اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و وزن خشک در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor*) و کوشیا (*Bassia indica*)

۱- هادی پیراسته انوشه، استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
h.pirasteh@areeo.ac.ir
۲- غلامحسن رنجبر، استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۳ - سیدعلی طباطبایی، دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۴

چکیده

باتوجه به کمبود منابع آبی، استفاده از آب‌های شور برای کشت گیاهان شورزی علوفه‌ای راهکاری کاربردی است، هرچند مشکل اصلی علوفه گیاهان شورزی محتوای انرژی کم و نمک بالای آن‌ها است. در این شرایط کشت و مصرف مخلوط گیاهان شورزی-زراعی می‌تواند مفید باشد. آزمایش حاضر به منظور بررسی اثر شوری آب آبیاری بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک سورگوم و کوشیا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در مرکز ملی تحقیقات شوری اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح تنش شوری ۲، ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در کرت‌های اصلی و پنج سامانه کشت: سورگوم خالص، ۲/۳ سورگوم (۲ قسمت سورگوم، ۱ قسمت کوشیا)، ۱/۳ سورگوم (۱ قسمت سورگوم، ۲ قسمت کوشیا) و ۱/۲ سورگوم (۱ قسمت سورگوم، ۱ قسمت کوشیا) و کوشیا خالص در کرت‌های فرعی بود که به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طراحی گردید. نتایج نشان داد که تنش شوری بسته به شدت آن، موجب تغییرات معنی‌داری در رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک سورگوم و کوشیا شد. شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر با کاهش وزن خشک (۶۲٪) و غلظت پتاسیم (۲۲٪) و افزایش غلظت سدیم (۴۲۷٪) و کلر (۱۷۵٪) و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۸۸٪)، پراکسیداز (۷۷٪)، سوپراکسیددیسموتار (۸۶٪) و آسکوربیک‌پراکسیداز (۱۵۴٪) در سورگوم گردید. این افزایش و کاهش برای کوشیا کمتر بود (به‌ترتیب ۲۳٪، ۲۲٪، ۳۷٪، ۱۰۵٪، ۲۳۷٪، ۷۷٪، ۴۰۶٪ و ۲۹۴٪) که نشان‌دهنده تحمل به شوری بالاتر کوشیا بود. شیوه بهینه کشت مخلوط برای سورگوم تیمار ۲/۳ سورگوم و برای کوشیا تیمارهای ۱/۳ سورگوم و ۱/۲ سورگوم بود، که بیانگر حساسیت بالاتر سورگوم به رقابت بین‌گونه‌ای در سامانه‌های کشت مخلوط نسبت به کوشیا بود. بر اساس واکنش‌های متفاوت دو گیاه به تنش شوری احتمالاً سورگوم با تحریک سیستم آنتی‌اکسیدان در جهت تعدیل تنش اکسیداتیو و کوشیا با توزیع یونی در بافت‌ها از طریق کاهش انتقال به شاخساره و/یا کده‌بندی یونی در اندامک‌ها به شوری تحمل داشتند. به‌نظر می‌رسد که تراکم مناسب از کوشیا (۱/۳) تحمل به شوری سورگوم را افزایش دهد، و بنابراین برای شرایط شور قابل توصیه است.

واژگان کلیدی: پتاسیم؛ سدیم؛ سوپراکسید دیسموتاز؛ کاتالاز؛ کلر.

مقدمه

تنش شوری بعد از خشکی به عنوان مهم‌ترین تنش محیطی، عامل مهمی در محدود کردن رشد و عملکرد محصولات کشاورزی است. برخی گزارش‌ها میزان اراضی تحت شور کشور را در حدود ۲۵ تا ۲۷ میلیون هکتار اعلام کرده‌اند [۲۴]. بر اساس یک تخمین دیگر در حدود ۳۴ میلیون هکتار و یا حدود ۲۰ درصد مساحت کشور متأثر از شوری است [۱۹]. این اراضی شامل ۲۵/۵ میلیون هکتار با شوری کم تا متوسط و ۸/۵ میلیون هکتار با شوری زیاد می‌باشد [۲۴]. در حال حاضر سطح کل اراضی فاریاب ایران ۷/۳ میلیون هکتار و سطح کل اراضی زراعی با درجات مختلف شوری خاک، آب و یا هر دو، ۳/۵ میلیون هکتار برآورد شده است [۱۹]. تنش شوری موضوع بسیاری از تحقیقات برای بیش از ۱۰۰ سال در دنیا و بیش از ۵۰ سال در ایران بوده است [۲۴].

محدودیت منابع آب شیرین استفاده از آب‌های شور را برای زراعت گیاهان شورزی علوفه‌ای مانند کوشیا ناگزیر کرده است. گیاهان شورزی از نظر پروتئین غنی هستند، اما انرژی قابل‌استفاده کم و محتوای نمک بالایی دارند که یک عامل کاهش کیفیت علوفه شناخته می‌شود [۲، ۹ و ۱۰]. به همین دلیل کشت و مصرف مخلوط گیاهان شورزی-زراعی مانند کوشیا-سورگوم می‌تواند راهکار مناسبی باشد.

سورگوم (*Sorghum bicolor*) گیاهی روزکوتاه، چهار کربنه از خانواده غلات با سیستم ریشه‌ای گسترده و افشان است [۲۵]. بر اساس طبقه‌بندی رایج سورگوم به‌عنوان یک گیاه نیمه متحمل به شوری درنظر گرفته می‌شود [۱۸]. حدآستانه تحمل به شوری (عصاره اشباع خاک) سورگوم براساس عملکرد دانه، ۶/۸ دسی‌زیمنس برمتر می‌باشد؛ با این‌حال افزایش هر واحد شوری بیش از حدآستانه، باعث کاهش ۱۶ درصدی عملکرد دانه می‌گردد [۱۸]. به‌نظر می‌رسد عدم توانایی اندام‌های هوایی سورگوم در تنظیم غلظت یون‌هایی مانند سدیم می‌تواند منجر به ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متفاوتی 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 به شدت کاهش می‌یابد [۲۰].

کوشیا (*Bassia indica*) گیاهی یک‌ساله و مخصوص نواحی گرم است، که با داشتن برخی ویژگی‌های ریخت-شناسی و زراعی می‌تواند به میزان قابل‌توجهی پتانسیل-های پایین آب را تحمل نماید [۱۳].کوشیا قادر به تولید بیش از ۱۴ هزار بذر در هر بوته است، بنابراین می‌تواند دامنه وسیعی از پراکندگی را داشته باشد [۲۸]. این‌گونه گیاهی به‌دلیل پتانسیل بالای تولید می‌تواند برای تأمین علوفه جهت بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور مورداستفاده قرار گیرد، اگرچه به‌دلیل تولید بالای بذر و جوانه‌زنی سریع آن و پتانسیل رقابت‌پذیری بالای با سایر گیاهان زراعی که می‌تواند منجر به گستردگی این گیاه در اراضی کشاورزی شود باید در کشت و کار آن احتیاط لازم را به عمل آورد [۲۸].

برای کمینه‌سازی رقابت و بیشینه‌سازی بهره‌وری از منابع آب، مواد غذایی و نور در کشت مخلوط، انتخاب دو گونه گیاهی بسیار مهم است [۳ و ۴]. بر همین اساس، باید از گونه‌هایی استفاده شود که فنولوژی و ویژگی‌های مورفولوژیک متفاوت داشته باشند که کمترین رقابت را در یک آشیانه اکولوژیک ثابت چه از نظر عوامل محیطی و چه ازنظر زمان باهم ایجاد کنند و همچنین بتوانند رشد یکدیگر را تسهیل کنند [۳ و ۸]. کمبود منابع آب شیرین و افت کیفی خاک‌ها، تولیدکنندگان را ناچار به استفاده از آب‌های نامتعارف و شور و همچنین استفاده از گیاهان شورزی کرده است. کوشیا به عنوان یک گیاه شورزی علوفه‌ای تحمل بالایی به شوری دارد، ولی همانند سایر گیاهان شورزی محتوای انرژی پایین و غلظت نمک بالایی دارد؛ که کشت مخلوط آن با گیاهی مانند سورگوم که تحمل نسبتاً بالایی به شوری دارد می‌تواند راهکاری مفید فایده باشد. اگرچه در زمینه کشت مخلوط در شرایط شور تحقیقاتی، هرچند اندک صورت گرفته است، با این وجود هنوز بسیاری از جنبه‌های آن ناشناخته مانده است؛ بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی اثر سطوح متفاوت شوری بر غلظت یون‌ها، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و وزن خشک در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط سورگوم و کوشیا طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر شوری آب آبیاری بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک سورگوم و کوشیا در نسبت-های مختلف کشت مخلوط، آزمایشی مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در مرکز ملی تحقیقات شوری در یزد اجرا شد. این پژوهش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی شد. تیمارها شامل تنش شوری در سه سطح: ۲ دسی‌زیمنس برمتر به‌عنوان شاهد، ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در کرت‌های اصلی و سامانه کشت در پنج سطح سورگوم خالص، سورگوم (۲ قسمت سورگوم، ۱ قسمت کوشیا)، ۱/۳ سورگوم (۱ قسمت سورگوم، ۲ قسمت کوشیا) و ۱/۲ سورگوم (۱ قسمت سورگوم، ۱ قسمت کوشیا) و کوشیا خالص در کرت‌های فرعی بود. نتایج

تجزیه فیزیکو-شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه واقع در مزرعه تحقیقات شوری صدوق در شمال غربی شهر یزد در جدول ۱ آمده است. اطلاعات هواشناسی در منطقه مورد مطالعه در سال‌های اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی خاک مزرعه پیش از آبشویی اولیه

