نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص. ۲۶-۱۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 1, Spring. 2014, p. 17-26

اثر تنش شوری در مراحل مختلف رشد بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و فعالیت آنتی اکسیدانت‌ها در کوشیا (*Kochia scoparia*)

جعفر نباتی[1*]- محمد کافی[2]- احمد نظامی[3]- پرویز رضوانی مقدم[4]- علی معصومی[5]- محمد زارع مهرجردی[6]

تاریخ دریافت:۱۳۸۹/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش:۱۳۹۰/۱۰/۱۱

چکیده

شوری خاک و آب یکی از خطرات جدی در بسیاری از نقاط ایران است، که تاثیر منفی بر تولیدات گیاهی دارد. به منظور بررسی تحمل به شوری کوشیا مطالعه‌ای در سال ۱۳۸۸ در سطوح مختلف تنش شوری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر) با اعمال تنش از ابتدای کاشت، گیاهچه‌ای و اعمال متناوب تنش با آب شور و غیر شور در سه آزمایش جداگانه با استفاده از طرح کاملا تصادفی و چهار تکرار در محیط طبیعی در گلدان انجام گرفت. علی‌رغم اینکه هر یک از آزمایش‌ها به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت با این وجود میزان کاهش وزن خشک و حجم ریشه، شاخص پایداری غشاء در اعمال سطوح مختلف تنش شوری از مرحله کاشت بیشتر از مرحله گیاهچه‌ای بود. محتوای نسبی آب برگ با افزایش شدت تنش شوری در تمامی آزمایش‌ها به جز در آزمایش اعمال متناوب تنش شوری افزایش معنی‌داری پیدا کرد. پرولین و پتانسیل اسمزی با افزایش شدت تنش شوری در تمام آزمایش‌ها افزایش پیدا کردند. فعالیت آنتی اکسیدانتی کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز، مهار فعالیت رادیکال DPPH و فنل کل در اعمال تنش شوری ابتدای کاشت بیشتر از گیاهچه‌ای اعمال متناوب تنش شوری بود. غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه در تمامی آزمایش‌ها با افزایش تنش شوری افزایش پیدا کرد. در کل با وجود اعمال شدت‌های بالای تنش در این آزمایش‌ها مشخص شد که کوشیا توانایی قابل قبولی در تحمل سطوح بالای تنش شوری دارد.

واژه‌های کلیدی: آنتی اکسیدانت، پتانسیل اسمزی، پرولین

مقدمه

شوری یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که تولید محصولات زراعی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. در تمام مناطقی که آبیاری با آب شور برای تولید محصولات زراعی ضروری می‌باشد، شور شدن خاک نیز امری غیر قابل اجتناب است (۹) که این پدیده به تدریج به یک مشکل عمده در مناطق خشک و نیمه خشک ایران تبدیل شده است. همچنین حجم عظیم منابع آب‌های شور در جهان و تجربیات بهره‌برداری به صورت سنتی یا در مزارع آزمایشی از آب شور در کشاورزی بدست آمده، استفاده از این منبع آبی را به عنوان یک رویکرد راهبردی در فرآیند تولید مواد غذایی مورد توجه قرار داده است. بنابراین، برای تولید در این شرایط، گیاهانی مورد نیاز هستند که در شرایط آبیاری با آب شور از رشد مناسبی برخوردار بوده و آستانه کاهش عملکرد آنها بالا باشد (۲۰). کوشیا (*Kochia scoparia*) یک گیاه مقاوم به شوری و خشکی است که می‌تواند با آب شور آبیاری شود. رشد سریع و مقاومت کوشیا به تنش رطوبتی حاکی از آنست که این گیاه قادر است با استقرار سریع خود در خاک‌های شور، علاوه بر ایجاد یک پوشش محافظتی کوتاه عمر به عنوان یک علوفه جایگزین به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک معرفی شود (۱۵).

در نتیجه تنش شوری، تنش‌های ثانویه نظیر تنش اکسیداتیو نیز ممکن است بروز کنند که در این حالت، تولید و تجمع رادیکال‌های فعال به اکسید شدن پروتئین‌ها و لیپیدها و در نتیجه مرگ سلول منجر می‌شود (۱۹). لذا فرایندهای گیاه را در مقابله با تنش شوری می‌توان به دو دسته فرایندهای کاهش دهنده اثر تنش اسمزی و فرایندهای حفظ تعادلات یونی سلول و حذف اثرات سمیت یون‌ها

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Jafarnabati@gmail.com)
۵- عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور
۶- عضو هیات علمی موسسه آموزش عالی شیروان

تقسیم کرد (۳۲). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارایی بالا هستند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین برده یا خنثی کنند. این سیستم دفاعی شامل آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز، پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، مهار فعالیت رادیکال DPPH، ترکیبات فنلی و تعداد دیگری از مواد آنتی اکسیدانتی می‌باشد (۲۹).

مطالعه فرآیندهای فیزیولوژیکی در تنش شوری می‌تواند کمک شایانی به گزینش گیاهان متحمل به شوری کند. بر این اساس مطالعه‌ای با هدف بررسی پاسخ فیزیولوژیک شامل تولید ترکیبات اسمزی (قند محلول و پرولین)، محتوای آب نسبی برگ، شاخص پایداری غشاء، پتانسیل اسمزی سلول، تغییرات آنتی اکسیدانت‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز، پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، مهار فعالیت رادیکال DPPH، ترکیبات فنلی در برگ و ترکیبات یونی (Na و K) در برگ و ریشه و ارتباط آنها با یکدیگر در کوشیا در تیمارهای مختلف تنش شوری و مراحل مختلف فنلوژی صورت پذیرفت. با توجه به مطالعات پیشین و مقاومت بالای کوشیا به تنش شوری (۱۵) در این مطالعه دامنه تیمارهای شوری از پایین‌ترین میزان تا بالاتر از شوری آب دریا در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سه آزمایش جداگانه در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در گلدان‌هایی به قطر دهانه ۲۶ و ارتفاع ۲۲ سانتی متر در سال ۱۳۸۸ در دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، در شرایط طبیعی با استفاده از توده کوشیای بیرجند اجرا شد.

خاک مورد استفاده در این آزمایش‌ها حاوی خاک زراعی، خاک برگ و ماسه شسته، هر یک به نسبت یک سوم بود و شش سطح شوری شامل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر و آب غیر شور (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شدند. کاشت بذور در ۲۳ اردیبهشت ماه انجام شد و تعداد دو بوته در هر گلدان جهت این آزمایش‌ها نگهداری شد. آزمایشات انجام شده شامل؛

۱- اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت: در این آزمایش هر کدام از سطوح شوری به تفکیک و بلافاصله پس از کاشت اعمال گردید و تا انتهای آزمایش ادامه یافت.

