نشریه علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲ (ص۶۵۵-۶۴۵)

# بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها طی اعمال تدریجی تنش شوری در مراحل مختلف رشدی در کوشیا (*Kochia scoparia*)

جعفر نباتی[1*]، محمد کافی[2]، احمد نظامی[3]، پرویز رضوانی مقدم[4]، علی معصومی[5] و محمد زارع مهرجردی[6]
۱، ۲، ۳، ۴ و۶، دانشجوی دکتری، استاد، استادیار، دانشیار و دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۵، استادیار، دانشگاه پیام نور خراسان رضوی
(تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۱۹ - تاریخ تصویب: ۹۲/۹/۱۳ )

## چکیده

**به‌منظور بررسی تحمل به شوری کوشیا، مطالعه‌ای در سطوح مختلف تنش ناشی از کلرور سدیم (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر)، مراحل رشدی ابتدای کاشت و گیاهچه‌ای با اعمال تنش به‌صورت تدریجی در دو آزمایش گلدانی جداگانه با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و چهار تکرار در محیط طبیعی انجام گرفت. نتایج نشان داد که کاهش وزن خشک و حجم ریشه و شاخص پایداری غشا در اعمال تدریجی سطوح مختلف تنش شوری از مرحلهٔ کاشت بیشتر از اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای بود. محتوای نسبی آب برگ در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت در تیمارهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد افزایش معناداری پیدا کرد. پرولین و پتانسیل اسمزی با افزایش شدت تنش شوری افزایش یافت. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو آزمایش، در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود، اما فعالیت آسکوربات پراکسیداز و رادیکال DPPH در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت در تیمار ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر، و اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای در ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه در هر دو آزمایش، با افزایش تنش شوری فزونی یافت. به‌طور کلی، با وجود کاهش چشمگیر وزن خشک با شروع تنش شوری نسبت به شاهد، گیاه شوردوست کوشیا بین تیمارهای ۱۰ تا ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش وزن خشک کمتری نشان داد و تا ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر شوری زنده ماند.**

**واژه‌های کلیدی:** آنتی‌اکسیدانت، پتانسیل اسمزی، پرولین، محتوای نسبی آب برگ.

## مقدمه

شوری آب و خاک، از مهم‌ترین معضلات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و شور شدن تدریجی خاک از مسائل مهم در بسیاری از مناطق جهان، به‌خصوص ایران، به‌شمار می‌رود. در این مناطق، شوری خاک و کمبود آب، عوامل اصلی کاهش رشد و عملکرد محصولات زراعی به‌شمار می‌روند (Qureshi *et al.*, 2007). با توجه به محدودیت منابع آب مناسب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از آب‌های شور در زراعت اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین در این اراضی باید از گیاهانی استفاده شود که قادر به تولید عملکرد پذیرفتنی در شرایط آبیاری با آب‌های شور باشند (Kafi *et al.*, 2010). استفاده از گیاهان شورپسند در سیستم‌های زراعی به‌عنوان گیاهان جایگزین، راهکار مناسبی برای تولید زیست‌توده در این مناطق است (Kafi *et al.*, 2010). در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک که با مشکل شور شدن زمین‌های زراعی مواجهند، هزینهٔ تولید علوفه از مهم‌ترین موانع تولیدات دامی محسوب می‌شود (Baker & Dynes, 1999). تولید علوفه از گیاهان شورپسند، یکی از روش‌های استفادهٔ

* نویسنده مسئول: جعفر نباتی تلفن: ۰۹۱۵۶۴۵۸۱۰۹ E-mail: Jafarnabati@gmail.com

پایدار از منابع آب و خاک شور در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و تولید مواد غذایی برای ساکنان این مناطق است (Kafi *et al*., 2010). این گیاهان را می‌توان جایگزین مناسبی برای گیاهان زراعی معمول در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران به‌شمار آورد. ازاین‌رو کشاورزی شورزیست[1] ضرورتی اجتناب‌ناپذیر، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک است که به‌تازگی کانون توجه قرار گرفته است (Salehi *et al*., 2009).