سال زراعی	شوری ($dS\ m^{-1}$)	بافت	ظرفیت مزرعه (%)	اسیدیته گل اشباع	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	کربن آلی (%)	سدیم ($meq\ L^{-1}$)	کلر ($meq\ L^{-1}$)
۱۳۹۴	۱۳/۷	لومی	۲۱/۶	۷/۷۱	۲۱۱/۴	۹/۵	۰/۴۱	۵۱/۳	۷۱/۳
۱۳۹۵	-	شنی	۲۳/۵	۷/۸۲	۲۱۶/۱	۱۱/۴	۰/۵۷	۴۸/۷	۶۸/۰

جدول ۲. ویژگی‌های هواشناسی در طول پنج‌ماهه فصل رشد آزمایش (اردیبهشت تا شهریور)*

سال	میانگین دما (°C)	مجموع بارش (mm)	متوسط رطوبت نسبی (%)	میانگین تبخیر ماهیانه** (mm)
۱۳۹۴	۳۱/۴	۸/۳	۱۲/۴	۴۷۱/۴
۱۳۹۵	۲۸/۹	۷/۴	۱۵	۴۵۵/۵

* منبع: اداره کل هواشناسی استان یزد (ایستگاه سینوپتیک فرودگاه یزد)

**تبخیر از تشتک تبخیر

پیش از کاشت، برای یکنواخت کردن شوری عصاره اشباع خاک، کل مزرعه آبشویی شد. پس از آماده‌سازی زمین، بذرهای دو گیاه سورگوم و کوشیا با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتیمتر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتیمتر در کرت‌هایی به ابعاد ۴×۳ متر کشت شدند. هر کرت شامل ۶ خط کشت ۴ متری بود. کشت به صورت دستی و در روزهای ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴ و ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۵ انجام گردید.

هر دوی این گیاهان روزکوتاه و گرمادوست هستند که طول دوره رویشی تقریباً یکسان و تاریخ کاشت و برداشت (علوفه‌ای) نسبتاً هم‌زمانی دارند. سورگوم رقم پگاه (*Sorghum bicolor* L. Moench) در این مطالعه استفاده شد. این رقم در سال ۱۳۸۷ به‌عنوان یک رقم سورگوم علوفه‌ای دارای پروتئین بالا و قند ساقه قابل‌قبول توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر معرفی شد [۱۱]. همچنین بذرهای کوشیا (*Bassia indica* (Wight) A.J.Scott) از منطقه حسین‌آباد واقع در شمال غربی یزد (۳۲/۰۵۴۲ درجه شمالی و ۵۴/۲۳۶۵ درجه شرقی با ۱۱۳۳ متر ارتفاع از سطح دریا) جمع‌آوری شده است.

تیمارهای آب شور (۲، ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر) با مخلوط کردن آب دو چاه طبیعی با هدایت‌های الکتریکی ۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر در دو استخر جداگانه توسط سیستم نصب‌شده در مزرعه تهیه و با سیستم تحت فشار، وارد مزرعه و کرت‌های آزمایشی گردید. در محل ورودی کرت، هدایت الکتریکی آب با EC-meter اندازه‌گیری و کنترل شد. به منظور ایجاد یک تراکم یکنواخت در مزرعه، آبیاری تا زمان استقرار با آب غیرشور (دو مرتبه) انجام شد.

آبیاری در حد ظرفیت مزرعه به علاوه ۲۵ درصد سهم آبشویی انجام گردید. در تیمار سورگوم خالص و کوشیا خالص کل ۶ ردیف کاشت به گیاه مربوطه اختصاص یافت. در تیمار ۲/۳ سورگوم، ۴ ردیف به سورگوم و ۲ ردیف به کوشیا؛ و در تیمار ۱/۳ سورگوم، ۲ ردیف به سورگوم و ۴ ردیف به کوشیا و در تیمار ۱/۲ سورگوم ۳ ردیف به سورگوم و ۳ ردیف به کوشیا اختصاص پیدا کرد.

کوددهی شامل ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در سه زمان کاشت، ۳۰ روز و ۶۰ روز پس از کاشت و ۱۵۰ کیلوگرم فسفر خالص به‌صورت سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و همراه با شخم به مزرعه اضافه شد.

میانگین مقدار کل آب مصرفی در تیمارهای ۲، ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب برابر با ۶۳۴۰، ۵۶۲۰ و ۴۶۱۵ متر مکعب در هکتار بود. میانگین شوری نهایی عصاره اشباع خاک در تیمارهای ۲، ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۴/۳، ۱۰/۸ و ۱۷/۶ دسی‌زیمنس بر متر در

عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و به ترتیب ۶/۱، ۱۴/۷ و ۲۱/۲ دسی‌زیمنس برمتر در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری بود.

در اواسط مرحله گل‌دهی سورگوم، زمانی که ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت به گل رفته بودند، برداشت به‌صورت کف‌بر کردن یک مترمربع از بوته‌ها از هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای صورت گرفت. وزن خشک سورگوم و کوشیا پس از قرار گرفتن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰±۲ °C به مدت ۴۸ ساعت محاسبه شد.

جهت اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلر، نمونه‌ها آسیاب شده و در کوره با دمای ۶۰۰±۵ °C به خاکستر تبدیل شد. نمونه‌های آماده‌شده به روش شعله سنجی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر[1] مورد تجزیه برای سنجش سدیم و پتاسیم قرار گرفت. غلظت کلر نیز بر اساس روش تیتراسیون به‌دست آمد. برای ارزیابی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در اواسط مرحله گل‌دهی سورگوم، نمونه‌برداری از جدیدترین برگ‌های هر دو گیاه انجام شد و با استفاده از ازت مایع به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز [۷]، سوپراکسیداز دیسموتاز [۵] و آسکوربیک‌پراکسیداز [۲۱] از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد.

تجزیه‌های آماری برای داده‌های هر گیاه به‌صورت جداگانه انجام شد. پس از آزمون یکنواختی داده‌ها با برنامه Minitab ver.14، داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS ver.9.1 مورد تجزیه واریانس مرکب دو سال قرار گرفتند. باتوجه به اینکه برهمکنش سال با تیمارها معنی‌دار نشد، میانگین دو سال برای انجام مقایسات استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD[2] در سطح احتمال یک درصد مقایسه شدند. ضرایب همبستگی بین صفات توسط نرم‌افزار آماری Minitab ver.14 برآورد شد.

نتایج و بحث

اثر متقابل شوری و سامانه کشت بر وزن خشک

نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی سورگوم نشان داد که تأثیر شوری و سامانه کشت و برهمکنش شوری-سامانه کشت بر وزن خشک معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، وزن خشک کوشیا تحت تأثیر معنی‌دار شوری و سامانه کشت و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۴).

وزن خشک دو گیاه سورگوم و کوشیا در اثر تنش شوری کاهش یافت، با این تفاوت که در کوشیا تنها تنش ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر (۱/۲۹ کیلوگرم در مترمربع) موجب کاهش ۲۳/۳ درصدی وزن خشک نسبت به شرایط غیرشور (۱/۶۸ کیلوگرم در مترمربع) گردید. وزن خشک سورگوم در شرایط تنش‌های ۷ (۱/۱۴ کیلوگرم در مترمربع) و ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر (۰/۵۲ کیلوگرم در مترمربع) به ترتیب ۱۷/۳ و ۶۲/۴ درصد کمتر از تیمار ۲ دسی‌زیمنس برمتر (۱/۳۸ کیلوگرم در مترمربع) بودند.

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 هستند. درواقع با کاهش سطح برگ و غلظت کلروفیل قدرت گیاه برای تولید ماده خشک و در آخر نهایتاً عملکرد دانه کاهش می‌یابد [۲۳]. دلیل دیگر کاهش وزن بیوماس کل می‌تواند ناشی از 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 [۳۰].

[1]- Flame photometer

[2]- Least Significant Difference Test

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس غلظت یون‌ها، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و وزن خشک سورگوم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	سدیم / پتاسیم	غلظت کلر	کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربیک پراکسیداز	وزن خشک
سال	۱	۰/۲۲۳ns	۰/۳۰۲ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۵۶ns	۰/۱۱۱ns	۰/۲۵۹ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۶۳ns	۵/۲۱ns
بلوک	۲	۰/۲۲۳	۰/۵۰۱	۱/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۶۰۲	۲/۸۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۲۱/۲۶
سال×بلوک	۲	۰/۲۰۱	۰/۲۶۷	۰/۰۰۵	۰/۰۶۷	۰/۱۲۵	۰/۶۶۷	۰/۰۰۲	۰/۰۶۵	۹/۵۷
تنش شوری	۲	۰/۱۶۳**	۰/۸۱۲*	۰/۰۸۱**	۰/۴۶۷**	۰/۵۱۴**	۰/۳۳۳**	۰/۰۰۳*	۰/۱۷۸**	۳۴/۵۹**
سال×شوری	۲	۰/۰۱۱ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۰۱ns	/۰۶۷ns	۰/۰۶۱ns	۰/۰۴۴ns	۰/۰۰۰۴ns	۰/۰۲۲ns	۹/۸۲ns
خطای کرت اصلی	۶	۰/۰۱۹	۰/۲۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۶۱	۰/۰۵۴	۰/۰۴۹	۰/۰۰۱	۰/۰۱۹	۴/۹۸۱
سامانه کشت	۳	۰/۰۶۷*	۰/۱۲۹ns	۰/۰۲۵**	۰/۲۰۱*	۰/۰۷۲*	۰/۰۴۹*	۰/۰۰۵ns	۰/۰۰۳ns	۱۱/۲۵*
شوری×کشت	۶	۰/۰۷۱*	۰/۰۸۰۱*	۰/۰۳۵**	۰/۰۳۴ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۱ns	۱۲/۲۵*
سال×کشت	۳	۰/۰۱۱ns	۰/۱۱۲ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۶ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۲ns	۳/۲۵ns
سال×شوری× کشت	۶	۰/۰۰۸ns	۰/۰۷۶ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۸۷ns
خطای کرت فرعی	۳۸	۰/۰۱۶	۰/۱۴۱	۰/۰۰۳	۰/۰۴۴	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۱	۲/۲۳
ضریب تغییرات	(٪)	۱۷/۱۵	۱۵/۴۲	۱۶/۷۰	۱۳/۱۳	۱۱/۹۴	۱۵/۶۶	۱۳/۸۲	۱۰/۸۴	۱۴/۶۹