۲- اعمال سطوح مختلف شوری از مرحله گیاهچه‌ای: در این آزمایش تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها، آبیاری با آب غیر شور انجام شد و پس از اینکه ارتفاع بوته‌ها به ۱۰ سانتی‌متر رسید، با استفاده از محلول کامل سطوح شوری مورد نظر اعمال شدند.

۳- اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور از مرحله گیاهچه‌ای: در این آزمایش تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها آبیاری با آب غیر شور انجام شد و پس از اینکه ارتفاع بوته‌ها به ۱۰ سانتی‌متر رسید تیمارهای شوری (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر) به نحوی اعمال شدند که بطور متناوب در هر دور آبیاری از آب شور و در دور بعد از آب غیر شور استفاده می‌شد.

آبیاری بصورت روزانه و میزان آب مصرفی براساس ۲۰ درصد زه آب در نظر گرفته شد که این زه آب از گلدان خارج می‌گردید. با این روش از تجمع نمک در محیط رشد جلوگیری شده و میزان شوری در حدود آب آبیاری نگهداری شد.

جهت بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک، آنزیمی و بیوشیمیایی نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ‌های کاملا توسعه یافته در ابتدای مرحله گرده افشانی انجام شد. در آزمایش اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور از مرحله گیاهچه‌ای، نمونه برداری در مرحله گلدهی در دو زمان اعمال آبیاری با آب شور و غیر شور انجام شد. بررسی میزان زیست توده تولیدی اندام هوایی و ریشه پس از نمونه برداری‌های فیزیولوژیک انجام شد.

میزان پایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی برگ (۲۳) از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

شاخص پایداری غشاء= (۱-(نشت ثانویه/ نشت اولیه))×۱۰۰

نشت اولیه میزان هدایت الکتریکی پس از گذشت ۲۴ ساعت قرارگیری در آب مقطر و نشت ثانویه میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول لوله‌های آزمایش در دستگاه بن ماری با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه بود.

مقدار نسبی آب برگ[1] در برگ‌های جوان کاملا توسعه یافته پس از پس از گذشت ۲۴ ساعت قرارگیری در آب مقطر از طریق رابطه مقابل محاسبه شد (۲۶).

RWC= ((وزن خشک – وزن تورژسانس)/(وزن خشک – وزن تر))×۱۰۰

قند محلول برگ با استفاده از روش فنل سولفوریک اسید (۷) و استاندارد گلوکز تعیین شد. میزان پرولین در بافت برگ بر اساس روش باتس و همکاران (۴) اندازه گیری شد. پتانسیل اسمزی برگ، پس از هموژنایز کردن آنها در آب مقطر، با استفاده از دستگاه اسمومتر (OM 802-D) و محلول استاندارد گلوکز تعیین شد. مقدار فنل کل در نمونه برگ تازه و بر اساس روش فولین شیکالتو (۲۵) تعیین شد.

جهت ارزیابی فعالیت آنزیمی، ماده برگی تازه (۱۰۰ میلی‌گرم) در نیتروژن مایع پودر شد و یک میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۱ مولار با اسیدیته ۷/۸، حاوی EDTA یک میلی‌مولار به آن اضافه شد. مواد نامحلول توسط سانتریفیوژ یخچال‌دار سیگما مدل۳-K۱۸ با ۱۲۰۰۰ جی به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد جدا شد و محلول بالایی به عنوان منبع برای استخراج آنزیم‌ها استفاده شد. سپس

1- RWC

فعالیت آسکوربات پراکسیداز (۳۱)، کاتالاز (۲۸)، سوپر اکسید دیسموتاز (۳۳)، پراکسیداز (۲۷) و گلوتاتیون ردوکتاز (۱۸) اندازه‌گیری شد.

مقدار غلظت مهار فعالیت رادیکال DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) با استفاده از روش ابی و همکاران (۱) و محلول استاندارد اسید آسکوربیک تعیین شد.

میزان سدیم و پتاسیم ریشه و برگ، با دستگاه فلیم‌فتومتر (UK-Jenway) و محلول‌های استاندارد سدیم و پتاسیم تعیین شد.

جهت تجزیه‌های آماری در این مطالعه از نرم افزار SAS 9.1 استفاده شد مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD انجام گرفت و سطح احتمال بکار رفته در کلیه تجزیه تحلیل‌ها ۹۵٪ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

در آزمایش اعمال تنش در ابتدای کاشت، بذور کوشیا تنها تا شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر قادر به سبز شدن بودند، با ادامه اعمال شوری گیاهچه‌های این تیمار نیز از بین رفتند (جدول ۱).

افزایش شدت تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی بوته‌های کوشیا شد. در اعمال تنش از مرحله گیاهچه‌ای کاهش وزن خشک تک بوته در تیمار ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد ۹۸ درصد (جدول ۲) و در اعمال تنش شوری از زمان کاشت این کاهش در تیمار ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد ۹۶ درصد بود (جدول ۱). در اعمال تنش شوری بصورت متناوب با آب شور و غیر شور با وجود کاهش ۷ درصدی وزن خشک تک بوته در تیمار ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری بین تیمارها بروز نکرد (جدول ۳).

از نظر وزن خشک ریشه بین سطوح مختلف شوری در اعمال تنش از ابتدا و گیاهچه‌ای اختلاف معنی‌داری وجود داشت، اما در اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور این اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۱، ۲ و ۳). میزان کاهش وزن خشک ریشه در شدت‌های بالای تنش شوری نسبت به شاهد در آزمایش‌های مختلف بارز بود، بطوریکه این کاهش در اعمال سطوح مختلف تنش شوری از مرحله کاشت ۹۵/۵ و در مرحله گیاهچه‌ای ۹۹/۹ درصد، بود (جدول ۱ و ۲). بررسی روند وزن خشک ریشه در آزمایش‌های اعمال سطوح مختلف شوری از مرحله گیاهچه‌ای (جدول۲) حاکی از کاهش شدید وزن خشک ریشه در تیمارهای شوری بیشتر از ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بود و در اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) این کاهش شدید در تنش‌های شوری بیشتر از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد.

اثر تنش شوری بر حجم ریشه در تیمارهای مختلف شوری و مراحل رشدی مختلف مشابه تغییرات وزن خشک ریشه بود و بجز در آزمایش اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در سایر آزمایشات بین سطوح مختلف شوری اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱، ۲ و ۳). اثر سطوح بالای تنش شوری بر کاهش حجم ریشه در اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) بیشتر از اعمال شوری در مرحله گیاهچه‌ای بود (جدول ۲).

با افزایش شدت تنش شوری در آزمایش‌های مختلف نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد (جدول ۱ ،۲ و ۳). این مطلب نشان دهنده کاهش نسبتا متناسب میزان وزن خشک اندام هوایی و ریشه با افزایش شدت تنش شوری بود.