کوشیا (*Kochia scoparia*)، نوعی گیاه مقاوم به شوری و خشکی است که می‌توان آن را با آب شور آبیاری کرد. کوشیا تحمل زیادی به انواع خاک‌ها دارد و به‌سهولت در خاک‌های شور، اسیدی، خنثی یا قلیایی، و زمین‌هایی که محصولات دیگر در آنها نمی‌توانند رشد کنند، استقرار پیدا می‌کند. این گیاه به‌دلیل استقرار سریع در خاک‌های شور، علاوه بر ایجاد پوشش محافظتی کوتاه‌عمر، به‌عنوان علوفهٔ جایگزین، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاربرد خواهد داشت (Sherrod, 1971). با توجه به اینکه تنش شوری، تنش‌های یونی و اسمزی را به‌دنبال دارد، توقف رشد گیاه، به‌طور مستقیم، به غلظت کل نمک‌های محلول یا پتانسیل اسمزی آب خاک بستگی دارد. تأثیرات زیان‌آور تنش شوری در سطح گیاه کامل، به‌صورت مرگ گیاه یا کاهش تولید آن مشاهده شده است (Munns & Tester, 2008). تنش شوری، سبب القای تنش خشکی فیزیولوژیک در سطح سلولی نیز می‌شود و کارکرد و فرایندهای فیزیولوژیک سلول چون فتوسنتز، تنفس، سنتز پروتئین و متابولیسم لیپید و انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Asish Kumar & Bandhu Das, 2005). گزارش‌های فراوانی نشان داده‌اند که تنش شوری ممکن است سبب تجمع ترکیبات سمی همچون گونه‌های فعال اکسیژن[2] در گیاهان شود که از جملهٔ این ترکیبات می‌توان به پراکسیدها، سوپراکسیدها و رادیکال‌های هیدروکسیل اشاره کرد (Ashraf, 2009; Asish Kumar & Bandhu Das, 2005; Ashraf & Harris, 2004; Sairam & Srivastava, 2002). این ترکیبات از طریق اکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین و اسیدهای نوکلئیک، خسارات زیادی به سلول وارد می‌کنند. در مقابل، گیاهان از طریق القای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت طی بروز تنش شوری، آثار سوء تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهند. از این آنزیم‌ها می‌توان به کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون ردوکتاز و پراکسیداز اشاره کرد. این آنزیم‌ها نقش مهمی در غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهان دارند (Ashraf, 2009; Asish Kumar and Bandhu Das, 2005; Ashraf & Harris, 2004; Sairam & Srivastava, 2002). بیان بیش از حد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت یا افزایش سطوح متابولیت‌های غیرآنزیمی جزئی از سازوکارهای تحمل به شوری در اغلب گیاهان است. این گزارش‌ها همچنین تشریح می‌کنند که در گونه‌های گیاهی مختلف، انواع متفاوت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت یا متابولیت‌های غیرآنزیمی با سازوکارهای تحمل به شوری آنها ارتباط دارد (Ashraf, 2009).

بر این اساس، مطالعه‌ای با هدف بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک شامل تولید ترکیبات اسمزی (قندهای محلول و پرولین)، محتوای آب نسبی برگ، شاخص پایداری غشا، پتانسیل اسمزی سلول، تغییرات آنتی‌اکسیدانت‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، مهار فعالیت رادیکال DPPH، ترکیبات فنلی در برگ و ترکیبات یونی (Na و K) برگ و ریشه و ارتباط آنها با یکدیگر در کوشیا در تیمارهای مختلف تنش شوری و مراحل مختلف رشدی، برای ارزیابی تحمل به شوری کوشیا صورت پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلدان‌هایی به قطر دهانهٔ ۲۶ و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر در سال ۱۳۸۸ در دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، در شرایط طبیعی با استفاده از تودهٔ کوشیای بیرجند اجرا شد. خاک استفاده‌شده در این آزمایش‌ها حاوی خاک زراعی، خاک برگ و ماسهٔ شسته، هر یک به‌نسبت یک‌سوم بود و

1. Biosaline agriculture
2. Reactive Oxygen Species

شش سطح شوری ناشی از کلرور سدیم شامل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر و آب غیرشور (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. کاشت بذور در ۲۳ اردیبهشت انجام گرفت و پس از استقرار گیاهان، دو بوته در هر گلدان نگهداری شد. آزمایش‌ها عبارت بود از:

۱. اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت: در این آزمایش بلافاصله پس از کاشت، تیمارها به‌صورت تدریجی (دو دسی‌زیمنس به‌ازای هر دور آبیاری) تا رسیدن به سطح تنش مورد نظر اعمال شدند و پس از رسیدن به سطح تنش مورد نظر، آبیاری تا انتهای آزمایش با آب شور انجام گرفت؛