ns: غیرمعنی‌دار؛ * و ** معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

وزن خشک سورگوم و کوشیا هم در شرایط شور و هم در شرایط غیرشور تحت تأثیر سامانه کشت مخلوط قرار گرفت (شکل ۱). در شرایط شوری ۲ و ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر، بیش‌ترین وزن خشک سورگوم از کشت خالص به‌ترتیب برابر با ۱/۶۵ و ۰/۶۶ کیلوگرم در مترمربع به‌دست آمد که تفاوتی با نسبت ۲/۳ سورگوم نداشت. در حالی که در شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک در نسبت ۲/۳ سورگوم به ۱/۴۴ کیلوگرم در متر مربع رسید که به طور معنی‌داری و نزدیک به ۱۰ درصد بیشتر از شاهد (۱/۳۲ کیلوگرم در مترمربع) بود. کمترین وزن خشک سورگوم (۰/۲۸ کیلوگرم در مترمربع) در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس در تیمار کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم به دست آمد که به میزان بسیار قابل‌توجهی کمتر (۸۳/۲ درصد) از تیمار کشت خالص غیرشور بود (شکل ۱). سامانه بهینه کشت مخلوط موجب افزایش تحمل شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر گردید، به طوری که میزان کاهش وزن خشک سورگوم ناشی از تنش شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کشت خالص ۲۰/۱ درصد بود که در تیمارهای ۲/۳ و ۱/۲ سورگوم به ۱۱/۴ و ۶/۵ درصد کاهش یافت.

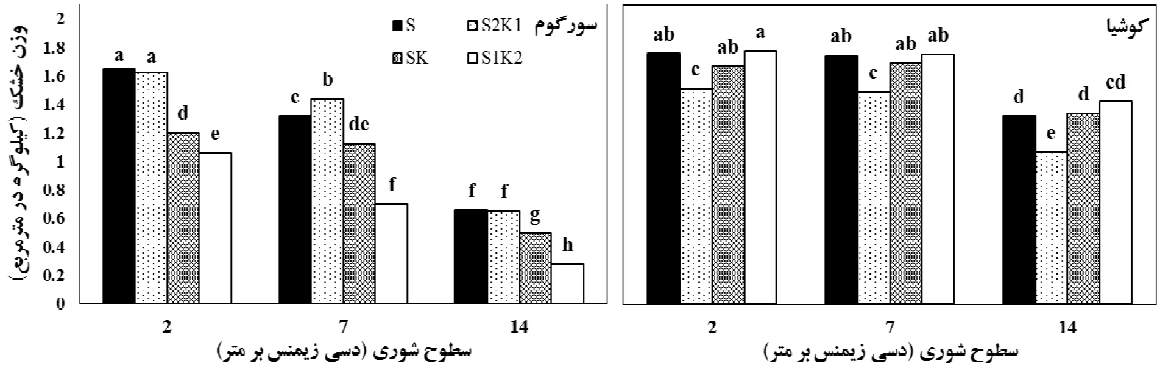
به طور کلی، تفاوت معنی‌داری بین وزن خشک سورگوم در کشت مخلوط بهینه با کشت خالص در شرایط غیرشور مشاهده نشد. در شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر کشت مخلوط با نسبت کشت مناسب (۲/۳ سورگوم) شیوه بهینه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن خشک سورگوم داشت. باتوجه به اینکه سورگوم گیاهی تک‌لپه با ریشه افشان و کوشیا گیاهی دولپه با ریشه‌ای راست است، اختلاف‌های مورفولوژیک موجود در ریشه دو گیاه باعث استفاده بهینه از منابع غذایی موجود در خاک می‌شود. همچنین سورگوم گیاهی کم انشعاب با رشد عمودی و کوشیا گیاهی بسیار منشعب و گسترده است؛ که اختلاف‌های مورفولوژیک در قسمت‌های هوایی دو گیاه باعث نفوذ بهتر نور به درون سایه‌انداز می‌شود [۴، ۱۳ و ۱۷]، این تأثیر باعث کاهش رقابت و استفاده مطلوب‌تر از منابع غذایی موجود در خاک و نور شده و افزایش وزن خشک دو گیاه را در پی دارد.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس غلظت یون‌ها، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و وزن خشک کوشیا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	سدیم / پتاسیم	غلظت کلر	کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربیک پراکسیداز	وزن خشک
سال	۱	۰/۰۴۲ns	۰/۱۳۳ns	۰/۰۳۴ns	۰/۱۴۴ns	۰/۳۲۴ns	۰/۰۸۹ns	۰/۰۰۲ns	۰/۲۵۱ns	۲۲/۴۸ns
بلوک	۲	۰/۱۷۸	۰/۲۱۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۶	۱/۲۱۰	۱/۶۶۷	۰/۰۰۲	۱/۲۱۵	۱۵/۹۸
سال×بلوک	۲	۰/۰۴۳	۰/۲۰۲	۰/۰۴۱	۰/۱۲۲	۱/۲۵۱	۱/۳۳۳	۰/۰۱۵	۱/۲۶۷	۱۱/۶۷
تنش شوری	۲	۰/۳۰۲**	۰/۸۳۳*	۰/۲۷۲**	۰/۸۴۴**	۵/۰۲**	۴/۱۵۲**	۰/۰۶۷**	۴/۳۳۳**	۳۵/۲۵*
سال×شوری	۲	۰/۰۳۵ns	۰/۰۰۷ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۷۸ns	۰/۵۷۴ns	۰/۰۵۴ns	۰/۰۰۱ns	۰/۶۵۱ns	۳/۹۶ns
خطای کرت اصلی	۶	۰/۰۳۳	۰/۱۸۱	۰/۰۳۱	۰/۱۰۱	۰/۶۵۸	۰/۶۶۷	۰/۰۰۸	۰/۵۷۸	۶/۵۱۱
سامانه کشت	۳	۰/۲۶۵ns	۰/۱۱۲ns	۰/۰۳۰ns	۰/۳۷۴*	۰/۳۱۸ns	۱/۷۱۵*	۰/۰۰۲ns	۰/۱۵۱ns	۲۰/۸۴*
شوری×کشت	۶	۰/۱۱۲ns	۰/۷۶۱*	۰/۰۰۲ns	۰/۰۲۲ns	۰/۱۱۴ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۲ns	۱۹/۸۴*
سال×کشت	۳	۰/۳۳۰ns	۰/۱۸۹ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۸۵ns	۰/۲۵۴ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۸۴ns	۰/۲۱۱ns
سال×شوری× کشت	۶	۰/۲۱۱ns	۰/۱۵۵ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۱۶ns	۰/۴۱۲ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۴ns	۰/۱۰۲ns	۱/۲۵۲ns
خطای کرت فرعی	۳۸	۰/۲۷	۰/۱۷۶	۰/۰۲۴	۰/۰۸۱	۰/۳۵۴	۰/۲۹۷	۰/۰۰۳	۰/۷۴۷	۳/۵۰۱
ضریب تغییرات	(٪)	۱۷/۰۴	۱۵/۰۱	۱۳/۸۴	۱۴/۴۰	۱۱/۹۹	۱۴/۹۵	۱۱/۳۶	۱۳/۵۸	۱۲/۰۹

ns: غیرمعنی‌دار؛ * و ** معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

در همه سطوح تنش شوری، تنها کشت مخلوط ۲/۳ سورگوم (۲ قسمت سورگوم و ۱ قسمت کوشیا) وزن خشک کوشیا را تحت تأثیر قرار داد و سایر سامانه‌های کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل ۱). تنش شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر هم در هیچ‌کدام از سامانه‌های کشت تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک کوشیا نداشت؛ به‌طوری‌که وزن خشک کوشیا در تیمارهای کشت خالص، ۱/۳ سورگوم، ۱/۲ سورگوم و ۲/۳ سورگوم به‌ترتیب برابر با ۱/۷۵، ۱/۷۵، ۱/۷۰ و ۱/۵۰ کیلوگرم در مترمربع بود. افت وزن خشک کوشیا در اثر شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از ۲۴/۲ درصد در تیمار کشت خالص (از ۱/۷۶ به ۱/۳۲ کیلوگرم در مترمربع) به ۲۰/۹ درصد (از ۱/۶۷ به ۱/۳۴ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار ۱/۲ سورگوم و به ۱۸/۷ درصد (از ۱/۷۸ به ۱/۴۲ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار ۱/۳ سورگوم کاهش یافت (شکل ۱).



شکل ۱- برهمکنش سامانه کشت (S: کشت خالص سورگوم یا کوشیا، S_2K_1، SK و S_1K_2 به‌ترتیب ۲/۳، ۱/۲ و ۱/۳ سورگوم) و شوری آب آبیاری بر وزن خشک سورگوم و کوشیا (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند).