وزن خشک اندام هوایی و ریشه، حجم ریشه و نسبت اندام‌های هوایی به ریشه، از جمله پارامترهای مهم در مطالعات تنش شوری بر رشد گیاهان تلقی می‌شوند، زیرا ریشه‌ها به طور مستقیم با خاک و شوری آن در ارتباط هستند و با جذب آب از خاک آن را در اختیار اندام‌های هوایی قرار می‌دهند. همچنین بالا بودن نسبت اندام هوایی به ریشه و سرعت رشد نسبی بالا از عواملی است که در کاهش تجمع نمک در برگ‌ها دخالت دارد. به همین دلیل ریشه نقش کلیدی در واکنش گیاه به تنش شوری ایفا می‌کند (۱۲). در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش شدت تنش شوری وزن خشک ریشه و همچنین حجم ریشه کاهش پیدا کرد. جمیل و همکاران (۱۳) با بررسی اثر شوری بر گونه‌های مختلف گیاهی گزارش کردند که رشد ریشه‌ها، بیشتر از اندام‌های هوایی تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد. همچنین این پژوهشگران عنوان کردند که ممانعت از رشد ریشه ممکن است به دلیل اثر سمیت یونی تنش شوری و همچنین عدم تعادل در جذب عناصر غذایی باشد. این امر ممکن است به دلیل قابلیت سیستم ریشه‌ای در کنترل یون‌های ورودی به اندام‌های هوایی جهت زنده ماندن گیاه در شرایط تنش شوری باشد (۱۰). از طرف دیگر گزارشاتی در ارتباط با کاهش دستجات آوندی ریشه در گیاهان تحت تنش شوری گزارش شده است (۲۲)، و لذا ممکن است کاهش رشد اندام هوایی و ریشه در تنش شوری به دلیل آهسته شدن جذب آب توسط گیاه باشد (۳۰). نتایج مشابهی توسط دمیر و آریف (۶) روی آفتابگردان بدست آمده است. همچنین کاهش تنفس ریشه در اثر تنش شوری در گز (*Tamarix tetragyna*) مشاهده شده است که بر فعالیت‌های حیاتی ریشه تاثیر گذار بوده است (۱۶).

شاخص پایداری غشاء در تیمارهای مختلف با افزایش شدت تنش شوری کاهش یافت و بین سطوح مختلف شوری در اعمال تنش شوری در مراحل مختلف رشد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱، ۲، ۴ و ۵). درصد کاهش پایداری غشاء در بیشترین شدت تنش شوری نسبت به شاهد در اعمال سطوح مختلف تنش شوری از مرحله کاشت و گیاهچه‌ای و اعمال متناوب سطوح مختلف تنش با آب شور و غیر شور به ترتیب ۷۶، ۴۸، ۵ و ۱۷ درصد بود (جدول ۱، ۲، ۴ و ۵).

این نتایج نشان می‌دهد کـه اعمـال تـنش شـوری شـدید در مرحلـه گیاهچه‌ای خسارت کمتری بر غشاء سلول‌ها وارد می‌کند.

افزایش تجمع پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدها در اثـر شوری موجب کاهش پایداری غشاء در گیاهان می‌گردد (۸). شـاخص پایداری غشاء و پراکسیداسـیون لیپیـدها بـه عنـوان شاخصـی بـرای ارزیابی صدمات شوری و تحمل به شوری در گیاهان استفاده می‌شـود (۸). کاهش شاخص پایـداری غشـاء در اثـر شـوری توسـط محققـین مختلف گزارش شده اسـت (۳ و ۸). بـا ایـن وجـود در ایـن مطالعـه، وضعیت غشاء سلول‌ها در تمامی روش‌های اعمـال تـنش شـوری بـا افزایش شوری تا سطح ۲۰ دسی‌زیمنس نسبتا پایدار بود ولی بـالاتر از این سطح موجب افت شدید در پایداری غشاء شد.

محتوای نسبی آب برگ با افزایش شدت تنش شـوری در تمـامی آزمایش‌ها به جز آزمایش اعمال متناوب سطوح مختلف تنش شوری با آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور افزایش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۱ و ۲). میزان افزایش محتوای آب نسبی بـرگ در تیمـار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال سطوح مختلف تنش شـوری از مرحله کاشت و گیاهچه‌ای و اعمال متناوب تنش در زمان آبیاری با آب غیرشور به ترتیب ۲۳، ۴۵ و ۱۸ درصد بود (جـدول ۱، ۲، و ۵). در اعمال متناوب تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ در زمان آبیـاری با آب شور بر خلاف سایر روش‌های اعمال شوری با افزایش شوری از ۱۰ به ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، ۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴).

بسیاری از فرایندهای مهم فیزیولوژیک و مورفولوژیک مانند رشد برگ، باز شدن روزنه‌ها و فتوسنتز به طور مستقیم تحـت تـاثیر فشـار آماس برگ قرار دارند (۱۴). گزارش‌های متعددی در ارتباط با کـاهش محتوای نسبی آب برگ در اثـر تـنش شـوری وجـود دارد (۱۴ و ۲۰). جونز و ترنر (۱۴) و مانس و تستر (۲۰) گزارش کردند اگر چه محتوای نسبی آب برگ در اثر شوری کاهش می‌یابد، پتانسـیل اسـمزی بـرگ افزایش می‌یابد. در این آزمایش‌ها مشاهده شد که محتوای نسـبی آب بـرگ افـزایش مـی‌یابـد. احتمـالا اسـتفاده از نمـک خـالص در ایـن آزمایش‌ها موجب شده که میزان جذب نمک در گیاه کوشـیا افـزایش یابد.

جدول ۱- اثر اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک کوشیا در شرایط کنترل شده.