۲. اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای: در این آزمایش تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها، آبیاری با آب غیرشور انجام گرفت و پس از آنکه ارتفاع بوته‌ها به ۱۰ سانتی‌متر رسید تیمارها به‌صورت تدریجی (دو دسی‌زیمنس به‌ازای هر دور آبیاری) اعمال شدند. آبیاری به‌صورت روزانه بود و مقدار آب مصرفی به‌تدریج تا حجمی به گلدان داده می‌شد تا جایی که حدود ۲۰ درصد حجم آب داده‌شده به‌صورت زه‌آب از گلدان خارج می‌شد. برای مثال اگر گلدان با ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب اشباع می‌شد، به‌جای این حجم ۱۲۰ سانتی‌متر مکعب آب به گلدان داده می‌شد. با این روش از تجمع نمک در محیط رشد جلوگیری شده و مقدار شوری محیط رشد در حدود شوری آب آبیاری نگهداری شد. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک، آنزیمی و بیوشیمیایی، نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته در ابتدای مرحلهٔ گرده‌افشانی انجام گرفت. بررسی مقدار زیست‌تودهٔ تولیدی اندام هوایی و ریشه پس از نمونه‌برداری‌های فیزیولوژیک صورت پذیرفت. مقدار پایداری غشا از طریق اندازه‌گیری مقدار نشت الکترولیتی برگ (Sairam *et al*., 2002) براساس رابطهٔ زیر محاسبه شد:

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

نشت اولیه، مقدار هدایت الکتریکی پس از گذشت ۲۴ ساعت قرارگیری در آب مقطر؛ و نشت ثانویه مقدار کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول در لوله‌های آزمایش در دستگاه بن‌ماری با دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۹۰ دقیقه بود. مقدار نسبی آب برگ[1] در برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته پس از گذشت ۲۴ ساعت قرارگیری در آب مقطر با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد (Smart & Bingham, 1974):

محتوای نسبی آب برگ= ۱۰۰× («وزن خشک – وزن تورژسانس»/«وزن خشک – وزن تر»)

قندهای محلول برگ با استفاده از روش فنل سولفوریک اسید ( Dubois *et al*., 1956 ) و استاندارد گلوکز تعیین شد. مقدار پرولین در بافت برگ براساس روش Bates *et al*., (1973) اندازه‌گیری 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 نمونهٔ برگ تازه و براساس روش فولین شیکالتو ( Singleton & Rossi, 1965) تعیین شد. برای ارزیابی فعالیت آنزیمی، ۱۰۰ میلی‌گرم مادهٔ برگی تازه در نیتروژن مایع پودر شد و یک میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۱ مولار با اسیدیتهٔ ۷/۸، حاوی EDTA یک میلی‌مولار به آن اضافه شد. مواد نامحلول توسط سانتریفیوژ یخچال‌دار سیگما مدل K۱۸-۳ با ۱۲۰۰۰ جی به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد جدا شد و محلول بالایی به‌عنوان منبع برای استخراج آنزیم‌ها به‌کار رفت. سپس فعالیت آسکوربات پراکسیداز (Yamaguchi *et al*., 1995)، کاتالاز (Velikova *et al*., 2000)، سوپر اکسید دیسموتاز (Yu and Rengel, 1995)، پراکسیداز ( Srinivas *et al*., 1999) و گلوتاتیون ردوکتاز (Lee & Lee, 2000) اندازه‌گیری شد. غلظت مهار فعالیت رادیکال DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) با استفاده از روش Abe et al., (1998) و محلول استاندارد اسید آسکوربیک تعیین شد.حجم ریشه با استفاده از استوانهٔ مدرج و افزایش حجم آب با اضافه کردن ریشه اندازه‌گیری شد. مقدار سدیم و پتاسیم ریشه و برگ، با دستگاه فلیم‌فتومتر (UK-Jenway) و محلول‌های استاندارد سدیم و پتاسیم تعیین شد.

