تأثیر تنش خشکی و شوری بر عملکرد، ویژگی‌های بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سورگوم علوفه‌ای

علیرضا عمادی، امید علیزاده، بهرام امیری[1]، هادی پیراسته انوشه و مهدی زارع

دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران.

aremadi@miau.ac.ir

دانشیار دانشکده کشاورزی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

alizadehomid51@yahoo.com

استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران.

bchamiri@gmail.com

استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

h.pirasteh.a@gmail.com

دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران .

mahdi.zare2009@gmail.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۱ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

در مطالعه حاضر، تأثیر سطوح مختلف تنش‌های خشکی و شوری بر تولید ماده خشک، ویژگی‌های بیوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی سورگوم [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] رقم علوفه‌ای پگاه در دو منطقه مرودشت و ارسنجان در سال ۱۳۹۶ بررسی شد. تیمارها شامل چهار سطح تنش خشکی ۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۰٪ و ۵۵ ٪ ظرفیت مزرعه در کرت‌های اصلی و چهار سطح شوری آب آبیاری ۱/۵، ۴/۵، ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر در کرت‌های فرعی بود که در یک آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که تنش‌های خشکی و شوری در هر دو منطقه با کاهش تولید ماده خشک و غلظت کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئیدها همراه بود، ولی بسته به شدت تنش، غلظت پرولین آزاد و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد. فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز تنها تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت. بیش‌ترین ماده خشک تولیدی از تیمار آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر برابر با ۱/۲۹۲ و ۱/۱۹۸ کیلوگرم در مترمربع به‌ترتیب در مرودشت و ارسنجان به‌دست آمد. عدم تأثیر معنی‌دار رژیم آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه بر ماده خشک و ویژگی‌های بیوشیمیایی سورگوم نشان داد که تنها رژیم‌های آبیاری ۷۰٪ و ۵۵٪ ظرفیت مزرعه منجر به تنش آبی در سورگوم گردید. از دیگرسو، تفاوت معنی‌داری بین شرایط غیرشور و ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده نشد؛ که بیانگر تحمل به شوری سورگوم حداقل تا این سطح شوری است. نتایج این تحقیق نشان داد که به‌خاطر خاصیت هم‌افزایی، وجود هم‌زمان تنش‌های خشکی و شوری اثر سوء بیشتری بر کاهش عملکرد گیاه داشت. بنابراین، در شرایط استفاده از آب با شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر و بالاتر برای آبیاری سورگوم، استراتژی‌های کم آبیاری توصیه نمی‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کاروتنوئید، کلروفیل، رژیم‌های آبیاری

[1] – آدرس نویسنده مسئول: دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی.

مقدمه

امروزه به‌دلیل استفاده زیاد، حجم قابل‌دسترس منابع آبی علاوه بر این‌که به‌شدت در حال کاهش هستند، ازنظر کیفیت نیز به‌طور روزافزونی در حال شور شدن هستند؛ بنابراین، تولید گیاهان زراعی با مشکل تنش‌های خشکی و شوری مواجه شده‌اند (رنجبر و پیراسته انوشه، ۱۳۹۴). با نظر به تحقیقات انجام‌شده توسط محققین چنین به‌نظر می‌رسد که کاشت سورگوم در مقایسه با بسیاری از گیاهان علوفه‌ای دیگر، می‌تواند باعث کاهش میزان مصرف آب گردد (آویلا و همکاران، ۲۰۲۱) و تلاش بر این است که ضمن افزایش یا ثابت نگه‌داشتن عملکرد، بتوان حتی-الامکان از آب‌های با میزان شوری نسبی نیز استفاده نمود (سونی و همکاران، ۲۰۲۱).

سورگوم (*Sorghum bicolor*) می‌تواند با ۲۵۰ میلی‌متر رطوبت چرخه‌ی زندگی خود را کامل کند و به شتر گیاهان زراعی معروف است (امام،۱۳۹۰) و تحت شرایط خشکی شدید یا گرمای شدید به‌خوبی محصول تولید می‌کند (پیراسته انوشه و همکاران، ۱۳۹۹). تعداد تارهای کشنده در هر سانتیمتر ریشه‌ی سورگوم نسبت به ذرت دو برابر است و اندازه‌ی سیستم ریشه‌ای تاجی آن نیز در هر مرحله از رشد نزدیک به دو برابر اندازه‌ی سیستم ریشه‌ای ذرت است و این ویژگی با تحمل بیشتر سورگوم به خشکی در ارتباط است (امام،۱۳۹۰).

سورگوم گیاهی سازگار به اقلیم‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری است و به‌دلیل داشتن ویژگی‌های ویژه مورفولوژیک و فیزیولوژیک ازجمله رشد ابتدایی آهسته تا زمان گسترش سیستم ریشه‌ای، نسبت بالای ریشه به ساقه، توانایی در کاهش پتانسیل اسمزی برگ، تنظیم فشار اسمزی برگ طی دوره تنش، توانایی حفظ میزان نسبی آب برگ تحت شرایط تنش رطوبتی، تولید محور بالای لپه (اپیکوتیل) ضخیم و مومی و درنهایت پیچش برگ‌ها طی دوره رشد، گیاهی متحمل به خشکی است. (هدایتی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۶). تحمل به شوری در این گیاه، در حد متوسط است و وجود مقادیر کمی از مواد قلیایی در خاک به‌طرز قابل‌ملاحظه‌ای عملکرد را کاهش می‌دهد. (پیراسته انوشه و همکاران، ۱۳۹۹). حد آستانه تحمل به شوری سورگوم ۶/۸ دسی‌زیمنس در متر و شیب کاهش عملکرد آن ۱۶ درصد گزارش‌شده است (پیراسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۶). به‌نظر می‌رسد عدم توانایی اندام‌های هوایی سورگوم در تنظیم غلظت یون‌هایی مانند سدیم می‌تواند منجر به ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نامطلوبی در آن گردد. ریشه‌ها ظرفیت مناسبی برای ذخیره سدیم و دیگر یون‌ها در سطوح بالایی دارند و با اشباع این ظرفیت، آزادسازی سدیم به شاخساره آغاز می‌گردد و بعدازآن توان تنظیم‌کنندگی رشد به‌شدت کاهش می‌یابد (بورسیر و لاچلی، ۲۰۰۸).

در یک دوره‌ی خشکی طولانی در سورگوم، حتی اگر مقدار زیادی از برگ‌ها نابود شوند گیاه قادر به زنده نگه‌داشتن مریستم خود است. اگر گیاه در خشکی شدید باقی بماند، بازده فتوسنتزی و سرعت گسترش سایه‌انداز گیاهی چند روز پس از آبیاری با گیاهان شاهد تنها تفاوت اندکی دارد (هدایتی فیروزآبادی و همکاران، ۲۰۲۰). با این‌حال سیناکی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند تنش آبی باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول جوانه و وزن خشک سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای می‌گردد. افشون و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که بیش‌ترین ماده خشک تولیدی و بهترین کیفیت علوفه به تیمار بدون تنش آب تعلق داشت. بیش‌ترین درصد پروتئین خام و کمترین درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد. نجفی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای گزارش دادند که سورگوم در کلیه سطوح خشکی بیش‌ترین عملکرد (۱۰۱ تن علوفه‌تر و ۳۰ تن کیلوگرم علوفه خشک در هکتار) را در مقایسه با کوشیا، ارزن و ذرت تولید نمود. بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای آبیاری بهینه، تنش ملایم و تنش شدید به‌ترتیب با مقادیر۳/۱۷، ۲/۹۷ و ۲/۸ کیلوگرم علوفه خشک بر مترمکعب آب به سورگوم تعلق داشت.