به نظر می‌رسد کمترین توان رقابتی سورگوم با کوشیا در سامانه کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم بود و با افزایش نسبت سورگوم توان رقابتی کوشیا کاهش می‌یافت. طبق اصل گوس یا طرد رقابتی تا زمانی که دو گونه نیچ مشابهی دارند بقای آن‌ها در کنار هم امکان‌پذیر نیست و گونه ضعیف‌تر در اثر رقابت از محیط حذف می‌شود [۱۷]. بنابراین گیاهانی که قرار است در یک سامانه کشت مخلوط با هم رشد کنند باید تا حد زیادی دارای نیچ متفاوت بوده و نیازهای مختلفی داشته باشند. در این ارتباط؛ اصل تولید رقابتی بیان می‌کند که اگر دو گونه نیچ مشابه ولی نیازهای متفاوت داشته باشند، در این صورت رقابت ضعیفی با یکدیگر داشته و هر دو گونه به طور نامحدودی در محیط باقی مانده و عملکرد بالاتری را تولید خواهند نمود. لازم به ذکر است که در این شرایط رقابت بین‌گونه‌ای کمتر از رقابت درون‌گونه‌ای است [۸].

تنش شوری، وزن خشک هر دو گیاه را کاهش داد، ولی حساسیت سورگوم به طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از کوشیا بود. چنانچه تنش شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر باعث کاهش وزن خشک سورگوم گردید، ولی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک کوشیا نداشت. همچنین همان‌طور که در بالا گفته شد، درصد کاهش وزن خشک در شوری‌های مختلف در سورگوم بیشتر از کوشیا بود. یک اتفاق نظر کلی وجود دارد که مهم‌ترین معیار برای ارزیابی تحمل به تنش شوری میزان افت وزن خشک یا عملکرد دانه است [۲۰]. کوشیا یک گیاه شورزی با تحمل شوری بسیار بالاتر از سورگوم است و مکانیسم‌های مختلفی برای تحمل به تنش دارند [۲۵].

گیاهان به‌طور عمده از دو طریق به بیرون راندن یا بیرون نگه‌داشتن نمک‌ها و یا از طریق واردکردن و کده‌بندی نمک‌ها خود را با تنش شوری وفق می‌دهند. به‌نظر می‌رسد که سورگوم از طریق بیرون نگه‌داشتن نمک‌ها و کوشیا از طریق کده‌بندی نمک‌ها در واکوئل نسبت به شوری متحمل هستند. سازوکار محدودکننده‌ی انتقال یون‌های سدیم و کلر به بخش هوایی گیاه در سطح ریشه عمل می‌کنند [۲۰]. گیاهان گلیکوفیت مانند سورگوم، باید قادر به مقابله با تنش اسمزی حاصل از تجمع نمک در محیط بیرونی باشند؛ که معمولاً برای این کار از تولید متابولیت‌های سازگار کمک می‌گیرند [۲۳]. چون ساخت متابولیت‌های سازگار مستلزم صرف انرژی و کربن است؛ بدین ترتیب کاهش عملکرد این گیاهان در شرایط شور طبیعی خواهد بود [۳۰]، پس سورگوم تحمل کمتری نسبت به کوشیا خواهد داشت. در مقابل، بسیاری از هالوفیت‌ها مانند کوشیا واردکننده‌ی نمک بوده و با جذب نمک‌ها و تجمع آن‌ها در واکوئل برگ‌های بالغ، تنظیم اسمزی می‌نمایند.

این گیاهان نیز ورود سدیم به بافت‌های حساس مانند برگ‌های جوان، گل‌ها و بذرها را محدود می‌کنند. تعادل اسمزی بین سیتوپلاسم و واکوئل و نیز محیط برون سلولی در این گیاهان نیز با ساخت ترکیبات آلی مانند پرولین و ساکارز فراهم می‌شود. چون حجم سیتوپلاسم در یک سلول بالغ نسبت به حجم واکوئل خیلی کوچک است، میزان انرژی و کربن موردنیاز برای ساخت محلول‌های سازگار در گیاهان هالوفیت مانند کوشیا در مقایسه با گیاهان گلیکوفیت مانند سورگوم، که نمک‌ها را برخلاف شیب الکتروشیمیایی بیرون می‌رانند، کمتر خواهد بود [۷ و ۲۷].

اثر متقابل شوری و سامانه کشت بر غلظت یون‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شوری بر غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلر در هر دو گیاه سورگوم (جدول ۳) و کوشیا (جدول ۳) تأثیر معنی‌دار داشت. همچنین اثر اصلی سامانه کشت بر همه صفات سورگوم به جز غلظت پتاسیم و تنها بر غلظت کلر کوشیا معنی‌دار بود. از سوی دیگر، اثر برهمکنش شوری و سامانه کشت بر همه صفات سورگوم به جز غلظت کلر و تنها بر غلظت پتاسیم کوشیا معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴).

غلظت‌های یون سدیم در هر دو گیاه سورگوم و کوشیا تحت تنش شوری افزایش یافت (جدول ۵). شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر با افزایش ۱/۷ برابری غلظت سدیم در گیاه سورگوم و با افزایش ۲۳/۲ درصدی غلظت سدیم در گیاه کوشیا نسبت به شرایط غیرشور همراه بود. از سوی دیگر، بوته‌های سورگوم تحت شوری ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر به میزان ۵/۳ برابر سدیم بیشتری نسبت به بوته‌های شاهد (۲ دسی‌زیمنس برمتر) داشتند. همچنین غلظت

یون سدیم کوشیا در شرایط شوری ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر به میزان ۳۶/۷ درصد بیشتر از بوته‌های شاهد بود (جدول ۵). در جریان بروز اثرات تنش شوری، هرچند با تنظیم اسمزی تا حدی شرایط لازم برای جذب آب فراهم می‌شود، لیکن، این امر با جذب بیشتر عناصر ناخواسته همانند سدیم می‌تواند همراه شود [۹]. زمانی که میزان سدیم در محیط ریشه افزایش می‌یابد، اثرات آن ممکن است منجر به تغییراتی در فشار اسمزی سلول شود. این عامل موجب چروکیدگی سلول و کاهش جذب انتخابی عناصر در ریشه خواهد شد [۹ و ۲۸].

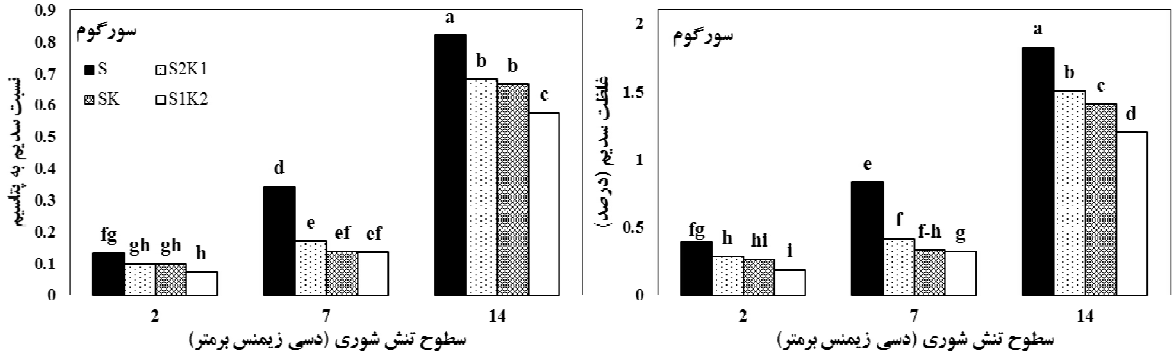
جدول ۵- اثر شوری بر غلظت عناصر در شاخساره سورگوم و کوشیا

شوری ($dS.m^{-1}$)	سدیم (٪)		کلر (٪)		پتاسیم (٪)	
	سورگوم	کوشیا	سورگوم	کوشیا	سورگوم	کوشیا
۲	۰/۲۸c	۲/۵۴b	۰/۸۷c	۱/۲۹c	۲/۷۴a	۳/۰۴a
۷	۰/۴۸b	۳/۱۳a	۱/۵۳b	۲/۰۰b	۲/۴۰ab	۲/۹۶a
۱۴	۱/۴۸a	۳/۴۷a	۲/۴۰a	۲/۶۴a	۲/۱۶b	۲/۳۸b

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

تفاوت بین غلظت سدیم سورگوم در سامانه‌های کشت در شوری‌های متفاوت متغیر بود (شکل ۲). در شرایط شور و غیرشور، سامانه کشت مخلوط توانست غلظت سدیم سورگوم را کاهش دهد که این کاهش در شرایط شور بیشتر شد. غلظت یون سدیم در بوته‌های کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم در شرایط غیرشور به میزان ۵۲/۶ درصد کمتر از کشت خالص بود، در حالی که این تفاوت در شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر به ۶۱/۳ درصد رسید.

همچنین کشت مخلوط اثر تنش شوری را کاهش داد، به طوری که درصد افزایش غلظت سدیم ناشی از تنش شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر نسبت به شرایط غیرشور در کشت مخلوط ۲/۱ برابر بود، در حالی که در سامانه‌های کشت مخلوط ۲/۳، ۱/۲ و ۱/۳ سورگوم به‌ترتیب به ۱/۵، ۱/۳ و ۱/۷ برابر تنزل یافت (شکل ۲).



شکل ۲- برهمکنش سامانه کشت (S: کشت خالص سورگوم یا کوشیا، S_2K_1، SK و S_1K_2 به‌ترتیب ۲/۳، ۱/۲ و ۱/۳ سورگوم) و شوری آب آبیاری بر غلظت یون سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم شاخساره سورگوم (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند).