صفات	شوری ($dS\ m^{-1}$)				سطح احتمال	LSD ۰/۰۵
	شاهد	۱۰	۲۰	۳۰		
وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	۵۹/۴	۳۷/۲	۱۷/۰	۲/۳	۰/۰۰۰۱	۵/۷
وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	۹/۰	۵/۹	۳/۲	۰/۴	۰/۰۰۰۱	۰/۷
نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه	۶/۷	۶/۴	۵/۳	۵/۷	۰/۲۲۵۴	۱/۵
حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	۴۱/۳	۲۵/۵	۱۳/۱	۳/۷	۰/۰۰۰۱	۵/۹
شاخص پایداری غشاء (درصد)	۹۳/۷	۹۲/۸	۹۱/۶	۲۲/۲	۰/۰۰۰۱	۴/۸
محتوای نسبی آب برگ (درصد)	۷۷/۳	۸۶/۸	۸۶/۳	۹۵/۲	۰/۱۳۱۳	۱۴/۹
پرولین (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۰/۸	۱/۲	۱/۶	۹/۶	۰/۰۰۰۱	۰/۷
کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۱۵۳/۶	۱۲۶/۱	۹۶/۱	۱۴۷/۰	۰/۴۵۱۰	۴۱/۸
پتانسیل اسمزی (بار)	۲۸/۳	۳۵/۷	۳۵/۶	۳۱/۹	۰/۰۰۱۶	۳/۵
آسکوربات پراکسیداز (واحد بر گرم ماده خشک)	۲۶۹/۵	۵۴۷/۲	۳۲۳/۳	۷۶۳/۹	۰/۰۰۰۶	۱۹۸/۶
کاتالاز (میکرومول بر گرم ماده خشک در دقیقه)	۵۷۰/۷	۳۳۲/۵	۴۶۹/۹	۱۴۶۴/۷	۰/۰۱۶۳	۶۹۷/۲
سوپر اکسید دیسموتاز (واحد بر گرم ماده خشک)	۱۶۶/۱	۲۴۴/۲	۱۰۵/۲	۲۵۱/۸	۰/۵۸۴۴	۲۶۱/۰
پراکسیداز (واحد بر گرم ماده خشک)	۱۳/۱	۱۸/۱	۱۸/۹	۱۹/۸	۰/۳۸۲۶	۸/۷
گلوتاتیون ردوکتاز (میکرومول بر گرم ماده خشک در دقیقه)	۵۴/۴	۷۶/۳	۹۷/۹	۲۰۱/۱	۰/۰۰۰۱	۳۵/۶
مهار فعالیت رادیکال DPPH (میلی‌گرم آسکوربات در گرم ماده خشک)	۳/۹	۱۳/۱	۳/۶	۲۰/۱	۰/۰۰۰۱	۲/۶
فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک)	۱۱/۴	۱۲/۵	۷/۳	۲۱/۹	۰/۰۰۰۱	۲/۷
پتاسیم اندام هوایی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۲۷/۴	۲۴/۹	۳۳/۳	۲۹/۵	۰/۰۰۶۴	۴/۲
پتاسیم ریشه (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۵/۶	۵/۲	۷/۹	۵/۸	۰/۱۴۳۴	۲/۶
سدیم اندام هوایی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۹/۳	۲۷/۹	۳۹/۹	۶۲/۰	۰/۰۰۰۱	۴/۴
سدیم ریشه (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۵/۷	۱۱/۴	۱۷/۲	۸/۵	۰/۰۰۰۱	۳/۱
نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی	۳/۰	۱/۱	۱/۲	۲/۱	۰/۰۰۰۱	۰/۳
نسبت سدیم به پتاسیم ریشه	۱/۳	۲/۴	۲/۳	۱/۵	۰/۱۷۴۶	۱/۲

LSD حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

افزایش جذب نمک در تیمارهای تنش شوری در کوشیا موجب آبدار شدن برگ‌های این گیاه همانند سایر گیاهان شورزی شد، که نتیجه آن افزایش محتوای نسبی آب برگ بود. به علاوه در این آزمایش مشاهده شد که در تیمارهای بالای تنش شوری به دلیل مقدار بالای نمک در بافت برگ هنگام قرار گرفتن برگ در آب مقطر، به دلیل جذب بیش از حد آب بافت برگ متلاشی می‌شود و وزن آماس از وزن اولیه کمتر می‌شد که موجب ایجاد خطا در اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ می‌شد. بنابراین شاید بتوان بیان کرد که در شدت‌های بالای تنش محتوای نسبی آب برگ صفت مناسبی برای ارزیابی وضعیت آب برگ نمی‌باشد و احتمالا نیاز به مطالعه در ارتباط با زمان قرار گرفتن نمونه در آب مقطر وجود داشته باشد.

میزان پرولین برگ در تیمار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال سطوح مختلف تنش شوری از مرحله کاشت (۹۲ درصد) و گیاهچه‌ای (۷۶ درصد) افزایش نشان داد (جدول ۱ و ۲). بیشترین میزان پرولین برگ در اعمال متناوب تنش شوری در زمان آبیاری با آب شور و غیر شور در تیمار ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۴ و ۵).

بررسی غلظت کربوهیدرات‌های محلول در تیمارهای مختلف شوری در آزمایش‌های مختلف الگوی متفاوتی نشان داد (جدول ۱، ۲، ۴ و ۵). میزان کربوهیدرات‌های محلول در اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری پیدا کردند و تیمار ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۱). در آزمایش اعمال سطوح مختلف شوری از مرحله گیاهچه‌ای تنها تیمار تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کربوهیدرات‌های محلول بیشتری نسبت سایر تیمارها داشت (جدول ۲). غلظت کربوهیدرات‌های محلول در اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور و غیر شور با افزایش تنش کاهش پیدا کرد با این وجود اختلاف آنها معنی‌دار نبود (جدول ۴ و ۵).

افزایش شدت تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار پتانسیل اسمزی در تیمارهای مختلف شوری مراحل مختلف رشد شد (جدول ۱، ۲، ۴و ۵). میزان افزایش پتانسیل اسمزی در تیمار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال تنش شوری از مرحله کاشت و گیاهچه‌ای به ترتیب ۳/۶ و ۱۹/۵ بار بود (جدول ۱ و ۲). در اعمال متناوب سطوح مختلف تنش با آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور تیمار ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین پتانسیل اسمزی را دارا بود و اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت (جدول ۴) ولی در زمان آبیاری با آب غیر شور بین تیمارها از نظر پتانسیل اسمزی برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

هنگام قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش شوری رشد آنها کاهش و در نهایت متوقف می‌شود. وجود نمک و املاح مختلف در خاک‌ها و آب‌های شور باعث منفی شدن پتانسیل اسمزی می‌شود. هر دو عامل پتانسیل اسمزی و ماتریک پایین خاک در نتیجه کاهش آب موجود در خاک باعث ایجاد پتانسیل کم آب در گیاهان می‌شود و گیاه در معرض تنش ثانویه اسمزی قرار می‌گیرد، که از نظر فیزیولوژیک می‌توان آن را تنش خشکی نامید. بین تنش شوری و تنش خشکی رابطه‌ای مستقیم و غیر قابل تفکیکی وجود دارد و اگر گیاه یا قسمتی از آن از یک محیط با شوری کم به محیطی با شوری زیاد منتقل شود بلافاصله دچار آبکشیدگی اسمزی می‌شود (۵).

اثرات اسمزی زمانی قابل توجه است که رشد ریشه گیاه در محیط با پتانسیل اسمزی پایین در اثر وجود نمک‌های مختلف انجام گیرد. تجمع ترکیبات اسمزی که تنظیم‌کننده‌های اسمزی نیز نامیده می‌شوند، اغلب در شرایط کمبود آب در محصولات زراعی مشاهده می‌شوند (۲۱). در واقع حاصل تجمع اسمولیت‌ها در سلول‌های گیاهی کاهش پتانسیل اسمزی سلول و بنابراین ادامه جذب آب و حفظ فشار آماس سلول است که احتمالا باعث ثبات فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند باز ماندن روزنه‌ها، فتوسنتز و توسعه رشد شود (۲۴).