مطالعات نشان‌داده است که آب شور درحد متعادل به‌طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند برای رشد گیاهان متحمل به شوری مورداستفاده قرار بگیرد، بدون اینکه این آب تأثیر طولانی‌مدت روی خاک داشته باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین استفاده از آب شور با انجام عملیات صحیح مدیریتی، بدون اینکه باعث کاهش عملکرد گیاهان شود امکان‌پذیر است (سونی و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهشی مشخص شد که تحت تأثیر افزایش شوری خاک، مقدار کلسیم موجود در بافت‌های گیاه سورگوم کاهش یافت؛ ولی کلر در پهنک برگ و در سلول‌های میان-برگ و غلاف آوندی افزایش یافت (بورسیر و لاچلی، ۲۰۰۸). راوسون و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند با افزایش شوری، وزن خشک شاخساره و ریشه بوته‌های سورگوم کم شد. آن‌ها سطح برگ زیاد را صفتی مناسب در تحمل به شوری برای اهداف گزینشی اعلام نمودند. در پژوهشی دیگر مشخص شد که عملکرد ماده خشک سورگوم تحت تأثیر تنش شوری تا سطح ۱۴ دسی‌زیمنس در متر کاهش یافت، ولی عملکرد دانه تنها تا شوری شش دسی‌زیمنس در متر مشاهده گردید و در سطوح بالاتر گیاه به مرحله زایشی نرفت (رنجبر و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج مطالعه پیراسته انوشه و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که تنش شوری بسته به شدت آن، موجب تغییرات معنی‌داری در رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک سورگوم شد؛ به‌طوری‌که شوری ۱۴ دسی-زیمنس در متر با کاهش وزن خشک و غلظت پتاسیم و افزایش غلظت سدیم و کلر و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربیک پراکسیداز گردید.

کاشت سورگوم علوفه‌ای به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای، به علت عملکرد علوفه بالا، نیاز آبی پایین و تحمل بالای آن به شوری، مورد استقبال کشاورزان قرار گرفته است. با توجه به محدودیت زمین که منجر به افزایش هزینه‌ی تولید محصول می‌شود، عملکرد مناسب علوفه‌ی سورگوم علوفه‌ای، در کشت دوم، بعد از گندم یا جو در استان فارس، در توسعه‌ی کشت آن مؤثر است. با توجه به مشکل خشک‌سالی در سال‌های اخیر و لزوم اتخاذ تدابیری در جهت تأمین علوفه با مصرف آب کمتر و همچنین اهمیت بررسی واکنش سورگوم به کاربرد آب با سطوح شوری مختلف، انجام آزمایش‌هایی در این زمینه، ضروری به‌نظر می‌رسد. مطالعات خوبی در مورد بررسی تأثیر تنش-های خشکی و شوری بر رشد، عملکرد و فیزیولوژی سورگوم انجام شده است، اما در مورد تأثیر هم‌زمان این دو تنش بر سورگوم اطلاعات اندکی وجود دارد. از دیگر سو، با توجه به محدودیت شدید منابع آب شیرین و افزایش تمایل به استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی، به‌خوبی مشخص نیست که آیا کاربرد استراتژی‌های کم آبیاری در شرایط استفاده از آب‌های شور امکان‌پذیر هست یا خیر؛ بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی هم‌زمان اثرات سطوح مختلف تنش خشکی و شوری بر ماده خشک و ویژگی‌های بیوشیمیایی سورگوم علوفه‌ای در دو مکان مرودشت و ارسنجان، در استان فارس بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح متفاوت تنش خشکی و سطوح مختلف شوری بر رشد و عملکرد علوفه رقم پگاه سورگوم علوفه‌ای، آزمایش مزرعه‌ای در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶، در دو منطقه مرودشت و ارسنجان که از مهم‌ترین مناطق زراعت سورگوم در استان فارس می‌باشند، انجام شد. نتایج آزمون خاک این دو منطقه در جدول ۱ آمده است. همچنین، اطلاعات هواشناسی ماهیانه برای دو منطقه در جدول ۲ ارائه‌شده است.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک دو مزرعه آزمایشی در مرودشت و ارسنجان در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری پیش از شروع آزمایش در سال ۱۳۹۶

منطقه	شوری ($dS\ m^{-1}$)	pH	بافت	نیتروژن (٪)	فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	ماده آلی (٪)	ظرفیت مزرعه (٪)
مرودشت	۲/۱۲	۷/۲۵	لومی شنی	۰/۷۶	۱۱/۷	۳۱۵/۶	۱/۰۲	۲۳/۵
ارسنجان	۳/۷۶	۷/۷۴	لومی شنی	۰/۵۵	۱۰/۲	۲۶۷/۶	۰/۸۴	۲۱/۷

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی ماهیانه مرودشت در طول آزمایش در سال ۱۳۹۶

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع/میانگین*
مرودشت							
مجموع بارندگی	۶۱/۷	۲۸/۲	۰	۰	۰/۶	۰	۹۰/۵
متوسط دمای هوا	۱۶	۲۱/۱	۲۶/۷	۲۹/۷	۲۹/۶	۲۵/۶	۲۴/۲
متوسط رطوبت نسبی هوا	۵۶/۵	۴۷/۵	۲۸/۵	۳۷/۲	۲۵	۲۶/۵	۳۴/۷
مجموع تبخیر	۱۴۸/۱	۲۲۲/۸	۳۴۵/۲	۴۱۹/۶	۳۷۵/۶	۳۵۰/۰	۱۸۶۱/۸
ارسنجان							
مجموع بارندگی	۴۰/۳	۸/۴	۰	۰	۰/۵	۰	۴۹/۲
متوسط دمای هوا	۱۶/۳	۲۱/۹	۲۸	۲۹/۸	۲۸/۹	۲۵/۹	۲۴/۳
متوسط رطوبت نسبی هوا	۴۲	۳۱	۱۴	۱۴	۱۶	۱۳	۲۱/۸
مجموع تبخیر	۱۹۹/۳	۲۴۸/۷	۴۲۷/۵	۴۳۳/۳	۴۳۷	۳۹۴/۳	۲۱۴۰/۱

*ستون آخر برای بارندگی و تبخیر مجموع و برای دما و رطوبت نسبی هوا میانگین محاسبه‌شده است

کاشت توسط دستگاه بذرکار ذرت با تغییر صفحه بذر انداز آن، در سوم تیر به‌صورت ردیفی و با فواصل بین ردیف و روی ردیف به‌ترتیب حدود ۶۰ و ۱۰ سانتیمتر و عمق کاشت دو تا چهار سانتی‌متر، انجام گردید (مبصر، ۱۳۹۰؛ ترابی، ۱۳۹۴). هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به‌طول سه متر و فاصله بین هر دو کرت فرعی یک متر بود (مبصر، ۱۳۹۰؛ ترابی، ۱۳۹۴). کودهی شامل ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در سه زمان کاشت، ۳۰ روز و ۶۰ روز پس از کاشت و ۱۲۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به‌صورت قبل از کاشت و همراه با شخم به مزرعه اضافه شد (خاکسار و فومن، ۱۳۹۰؛ ترابی، ۱۳۹۴).

تیمارها در یک آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی گردید. تیمارها شامل تنش خشکی به‌عنوان فاکتور اصلی به‌صورت رژیم‌های آبیاری در چهار سطح ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و تنش شوری به‌عنوان فاکتور فرعی به‌صورت شوری آب آبیاری در چهار سطح ۱/۵، ۴/۵، ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر بودند. تیمارهای شوری با استفاده از ترکیب آب زهکش در منطقه با آب چاه غیرشوری که در هر مزرعه وجود داشت (جدول ۳)، به‌دست آمد. از ترکیب آب‌های مذکور در استخر تیمارهای شوری لازم تهیه و سپس به کرت‌های موردنظر فرستاده شد. در محل ورودی کرت، هدایت الکتریکی آب با EC-meter پرتابل اندازه‌گیری و کنترل شد. آبیاری از زمان کاشت (۳ تیر) تا استقرار کامل گیاه (۱۲ تیر)، با آب غیرشور در حد ظرفیت مزرعه انجام شد و پس‌ازاین مرحله، تیمارهای آزمایشی اعمال گردید.