1. RWC

برای تجزیه‌های آماری در این مطالعه از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها به‌روش آزمون LSD انجام گرفت و سطح احتمال به‌کاررفته در کلیهٔ تجزیه‌وتحلیل‌ها ۹۵ درصد در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

افزایش شدت تنش شوری در هر دو روش اعمال تنش، موجب کاهش معنادار وزن خشک اندام هوایی بوته‌های کوشیا شد. البته اعمال تدریجی تنش شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) نسبت به اعمال تدریجی تنش شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای (جدول ۲)، به کاهش بیشتر وزن خشک اندام هوایی بوته‌های کوشیا منجر شد. مقدار کاهش وزن خشک اندام هوایی در بالاترین سطح تنش شوری (۶۰ دسی‌زیمنس بر متر) در مقایسه با شاهد در آزمایش اعمال تدریجی تنش شوری از ابتدای کاشت و مرحلهٔ گیاهچه‌ای به‌ترتیب ۸۰/۷ و ۶۶/۶ درصد بود (جدول‌های ۱ و ۲).

از نظر تولید وزن خشک ریشه، بین سطوح مختلف شوری در هر دو مرحلهٔ اعمال تنش اختلاف معناداری وجود داشت (جدول‌های ۱ و ۲). مقدار کاهش وزن خشک ریشه در بیشترین شدت تنش شوری در مقایسه با شاهد در آزمایش‌های مختلف بارز بود، به‌طوری‌که این کاهش در اعمال تدریجی سطوح مختلف تنش شوری از مرحلهٔ کاشت (۷۷/۰ درصد) بیشتر از اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای (۶۷/۸ درصد) بود. بررسی روند وزن خشک ریشه در آزمایش‌های اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت (جدول۱) و گیاهچه‌ای (جدول ۲)، حاکی از کاهش شدید وزن خشک ریشه در تیمارهای شوری بیشتر از ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بود.