اسمولیت‌های سازگار عمدتاً مواد محلول آلی مانند کربوهیدرات‌های محلول و پرولین هستند ولی بعضی از عناصر و یون‌های ضروری مانند K^+، نیز به عنوان اسمولیت عمل می‌کنند که بسیاری از اسمولیت‌های آلی، محافظت اسمزی انجام دهند زیرا تجمع آنها به اندازه کافی نیست که تنظیم اسمزی را تسهیل کنند (۳۲). در این مطالعه با افزایش شدت تنش شوری میزان تولید پرولین و پتانسیل اسمزی افزایش یافت. با توجه به غلظت پرولین می‌توان نتیجه گرفت که نمک‌های محلول سهم بیشتری در پتانسیل اسمزی ایجاد شده داشته‌اند و نقش پرولین در شوری‌های بالا محافظت اسمزی بوده است (۳۲).

میزان کربوهیدرات‌ها در تیمارهای مختلف وضعیت متفاوتی داشت در بیشتر موارد (جدول ۳، ۴، ۶ و ۷) با افزایش شوری کاهش غلظت کربوهیدرات‌ها مشاهده شد، که دلیل این امر را می‌توان افزایش نیاز به انرژی در تنش‌های شدید ذکر کرد، زیرا رشد یا زنده ماندن در خاک‌های شور همراه با تحمل بعضی از هزینه‌ها از جمله هزینه ممانعت از ورود نمک، جایگزاری داخل سلولی، راندن نمک به غده‌ها و کیسه‌های نمکی و سنتز مواد محلول آلی است (۲۱) و احتمالا کربوهیدرات‌ها جهت تامین انرژی مورد نیاز این فعالیت‌ها مصرف می‌شوند.

فعالیت آسکوربات پراکسیداز در اعمال سطوح مختلف تنش شوری از مرحله کاشت و گیاهچه‌ای به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای مختلف شوری قرار گرفت (جدول ۱ و ۲) و افزایش شدت تنش شوری موجب افزایش میزان فعالیت آن شد، به طوری که میزان

فعالیت آن در تیمار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال تنش در مرحله کاشت و گیاهچه‌ای به ترتیب ۶۵ و ۹۱ درصد افزایش یافت (جدول ۱ و ۲). بین سطوح مختلف شوری از نظر فعالیت آسکوربات پراکسیداز در اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور و غیر شور اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴ و ۵).

افزایش شوری موجب افزایش معنی‌دار فعالیت کاتالاز در تیمارهای مختلف شوری در اعمال شوری از ابتدای کاشت و گیاهچه‌ای شد (جدول ۱ و ۲). بررسی فعالیت کاتالاز در اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت و گیاهچه‌ای نشان داد که کمترین میزان فعالیت این آنتی اکسیدانت در اعمال تنش از مرحله گیاهچه‌ای انجام می‌گیرد (جدول ۱ و ۲). از نظر میزان فعالیت کاتالاز در اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴)، اما در این آزمایش در زمان آبیاری با آب غیر شور فعالیت کاتالاز در تیمار ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از سایر تیمارها بود و تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۵).

در اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) بین تیمارهای شوری از نظر فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. میزان فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در اعمال شوری از مرحله گیاهچه‌ای تنها در تیمار ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از شاهد بود که این تفاوت نیز معنی‌دار نبود و در سایر تیمار کاهش معنی‌داری در فعالیت این آنتی اکسیدانت نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۲). اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور و غیر شور میزان فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز با افزایش شوری کاهش یافت با این وجود اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵ و ۶).

فعالیت پراکسیداز در تیمارهای مختلف شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) و اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور (جدول ۴) اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

جدول ۲- اثر اعمال سطوح مختلف شوری از مرحله گیاهچه‌ای روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی کوشیا

صفات	شوری ($dS\ m^{-1}$)						سطح احتمال	LSD ۰/۰۵
	شاهد	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰		
وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	۶۶/۶	۴۷/۶	۳۰/۱	۱۵/۳	۶/۷	۲/۰	۱/۳	۰/۰۰۰۱	۵/۷
وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	۱۱/۰	۵/۸	۴/۹	۲/۶	۱/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۰۰۰۱	۰/۹
نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه	۶/۱	۸/۳	۶/۲	۵/۹	۵/۷	۸/۴	۹/۴	۰/۱۱۲۴	۳/۸
حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	۶۲/۲	۲۹/۱	۱۷/۸	۱۳/۸	۵/۵	۱/۳	۰/۹	۰/۰۰۰۱	۲/۶
شاخص پایداری غشاء (درصد)	۶۶/۰	۸۹/۱	۳۶/۰	۲۵/۸	۴۸/۲	۴۰/۲	۳۴/۵	۰/۰۰۱۱	۳۱/۴
محتوای نسبی آب برگ (درصد)	۵۰/۹	۶۷/۰	۷۱/۰	۸۹/۰	۸۳/۷	۸۳/۸	۹۲/۵	۰/۰۱۵۸	۲۳/۳
پرولین (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۰/۸	۲/۲	۰/۹	۱/۲	۳/۲	۲/۴	۳/۴	۰/۰۰۹۸	۱/۵
کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۴۹/۱	۱۱۳/۵	۶۹/۲	۶۷/۸	۵۷/۵	۴۷/۹	۵۰/۹	۰/۰۷۳۰	۴۴/۶
پتانسیل اسمزی (بار)	۳۲/۴	۳۷/۰	۳۴/۹	۳۷/۳	۳۴/۸	۴۵/۹	۵۱/۹	۰/۰۰۰۱	۴/۶
آسکوربات پراکسیداز (واحد بر گرم ماده خشک)	۶۴/۰	۱۱۸/۹	۲۲۵/۲	۲۲۳/۷	۱۱۲/۲	۳۴۷/۴	۷۲۱/۴	۰/۰۰۰۱	۱۳۰/۴
کاتالاز (میکرومول بر گرم ماده خشک در دقیقه)	۸/۸	۶۷/۶	۲۰۵/۳	۱۴۲/۲	۹۳/۲	۲۶۴/۸	۱۲۲/۵	۰/۰۶۲۶	۱۶۲/۲
سوپر اکسید دیسموتاز (واحد بر گرم ماده خشک)	۴۲۴/۸	۱۴۵/۷	۲۱۳/۲	۱۳۴/۵	۱۹۲/۴	۴۴۱/۳	۲۵۴/۰	۰/۰۲۳۹	۲۱۰/۱
پراکسیداز (واحد بر گرم ماده خشک)	۴/۵	۱۴/۱	۱۶/۱	۱۵/۵	۱۴/۰	۱۶/۹	۲۹/۸	۰/۰۱۰۵	۱۱/۳
گلوتاتیون ردوکتاز (میکرومول بر گرم ماده خشک در دقیقه)	۲۶/۷	۴۳/۱	۷۰/۷	۷۵/۳	۴۶/۷	۷۱/۳	۸۸/۱	۰/۰۴۵۵	۵۰/۵
مهار فعالیت رادیکال DPPH (میلی‌گرم آسکوربات در گرم ماده خشک)	۳/۱	۶/۰	۵/۰	۴/۹	۵/۳	۷/۳	۶/۷	۰/۱۵۳۷	۳/۰
فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک)	۵/۰	۱۲/۷	۷/۳	۱۰/۶	۸/۷	۶/۷	۱۰/۵	۰/۳۶۰۰	۷/۲
پتاسیم اندام هوایی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۲۷/۹	۲۹/۷	۲۷/۶	۳۱/۸	۳۲/۷	۲۸/۹	۳۲/۲	۰/۳۲۱۷	۵/۶
پتاسیم ریشه (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۶/۵	۴/۹	۳/۱	۵/۹	۷/۶	۴/۵	۲/۲	۰/۰۰۰۲	۲/۰
سدیم اندام هوایی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۱۵/۵	۲۹/۳	۴۵/۰	۵۲/۴	۶۴/۲	۷۰/۴	۴۵/۳	۰/۰۰۰۱	۱۰/۳
سدیم ریشه (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۶/۴	۱۱/۹	۱۵/۰	۱۷/۰	۲۰/۴	۱۷/۰	۹/۶	۰/۰۰۰۱	۱/۵
نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی	۰/۶	۱/۰	۱/۷	۱/۷	۲/۰	۲/۵	۱/۴	۰/۰۰۰۱	۰/۴
نسبت سدیم به پتاسیم ریشه	۱/۱	۲/۵	۵/۱	۲/۹	۲/۷	۴/۳	۴/۳	۰/۰۰۰۱	۱/۴