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی تیمارهای مختلف شوری آب آبیاری در دو مزرعه آزمایشی مرودشت و ارسنجان

	شوری ($dS\ m^{-1}$)	pH	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
			میلی اکی‌والان در لیتر					
مرودشت	۱/۵	۷/۱۵	۱/۱۱	۱۲/۵	۲/۵۸	۶/۸۷	۹/۸۷	۰/۲۲
	۴/۵	۷/۷۶	۱/۳۱	۲۰/۶	۲/۶	۷/۰۸	۱۹/۷	۰/۱۹
	۷/۵	۷/۷۰	۱/۶۰	۳۴/۷	۳/۶۶	۱۰/۱۳	۲۷/۶	۰/۲۸
	۱۰/۵	۷/۸۰	۲/۰۲	۳۷/۱	۳/۶۷	۱۲/۲۴	۴۰/۲	۰/۳۵
ارسنجان	۱/۵	۷/۲۲	۱/۱۴	۱۳/۳	۲/۶۶	۷/۰۱	۹/۹۲	۰/۳۱
	۴/۵	۷/۶۷	۲/۱۴	۲۶/۴	۳/۰۵	۱۰/۲۲	۲۲/۲۶	۰/۳۳
	۷/۵	۷/۵۴	۲/۳۵	۲۶/۱	۴/۰۴	۱۵/۴۳	۳۰/۹۱	۰/۴۰
	۱۰/۵	۷/۴۹	۲/۷۱	۴۰/۶	۴/۵۵	۱۸/۵۴	۴۱/۷۵	۰/۴۴

دور آبیاری بسته به مرحله رشدی و شرایط آب و هوایی بین ۵ تا ۱۰ روز متغیر بود. برای اعمال تیمارهای تنش خشکی، یک روز قبل از زمان آبیاری، رطوبت خاک هر کرت آزمایشی، به روش وزنی، تعیین گردید و براساس معادله ۱، عمق خالص آب موردنیاز بر اساس رژیم‌های آبیاری محاسبه گردید.

$$d_n = \frac{(\theta_{FC} - (\theta_m \times \rho_b)) \times R_d}{100} \qquad (۱)$$

در این معادله، d_n عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، θ_{FC} محتوای حجمی آب خاک (درصد)، θ_m محتوای وزنی آب خاک (درصد)، ρ_b میانگین چگالی ظاهری خاک و R_d عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد است. رطوبت ظرفیت مزرعه خاک در مرودشت و ارسنجان به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۲۱/۷ درصد و چگالی ظاهری به‌ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۵۲ گرم در سانتی‌متر مکعب بود. رطوبت ظرفیت مزرعه خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و چگالی ظاهری با نمونه‌برداری دست‌نخورده با استفاده از سیلندر تعیین شدند. عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد بر اساس معادله ۲ به‌دست آمد:

$$R_d = P_d + R_{d\max}[0.5 + 0.5\sin(3.03\frac{D_{ag}}{D_{tm}} - 1.47)] \qquad (۲)$$

در این معادله، P_d عمق کاشت، R_{dmax} حداکثر عمق توسعه ریشه، D_{ag} روز پس از جوانه‌زنی و D_{tm} روز از جوانه‌زنی تا حداکثر عمق مؤثر ریشه است (بورگ و گریمز، ۱۹۸۶). با حاصل‌ضرب مساحت هر کرت در ارتفاع آب آبیاری و با اعمال راندمان کاربرد آب ۷۵ درصد، حجم آبیاری برای هر تیمار تنش خشکی به‌دست آمد. حجم آب آبیاری با استفاده از دبی ورودی و زمان لازم برای آبیاری هر کرت، محاسبه گردید. حجم کل آب استفاده‌شده برای هر تیمار در دو منطقه مرودشت و ارسنجان در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴-کل حجم آب استفاده‌شده (مترمکعب در هکتار) در طول آزمایش در دو منطقه مورد مطالعه

منطقه	رژیم آبیاری (درصد ظرفیت مزرعه)			
	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۵
مرودشت	۷۰۵۰	۶۱۵۰	۵۲۳۰	۴۰۱۰
ارسنجان	۶۷۶۰	۵۸۵۰	۴۸۳۰	۳۹۶۰

برای محاسبه ماده خشک، در شروع مرحله گل‌دهی یک مترمربع از دو خط وسط هر کرت (با ملاحظه اثر حاشیه‌ای) برداشت شد و پس از نگهداری در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت وزن آن‌ها به‌عنوان وزن خشک هر نمونه درنظر گرفته شد. با توجه به ویژگی‌های رقم و شرایط اقلیمی منطقه یک چین انجام گردید (فومن و همکاران، ۱۳۸۷). طول دوره آزمایش از زمان کاشت تا زمان برداشت (اوایل گل‌دهی) در مرودشت و ارسنجان به‌ترتیب ۹۳ و ۹۱ روز بود.

صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده شامل پرولین آزاد، پروتئین، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز بود. غلظت پرولین آزاد با استفاده از روش ترول (۱۹۹۵) و غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها بر اساس روش کلوپک (۲۰۰۳) اندازه‌گیری گردید. برای تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز (Catalase, CAT) از روش تغییریافته چانس و ماهلی (۱۹۵۵)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (Peroxidase (POD) از روش چانس و ماهلی (۱۹۹۵) و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide dismutase (SOD) از روش ناکانو و آسادا (۱۹۸۱) استفاده شد.

پس از آزمون یکنواختی، داده‌ها به‌صورت مرکب (در مکان) تجزیه واریانس شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد مقایسه شدند. با توجه به معنی‌دار شدن مکان و یا مکان در تیمارها، مقایسه میانگین به‌صورت جداگانه برای دو منطقه انجام گرفت. آزمون یکنواختی، تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد.

نتایج و بحث

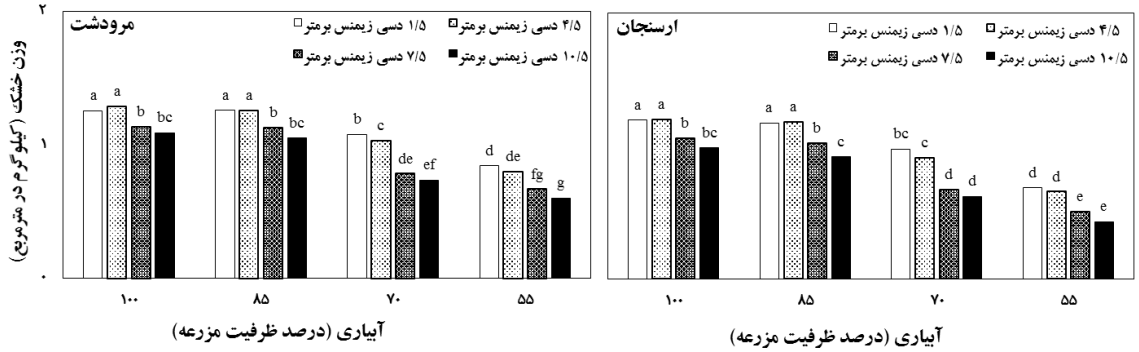
ماده خشک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، وزن ماده خشک تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی مکان (منطقه)، تنش شوری و تنش خشکی و همچنین اثرات برهمکنش‌های دوگانه مکان در خشکی، مکان در شوری، خشکی در شوری و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری قرار گرفت. در همه رژیم‌های آبیاری در هر دو منطقه، سطوح بالای شوری وزن خشک را کاهش دادند که این تأثیر منفی در شرایط تنش خشکی بیشتر بود (شکل ۱). در هر دو منطقه موردبررسی، رژیم آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه کاهش وزن خشک را به دنبال داشت. میانگین وزن خشک بوته در رژیم‌های آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه نسبت به ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه به میزان ۲۳/۹ و ۳۸/۹ درصد در مرودشت و ۲۸/۴ و ۴۸/۷ درصد در ارسنجان کمتر بود (شکل ۱). در مورد شوری نیز، سطوح ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر میانگین وزن خشک را کاهش دادند که این کاهش در مرودشت به‌ترتیب ۱۶/۳ و ۲۱/۵ درصد و در ارسنجان به‌ترتیب ۱۹/۱ و ۲۶/۶ درصد بود. در مرودشت کاهش وزن خشک در اثر تنش شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر در شرایط آبیاری مطلوب ۱۳/۱ درصد و در شرایط خشکی شدید (۵۵٪ ظرفیت مزرعه) ۲۸/۶ درصد بود. این مقادیر در ارسنجان نیز به‌ترتیب ۱۷/۴ و ۳۷/۲ درصد بود. در همه سطوح شوری، خشکی وزن خشک را در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان کاهش داد که این کاهش با شدت تنش همراه بود؛ به‌طوری‌که کمترین وزن خشک در رژیم آبیاری ۵۵ درصد به‌دست آمد. رژیم‌های آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد با کاهش وزن خشک سورگوم همراه بودند، بنابراین می‌توان این دو رژیم را به‌عنوان تنش خشکی در هر دو شرایط شور و غیرشور درنظر گرفت. با توجه به اینکه رژیم آبیاری ۸۵ درصد در همه سطوح شوری تفاوت معنی‌داری با آبیاری مطلوب نداشت، می‌توان گفت که در این رژیم آبیاری سورگوم تحت تنش خشکی قرار نگرفت.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و شوری و برهمکنش آن‌ها بر صفات رشدی سورگوم در دو منطقه موردمطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک	پرولین آزاد	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئیدها	کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربیک پراکسیداز
مکان	۱	۲۳۳/۱۱*	۴۱۴/۲۵*	۲۶۵/۲۱*	۲۳/۴۷*	۱/۲۴ns	۳۵۷/۵۲*	۴/۲۵ns	۰/۰۰۲ns	۱۲۸۲۰/۷*
بلوک (مکان)	۴	۲۱/۴۴	۵۰/۱۴	۳۳/۵۴	۳/۰۲	۱/۰۴	۵۶/۲۴	۵/۰۹	۰/۰۰۲	۱۸۵۴/۶۹
تنش خشکی	۳	۶۳/۶۷**	۲۸۷/۲۹**	۱۰۵/۲۱*	۲۸/۹۱**	۴/۷۸**	۲۹۱/۷۲*	۲۹/۸۸*	۰/۰۰۵**	۱۲۶۱۱/۲۴**
مکان × خشکی	۳	۶۵/۲۸**	۲۸/۲۱*	۲۱۴/۲۵*	۲/۱۴ns	۰/۸۹ns	۳۱۸/۲۵*	۴/۱۰ns	<۰/۰۰۱ns	۹۸۳۲/۲۱**
خطای کرت اصلی	۱۲	۸/۶۲	۲۵/۲۱	۲۱/۵۸	۲/۵۴	۰/۵۱	۴۲/۳۶	۳/۶۹	۰/۰۰۱	۱۵۴۲/۳
تنش شوری	۳	۴۰/۲۵**	۱۰۵/۶۲**	۷۸/۷۱**	۱۲/۱۶**	۲/۰۲**	۲۴۳/۷۵**	۲۴/۱۸*	<۰/۰۰۱ns	۹۰۷/۱۴ns
مکان × شوری	۳	۲۸/۲۲*	۷۴/۴۱*	۵۳/۶۷*	۱۱/۳۹**	۱/۹۵**	۲۱۳/۱۱*	۲/۰۲ns	<۰/۰۰۱ns	۱۱۱۲/۵۱ns
شوری× خشکی	۹	۳۶/۲۱**	۲۰۶/۱۸**	۷۹/۷۹**	۱۲/۳۸**	۲/۱۲**	۲۵۸/۲۵**	۲۵/۲۰*	<۰/۰۰۱ns	۹۲۵/۶۹ns
مکان × خشکی× شوری	۹	۲۵/۳۲*	۹۷/۷۶*	۶۳/۶۴*	۸/۲۲*	۱/۹۸**	۲۰۲/۵۵*	۲۱/۰۳*	۰/۰۰۴*	۵۹۹۷/۳۹*
خطا	۴۸	۳/۲۱	۱۵/۲۱	۱۰/۲۷	۱/۵۸	۰/۱۴	۲۲/۸۳	۲/۵۸	<۰/۰۰۱	۱۲۴۷/۲۳
ضریب تغییرات	(٪)	۱۴/۱۵	۱۷/۱۵	۱۵/۳۹	۱۴/۴۳	۱۱/۵۹	۷/۹۶	۹/۸۶	۱۵/۰۲	۸/۴۵

