با توجه به توانایی این کودها در تعدیل و تقلیل اثرات تنش خشکی، موجب بهبود عملکرد، اجزای عملکرد، فتوسنتز و فعالیت آنزیم کاتالاز در ذرت فوق شیرین شده و در افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش مؤثر است.

منابع

Amany, A., Bahr, M.S., Zeidan M.S., Hozayn, M., 2006. Yield and quality of maize (*Zea mays* L.) as affected by slow- release nitrogen in newly reclaimed sandy soil. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 1, 239-242.

Bahrani, A., 2014. Effect of irrigation methods and potassium fertilizer on grain yield and water use efficiency on Corn. Modern Science of Sustainable Agriculture. 10, 15-25. [In Persian with English summary].

Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R., Jiang, D., Dai, T., 2016. Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought tolerant and -sensitive wheat cultivars. Plant Physiol. Biochem. 106, 218-227.

Al-Kaisi, M.M., Yin, X., 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. Agronomy Journal. 95, 1475-1482.

Bakht, J., Ahmad, S., Tariq, M., Akber, H., Shafi, M. 2006. Response of maize to planting methods and fertilizer N. Journal of Agricultural and Biological Science. 1, 8-14.

Bassi, D., Menossi, M., Mattiello, L., 2018. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. Scientific Reports. 8, 2327.

Blaise, D., Bonde, A.N., Chaudhary, R.S., 2005. Nutrient uptake and balance of cotton plus pigeonpea strip intercropping on rainfed vertisols of central India. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 73, 135-145.

Blokhina, O., Virolainen, E., Fagestedt, K.V., 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: A review. Annual Botany. 91, 179-194.

Bradford, M., 1976. A rapid sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annual Review Biochemestry. 72, 248-254.

Cakmak, I., 2005. K alleviates detrimental effects of abiotic stresses in Plants. Journal of Plant Nutrition. 68, 521-530.

Cakmak, I., Horst, W., 1991. Effect of aluminium on lipid preoxidation superoxide dismutase, catalase and preoxidas activities in root tip of soybean (*Glysin max* L.). Plant Physiology. 83, 463-468.

Campelol, D.H., Teixeira1, A.S., Moreira, L.C.J., Lacerda, C.F., 2019. Growth, production and water and nitrogen use efficiency of maize under water depths and nitrogen fertilization. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 23, 747-753.

Dastbandan Nejad, S., Saki, T., Lack, S., 2010. Study effect drought stress and different levels potassium fertilizer on K+ accumulation in corn. Nature and Science. 8, 23-27.

Earl, H.J., Davis, R.F., 2003. Effect of drought stress on leaf and canopy whole radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal. 95, 688-696.

El-Bassiony A.M. 2006. Effect of potassium fertilization on growth, yield and quality of onion plants. Journal of Applied Sciences Research. 2, 780-785.

FAO STAT. 2017. FAO statistical database (available at www.fao.org).

Fereidouni, M.J., Faraji, H., Sedghi-asl, M., 2016. Evaluation of yield and morphological characteristics of sweet corn using different irrigation levels and cultivation methods. Journal of Crop Production. 9, 127-150. [In Persian with English summary].

Ghețe, A.B., Duda, M.M., Vârban, D.I., Vârban, R., Moldovan, C., Muntean, S., 2018. Maize (*Zea mays*), a prospective medicinal plant in Romania. Hop and Medicinal Plants. 26, 44-51.

Ghobadi, R., Shirkhani, A., Jalilian, A., 2015. Effects of Water stress and nitrogen fertilizer on yield, its components, water and nitrogen use efficiency of corn (*Zea mays* L.) cv. SC. 704. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi). 104, 79-87. [In Persian with English Summary].

Haji Hasani Asl, N., Moradi Aghdam, A., Shirani Rad, A.H., Hosseini, N., Rassaei Far, M., 2010. Effect of drought stress on forage yield and agronomical characters of millet, sorghum and corn in delay cropping. Journal of Crop Production Research. 2, 63-74.

Henteh, Z., Aminian, R., 2017. Response of Late Maturing Hybrids Seed Corn to the Application of Potassium Sulfate under Deficit Irrigation. Journal of Crop Ecophysiology. 11, 283-302. [In Persian with English Summary].

Jalilian, A., Ghobadi, R., Shirkhani, A., Farnia, A., 2014. Effects of Nitrogen and Drought Stress on Yield Components, Yield and Seed Quality of Corn (S.C. 704). Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi). 102, 151-160. [In Persian with English Summary].