LSD حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

جدول ۳- اثر اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه، حجم ریشه، پتاسیم و سدیم اندام هوایی و ریشه نسبت آنها در کوشیا

صفات	شوری ($dS\ m^{-1}$)			سطح احتمال	LSD ۰/۰۵
	۱۰	۲۰	۳۰		
وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	۴۶/۲	۳۶/۶	۴۳/۰	۰/۷۳۶۰	۲۷/۸
وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	۵/۶	۶/۳	۶/۷	۰/۶۵۹۲	۲/۷
نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه	۱۰/۴	۵/۶	۶/۵	۰/۴۷۵۰	۹/۰
حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	۲۳/۰	۲۹/۰	۲۴/۹	۰/۶۰۹۱	۱۳/۵
پتاسیم اندام هوایی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۲۸/۱	۳۰/۰	۲۴/۹	۰/۲۱۵۷	۶/۲
پتاسیم ریشه (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۴/۹	۴/۶	۳/۹	۰/۴۳۹۴	۱/۹
سدیم اندام هوایی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۱۷/۹	۲۳/۸	۴۲/۷	۰/۰۰۰۱	۳/۷
سدیم ریشه (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۱۱/۴	۱۴/۰	۱۵/۲	۰/۰۱۸۰	۲/۴
نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی	۰/۶	۰/۸	۱/۷	۰/۰۰۰۱	۰/۲
نسبت سدیم به پتاسیم ریشه	۲/۴	۳/۴	۴/۱	۰/۱۳۵۳	۱/۸

LSD حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

در اعمال سطوح مختلف شوری از مرحله گیاهچه‌ای (جدول ۲) و اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب غیر شور (جدول ۵) با افزایش شدت تنش میزان فعالیت پراکسیداز افزایش معنی‌داری پیدا کرد.

میزان فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز در اعمال سطوح مختلف شوری از مرحله کاشت و گیاهچه‌ای در تیمارهای مختلف شوری با افزایش شدت تنش افزایش معنی‌داری پیدا کردند (جدول ۱ و ۲). با وجود افزایش فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز، با افزایش شوری در اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور و غیر شور اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۴ و ۵).

مهار فعالیت رادیکال DPPH در اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) با افزایش تنش شوری افزایش معنی‌داری پیدا کرد. این میزان افزایش مهار فعالیت رادیکال DPPH در اعمال تنش شوری از ابتدای کاشت و مرحله گیاهچه‌ای در تیمار حداکثر تنش نسبت به شاهد به ترتیب ۸۱ و ۵۴ درصد بود (جدول ۱ و ۲). بین تیمارهای مختلف اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور و غیر شور میزان مهار فعالیت رادیکال DPPH اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴ و ۵).

در آزمایش اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت افزایش شوری موجب افزایش معنی‌دار فنل کل در تیمارهای ۱۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر شوری نسبت به شاهد شد، اما در تیمار ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر شوری این ماده کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرد (جدول ۱). میزان فنل کل در اعمال سطوح تنش شوری از مرحله گیاهچه‌ای (جدول ۲) و اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور (جدول ۴)، تحت تاثیر سطوح مختلف شوری قرار نگرفت اما در اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب غیر شور با افزایش میزان شدت تنش افزایش یافت (جدول ۵).

تنش‌های غیر زیستی از جمله تنش شوری موجب تجمع رادیکال‌های فعال اکسیژن در سلول‌ها می‌شوند که باعث ایجاد صدمات اکسیداتیو به لیپیدهای غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه می‌شوند (۱۱). برخی گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارایی بالا هستند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین برده یا خنثی کنند. این سیستم دفاعی شامل آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز، پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، مهار فعالیت رادیکال DPPH، ترکیبات فنلی و تعداد دیگری از مواد آنتی اکسیدانتی می‌باشد (۲۹). افزایش تحمل به شوری در ارتباط با فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی در تحقیقات مختلف گزارش شده است (۲ و ۱۱). در این مطالعه مشاهده شد، در اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) با وجود اینکه بیشترین میزان تنش شوری که در آن آنتی اکسیدانت‌ها اندازه‌گیری شدند، ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بود (گیاهان تنها تا این سطح از شوری زنده ماندند)، میزان فعالیت کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز، مهار فعالیت رادیکال DPPH و فنل کل از سایر روش‌های اعمال تنش بیشتر بود. به توجه به این اطلاعات می‌توان نتیجه گرفت که در صورتی که گیاه زمان طولانی‌تری در معرض تنش شوری قرار گیرد، اثر تجمعی و سمیت نمک موجب افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی گیاه می‌گردد. در اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور در زمان آبیاری با آب شور و غیر شور بین سطوح مختلف تنش از نظر آنتی اکسیدانت‌ها اختلاف بارزی مشاهده نشد. این امر ممکن است بیانگر این مطلب باشد که آبیاری متناوب با آب شور و غیر شور موجب می‌شود که نمک موجود در محیط کشت کاهش یابد و گیاه

رشد نسبتا مناسب‌تری داشته باشد و نیاز به فعال سازی شدید سیستم آنتی اکسیدانتی نداشته باشد. با مقایسه میزان ماده خشک تولیدی در آزمایش آبیاری متناوب با آب شور و غیر شور با تیمار شاهد در سایر روش‌های اعمال تنش کاهش وزن بسیار کمی مشاهده شد که تایید کننده مطلب فوق می‌باشد (جدول ۳).