ns: غیر معنی‌دار؛ * و **: معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۱- تأثیر تنش خشکی و شوری بر وزن خشک سورگوم در دو منطقه موردبررسی. در هر نمودار ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

وزن خشک تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت؛ ولی در بیشتر موارد، سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر تأثیری بر وزن خشک بوته‌های سورگوم نداشت (شکل ۱). باتوجه حدآستانه تحمل به شوری سورگوم که ۶/۸ دسی-زیمنس در متر گزارش‌شده است (پیراسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۶)؛ این موضوع قابل‌درک است. با این وجود، تأثیر منفی شوری به‌طور قابل‌توجهی با شدت شوری همبسته بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کمترین وزن خشک به‌ترتیب در تیمارهای شوری ۱/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد. شوری نه‌تنها از طریق کاهش تعداد و سطح برگ سبب کاهش ظرفیت کل فتوسنتزی در گیاهان می‌گردد بلکه از طریق کاهش میزان کلروفیل در برگ‌ها سبب اختلال در سنتز مواد فتوسنتزی جهت رشد گیاه می‌شود. دلیل دیگر کاهش وزن می‌تواند ناشی از هزینه انرژی متابولیک مربوط به سازگاری در شرایط تنش، کاهش نرخ فتوسنتز در واحد سطح برگ، کاهش جذب کربن، صدمه به بافت‌ها و رسیدن به حداکثر غلظت نمکی باشد که گیاه آن را تحمل می‌کند (تایز و همکاران، ۲۰۱۵).

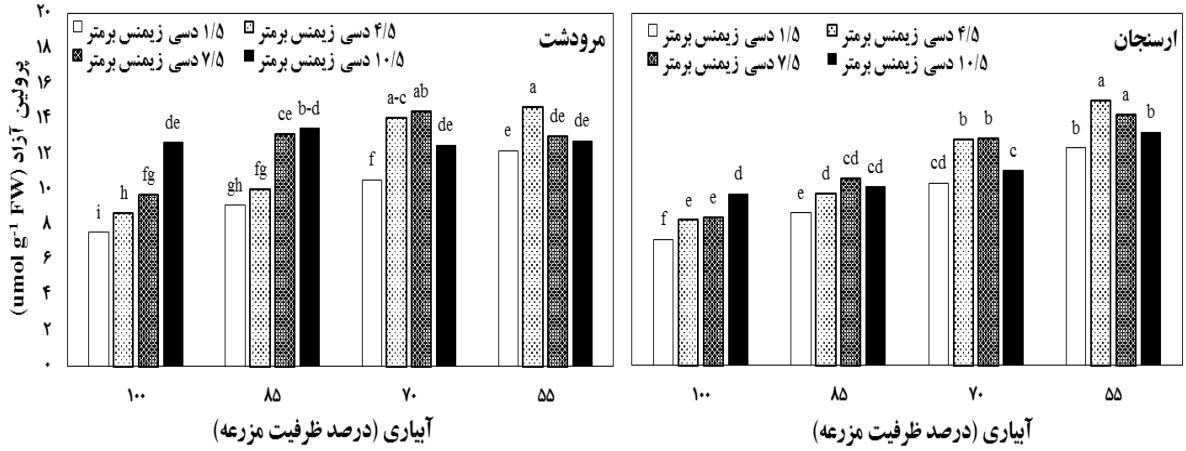
اگرچه تنش‌های خشکی و شوری به‌طور معنی-داری وزن خشک را کاهش دادند، ولی وقتی هم‌زمان اعمال شدند، اثر هم‌افزایی داشتند، به‌طوری‌که درصد کاهش وزن خشک در اثر تنش شوری در شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط آبیاری مطلوب بود. کاهش وزن خشک در اثر تنش خشکی با مشاهدات هاول و همکاران (۲۰۰۷) و خوزه و همکاران (۱۹۹۰) نیز مطابقت دارد؛ چنانچه آن‌ها بیان کرده بودند که سورگوم در شرایط کم آبی می‌تواند رطوبت بیشتری از خاک تخلیه کند. سومی (۱۹۸۹) نیز نشان داد که مقدار ماده‌ی خشک با افزایش مقدار آب قابل‌مصرف گیاه، افزایش می‌یابد. همچنین نتیجه‌ی این آزمایش با آنچه توسط کیخانی و همکاران (۱۳۸۹) و راهنما و همکاران (۱۳۸۷) گزارش گردیده مبنی بر اینکه در شرایط کمبود رطوبت خاک، تولید ماده خشک گیاه سورگوم، کاهش می‌یابد. مطابقت دارد.

ویژگی‌های بیوشیمیایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، پرولین آزاد و غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی مکان (منطقه)، تنش شوری و تنش خشکی و همچنین اثرات برهمکنش‌های دوگانه مکان در شوری، خشکی در شوری و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری قرار گرفت.