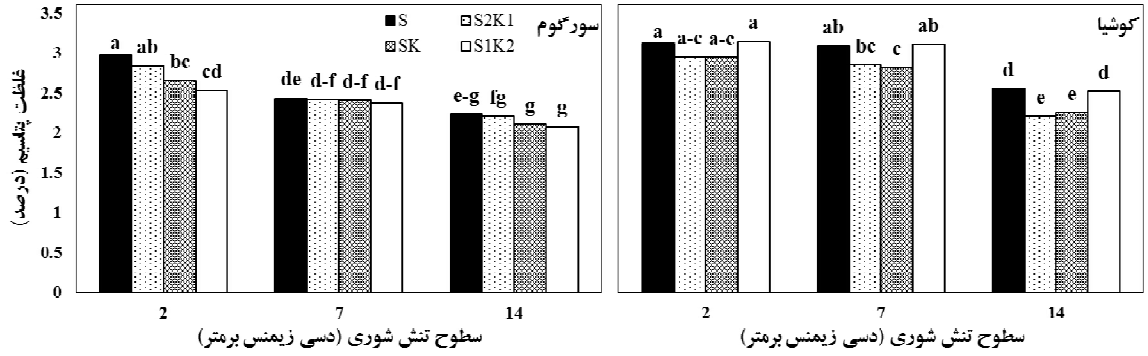
اثر سمیت کلریدسدیم ناشی از انباشته شدن زیاد نمک در گیاه، ممکن است تنها به‌دلیل اثرات مستقیم یون سدیم نباشد، بلکه به‌دلیل کاهش جذب عناصر غذایی ضروری مانند پتاسیم باشد [۱۳]. در کشت مخلوط در

شرایط شور به‌دلیل کاهش محتوای پتاسیم خاک، رقابت بین دو گیاه برای جذب پتاسیم تشدید می‌شود. این موضوع در مورد همه عناصر غذایی که در خاک دچار کمبود هستند، رخ می‌دهد. به هم خوردن نسبت‌های یونی در گیاه در شرایط تنش شوری، حاصل تداخل جذب سدیم با پتاسیم است. تشابه بین شعاع یون هیدراته سدیم و پتاسیم، عمل تمایز بین این دو یون را برای پروتئین‌های ناقل مشکل ساخته و بدین ترتیب سمیت سدیم اتفاق می‌افتد [۲۸]. بنابراین حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم در سیتوزول یک نیاز اساسی برای رشد گیاه در تنش‌های بالای شوری است [۹].

کشت مخلوط گندمیان با سایر گیاهان به‌دلیل تفاوت در توسعه ریشه آن‌ها و درنتیجه متفاوت بودن منطقه جذب عناصر غذایی پیشنهاد شده است. ریشه سطحی و افشان گیاهانی مانند سورگوم و ریشه راست و عمقی گیاهان دولپه مانند کوشیا ازنظر دسترسی به عناصر غذایی و یون‌های موجود در خاک در سطوح مختلف متفاوت‌اند [۸]. به‌علاوه دو گیاه مناسب برای کشت مخلوط، ازنظر نوع عناصر غذایی موردنیاز و قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن نیز بایستی متفاوت باشند [۲۹].

شوری موجب کاهش معنی‌دار غلظت یون پتاسیم در هر دو گیاه سورگوم و کوشیا شد (جدول ۵). تنش شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر با کاهش غلظت پتاسیم از ۲/۷۵ درصد در تیمار شاهد به‌ترتیب به ۲/۴۰ و ۲/۱۶ درصد به ترتیب موجب کاهش ۱۲/۶ و ۲۱/۵ درصدی پتاسیم در سورگوم و کاهش ۲/۵ و ۲۱/۶ درصدی غلظت پتاسیم در گیاه کوشیا گردید. غلظت پتاسیم در شاخساره کوشیا از ۳/۰۴ درصد در تیمار شاهد به ۲/۹۶ و ۲/۳۸ درصد به‌ترتیب در تیمارهای شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش پیدا کرد. کاهش پتاسیم، به‌دلیل کاهش ظرفیت گیاه برای تعادل اسمزی و حفظ فشار آماس یا تأثیر منفی برای عملکرد متابولیت‌ها باعث کاهش رشد می‌شود [۹ و ۲۸]. مقدار پتاسیم گیاه در غلظت‌های زیاد نمک، یک مزیت است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای انتخاب گیاهان ازنظر تحمل به شوری به کار رود [۱۰] و تأثیر مهمی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد.

تنها در شرایط غیرشور، بوته‌های سورگوم در تیمارهای کشت مخلوط ۱/۲ و ۱/۳ سورگوم دارای غلظت پتاسیم کمتری بودند. در شرایط شور، تفاوت معنی‌داری بین کشت خالص و کشت‌های مخلوط مشاهده نشد (شکل ۳). تأثیر منفی شوری بر غلظت پتاسیم سورگوم در شرایط کشت مخلوط کاهش یافت، به‌طوری‌که درصد کاهش پتاسیم در کشت مخلوط در شرایط شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۸/۲ و ۲۴/۹ درصد بود که این کاهش در سامانه‌های کشت مخلوط ۲/۳ سورگوم به‌ترتیب به ۱۵/۱ و ۲۲/۲ درصد، کشت مخلوط ۱/۲ سورگوم به‌ترتیب به ۹/۴ و ۲۰/۴ درصد و کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم به ترتیب به ۶/۳ و ۸۱۷ درصد رسید (شکل ۳).



شکل ۳. برهمکنش سامانه کشت (S: سورگوم خالص سورگوم یا کوشیا، S_2K_1، SK و S_1K_2 به‌ترتیب ۲/۳، ۱/۲ و ۱/۳ سورگوم) و شوری آب آبیاری بر غلظت یون پتاسیم سورگوم (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند).

در شرایط غیرشور، تفاوت معنی‌داری بین غلظت پتاسیم کوشیا در تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط مشاهده نشد (شکل ۳)، در حالی که در شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر همه تیمارهای کشت مخلوط به جز ۱/۲ سورگوم و در شرایط شوری ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر تیمارهای کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم دارای غلظت پتاسیم برابری نسبت به شاهد بودند. بیش‌ترین غلظت پتاسیم کوشیا در تیمار کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم در شرایط غیرشور (۳/۱۴ درصد) و کمترین آن در تیمار کشت مخلوط ۲/۳ سورگوم در شرایط شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر (۲/۲۱ درصد) به‌دست آمد (شکل ۳).

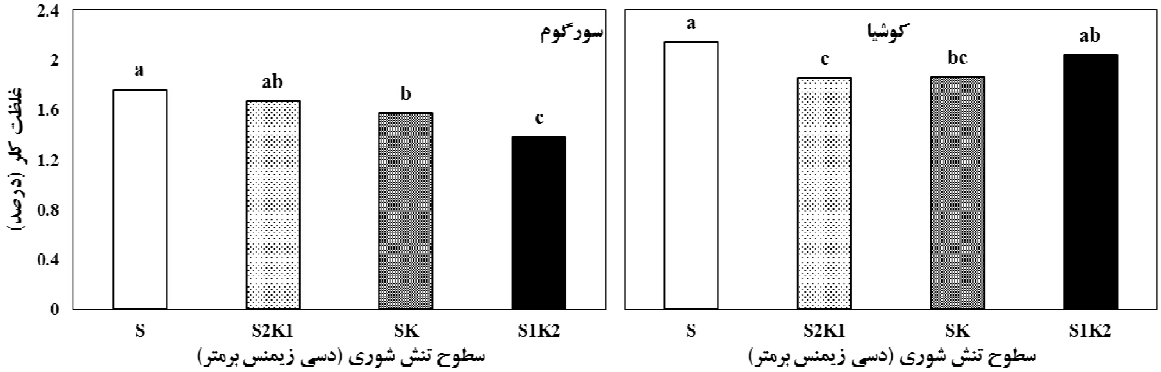
باتوجه به اینکه شوری موجب افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم شد، نسبت سدیم به پتاسیم نیز افزایش یافت (جدول ۵). نسبت سدیم به پتاسیم تحت تأثیر تنش شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد در سورگوم به ترتیب ۱/۹۵ و ۶/۷۷ برابر و در کوشیا ۱/۲۶ و ۱/۷۵ برابر گردید. نسبت Na/K در گیاهان به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم برای جداسازی گونه‌های متحمل از حساس گزارش شده است [۱۲]. برخی مطالعات این نسبت را مهم‌تر از غلظت هر کدام از عناصر به‌طور مطلق شناسایی کرده‌اند. پایین بودن نسبت سدیم به پتاسیم به معنی کم بودن سمیت سدیم یا تحمل بالای گونه گیاهی موردنظر می‌باشد [۱۳].

در شرایط غیرشور، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای بین نسبت سدیم به پتاسیم سورگوم در تیمارهای کشت مخلوط (بین ۰/۰۷ تا ۰/۱۳) مشاهده نشد (شکل ۲)، درحالی‌که در شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر نسبت سدیم به پتاسیم در کشت خالص (۰/۳۴) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای کشت مخلوط (به‌طور میانگین ۰/۱۵) بود، با این وجود نسبت سدیم به پتاسیم در بین تیمارهای کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط شوری ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر، بیشترین و کمترین نسبت سدیم به پتاسیم به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم و کشت خالص سورگوم برابر با ۰/۵۸ و ۰/۸۲ به‌دست آمد، که به طور معنی‌داری با سایر تیمارها متفاوت بودند (شکل ۲). بنابراین، مشخص شد که کشت مخلوط با تغییر جذب یون‌های سدیم و پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم را تغییر می‌دهد که می‌تواند با تحمل به شوری در ارتباط باشد. بیشتر گیاهان حتی گونه‌های کم تحمل به شوری، این جذب گزینشی بیشتر پتاسیم در مقایسه با سدیم را در شوری‌های کم تا متوسط (۲ و ۷ دسی‌زیمنس برمتر در پژوهش حاضر) دارا بوده و ترجیحی یون پتاسیم را به جای سدیم در سلول‌های خود ذخیره می‌نمایند [۱۷].