غلظت پتاسیم اندام هوایی کوشیا در اعمال تنش شوری در مراحل مختلف رشدی با افزایش شدت تنش افزایش یافت، اما این افزایش در اعمال تنش شوری از مرحله گیاهچه‌ای (جدول ۲) و اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور (جدول ۳) معنی‌دار نبود. وضعیت غلظت پتاسیم ریشه عکس اندام هوایی بود، با افزایش شدت تنش شوری از غلظت پتاسیم ریشه کاسته شد و در اعمال تنش شوری از مرحله گیاهچه‌ای این کاهش پتاسیم ریشه معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ٤- اثر اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور روی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک کوشیا (نمونه‌گیری در زمان آبیاری با آب شور)

صفات	شوری ($dS\ m^{-1}$)			سطح احتمال	LSD ۰/۰۵
	۱۰	۲۰	۳۰		
شاخص پایداری غشاء (درصد)	۹۲/۵	۹۵/۵	۸۸/۰	۰/۰۴۹۵	۵/۹
محتوای نسبی آب برگ (درصد)	۷۹/۲	۷۶/۴	۷۴/۹	۰/۰۳۳۷	۳/۱
پرولین (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۰/۷	۲/۴	۱/۲	۰/۰۰۰۶	۰/۶
کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۱۱۵/۴	۱۰۵/۰	۸۲/۲	۰/۳۳۰۲	۴۸/۴
پتانسیل اسمزی (بار)	۳۱/۰	۴۰/۸	۳۸/۶	۰/۰۲۱۴	۶/۶
آسکوربات پراکسیداز (واحد بر گرم ماده خشک)	۱۱۶/۷	۱۱۴/۴	۱۰۳/۲	۰/۸۹۹۳	۷۰/۷
کاتالاز (میکرومول بر گرم ماده خشک در دقیقه)	۱۵۰/۷	۸۲/۰	۹۵/۵	۰/۰۷۱۳	۶۱/۴
سوپر اکسید دیسموتاز (واحد بر گرم ماده خشک)	۲۲۳/۷	۱۲۱/۳	۱۲۵/۹	۰/۵۶۲۳	۲۳۶/۱
پراکسیداز (واحد بر گرم ماده خشک)	۱۵/۱	۲۰/۹	۱۵/۲	۰/۱۲۷۱	۶/۵
گلوتاتیون ردوکتاز (میکرومول بر گرم ماده خشک در دقیقه)	۶۲/۹	۶۵/۲	۷۱/۲	۰/۵۵۴۱	۱۷/۲
مهار فعالیت رادیکال DPPH (میلی‌گرم آسکوربات در گرم ماده خشک)	۷/۶	۷/۳	۷/۹	۰/۸۷۹۸	۲/۹
فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک)	۹/۷	۸/۵	۷/۵	۰/۳۳۹۰	۳/۲

LSD حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

جدول ٥- اثر اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی کوشیا (نمونه‌گیری در زمان آبیاری با آب غیر شور)

صفات	شوری ($dS\ m^{-1}$)			سطح احتمال	۰/۰۵LSD
	۱۰	۲۰	۳۰		
شاخص پایداری غشاء (درصد)	۹۲/۵	۸۸/۸	۷۶/۷	۰/۰۰۱۸	۷/۱
محتوای نسبی آب برگ (درصد)	۸۰/۲	۸۳/۴	۹۸/۰	۰/۰۰۱۶	۸/۰
پرولین (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۱/۴	۴/۸	۱/۹	۰/۰۰۴۱	۱/۸
کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)	۱۴۳/۶	۱۲۴/۲	۱۱۷/۷	۰/۶۶۳۴	۶۵/۶
پتانسیل اسمزی (بار)	۳۱/۳	۳۶/۷	۳۷/۶	۰/۱۳۱۱	۶/۸
آسکوربات پراکسیداز (واحد بر گرم ماده خشک)	۱۳۱/۵	۲۳۱/۴	۱۵۹/۰	۰/۵۷۸۰	۲۱۶/۲
کاتالاز (میکرومول بر گرم ماده خشک در دقیقه)	۸۵/۱/۹	۳۱۸/۷	۱۳۸/۹	۰/۰۳۳۳	۱۳۲/۳
سوپر اکسید دیسموتاز (واحد بر گرم ماده خشک)	۸۰۷/۴	۶۳۶/۰	۵۶۲/۳	۰/۲۲۹۴	۳۰۴/۹
پراکسیداز (واحد بر گرم ماده خشک)	۱۴/۳	۲۳/۵	۳۱/۲	۰/۰۰۰۷	۶/۴
گلوتاتیون ردوکتاز (میکرومول بر گرم ماده خشک در دقیقه)	۶۷/۰	۷۳/۰	۷۴/۳	۰/۷۹۸۲	۲۵/۹
مهار فعالیت رادیکال DPPH (میلی‌گرم آسکوربات در گرم ماده خشک)	۷/۵	۹/۴	۱۰/۶	۰/۰۹۴۲	۲/۸
فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک)	۱۰/۷	۹/۲	۱۲/۴	۰/۰۵۶۹	۲/۵

LSD حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

با افزایش شدت تنش شوری در تمام آزمایش‌ها غلظت سدیم در اندام هوایی و ریشه کوشیا به طورمعنی‌داری افزایش یافت. نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و در ریشه با افزایش شدت تنش شوری افزایش پیدا کرد. با توجه به اینکه میزان پتاسیم ریشه از اندام هوایی کمتر بود، نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه نسبت به اندام هوایی بیشتر افزایش پیدا کرد (جدول ۱، ۲ و ۳). با این وجود افزایش نسبت سدیم به پتاسیم ریشه با افزایش شوری در اعمال سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) و اعمال متناوب سطوح مختلف آب شور و غیر شور (جدول ۳) معنی‌دار نبود.

در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش تنش شوری غلظت پتاسیم تا حدودی افزایش پیدا کرد، با توجه به اینکه گیاهان متحمل به شوری غلظت‌های زیادی از K^+ و غلظت‌های کمی از Na^+ را در سیتوسول خود نگه می‌دارند و این کار را با تنظیم بیان و فعالیت انتقال دهنده‌های Na^+ وK^+ و پمپ‌های H^+ انجام می‌دهند (۱۷)، این افزایش پتاسیم می‌تواند از عوامل تحمل بالای کوشیا به شوری باشد. در این مطالعه با افزایش شوری نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و در ریشه با افزایش شدت تنش شوری افزایش پیدا کرد که مطابق با نتایج سایر محققان بود (۲۰ و ۲۱). نتایج این مطالعه با نتایج مانس و همکاران (۲۱) که با بررسی تنش شوری در گندم گزارش کردند که افزایش تنش شوری موجب کاهش پتاسیم در ریشه می‌شود مطابقت دارد. با توجه به افزایش غلظت سدیم در اندام هوایی و ریشه کوشیا با افزایش شدت تنش شوری در این مطالعه و با عنایت به این نکته که آنزیم‌های استخراج شده از هالوفیت‌هایی مانند آتریپلکس (*Atriplex pongeosa*) و سوئدا (*Suaeda maritime*) در مقایسه با آنزیم‌های استخراج شده از نخود و لوبیا، نسبت به نمک حساسیت مشابه‌ای دارند (۲۰) همچنین عدم وجود غده‌های نمکی در سطح برگ کوشیا این فرضیه را تقویت می‌کند که این گیاه احتمالا ظرفیت زیادی در جایگزاری سدیم و کلر در واکوئل‌های خود دارد. بنابراین احتمالا در تحقیقات آینده بتوان از کوشیا به عنوان یک گیاه مدل برای انتقال ژن‌های مقاومت به شوری به سایر گیاهان استفاده نمود.