در شرایط بدون تنش خشکی، با افزایش شوری محتوای پرولین افزایش یافت و بیش‌ترین پرولین آزاد در تیمار شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد. درحالی‌که در شرایط آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه تیمارهای شوری ۱۰/۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر پرولین بیشتری داشتند. در تیمارهای ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر غلظت پرولین آزاد را کاهش داد. در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان محتوای پرولین آزاد تحت تأثیر تنش خشکی و شوری قرار گرفت (شکل ۲)؛ و

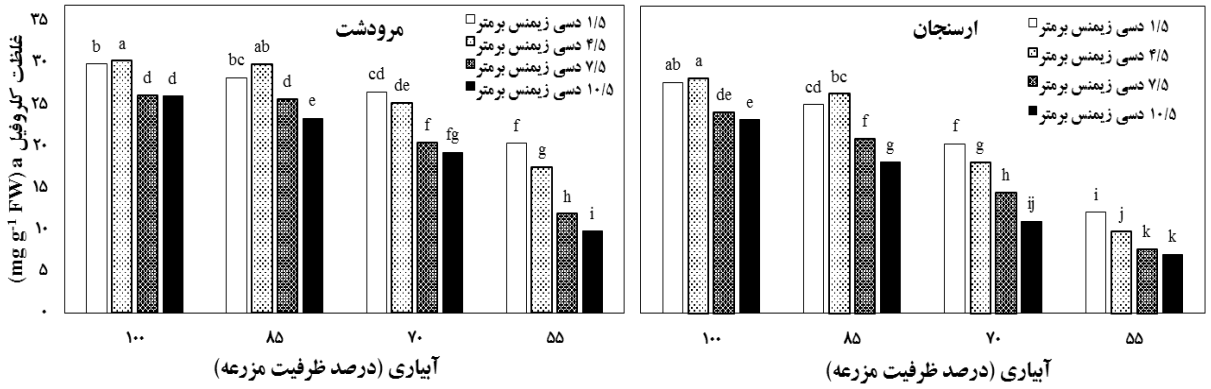
به‌طورکلی روند تغییرات در دو منطقه مشابه بود. به‌طور میانگین در مرودشت، تنش خشکی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه ۳۶/۴ درصد و تنش شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر ۳۰/۲ درصد غلظت پروتئین آزاد را نسبت به تیمار شاهد بدون تنش افزایش دادند. همچنین، در ارسنجان تنش خشکی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه با افزایش ۶۳/۶ درصدی و تنش شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر با افزایش ۱۹/۹ درصدی غلظت پروتئین آزاد همراه بودند. به‌طورکلی، بیش‌ترین غلظت پرولین آزاد از تیمار ۵۵ درصد آبیاری با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر در مرودشت و ارسنجان، به‌ترتیب برابر با ۱۴/۷۵ و ۱۵/۰۵ میکرومول در گرم وزن تر به‌دست آمد. کمترین غلظت پرولین آزاد نیز در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس در متر در مرودشت و ارسنجان، به‌ترتیب برابر با ۷/۶ و ۷/۱۵ میکرومول در گرم وزن تر مشاهده شد (شکل ۲).



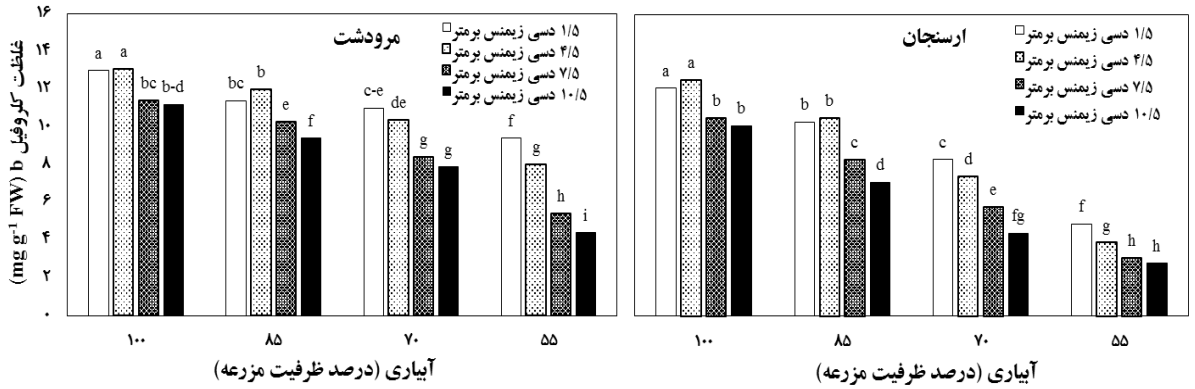
شکل ۲- تأثیر تنش خشکی و شوری بر محتوای پرولین آزاد سورگوم در دو منطقه موردبررسی. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

تیمارهای تنش خشکی و شوری بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی تأثیر معنی‌داری داشتند (شکل‌های ۳ تا ۵)؛ به‌طوری‌که غلظت کلروفیل a (شکل ۳)، کلروفیل b (شکل ۴) و کاروتنوئیدها (شکل ۵) تحت تأثیر هر دو تنش خشکی و شوری در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان کاهش یافتند. در شرایط آبیاری ۱۰۰ و ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه، تنش شوری تا ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل b نداشت. همچنین، در شرایط آبیاری ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه تنش شوری تا ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر به‌طور معنی‌داری غلظت کاروتنوئیدها را کاهش نداد. با افزایش شدت تنش خشکی، تأثیر منفی تنش شوری بیشتر شد و تفاوت بین سطوح مختلف شوری آب آبیاری نیز تشدید گردید. به‌طور میانگین، تنش خشکی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها را به‌ترتیب به میزان ۴۷/۰، ۴۴/۱ و ۴۲/۴ درصد در مرودشت و به میزان ۶۴/۴، ۶۷/۵ و ۵۵/۲ درصد در ارسنجان کاهش داد. همچنین، تنش شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر نسبت به شرایط غیرشور به‌ترتیب با کاهش ۲۵/۳، ۲۶/۶ و ۱۸/۲ درصدی در غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها در مرودشت همراه بود. این مقادیر برای ارسنجان به‌ترتیب ۳۰/۲، ۳۱/۵ و ۲۳/۳ درصد بود. به‌طورکلی، بیش‌ترین غلظت کلروفیل a (شکل ۳) و کلروفیل b (شکل ۴) در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان و کاروتنوئیدها در ارسنجان (شکل ۵) از تیمار ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس در متر به‌دست آمد، درحالی‌که در بیش‌ترین غلظت کاروتنوئیدها در مرودشت در تیمار ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد (شکل ۵). هنگامی که گیاه در شرایط تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری رشد می‌کند، فعالیت فتوسنتزی آن کاهش‌یافته و درنتیجه

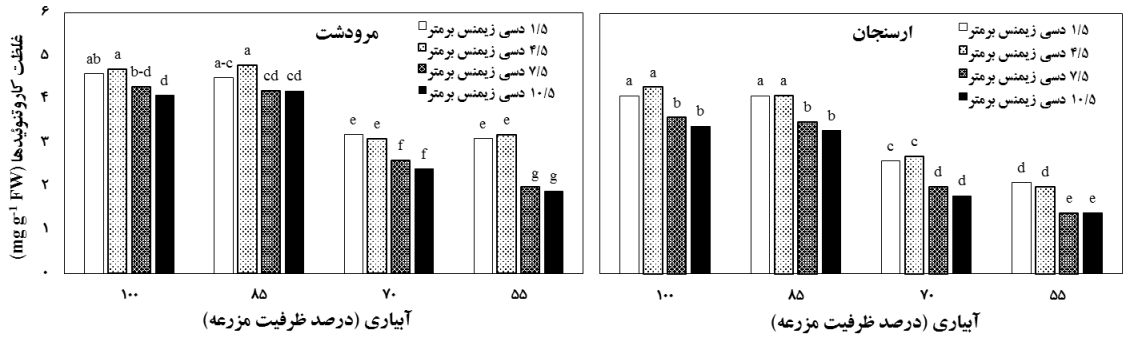
رشد، سطح برگ و محتوای کلروفیل کاهش و فلورسانس کلروفیل افزایش می‌یابد (علی و حسنین، ۲۰۱۴). وزن خشک گیاه تحت تأثیر شوری به موازات کاهش سطح برگ و میزان کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد شاخص ماده خشک، سطح برگ و غلظت کلروفیل در ارتباط با یکدیگر می‌باشند (هدایتی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۶). درواقع با کاهش سطح برگ و غلظت کلروفیل قدرت گیاه برای تولید ماده خشک و نهایتاً عملکرد دانه کاهش می‌یابد (پیراسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۳- تأثیر تنش خشکی و شوری بر غلظت کلروفیل a پروتئین خام سورگوم در مرودشت. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند



شکل ۴- تأثیر تنش خشکی و شوری بر غلظت کلروفیل b سورگوم در دو منطقه موردبررسی. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند



شکل ۵- تأثیر تنش خشکی و شوری بر غلظت کاروتنوئیدهای سورگوم در دو منطقه موردبررسی. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی مکان (منطقه)، تنش شوری و تنش خشکی و همچنین اثرات برهمکنش‌های دوگانه مکان در خشکی، مکان در شوری، خشکی در شوری و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان پراکسیداز تحت تأثیر معنی‌داری اثرات اصلی تنش شوری و تنش خشکی، اثر برهمکنش خشکی در شوری و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز تحت تأثیر تنش خشکی و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان آسکوربیک پراکسیداز تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی مکان (منطقه) و تنش خشکی، برهمکنش دوگانه مکان در خشکی و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری قرار گرفت.