جدول ۱. اثر اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کوشیا

| صفات | شوری (دسی زیمنس بر متر) | | | | | | | سطح احتمال LSD ۰/۰۵ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | شاهد | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | | |
| وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) | ۵۱/۲ | ۳۹/۷ | ۱۷/۸ | ۱۷/۴ | ۱۵/۵ | ۱۳/۸ | ۹/۹ | ۰/۰۰۰۱ | ۸/۵ |
| وزن خشک ریشه (گرم در بوته) | ۸/۷ | ۶/۶ | ۴/۱ | ۴/۶ | ۲/۸ | ۳/۲ | ۲/۰ | ۰/۰۰۰۱ | ۱/۱ |
| نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه | ۵/۹ | ۶/۱ | ۴/۶ | ۳/۸ | ۵/۶ | ۴/۳ | ۵/۱ | ۰/۲۷۸۶ | ۲/۲ |
| حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب در بوته) | ۴۴/۵ | ۳۸/۸ | ۲۱/۶ | ۱۷/۵ | ۱۱/۳ | ۱۶/۶ | ۷/۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۹/۱ |
| شاخص پایداری غشا (درصد) | ۹۳/۱ | ۹۵/۲ | ۸۰/۹ | ۷۸/۴ | ۳۶/۵ | ۳۰/۹ | ۱۵/۳ | ۰/۰۰۰۱ | ۱۲/۷ |
| محتوای نسبی آب برگ (درصد) | ۷۵/۵ | ۷۵/۰ | ۸۱/۲ | ۷۸/۹ | ۸۳/۶ | ۷۷/۰ | ۹۶/۶ | ۰/۰۰۰۱ | ۶/۱ |
| پرولین (میلی‌گرم در گرم مادهٔ خشک) | ۰/۸ | ۲/۵ | ۲/۷ | ۵/۴ | ۶/۱ | ۷/۴ | ۱۱/۸ | ۰/۰۰۰۱ | ۱/۶ |
| کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم در گرم مادهٔ خشک) | ۹۶/۹ | ۷۳/۵ | ۹۴/۶ | ۹۱/۶ | ۵۷/۵ | ۹۹/۳ | ۶۳/۰ | ۰/۰۴۵۹ | ۳۱/۴ |
| پتانسیل اسمزی برگ (مگا پاسکال) | ۳/۱ | ۳/۸ | ۳/۴ | ۳/۸ | ۴/۳ | ۴/۳ | ۴/۸ | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۷ |
| آسکوربات پراکسیداز (واحد بر گرم مادهٔ خشک) | ۱۲۷/۹ | ۳۲۹/۷ | ۳۵۴/۵ | ۵۴۸/۶ | ۳۵۸/۶ | ۲۵۵/۵ | ۷۹۶/۳ | ۰/۰۰۰۱ | ۱۶۰/۲ |
| کاتالاز (میکرومول بر گرم مادهٔ خشک در دقیقه) | ۱۵۱/۴ | ۶۵۳/۶ | ۳۶۴/۴ | ۲۰۴/۹ | ۱۹۶/۲ | ۱۱۰/۸ | ۲۲۳/۳ | ۰/۰۰۰۶ | ۲۱۵/۳ |
| سوپر اکسید دیسموتاز (واحد بر گرم مادهٔ خشک) | ۵۳۴/۷ | ۵۲۸/۴ | ۸۴۰/۱ | ۸۴۴/۶ | ۶۲۳/۷ | ۷۹۵/۷ | ۱۰۷۱/۵ | ۰/۰۱۹۲ | ۳۱۹/۹ |
| پراکسیداز (واحد بر گرم مادهٔ خشک) | ۲۵/۱ | ۲۱/۱ | ۱۸/۷ | ۲۸/۳ | ۲۲/۴ | ۱۶/۳ | ۲۳/۲ | ۰/۲۳۳۳ | ۹/۶ |
| گلوتاتیون ردوکتاز (میکرومول بر گرم مادهٔ خشک در دقیقه) | ۴۰/۹ | ۶۳/۲ | ۸۸/۳ | ۱۰۴/۷ | ۶۶/۰ | ۷۶/۹ | ۱۱۲/۴ | ۰/۰۱۱۴ | ۳۸/۱ |
| مهار فعالیت رادیکال DPPH (میلی‌گرم آسکوربات در گرم مادهٔ خشک) | ۴/۰ | ۵/۹ | ۴/۹ | ۷/۸ | ۵/۷ | ۶/۷ | ۱۰/۴ | ۰/۰۰۱۱ | ۲/۶ |
| فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید در گرم مادهٔ خشک) | ۷/۴ | ۸/۲ | ۹/۷ | ۱۱/۰ | ۷/۸ | ۱۱/۲ | ۱۰/۶ | ۰/۰۳۷۲ | ۲/۸ |
| پتاسیم اندام هوایی (میلی‌مول بر گرم مادهٔ خشک) | ۰/۸۰ | ۰/۷۶ | ۰/۶۷ | ۰/۸۸ | ۰/۷۴ | ۰/۷۸ | ۰/۸۸ | ۰/۰۱۹۳۶ | ۰/۱۸ |
| پتاسیم ریشه (میلی‌مول بر گرم مادهٔ خشک) | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۱۱ | ۰/۱۶ | ۰/۶۳۱۶ | ۰/۰۶ |
| سدیم اندام هوایی (میلی‌مول بر گرم مادهٔ خشک) | ۰/۴۲ | ۱/۴۴ | ۱/۸۴ | ۱/۹۲ | ۱/۹۵ | ۲/۳۴ | ۲/۴۸ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۳۵ |
| سدیم ریشه (میلی‌مول بر گرم مادهٔ خشک) | ۰/۲۹ | ۰/۵۳ | ۰/۶۷ | ۰/۷۴ | ۰/۸۳ | ۰/۸۱ | ۰/۹۰ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۱ |
| نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی | ۰/۵۳ | ۱/۹۰ | ۲/۷۴ | ۲/۱۸ | ۲/۶۵ | ۳/۰۱ | ۲/۸۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۶۶ |
| نسبت سدیم به پتاسیم ریشه | ۲/۲۴ | ۳/۸۷ | ۴/۵۰ | ۵/۴۴ | ۶/۲۰ | ۷/۵۱ | ۵/۷۳ | ۰/۰۱۴۶ | ۲/۶۴ |

LSD حداقل اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد

اثر تنش شوری بر حجم ریشه در تیمارهای مختلف شوری و مراحل رشدی مختلف، مشابه تغییرات وزن خشک ریشه بود و بین سطوح مختلف شوری، اختلاف معناداری وجود داشت (جدول‌های ۱ و ۲). اثر سطوح

بالای تنش شوری بر کاهش حجم ریشه در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت (جدول ۱)، بیشتر از اعمال تنش شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای (جدول ۲) بود. با افزایش شدت تنش شوری، در هر دو آزمایش نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه تفاوت معناداری پیدا نکرد (جدول‌های ۱ و ۲). این مطلب نشان‌دهندهٔ کاهش متناسب و همزمان مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه با افزایش شدت تنش شوری است. از جمله پارامترهای مهم در مطالعهٔ اثر تنش شوری بر گیاهان، کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، حجم ریشه و کاهش نسبت اندام‌های هوایی به ریشه است، زیرا حضور بیش از اندازهٔ نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی محلول در آب و خاک، به تجمع نمک در ناحیهٔ ریشه می‌انجامد و گیاه در جذب آب کافی از محلول خاک با اشکال روبه‌رو می‌شود (Kafi *et al.*, 2009; Levitt, 1980).