نتیجه گیری

در مجموع با بررسی روش‌ها و زمان‌های مختلف اعمال تنش شوری مشاهده شد که میزان کاهش وزن خشک و حجم ریشه، شاخص پایداری غشاء در اعمال سطوح مختلف تنش شوری از مرحله کاشت بیشتر از گیاهچه‌ای است. همچنین در مطالعه وضعیت آنتی اکسیدانت‌ها مشاهده شد که با افزایش شدت تنش این ترکیبات افزایش می‌یابند که ممکن است در زنده ماندن گیاه و حفظ تولید موثر باشند. اعمال تنش از ابتدا با طولانی کردن زمان در معرض تنش بودن موجب افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانتی گیاه گردید. در کل با وجود اعمال شدت‌های زیادتر تنش در این آزمایش‌ها مشخص شد که کوشیا توانایی بالایی در تحمل شوری‌های زیاد دارد.

منابع

1- Abe, N., T. Murata, and A. Hirota. 1998. Novel 1,1-diphenyl-2-picryhy- drazyl- radical scavengers, bisorbicillin and demethyltrichodimerol, from a fungus. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 62: 61-662.

2- Arbona, V., V. Flors, P. Garcia-Agustin, and A. Gomez-Cadenas. 2003. Enzymatic and non-enzymatic antioxidant responses of *Carrizo citrange*, salt-sensitive citrus rootstock, to different levels of salinity. Plant and Cell Physiology. 44:388–394.

3- Azizpour, K., M. R. Shakiba, N. A. Khosh Kholg Sima, H. Alyari, M. Mogaddam, E. Esfandiari, and M. Pessarakli. 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. Journal of Plant Nutrition. 33: 859–873.

4- Bates, L. S., R. P. Waldran and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. Plant and Soil. 39: 205–208.

5- Bernstein, L. 1975. Effect of salinity and sodicity on plant growth. Annu. Rev.Phytopathol. 13: 295-312.

6- Demir, M., and I. Arif. 2003. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Turkish Journal of Agriculture. 27: 221- 227.

7- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Calorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytica Chimica Acta. 28: 350-356.

8- Farooq, S., and F. Azam. 2006. The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. Journal of Plant Physiology.163: 629-637.

9- Flowers, T. J., and S. A. Flowers. 2005. Why does salinity pose such a different problem for plant breeders? Agricultural Water Management. 78: 15-24.

10- Hajibagheri, M. A., A. R. Yeo, T. J. Flowers, and J. C. Collins. 1989. Salinity resistance in *Zea mays* fluxes of potassium, sodium and chloride, cytoplasmic concentrations and microsomal membrane lipids. Plant Cell and

Environment. 12: 753-757.
11- Hernandez, J. A., M. A. Ferrer, A. Jimenez, A. R. Barcelo, and F. Sevilla. 2001. Antioxidant systems and O^{-2} /H_2O_2 production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. Plant Physiology. 127:817–831.
12- Jamil, M., and E. S. Rha. 2004. The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.). Korean Journal of Plant Resources. 7: 226-232.
13- Jamil, M., D. B. Lee, K. Y. Jung, M. Ashraf, S. C. Lee, and E. S. Rha. 2006. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. Journal of Central European Agriculture. 7: 273-282.
14- Jones, M. M., and N. C. Turner. 1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. Plant Physiology. 61: 122–126.
15- Kafi, M., H. Asadi and A. Ganjeali. 2010. Possible utilization of high salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte *Kochia scoparia* as alternative fodder in saline agroecosystems. Agricultural Water Management. 97: 139-147.
16- Kalir, A., and A. Pouakoff-Mayber. 1976. Effect of salinity on respiratory pathways in root tips of *Tamarix tetragyna*. Plant Physiology. 57:167-170.
17- Kang Zhu, J. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology. 6: 441-445.
18- Lee, D. H., and C. B. Lee. 2000. Chilling stress-induced changes of antioxidant enzymes in the leaves of cucumber: in gel enzyme activity assays. Plant Science. 159:75-85.
19- Molassiotis, A., T. Sotiropoulos, G. Tanou, G. Diamantidis, I. Therios. 2006. Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (*Malus domestica* Borkh), Environmental and Experimental Botany. 56, 54–62.
20- Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Physiology. 59: 651-681.
21- Munns. R., R. A. James and A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany. 57: 1025-1043.
22- Rashid, P., J. L. Karmoker, S. Chakrabortty and B. C. Sarker. 2004. The Effect of salinity on ion accumulation and anatomical attributes in Mungbean (*Phaseolus radiatus* L. cv. BARI-3) seedlings. International Journal of Agriculture and Biology. 6: 495–498.
23- Sairam, R. K., K. V. Rao and G. C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science 163. 1037–1046.
24- Serraj, R., and T. R. Sinclair. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. Plant Cell Environment. 25: 333-341.
25- Singleton, U. L., and J. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-posphotungustic acid reagent. American Journal of Enology and Viticulture. 16: 144.
26- Smart, R. E., and G. E. Bingham. 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology. 53: 258–260.
27- Srinivas, N. D., K. R. Rashmi, and K. S. M. S. Raghavarao. 1999. Extraction and purification of a plant peroxidase by aqueous two-phase extraction coupled with gel filtration. Process Biochemistry. 35:43–48.
28- Velikova, V., I. Yordanov, and A. Edreva. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. Plant Science. 151: 59-66.
29- Walker, M. A., and B. D. Mc Kersie. 1993. Role of the ascorbateglutathione antioxidant system in chilling resistance of tomato. Journal of Plant Physiology. 141: 234–239.
30- Werner, J. E., and R. R. Finkelstein. 1995. Arabidopsis mutants with reduced response to NaCl and osmotic stress. physiology Plant. 93: 659-666.
31- Yamaguchi, K., H. Mori and M. Nishimura. 1995. A novel isoenzyme of ascorbate peroxidase localized on glyoxysomal and leaf peroxisomal membranes in pumpkin. Plant Cell Physiology. 36:1157–1162.
32- Yokoi, S., R. A. Bressan and P. M. Hasegawa. 2002. Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Working Report. 25-33.
33- Yu, Q., and Z. Rengel. 1995. Drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutase in narrow-leafed lupins. Plant Science. 142: 1–11.