در تمام سطوح شوری، کاهش حجم آبیاری به کمتر از ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه منجر به تنش خشکی شد و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز را در بوته‌های سورگوم در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان افزایش داد (جدول ۶). همچنین، در تمامی رژیم های آبیاری، افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری از ۱/۵ به ۴/۵، ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر با اعمال تنش شوری و درنتیجه افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز همراه بود. این افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر تنش خشکی و شوری به افزایش شدت این دو تنش وابسته بود. در همه رژیم‌های آبیاری مطلوب و تنش خشکی، تنش شوری با افزایش فعالیت کاتالاز همراه بود؛ با این وجود در برخی موارد مانند رژیم‌های آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه در مرودشت و رژیم‌های آبیاری ۱۰۰، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه در ارسنجان تفاوت معنی‌داری بین فعالیت آنزیم کاتالاز در شوری‌های ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده نشد (جدول ۶).

جدول ۶- تأثیر سطوح متفاوت شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم کاتالاز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) سورگوم

تنش شوری ($dS\ m^{-1}$)	تنش خشکی (٪ ظرفیت مزرعه)							
	۱۰۰		۸۵		۷۰		۵۵	
مرودشت								
۱/۵	۴۰/۲	g	۵۶/۰	e	۷۰/۴	bc	۶۸/۳	cd
۴/۵	۴۲/۲	g	۵۸/۰	e	۶۹/۳	cd	۶۹/۵	cd
۷/۵	۴۸/۳	f	۶۵/۸	d	۷۵/۴	a	۷۷/۵	a
۱۰/۵	۵۵/۸	e	۷۴/۹	ab	۷۶/۸	a	۷۵/۱	a
ارسنجان								
۱/۵	۳۶/۵	g	۴۷/۵	de	۶۰/۵	b	۶۲/۱	b
۴/۵	۳۸/۵	g	۴۸/۵	d	۶۱/۲	b	۶۳/۴	b
۷/۵	۴۳/۲	f	۵۳/۵	c	۶۸/۲	a	۷۰/۴	a
۱۰/۵	۴۴/۲	ef	۶۰/۴	b	۶۷/۹	a	۷۱/۲	a

میانگین‌های با با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

به‌طورکلی بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در مرودشت و ارسنجان به‌ترتیب در تیمارهای ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر (۷۰/۵ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر (۷۱/۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین) بود (جدول ۶). تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری موجب افزایش تولید گونه‌های آزاد اکسیژن (ROS) در گیاهان می‌شود و گیاهان برای کم کردن تأثیر مضر گونه‌های آزاد اکسیژن از مکانیسم‌های متفاوتی ازجمله تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برخوردار هستند که در این میان کاتالاز و پراکسیداز با غیرفعال سازی پراکسید هیدروژن بیش‌ترین تأثیر را دارند (ساعدموچشی و همکاران، ۲۰۱۴). شبیری و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کشت مخلوط ۲۵٪ جو-

۷۵٪ خلر را نسبت به سایر سامانه‌های کشت‌های مخلوط نشان دادند. آنزیم کاتالاز از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و فعالیت آن در هنگام افزایش پراکسید هیدروژن در گیاهان که به علت شرایط تنش، خصوصاً تنش خشکی ایجاد شده است، افزایش می‌یابد (گارگ و مانچاندا، ۲۰۰۹).

فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز تحت تأثیر تنش خشکی و شوری افزایش یافت (جدول ۷). اعمال تنش خشکی در تمام سطوح موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد، ولی شوری تنها در سطوح ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر با آنتی‌اکسیدانی فعالیت آنزیم پراکسیداز همراه بود. تقریباً در همه رژیم‌های آبیاری، تنش شوری فعالیت پراکسیداز را افزایش داد (جدول ۷)؛ ولی در تیمار با تنش خشکی شدید (۵۵٪ ظرفیت مزرعه) تفاوت معنی-داری بین سطوح ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان مشاهده نشد. بوته‌های رشد کردن در شرایط آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان دارای بیش‌ترین فعالیت پراکسیداز (به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۲۱/۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین) بودند (جدول ۷). گونه‌های فعال اکسیژن مانند H_2O_2 در شرایط تنش خشکی و شوری تولیدشده و به ساختار گیاه آسیب می‌رسانند و در مقابل گیاهان بسته به‌شدت تحمل، برای کم کردن خسارت اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن از مکانیسم‌هایی مانند تولید و تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده می‌کنند. آنزیم پراکسیداز از این طریق نقش اصلی را در غیرفعال سازی پراکسیدهیدروژن دارد (پاکار و همکاران، ۲۰۱۶). آنزیم پراکسیداز به علت نقشی که در فرآیندهای مهم فیزیولوژیک مانند کنترل رشد توسط چوبی شدن، پیوستن پکتین‌ها و پروتئین‌های ساختاری در دیواره سلولی و کاتابولیسم اکسین دارد، به‌عنوان نشانگری بیوشیمیایی برای انواع مختلف تنش‌های زنده و غیرزنده استفاده می‌گردد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۷). پراکسیداز آنزیم آنتی‌اکسیدانی مهمی است که در چرخه گلوتاتیون که در دفع مسمومیت هیدروژن پراکسید مؤثر است، نقش دارد. سایر پراکسیدازها مانند گایاکول پراکسیداز (POD) نیز در فرایند تجزیه هیدروژن پراکسید دخالت دارند (آویلا و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۷- تأثیر سطوح متفاوت شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) سورگوم

تنش شوری ($dS\ m^{-1}$)	تنش خشکی (٪ ظرفیت مزرعه)							
	۱۰۰		۸۵		۷۰		۵۵	
				مرودشت				
۱/۵	۱۰/۱	e	۱۴/۲	c	۱۷/۶	b	۲۲/۴	a
۴/۵	۱۰/۶	de	۱۴/۹	c	۱۷/۸	b	۲۳/۵	a
۷/۵	۱۲/۱	d	۱۷/۳	b	۱۸/۲	b	۲۲/۷	a
۱۰/۵	۱۴/۰	c	۱۸/۷	b	۱۷/۷	b	۲۲/۶	a
				ارسنجان				
۱/۵	۹/۲	f	۱۱/۹	d	۱۶/۳	c	۲۰/۱	a
۴/۵	۹/۷	ef	۱۲/۱	d	۱۶/۴	c	۲۱/۲	a
۷/۵	۱۱/۲	d	۱۶/۲	c	۱۶/۱	c	۲۰/۶	a
۱۰/۵	۱۱/۰	de	۱۷/۸	b	۱۶/۷ ۱۶.۷		۲۰/۴	a

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

تنش‌های خشکی و شوری در سطوح متوسط و شدید فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را افزایش دادند (جدول ۸)؛ ولی سطوح ملایم تنش خشکی (۸۵ درصد ظرفیت مزرعه) و شوری (۴/۵ دسی‌زیمنس در متر) تأثیر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم نداشت. تنش خشکی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌ترتیب ۵۵/۸ و ۵۹/۰ درصد در مرودشت و ارسنجان افزایش داد. از دیگر سو، تنش شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر با افزایش ۱۶/۴ و ۱۵/۵ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت

به تیمار ۱/۵ دسی‌زیمنس در متر به‌ترتیب در مرودشت و ارسنجان همراه بود (جدول ۸). در همه رژیم‌های آبیاری، تنش شوری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد. بالاترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در هر دو منطقه مرودشت (۰/۱۸۹ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و ارسنجان (۰/۱۷۱ واحد در میلی‌گرم پروتئین) در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد (جدول ۸). یکی از مؤثرترین آنتی‌اکسیدان‌های درون‌سلولی سوپراکسید دیسموتاز است. بسیاری از پژوهشگران آن را قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان شناخته می‌دانند؛ که سبب پایداری گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های محیطی می‌شود (آویلا و همکاران، ۲۰۲۱؛ تیتال و همکاران، ۲۰۲۱). هدایتی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کرد که سطوح تنش شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس در متر موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب به میزان ۸۱ و ۸۶ درصد در سورگوم گردید.