جدول ۲. اثر اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کوشیا

| صفات | شوری (دسی‌زیمنس بر متر) | | | | | | | سطح احتمال ۰/۰۵ | LSD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | شاهد | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | | |
| وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) | ۵۷/۸ | ۳۴/۳ | ۳۴/۷ | ۲۲/۴ | ۱۹/۸ | ۲۱/۱ | ۱۹/۳ | ۰/۰۰۰۱ | ۷/۹ |
| وزن خشک ریشه (گرم در بوته) | ۸/۷ | ۶/۰ | ۵/۰ | ۳/۷ | ۳/۲ | ۲/۸ | ۲/۸ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۶ |
| نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه | ۶/۶ | ۵/۷ | ۶/۹ | ۶/۱ | ۶/۳ | ۷/۶ | ۶/۹ | ۰/۳۸۷۸ | ۱/۷ |
| حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) | ۴۰/۶ | ۲۶/۹ | ۲۱/۹ | ۱۴/۳ | ۱۳/۱ | ۱۲/۰ | ۱۲/۵ | ۰/۰۰۰۱ | ۲/۸ |
| شاخص پایداری غشا (درصد) | ۹۲/۷ | ۶۱/۹ | ۶۲/۵ | ۲۷/۶ | ۴۵/۹ | ۳۳/۴ | ۴۴/۴ | ۰/۰۵۴۱ | ۴۰/۸ |
| محتوای نسبی آب برگ (درصد) | ۸۶/۵ | ۹۵/۹ | ۵۸/۶ | ۹۲/۲ | ۸۵/۵ | ۸۹/۷ | ۹۷/۸ | ۰/۰۰۱۰ | ۱۶/۰ |
| پرولین (میلی‌گرم در گرم مادهٔ خشک) | ۱/۰ | ۴/۸ | ۳/۸ | ۶/۵ | ۸/۸ | ۷/۰ | ۱۲/۲ | ۰/۰۰۰۱ | ۲/۵ |
| کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم در گرم مادهٔ خشک) | ۱۲۲/۶ | ۱۰۰/۳ | ۵۱/۸ | ۷۳/۰ | ۶۱/۲ | ۹۲/۷ | ۷۱/۷ | ۰/۰۰۱۹ | ۳۱/۵ |
| پتانسیل اسمزی (بار) | ۲/۶ | ۳/۸ | ۴/۱ | ۴/۳ | ۴/۵ | ۴/۶ | ۵/۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۵ |
| آسکوربات پراکسیداز (واحد بر گرم مادهٔ خشک) | ۱۱۴/۲ | ۲۹۵/۱ | ۲۰۰/۵ | ۳۲۱/۹ | ۲۲۵/۴ | ۹۰۶/۹ | ۶۱۵/۲ | ۰/۰۰۲۷ | ۲۶۳/۰ |
| کاتالاز (میکرومول بر گرم مادهٔ خشک در دقیقه) | ۲۱۳/۳ | ۵۴۲/۰ | ۱۵۸/۹ | ۱۸۴/۵ | ۲۰۱/۹ | ۱۳۲/۸ | ۳۷۴/۸ | ۰/۰۱۹۱ | ۲۳۸/۷ |
| سوپر اکسید دیسموتاز (واحد بر گرم مادهٔ خشک) | ۴۳۲/۹ | ۲۲۱/۱ | ۲۳۸/۵ | ۴۱۹/۲ | ۲۸۱/۶ | ۴۶۶/۲ | ۴۵۳/۲ | ۰/۶۶۳۰ | ۳۸۰/۷ |
| پراکسیداز (واحد بر گرم مادهٔ خشک) | ۷/۰ | ۷/۴ | ۴/۵ | ۶/۵ | ۶/۵ | ۱۷/۶ | ۱۷/۹ | ۰/۰۰۴۳ | ۷/۸ |
| گلوتاتیون ردوکتاز (میکرومول بر گرم مادهٔ خشک در دقیقه) | ۲۷/۵ | ۵۵/۸ | ۴۳/۸ | ۱۰۲/۳ | ۶۳/۰ | ۱۰۱/۹ | ۱۰۴/۰ | ۰/۰۰۰۱ | ۲۳/۶ |
| مهار فعالیت رادیکال DPPH (میلی‌گرم آسکوربات در گرم مادهٔ خشک) | ۵/۰ | ۴/۱ | ۳/۹ | ۳/۸ | ۵/۶ | ۷/۰ | ۴/۶ | ۰/۱۶۴۴ | ۳/۵ |
| فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید در گرم مادهٔ خشک) | ۷/۰ | ۷/۶ | ۵/۰ | ۵/۱ | ۹/۱ | ۱۳/۲ | ۵/۸ | ۰/۰۰۷۹ | ۴/۲ |
| پتاسیم اندام هوایی (میلی‌مول بر گرم مادهٔ خشک) | ۰/۷۱ | ۰/۹۴ | ۰/۷۴ | ۱/۰۴ | ۰/۹۳ | ۰/۹۵ | ۰/۹۸ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۱۰ |
| پتاسیم ریشه (میلی‌مول بر گرم مادهٔ خشک) | ۰/۱۸ | ۰/۱۱ | ۰/۱۲ | ۰/۱۲ | ۰/۱۴ | ۰/۱۰ | ۰/۱۵ | ۰/۰۰۱۹ | ۰/۰۴ |
| سدیم اندام هوایی (میلی‌مول بر گرم مادهٔ خشک) | ۰/۵۶ | ۱/۳۳ | ۲/۰۶ | ۲/۲۵ | ۲/۰۳ | ۲/۲۵ | ۲/۴۵ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۲۲ |
| سدیم ریشه (میلی‌مول بر گرم مادهٔ خشک) | ۰/۲۴ | ۰/۵۸ | ۰/۷۳ | ۰/۷۵ | ۰/۸۵ | ۰/۹۰ | ۰/۹۶ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۰ |
| نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی | ۰/۷۹ | ۱/۴۲ | ۲/۷۸ | ۲/۱۷ | ۲/۱۹ | ۲/۳۸ | ۲/۴۹ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۵۰ |
| نسبت سدیم به پتاسیم ریشه | ۱/۳۱ | ۵/۴۱ | ۶/۲۳ | ۶/۵۲ | ۶/۲۷ | ۹/۲۸ | ۶/۵۷ | ۰/۰۰۰۱ | ۱/۹۱ |