Khalily, M., Naghavi, M., Pour-Aboughadareh, A., Naseri rad, H., 2013. Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L). International Journal of Agronomy and Plant Production. 4, 809-812.

Lack, Sh., Naderi, A., Siadat, S.A., Aieneband, A., Noormohamadi, G., 2006. Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield and its components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) cv. SC. 704 under different moisture conditions in Khuzestan. Journal of Agricultural Sciences of Iran, 8, 153-170. [In Persian with English Summary].

Li, H., Li, D., Yang, S., Xie, J., Zhao, J., 2006. The state transition mechanism simply depending on light on and off in spirulina

platensis. Biochimica et Biophysica Acta. 1757, 1515-1519.

Li, Y., Tao, H., Zhang, B., Huang, S., Wang, P., 2018. Timing of water deficit limits maize kernel setting in association with changes in the source-flow-sink relationship. Frontiers in Plant Science. 9, 1326.

Megyes, A., Nagy, J., Rátonyi, T., Huzsvai, L., 2005. Irrigation of maize (*Zea mays* L.) in relation to fertilization in a long-term field experiment. Acta Agronomica Hungarica. 35, 41-46.

Megyes, A., Ratonyi, T., Huzsvai, L., 2004. The effect of fertilization and irrigation on maize (*Zea mays* L.) production, www.date.hu/acta-agraria. 21-Montgomery, E.C. (1911) Corelation studies in corn. In: Annual report No. 24. Nebrasks agricultural research station. Lincoln, NE, (108-159).

Ministry of Agriculture. 2018. Programs and Achievements. Achievements of the agricultural sector in the twelfth government. (Available at http://www.pr.maj.ir/portal/Home/). [In Persian].

Miri, H.R., Shokati, M.M., Armin, M., 2016. Corn yield and yield components response to partial root zone drying and potassium application. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi). 110, 46-53.

Mokhtassi-Bidgoli, A., Aghaalikhani, M., Nasiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujar, J.L., Azari, A., 2013. Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of Descurainia Sophia in response to different nitrogen rates and water timees. Industrial Crops and Products. 44, 583-592.

Muthukumar, V.B., Velayudham, K., Thavaprakaash, N., 2005. Growth and yield of baby corn (*Zea mays* L.) as influenced by plant growth regulators and different time of nitrogen application. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 1, 303-307.

Noori, M., Dashti, F., Bayat, F., 2014. Changes in vegetative growth indices and yield of garlic (Alium sativum L.) at different sources and levels of nitrogen fertilizer. Journal of Vegetative Sciences. 1, 21-32. [In Persian with English Summary].

Pandey, R.K., Maranville, J.W., Admou, A. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment: I. Grain yield and yield components. Agriculture Water Management. 46, 1-13.

Sah, R.P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V.K., Chakravarty, M.K., Narayan, S.C., Rana, M., Moharana, D., 2020. Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. Scientific Reports. 10, 2944.

SAS. 2012. SAS Version 9.2. SAS Institute Inc, Cary, NC.

Serraj, R., Sinclair, T.R., 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? Plant cell Environmental. 25, 333-341.

Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D., Havlin, J.L., 2003. Soil Fertility and Fertilizers. 5th Ed., Prentice-Hall of India, New Delhi, India.

Ur-Rahman, M.S., Gu, L., Ahmad, I., 2004. Effects of water stress on growth and photosynthetic pigments of corn (*Zea mays* L.) cultivars. International Journal of Agriculture and Biology. 6, 652-655.

Valadabadi, S.A., Aliabadi Farahani, H., 2008. Effect of potassium application on quantitative characteristics and root penetration of corn, sorghum and millet under drought stress. Agronomy and Plant Breeding Journal. 4, 37-49.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., Guo, S., 2013. The critical role of potassium in plant stress response. International journal of molecular sciences. 14, 7370-7390.

Yordanov, I., Velikova, V., Tsonev, T., 2003. Plant Responeses to drought and stress tolerance. Acad. M. PoPv Institute of Plant physiology, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. J. 187-206.

Yu-kui, R., Yun-feng, P., Zheng-rui, W., Jian-bo. S., 2009. Stem perimeter, height and biomass of maize (*Zea mays* L.) grown under different N fertilization times in Beijing, China. International Journal of Plant Production. 3, 85- 90.

Zeidan, M.S., Amany, A., El-Kramany, M.F., 2006. Effect of N-fertilizer and plant density on yield and quality of maize in sandy soil. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 2, 156-161.