جدول ۸- تأثیر سطوح متفاوت شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) سورگوم

تنش شوری ($dS\ m^{-1}$)	تنش خشکی (٪ ظرفیت مزرعه)							
	۱۰۰		۸۵		۷۰		۵۵	
مرودشت								
۱/۵	۰/۱۰۱	g	۰/۱۴۴	e	۰/۱۷۶	cd	۰/۱۷۷	bc
۴/۵	۰/۱۰۵	g	۰/۱۴۶	e	۰/۱۷۴	cd	۰/۱۷۵	cd
۷/۵	۰/۱۲۱	f	۰/۱۶۶	d	۰/۱۸۷	ab	۰/۱۷۷	bc
۱۰/۵	۰/۱۳۹	e	۰/۱۸۷	ab	۰/۱۸۹	a	۰/۱۸۱	a-c
ارسنجان								
۱/۵	۰/۰۹۲	g	۰/۱۱۲	e	۰/۱۵۴	c	۰/۱۵۹	bc
۴/۵	۰/۰۹۶	g	۰/۱۲۱	e	۰/۱۵۵	c	۰/۱۶۱	a-c
۷/۵	۰/۱۰۹	f	۰/۱۳۹	d	۰/۱۶۷	ab	۰/۱۵۸	bc
۱۰/۵	۰/۱۱۰	f	۰/۱۵۶	c	۰/۱۷۱	a	۰/۱۶۰	bc

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

به‌طورکلی، تنش خشکی فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی آسکوربیک پراکسیداز را افزایش داد (جدول ۹)؛ ولی پاسخ مشخصی از فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز به تنش شوری مشاهده نشد. تنش خشکی تا سطح ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه در مرودشت و تا سطح ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه در ارسنجان فعالیت آسکوربیک پراکسیداز را افزایش داد، به عبارت دیگر بیش‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز در مرودشت از رژیم آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه (۵۲۱/۵ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و در ارسنجان از رژیم آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه (۴۶۴/۸ واحد در میلی‌گرم پروتئین) به‌دست آمد (جدول ۹). آنزیم آسکوربیک پراکسیداز از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های مؤثر در مقابله با تنش خشکی است (تیتال و همکاران، ۲۰۲۱). ازآنجاکه آسکوربیک پراکسیداز با کمک آسکوربیک اسید باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود، لذا بالاتر بودن فعالیت این آنزیم به معنی حذف بیشتر رادیکال‌های اکسیژن و درنتیجه کاهش مرگ سلولی و افزایش مقاومت به تنش است (فاروق و همکاران، ۲۰۲۰). آسکوربیک پراکسیداز، به‌دلیل فعالیت زیاد، دارای بیش‌ترین توانایی در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که در مطالعات انجام‌شده این موضوع به‌طور آشکار مشخص شده است (آویلا و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۹- تأثیر سطوح متفاوت شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) سورگوم

تنش شوری ($dS\ m^{-1}$)	تنش خشکی (٪ ظرفیت مزرعه)							
	۱۰۰		۸۵		۷۰		۵۵	
مرودشت								
۱/۵	۳۲۱	c	۴۱۹	b	۵۱۱	a	۵۱۷	a
۴/۵	۳۳۳	c	۴۲۳	b	۵۲۱	a	۵۲۶	a
۷/۵	۳۱۸	c	۴۴۱	b	۵۱۸	a	۵۲۲	a
۱۰/۵	۳۲۵	c	۴۱۸	b	۵۱۶	a	۵۲۱	a
ارسنجان								
۱/۵	۲۹۸	c	۳۴۷	b	۴۵۸	a	۴۵۲	a
۴/۵	۲۸۸	c	۳۳۶	b	۴۶۶	a	۴۵۳	a
۷/۵	۲۹۱	c	۳۵۰	b	۴۷۴	a	۴۵۵	a
۱۰/۵	۲۹۳	c	۳۳۷	b	۴۶۱	a	۴۶۰	a

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که وزن خشک سورگوم در هر دو منطقه تحت تأثیر سطوح متوسط و شدید تنش‌های خشکی و شوری کاهش یافت، با این‌حال کاهش معنی‌داری در عملکرد ماده خشک سورگوم در شرایط آبیاری مطلوب و تیمار کم آبیاری به‌میزان ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه و شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر نسبت به شرایط آبیاری مطلوب با آب غیرشور مشاهده نشد؛ اما با کاهش حجم آب مصرفی در تیمار تنش متوسط خشکی (۸۵ ٪ ظرفیت مزرعه) و بیشتر از آن، میزان عملکرد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف شوری کاهش یافت. درواقع با توجه به عدم تأثیر معنی‌دار رژیم آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه و شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر، به‌نظر می‌رسد که می‌توان سورگوم را گیاهی نسبتاً متحمل (Moderate tolerant) نسبت به هر دو تنش خشکی و شوری دانست. با این وجود، این دو تنش خاصیت هم‌افزایی (Synergy) داشته و تأثیر سوء بیشتری بر کاهش عملکرد گیاه داشته است؛ بنابراین بر اساس یافته‌های این مطالعه، در شرایط استفاده از آب با شوری‌های ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر و بالاتر برای آبیاری سورگوم، استراتژی‌های کم آبیاری توصیه نمی‌گردد.

فهرست منابع

۱. افشون ا، مقدم ح، جهانسوز م ر، صوفی زاده س و اویسی م، ۱۴۰۰. ارزیابی اثر خاک‌ورزی، تنش آبی و کود نیتروژن بر کیفیت علوفه ذرت در کرج. علوم گیاهان زراعی ایران، جلد ۵۳، شماره ۲، صفحه‌های ۲۵ تا۴۰.

۲. امام ی، ۱۳۹۰. زراعت غلات، چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه شیراز.

۳. پیراسته انوشه ه، رنجبر غ وطباطبائی س ع، ۱۳۹۹. اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و وزن خشک در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor*) وکوشیا (*Bassiaindica*). خشکبوم، جلد ۱، شماره ۱۰، صفحه‌های ۱۴ تا ۳۰.

۴. ترابی م، ۱۳۹۴. کشت سورگوم در مناطق خشک و نیمه خشک. مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی استان اصفهان.

۵. خاکسار ک و فومن ع، ۱۳۹۰. دستورالعمل تولید بذر سورگوم دانه ای. موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، کرج.

۶. راهنما ع، آبسالان ش و مکوندی م ا، ۱۳۸۷. اثر کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سورگوم علوفه ای. مجله ی پژوهش در علوم زراعی، جلد ۱، شماره ۲، صفحه های ۱۱ تا۲۲.

۷. رنجبر غ و پیرسته انوشه ه، ۱۳۹۴. نگاهی به تحقیقات شوری در ایران؛ با تاکید بر بهبود تولید گیاهان زراعی. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۷، شماره ۲، صفحه های ۱۶۵ تا ۱۷۸.

۸. کیخانی ف، گنجی ن، فرزانجو م، کیخا غ، ثقفی ک وکیخا م، ۱۳۸۹. بررسی اثر کم آبیاری بر عملکرد کمی و کارایی مصرف آب محصول سورگوم علوفه‌ای در منطقه سیستان. مجله پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۴، شماره ۱، صفحه‌های ۴۱ تا۴۷.

۹. فومن اجیرلو ع، مختارزاده محمدی ع، بهشتی ع، و شیری م، و راهنما ع، نادعلی ف، نورمحمدی س، حسن زاده مقدم ه. ۱۳۸۷. معرفی رقم پگاه، رقم جدید سورگوم علوفه‌ای. مجله نهال و بذر، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحه های ۳۷۱ تا ۳۶۷.

۱۰. مبصر ص، ۱۳۹۰. دستورالعمل ملی آزمون های تمایز، یکنواختی و پایداری در سورگوم. موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، کرج. ۲۸ صفحه.