از این دیدگاه نسبت سدیم به پتاسیم و یا برعکس نسبت پتاسیم به سدیم می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب در مورد اثر متضاد سدیم و پتاسیم در گیاه مطرح باشد. این نسبت در بافت گیاه به‌عنوان شاخص سمیت سدیم بکار برده می‌شود [۱۳]. بدین ترتیب می‌توان گفت که در کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم که بیش‌ترین تراکم کوشیا حضور داشت، کمترین شاخص سمیت سدیم به‌دست آمد. این موضوع می‌تواند به جذب بالای سدیم توسط ریشه‌های کوشیا به‌عنوان یک گیاه هالوفیت نسبت داده شود.

نتایج نشان داد که غلظت یون کلر تحت تنش شوری افزایش معنی‌داری را در هر دو گیاه سورگوم و کوشیا تجربه کرد (جدول ۵). شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر با افزایش ۱/۸ و ۱/۶ برابری غلظت کلر به‌ترتیب در سورگوم و کوشیا همراه بود. همچنین، بوته‌های سورگوم و کوشیا تحت شوری ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر به‌ترتیب به میزان ۲/۷ و ۲/۱ برابر کلر بیشتری نسبت به بوته‌های شاهد داشتند. کشت مخلوط موجب کاهش معنی‌دار غلظت کلر در هر دو گیاه سورگوم و کوشیا گردید (شکل ۴). کمترین غلظت کلر شاخساره سورگوم در تیمار ۱/۳ سورگوم و کمترین غلظت کلر شاخساره کوشیا در تیمار ۲/۳ سورگوم به‌دست آمد که به‌ترتیب ۲۱/۷ و ۱۴/۸ درصد کمتر از تیمار کشت خالص بودند. غلظت کلر در تیمار کشت خالص در سورگوم با تیمار ۲/۳ سورگوم و در کوشیا با تیمار ۱/۳ سورگوم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴). اگرچه اختلافاتی در بین گونه‌ها ازنظر توانایی بیرون راندن یون کلر وجود دارد، ولی سازوکارهای محدودکننده‌ی انتقال کلر از ریشه به شاخساره در سطح ریشه عمل می‌کنند [۲۰]. در گیاهان با سازوکار محدودیت انتقال کلر به شاخساره، توانایی مقابله با تنش اسمزی حاصل از تجمع نمک در محیط بیرونی با استفاده از تولید متابولیت‌های سازگار وجود دارد [۲۳ و ۳۰]. کاهش معنی‌دار سطح برگ با افزایش شوری به علت

اثر سمی یون‌های کلر و سدیم در متابولیسم گیاهی و عدم توازن عناصر یا کاهش دسترسی به آب برای رشد متعادل است [۲۶]. تحت تأثیر افزایش شوری خاک، میزان کلر در پهنک برگ و در سلول‌های مزوفیل و غلاف آوندی افزایش می‌یابد [۱۰]. به‌نظر می‌رسد در شرایط شور پتاسیم بیشتری توسط گیاه جذب گردد که می‌تواند نقش خنثی کننده‌گی کلر را داشته باشد [۱۰ و ۲۰].



شکل ۴. اثر سامانه‌های کشت (S: سورگوم خالص، S_2K_1، SK و S_1K_2 به‌ترتیب ۲/۳، ۱/۲ و ۱/۳ سورگوم و K: کوشیا خالص) بر غلظت یون کلر سورگوم و کوشیا. (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند).

اثر متقابل شوری و سامانه کشت بر آنزیم‌های آنتی-اکسیدان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تنش شوری بر همه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در هر دو گیاه سورگوم و کوشیا معنی‌دار گردید (جدول‌های ۳ و ۴)، در حالی که سامانه کشت بر فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز سورگوم و تنها بر آنزیم پراکسیداز کوشیا تأثیر معنی‌دار داشت.

تنش شوری فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز را در هر دو گیاه سورگوم و کوشیا افزایش داد (جدول ۶). تنش شوری ۷ دسی‌زیمنس برمتر موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به میزان ۶۷/۱ و ۱۵۵/۰ درصد به ترتیب در گیاه سورگوم و کوشیا شد. با تشدید شوری، افزایش فعالیت این آنزیم نیز بیشتر شد، به طوری که با افزایش تنش شوری به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد با ۸۷/۸ و ۲۳۶/۵ درصد افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز به ترتیب در سورگوم و کوشیا همراه بود. تنش‌های محیطی موجب افزایش تولید گونه‌های آزاد اکسیژن[۳] (ROS) در گیاهان می‌شود و گیاهان برای کم کردن تأثیر مضر ROSها از سازوکارهای متفاوتی ازجمله تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برخوردار هستند که در این میان کاتالاز و پراکسیداز با غیرفعال سازی پراکسیدهیدروژن بیش‌ترین تأثیر را دارند [۲۴]. آنزیم کاتالاز قادر است پراکسید هیدروژن تولیدی در اندامک‌ها و سیتوزول را به آب و اکسیژن تبدیل کنند و موجب کاهش خسارت اکسیداتیو می‌شود [۱]. افزایش پراکسید هیدروژن در شرایط شور با افزایش غلظت مالون دی‌آلدهید باعث پراکسیداسیون لیپیدها و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود. دخالت در تنظیم مقادیر مناسب از پراکسید هیدروژن به‌صورت تجزیه مقادیر اضافی پراکسید هیدروژن به عهده آنزیم کاتالاز است، که موجب کاهش خسارت به دیواره سلولی و پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردد [۶ و ۲۶].

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز تنها در گیاه سورگوم تحت تأثیر سامانه‌های کشت قرار گرفت. بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز سورگوم در تیمار ۱/۳ سورگوم به دست آمد که به میزان ۱۳/۱ درصد بیشتر از کشت خالص بود (جدول ۷). شبیری و همکاران (۲۰۱۵) [۲۹] 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

[3]- Reactive oxygen species

پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و فعالیت آن در هنگام افزایش پراکسید هیدروژن در گیاهان که به علت شرایط تنش، به‌ویژه تنش‌های محیطی ایجاد شده است، افزایش می‌یابد [۱۹ و ۲۰].

فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تنش شوری افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۶). تنش شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش فعالیت این آنزیم به ترتیب به میزان ۵۸/۷ و ۷۶/۴ درصد در سورگوم شد. مراتب افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان در کوشیا نیز تقریباً مشابه با سورگوم بود، به طوری‌که سطوح شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب با ۵۴/۷ و ۷۷/۴ درصد افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در کوشیا همراه بود. گونه‌های فعال اکسیژن مانند H_2O_2 در شرایط تنش شوری تولیدشده و به ساختار گیاه آسیب می‌رسانند و در مقابل گیاهان بسته به شدت 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 [۱۹]. آنزیم پراکسیداز واکنش اکسیداسیون برخی از ترکیبات فنلی به هزینه هیدروژن پراکسید را بر عهده دارد [۲۴].

فعالیت آنزیم پراکسیداز در هر دو گیاه سورگوم و کوشیا تحت تأثیر سامانه‌های کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۷). اگرچه به طور کلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه کوشیا نسبت به کشت مخلوط تقریباً بی‌تفاوت بود، ولی تنها فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر قرار گرفت. بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در سورگوم در تیمار ۱/۳ سورگوم و در کوشیا در تیمار ۲/۳ سورگوم مشاهده شد که به ترتیب به میزان ۴/۰ و ۱۲/۳ درصد بیشتر از کشت خالص بودند (جدول ۷). 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 [۱۰].

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 [۲۴]. در یک مطالعه تنش شوری موجب افزایش تولید ROS گردید، که بوته‌های جو برای کم کردن تأثیر مضر ROSها از سازوکارهای متفاوتی ازجمله تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیداز از طریق غیرفعال سازی پراکسیدهیدروژن استفاده کردند [۲۴]. همچنین افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان در شرایط شور در آزمایش‌های دیگر نیز بر روی گونه‌های مختلف نشان داده‌شده است [۱، ۶و ۲۲].

اعمال و تشدید تنش شوری، تأثیر فزاینده‌ای بر فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز داشت (جدول ۶). تنش شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به میزان ۸۱/۲ درصد در سورگوم و ۳/۱۹ برابر نسبت شاهد در کوشیا گردید. با افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر این تحریک فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر شد، به طوری که شوری ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر با افزایش ۸۵/۵ درصدی و ۴/۰۶ برابری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب در سورگوم و کوشیا همراه بود (جدول ۶).