۱۱. نجفی نژاد ح، جواهری م ع، کوهی ن و شاکری پ، ۱۳۹۸. عملکرد و کیفیت علوفه و بهره وری مصرف آب کوشیا، ارزن، سورگوم و ذرت در شرایط تنش کم آبی. مجله بهزراعی نهال و بذر. جلد ۳۵، شماره ۲، صفحه های ۲۶۱ تا۲۸۳.

۱۲. هاشمی س ا، امام ی و پیراسته انوشه ه، ۱۳۹۷. پاسخ محتوای یونی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی جو به روش‌های کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط شور. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ۳۴، شماره ۲، صفحه های ۱ تا ۱۱.

۱۳. هدایتی فیروزآبادی ع، کاظمینی س ع و پیراسته انوشه ه، ۱۳۹۶. ارزیابی نسبتهای مختلف کشت مخلوط سورگوم-کوشیا در شرایط متفاوت شوری. مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۴، شماره ۳، صفحه های ۶۸۵ تا۶۹۸.

14. Ali TM and Hasnain A, 2014. Morphological, physicochemical, and pasting properties of modified white sorghum (*Sorghum bicolor*) starch. International Journal of Food Properties, 17(3): 523-535.
15. Avila RG, Magalhães PC, da Silva EM, de Souza KRD, Campos CN, de Alvarenga AA and de Souza TC, 2021. Application of silicon to irrigated and water deficit sorghum plants increases yield via the regulation of primary, antioxidant, and osmoregulatory metabolism. Agricultural Water Management, 255: 107004.
16. Borg H and Grimes DW, 1986. Depth development of roots with time: An empirical description. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 29, 194-197.
17. Boursier P and Lauchli A, 1990. Growth responses and mineral nutrient relation of salt-stressed sorghum. Crop Science, 30: 1226-1233.
18. Chance B and Maehly AC, 1995. Assay of catalase and peroxidase. PP. 764-765 in: Culowic SP, Kaplan NO. (eds). Methods in enzymology. Academic Press. Inc. New York.
19. Chloupek O, Hrstkova P and Jurecka D, 2003. Tolerance of barley seed germination to salt and drought – stress expressed as seed vigor. Plant Breed. 122: 199-203.
20. Farooq A, Bukhari SA, Akram NA, Ashraf M, Wijaya L, Alyemeni MN and Ahmad P, 2020. Exogenously applied ascorbic acid-mediated changes in osmoprotection and oxidative defense system enhanced water stress tolerance in different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). Plants, 9(1): 104.
21. Garg N and Manchanda G, 2009. ROS Generation in plants. Plant Biology, 143: 88-96.
22. Hedayati-Firoozabadi A, Kazemeini SA, Pirasteh-Anosheh H, Ghadiri H and Pessarakli M, 2020. Forage yield and quality as affected by salt stress in different ratios of *Sorghum bicolor-Bassia indica* intercropping. Journal of Plant Nutrition, 43(17): 2579-2589.
23. Howell TA, Tolk JA, Evett SR, Copeland KS and Dusek DA, 2007. Evapotranspiration of deficit irrigated sorghum. World Environmental and Water Resources Congress. ASCE.
24. Jose R, Pardales J and Yasuhiro K, 1990. Development of sorghum root system under increasing drought stress. Japan Jour. Crop Sci. 59(4): 752-761.

25. Nakano Y and Asada K, 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 22*:* 867–880.
26. Pakar N, Pirasteh-Anosheh H, Emam Y and Pessarakli M, 2016. Barley growth, yield, antioxidant enzymes, and ion accumulation affected by PGRs under salinity stress conditions. Journal of Plant Nutrition, 39(10): 1372-1379.
27. Pirasteh-Anosheh H, Ranjbar G, Pakniyat H and Emam Y, 2016. Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants; an overview: 141-160. In: Azooz MM and Ahmad P, (Eds). Plant-environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress. Wiley, London.
28. Ranjbar GH, Ghadiri H, Razzaghi F, Sepaskhah AR and Edalat M, 2015. Evaluation of the SALTMED model for sorghum under saline conditions in an arid region. International Journal of Plant Production, 9(3): 373-392.
29. Rawson HM, Long MJ and Munns R, 2006. Growth and development in NaCl treated plants. I: Leaf Na and Cl concentration do not determine gas exchange of leaf blades in sorghum. Australian Journal of Plant Physiology, 35: 519-527.
30. Saed-Moucheshi A, Pakniyat H, Pirasteh-Anosheh H and Azooz MM, 2014. Role of ROS as signaling molecules in plants. In Oxidative damage to plants (pp. 585-620). Academic Press.
31. Shobeiri SS, Habibi D, Kashani A, Paknejad F and Jafari A, 2015. Study of physiological traits of grass pea with barely in pure and mixed cropping under dry land and irrigated conditions. Agronomy Journal, 107: 91-98.
32. Sinaki JM, Nourmohammadiand G and Maleki H, 2004. Effect of water deficit on seedling, plantlets and compatible solutes of forage sorghum CV. Speed feed. 4th International Crop Sci. Conference. Brisbane, Aus, 26 Sep-1 Oct.
33. Soni PG, Basak N, Rai AK, Sundha P, Narjary B, Kumar P and Yadav RK, 2021. Deficit saline water irrigation under reduced tillage and residue mulch improves soil health in sorghum-wheat cropping system in semi-arid region. Scientific reports, 11: 1-13.
34. Sumi A, 1989. Some relationship between plant growth and soil moisture variations. Kagoshima University, Japan 25: 39-51.
35. Taiz L, Zeiger E, Moller IM and Murphy, A2015. Plant Physiology and Development. Sinauer Associates, Incorporated.
36. Tittal M, Mir RA, Jatav KS and Agarwal RM, 2021. Supplementation of potassium alleviates water stress-induced changes in Sorghum bicolor L. Physiologia Plantarum, 172(2): 1149-1161.
37. Troll W and Lindley J, 1955. A photometry method for the determination of Proline. J. Biol. Chem. 215: 655-660.
38. Zhang C, Li X, Kang Y and Wahba MA, 2021. Leaching efficiency and plant growth response in an integrated use of saline water for coastal saline soil reclamation. Land Degradation & Development, 32(16): 4595-4608.

Effect of Drought and Salinity Stress on Yield, Biochemical Properties, and Activity of Antioxidant Enzymes in Forage Sorghum

A. Emadi, O. Alizadeh, B. Amiri[1], H. Pirasteh-Anosheh, and M. Zare

Ph D. Student of Agronomy, Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.
aremadi@miau.ac.ir

Associated Prof., Department of Agriculture, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran.
alizadehomid51@yahoo.com

Assistant Prof., Department of Agronomy, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.
bchamiri@gmail.com

Assistant Prof., National Salinity Research Centre, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran.
h.pirasteh.a@gmail.com

Associated Prof., Department of Agronomy, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.
mahdi.zare2009@gmail.com

Received: April 2022, and Accepted: August 2022

Abstract

In the present study, the effect of different levels of water and salinity stresses was investigated on dry matter production, biochemical attributes, and activity of antioxidant enzymes in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in Marvdasht and Arsanjan regions in 2017. The treatments included four levels of water stress: 100%, 85%, 70%, and 55% of field capacity (FC) in the main plots and four levels of salinity stress: 1.5, 4.5, 7.5 and 10.5 dS m^{-1} in the sub plots, which were arranged in split plots based on randomized complete block design, with three replications. The results showed that water and salinity stresses in both regions were associated with decreased dry matter production and concentrations of chlorophylls a and b and carotenoids, while the concentration of free proline and the activity of antioxidant enzymes catalase, peroxidase and superoxide dismutase were increased depending on the stress level. Ascorbic peroxidase activity was increased only under water stress. The highest dry matter yields were obtained from 100% FC irrigation with 4.5 dS m^{-1} salinity and were 1.292 and 1.198 kg ha^{-1} in Marvdasht and Arsanjan, respectively. Non-significant effect in 85% FC irrigation regime showed that only 70% and 55% FC irrigation regimes led to water stress in sorghum. On the other hand, no significant difference was observed between non-saline conditions and 4.5 dS m^{-1}, which indicates salinity tolerance of sorghum, at least up to this level. In both regions, the intensity of changes due to water and salinity stress was correlated with the intensity of that stress. The results of this research showed that due to antagonistic effects, drought and salinity stresses have a greater effect on reducing plant yield; therefore, water deficit irrigation strategies are not recommended in case of using water with salinities of 7.5 dS m^{-1} and more for sorghum irrigation.

Keywords: Carotenoids, Irrigation regime, Chlorophyll

[1] - Corresponding author: Department of Agronomy, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.