یکی از مؤثرترین آنتی‌اکسیدان‌های درون‌سلولی سوپراکسید دیسموتاز است. بسیاری از پژوهشگران آن را قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان شناخته شده می‌دانند که سبب پایداری گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های محیطی می‌شود [۳ و ۲۴]. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تنها در سورگوم در بین سامانه‌های کشت مخلوط متفاوت بود، و در کوشیا تحت تأثیر معنی‌دار کشت مخلوط قرار نگرفت (جدول ۷). بوته‌های سورگوم در کشت خالص کمترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را داشتند که با تیمارهای کشت مخلوط ۲/۳ و ۱/۲ سورگوم تفاوت معنی‌داری نداشت. با این وجود، بیش‌ترین فعالیت این آنزیم در تیمار ۱/۳ سورگوم به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارهای سامانه کشت بیشتر بود. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سورگوم به میزان ۱۴/۵ درصد کمتر از کشت مخلوط ۱/۳ سورگوم بود

(جدول ۷). نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین در مورد افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در بوته‌های گیاهان گندم [۱]، برنج [۱۵]، کلزا [۱۶]، جو [۲۲ و ۲۹] و خلر [۲۹] مطابقت دارد. تنش شوری از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن مانند سوپراکسید، پراکسید یدروژن و رادیکال‌های اکسیژن باعث ایجاد خسارت اکسیداتیو می‌شود که این ترکیبات باعث آسیب سلول‌های گیاه می‌شوند [۶].

در پاسخ گیاهان متحمل به شوری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان اولین سد دفاعی در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن فعالیت می‌کند. به‌عنوان‌مثال، این آنزیم رادیکال سوپراکسید را در اولین مرحله به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌شوند و سپس آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات در اندامک‌ها و سیتوزول پراکسیداز پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل کنند و اثرات مخرب آن را کاهش می‌دهند [۲۳ و ۲۷].

فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز مانند سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با اعمال تنش شوری تحریک شد (جدول ۶) که نسبت به سایر آنزیم‌ها پاسخ بیشتری از خود نشان داد. شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر موجب افزایش ۱/۰۲ و ۱/۵۴ برابری در سورگوم و افزایش ۲/۴۶ و ۲/۹۴ برابری فعالیت این آنزیم در کوشیا شد. آنزیم آسکوربیک پراکسیداز از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های مؤثر در مقابله با تنش خشکی است [۲۳]. از آنجا که آسکوربیک پراکسیداز با کمک آسکوربیک اسید باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود، بنابراین بالاتر بودن فعالیت این آنزیم به معنی حذف بیشتر رادیکال‌های اکسیژن و درنتیجه کاهش مرگ سلولی و افزایش تحمل به تنش است [۲]. آسکوربیک پراکسیداز، به‌دلیل فعالیت زیاد، دارای بیش‌ترین توانایی در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است، که در مطالعات انجام شده این موضوع به‌طور آشکار مشخص شده است [۲۳].

جدول ۶. تأثیر تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (U/mg protein) دو گیاه سورگوم و کوشیا

شوری آب آبیاری (dS m^{-1})	کاتالاز		پراکسیداز		سوپراکسید دیسموتاز		آسکوربیک پراکسیداز	
	سورگوم	کوشیا	سورگوم	کوشیا	سورگوم	کوشیا	سورگوم	کوشیا
۲	۰/۶۸ c	۲/۱۵ c	۰/۴۶ c	۲/۵۳ c	۰/۰۴۷ b	۰/۱۴ c	۰/۵۲ c	۲/۲۷ c
۷	۱/۱۳ b	۵/۵۹ b	۰/۷۳ b	۳/۹۱ b	۰/۰۸۴ a	۰/۵۹ b	۱/۰۵ b	۷/۸۶ b
۱۴	۱/۲۷ a	۷/۲۴ a	۰/۸۱ a	۴/۴۹ a	۰/۰۸۶ a	۰/۷۱ a	۱/۳۳ a	۸/۹۶ a

میانگین‌های با حداقل یک حرف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۷. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (U/mg protein) دو گیاه سورگوم و کوشیا در سامانه‌های کشت مخلوط

شوری آب آبیاری (dS m^{-1})	کاتالاز		پراکسیداز		سوپراکسید دیسموتاز		آسکوربیک پراکسیداز	
	سورگوم	کوشیا	سورگوم	کوشیا	سورگوم	کوشیا	سورگوم	کوشیا
کشت خالص	۱/۰۰۳c	۴/۸۷a	۰/۶۶۷b	۳/۵۱۴b	۰/۰۶۹b	۰/۴۷۴a	۰/۹۵a	۶/۳۱a
۲/۳ سورگوم	۱/۰۰۴c	۵/۰۴a	۰/۶۵۷b	۳/۹۴۷a	۰/۰۷۱b	۰/۴۷۶a	۰/۹۳a	۶/۴۵a
۱/۲ سورگوم	۰/۹۶۱b	۵/۰۶a	۰/۶۶۴b	۳/۵۳۱b	۰/۰۷۰b	۰/۴۸۸a	۰/۹۵a	۶/۳۳a
۱/۳ سورگوم	۱/۱۳۵a	۴/۸۸a	۰/۶۹۲a	۳/۵۸۹b	۰/۰۷۹a	۰/۴۹۱a	۱/۰۳a	۶/۳۳a

میانگین‌های با حداقل یک حرف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

نتایج نشان داد که وزن خشک سورگوم با همه صفات همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۸). بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار مثبت و منفی با وزن خشک سورگوم به‌ترتیب مربوط به صفات غلظت پتاسیم (**۰/۸۸۷+) و فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز (**۰/۸۰۶-) بود. نتایج همچنین حاکی از همبستگی معنی‌دار بین همه صفات اندازه‌گیری شده به جز آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربیک پراکسیداز با وزن خشک کوشیا بود؛ که

بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار مثبت و منفی به ترتیب مربوط به صفات غلظت پتاسیم (**۰/۹۲۲+) و نسبت سدیم به پتاسیم (**۰/۸۳۵-) بود (جدول ۸). این موضوع نشان‌دهنده تأثیر منفی سدیم بر رشد هر دو گیاه است. مطالعات نشان می‌دهد که افزایش غلظت نمک کلرور سدیم در محیط رشد گیاهان باعث افزایش غلظت سدیم می‌گردد. غلظت‌های بالای نمک می‌تواند یک اثر رقابتی را در جذب یون‌ها به وجود بیاورد. به‌عنوان‌مثال، در غلظت بالای نمک، غلظت یون پتاسیم در گیاه کاهش می‌یابد و باعث کاهش جذب آن می‌گردد [۲۸].

به طور معمول، در غلظت‌های بالای نمک، میزان سدیم درون سیتوپلاسم کاهش می‌یابد و با ثابت ماندن غلظت یون پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم کاهش می‌یابد؛ که این سازوکار تا حدودی در مقابله با تاثیر سوء ناشی از تنش شوری مؤثر است [۲۰]. بنابراین حفظ نسبت پایین سدیم به پتاسیم در سیتوزول یک نیاز اساسی برای رشد گیاه در تنش‌های بالای شوری است که می‌تواند معیار مناسبی برای گزینش تحمل به شوری باشد [۹].

جدول ۸. نتایج تجزیه برآورد ضرایب همبستگی بین همه صفات در سورگوم (پایین قطر) و کوشیا (بالای قطر)

	غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	سدیم به پتاسیم	غلظت کلر	کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربیک پراکسیداز	وزن خشک
غلظت سدیم		-۰/۷۲۱**	۰/۹۰۵**	۰/۹۸۹**	۰/۹۷۸**	۰/۹۱۹**	۰/۹۷۱**	۰/۹۶۰**	-۰/۵۹۷*
غلظت پتاسیم	-۰/۷۰۷*		-۰/۹۳۴**	-/۷۲۰**	-۰/۷۷۵**	-۰/۷۱۹**	-۰/۶۷۷*	-/۶۵۰*	۰/۹۲۲**
سدیم به پتاسیم	۰/۹۸۸**	-۰/۷۴۴**		۰/۹۱۶**	۰/۹۳۴**	۰/۸۶۷**	۰/۸۷۳**	۰/۸۵۰**	-۰/۸۳۵**
غلظت کلر	۰/۹۳۸**	-۰/۸۲۲**	۰/۹۴۴**		۰/۹۵۱**	۰/۸۹۰**	۰/۹۳۰**	۰/۹۱۴**	-۰/۶۲۸*
کاتالاز	۰/۶۷۱*	-۰/۸۹۶**	۰/۶۹۵*	۰/۸۲۰**		۰/۹۴۶**	۰/۹۸۶**	۰/۹۷۹**	-۰/۶۶۹*
پراکسیداز	۰/۷۲۳**	-۰/۹۲۲**	۰/۷۴۳**	۰/۸۸۲**	۰/۹۷۳**		۰/۹۴۱**	۰/۹۳۸**	-۰/۶۸۴*
سوپراکسید دیسموتاز	۰/۵۶۵	-۰/۸۸۹**	۰/۵۰۸	۰/۷۶۰**	۰/۹۶۸**	۰/۹۷۵**		۰/۹۰۶**	-۰/۵۷۰
آسکوربیک پراکسیداز	۰/۷۷۶**	-۰/۹۲۳**	۰/۷۹۷**	۰/۹۰۵**	۰/۹۷۳**	۰/۹۸۸**	۰/۹۴۸**		-۰/۵۵۴
وزن خشک	-۰/۶۸۳*	۰/۸۸۷*	-۰/۷۲۳**	-۰/۶۸۴*	-۰/۷۷۰**	-۰/۷۵۰**	-۰/۷۰۶*	-۰/۸۰۶**	

* و ** معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اگرچه تنش شوری ۷ و ۱۴ دسی-زیمنس برمتر کاهش وزن خشک و غلظت یون پتاسیم و افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در هر دو گیاه سورگوم و کوشیا به دنبال داشت، ولی این کاهش به شدت تنش، گونه گیاهی و سیستم کشت وابسته بود، که تحمل به شوری کوشیا به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از سورگوم بود. از دیگر سو، مشخص شد که حساسیت کوشیا نسبت به رقابت بین‌گونه‌ای در سامانه‌های کشت مخلوط کمتر از سورگوم بود و شیوه بهینه کشت مخلوط برای سورگوم تیمار ۲/۳ سورگوم و برای کوشیا ۱/۳ سورگوم بود. همچنین می‌توان گفت که شیوه بهینه کشت مخلوط به‌طور مشخص تحمل به شوری سورگوم را افزایش داد، ولی تأثیر چندانی بر تحمل به شوری کوشیا نداشت. باتوجه به تغییرات غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر تنش شوری که در دو گیاه متفاوت بود، به نظر می‌رسد که سورگوم بیشتر با تحریک سیستم آنتی‌اکسیدان و مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن در جهت تعدیل تنش اکسیداتیو و کوشیا با توزیع یونی در بافت‌ها از طریق کاهش انتقال به شاخساره یا توزیع یونی در اندامک‌ها از طریق تجمع نمک در واکوئل به تنش شوری تحمل داشتند.

References

[1]. Afridi, M.S., Mahmood, T., Salam, A., Mukhtar, T., Mehmood, S., Ali, J. and Chaudhary, H.J. (2019). Induction of tolerance to salinity in wheat genotypes by plant growth promoting endophytes: Involvement of ACC deaminase and antioxidant enzymes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139: 569-577.

[2]. Ahmadi, A., Gomaryan, M., Toranjzar, H. and Ahmadloo, H. (2016). Changes in chemical composition and nutritive value of four halophyte shrubs at three phonological stages (Case study: marginal rangelands of Mighan playa). *Journal of Rangeland*, 10: 41-52. (in Farsi).

[3]. Barati, S., Basiri, M., Vahabi, M.R., Mosadeghi, M.R. and Takesh, M. (2015). Yield evaluation of *Medicago sativa* L. and *Bromus tomentellus* in mono-cropping and intercropping. *Journal of Rangeland*, 8(4): 318-327. (in Farsi).

[4]. Barati, S., Basiri, M., Vahabi, M.R., Mosadeghi, M.R. and Takesh, M. (2016). Effects of mono- and mixed culture on crude protein content of *Medicago sativa* L. and *Bromus tomentellus* Boiss. and on some soil elements. *Journal of Rangeland*, 10: 135-143. (in Farsi).

[5]. Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase, improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44: 276-287.

[6]. Burella, P.M., Odetti, L.M., Simoniello, M.F. and Poletta, G.L. (2018). Oxidative damage and antioxidant defense in *Caiman latirostris* (Broad-snouted caiman) exposed in ovo to pesticide formulations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 161: 437-443.

[7]. Chance, B. and Maehly, A.C. (1995). Assay of catalase and peroxidase. In Culowic, S.P. and Kaplan, N.O. (eds.), Methods in Enzymology. Academic Press Inc. New York. pp. 764-765.

[8]. Duchene, O., Vian, J.F. and Celette, F. (2017). Intercropping with legume for agroecological cropping systems, complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 240: 148-161.

[9]. Farajian Mashhadi, M.A., Kafi, M. and Nezami, A. (2013). Intercropping of kochia (*Kochia scoparia* L.) with blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz.) under irrigation with saline water. *Agroecology*, 5: 153-160.

[10]. Flowers, T.J. and Colmer, T.D. (2015). Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Annals of Botany*, 115(3): 327-331.

[11]. Fouman, A., Mokhtarzadeh, A.A., Beheshti, S.A.R., Shiri, M.R., Raahnama, A.A., Nadali-Fatemeh, A., Nourmohammadi, S. and Hasanzadeh-Moghadam, H. (2008). Cultivar release Pegah, a new forage sorghum cultivar. *Seed and Plant*, 24: 367-371.

[12]. Gabriel, J. L., Almendros, P., Hontoria, C. and Quemada, M. (2012). The role of cover crops in irrigated systems: soil salinity and salt leaching. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 158: 200-207.

[13]. Ghaffarian, M.R., Yadavi, A., Dehnavi, M.M., Nassab, A.D.M. and Salehi, M. (2020). Improvement of physiological indices and biological yield by intercropping of kochia (*Kochia scoparia*), sesbania (*Sesbania aculeata*) and Gguar (*Cyamopsis tetragonoliba*) under the salinity stress of irrigation water. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(7): 1319-1330.

[14]. Hashemi, S.E., Emam Y. and Pirasteh-Anosheh, H. (2018). Responses of germination, early growth and phenology of barley to salicylic acid under salinity stress conditions. *Cereal Research*, 7: 579-590.

[15]. Kabria, M.G., Hossain, M., Murata, Y. and Hoque, M.A. (2017). Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. *Rice Science*, 24: 155-162.

[16]. Kazemeini, S.A. and Pirasteh-Anosheh, H. (2016). Ionic and growth response of rapeseed Sarigol cv. to varied level of salt stress at different growth stages. *Journal of Oil Plant Production*, 2: 47-58.

[17]. Larocque, G.R., Luckai, N., Adhikary, S.N., Groot, A. and Sharma, M. (2012). Competition theory science and application in mixed forest stands: review of experimental and modelling methods and suggestions for future research. *Environmental Reviews*, 21: 71-84.

[18]. Maas, E.V. and Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 103, 115-134.

[19]. Moameni, A, (2010). Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. *Soil Research Journal*, 24, 203-215.

[20]. Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.

[21]. Nakano, Y. and Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22, 867–880.

[22]. 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.

[23]. Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Pakniyat, H. and Emam, Y. (2016). Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants; an overview. In Azooz, M.M. and Ahmad, P. (eds.), Plant-environment interaction: responses and approaches to mitigate stress. London: John Wiley and Sons, pp. 141-160.

[24]. Ranjbar, G. and Pirasteh-Anosheh, H. (2015). A glance to the salinity research in Iran with emphasis on improvement of field crops production. Iranian *Journal of Crop Sciences*, 17, 165-178. (in Farsi).

[25]. Ranjbar, G.H., Ghadiri, H., Razzaghi, F., Sepaskhah, A.R. 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.

[26]. Rehman, S., Abbas, G., Shahid, M., Saqib, M., Farooq, A.B.U., Hussain, M. and Farooq, A. (2019). Effect of salinity on cadmium tolerance, ionic homeostasis and oxidative stress responses in conocarpus exposed to cadmium stress: Implications for phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 146-153.

[27]. Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., Pirasteh-Anosheh, H. and Azooz, M.M. (2014). Role of ROS as signaling molecules in plants. In Ahmad, P. (ed). Oxidative damage to plants, antioxidant networks and signaling. New York: Elsevier, pp. 585-620

[28]. Schwinghamer, T.D. and Van Acker, R.C. (2009). Emergence timing and persistence of kochia (*Kochia scoparia*). *Weed Science*, 56, 37-41.

[29]. Shobeiri, S.S., 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.

[30]. Silva, M.L.D.S., Sousa, H.G.D., Silva, M.L.D.S., Lacerda, C.F.D. and Gomes-Filho, E. (2019). Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. *Acta Scientiarum Agronomy*, 41:1-9.

The effects of salt stress on some physiological characteristics and dry weight in sorghum (*Sorghum bicolor*) and kochia (*Bassia indica*) intercropping

1-Hadi Pirasteh-Anosheh, Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.
h.pirasteh@areeo.ac.ir
2- Gholamhassan Ranjbar, Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.
3- Seyed Ali Tabatabaei, Associate Professor, Department of Agronomy and Horticulture Researches, Yazd Agricultural and Natural Resources and Education Center, AREEO, Yazd, Iran.

Received: 05 Mar 2020
Accepted: 24 Nov 2020

Abstract

Due to the scarcity of water resources, the use of saline water to cultivate forage halophytes is a practical solution. However, the main problem of forage of halophytes is their low energy content and high salt. In these conditions, mixed consumption and halophytes-crops intercropping can be useful. The current research was carried out in order to evaluate the effect of salinity of irrigation water on growth and some physiological characteristics in different ratios of sorghum-kochia intercropping in the National Salinity Research Center. The treatments included three levels of salt stress: 2, 7 and 14 dS m^{-1} in the main plots and five planting systems: sole sorghum, ⅔ sorghum (2 parts sorghum, 1 part kochia), ½ sorghum (1 part sorghum, 1 part kochia), ⅓ sorghum (1 part sorghum, 1 parts kochia) and sole kochia in the sub plots arranging in a split plot experiment based on randomized block design. Results showed that salinity, depended on the severity, significantly changed growth and physiological characteristics in both sorghum and kochia. Salinity at 14 dS m^{-1} was associated with reduction in dry weight (62%) and K^+ concentration (22%) and increasing Na^+ concentration (427%), Cl^- concentration (175%) and activity of catalase (88%), peroxidase (77%), superoxide dismutase (86%) and ascorbic peroxidase (154%) in sorghum. These increasing and decreasing were less in kochia (23%, 22%, 37%, 105%, 237%, 77%, 406% and 294%, respectively); which indicated higher salinity tolerance of kochia. The optimum intercropping system for sorghum was ⅔ sorghum and were ½ and ⅓ sorghum for kochia; which reflected more sensitivity of sorghum to intra species completion in intercropping systems than kochia. According to the different reactions of two plants to salt stress, sorghum tolerated the salt stress probably via induced antioxidant system in order to ameliorate oxidative stress and kochia tolerated the salinity probably through ionic distributions in tissues via reduced transport to shoots and/or ions compartmentation in organelles. It seems that proper kochia density (⅓) enhanced salinity tolerance of sorghum, therefore, it is recommendable for saline conditions.

Keywords: Catalase; Chlorine; Potassium; Sodium; Superoxide dismutase.