LSD حداقل اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد

ریشه‌ها در مواجهه با تنش‌های مختلف محیطی از جمله تنش‌های خشکی و شوری، اهمیت زیادی در بقا و عملکرد گیاهان زراعی دارند (Kafi *et al.*, 2009). ریشه‌ها اولین اندام گیاه هستند که آثار تنش شوری را تجربه می‌کنند و پس از آن، اندام‌های هوایی تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرند. Ganjeali *et al.*, (2007) گزارش کردند که سیستم گستردهٔ ریشه با تحمل به شوری گیاه همبستگی مثبتی دارد. نوساناتی از نظر تعداد ریشه، طول ریشه و سرعت رشد آن در واریته‌ها و گیاهان مختلف مشاهده شده است که این صفات سبب ایجاد تفاوت‌هایی در ویژگی‌های گیاه، از جمله تحمل به تنش‌های خشکی، غرقاب، شوری و زودرسی گیاه شده‌اند. Sing *et al.*, (2000) بیان داشتند گیاهانی با طول ریشهٔ اصلی و تعداد ریشه‌های جانبی بیشتر، تحمل بیشتری به تنش شوری دارند. در آزمایشی روی ۴۰ رقم گندم بهاره، مشخص شد ارقامی که در زمان جوانه‌زنی بیشترین ریشهٔ جنینی را داشتند، بیشترین عملکرد را نیز در شرایط تنش و عدم تنش خشکی و شوری دارا

بودند (Gregory, 1988). همچنین بالا بودن نسبت اندام هوایی به ریشه و سرعت رشد نسبی زیاد، از عواملی است که در کاهش تجمع نمک در برگ‌ها دخالت دارد. به‌همین دلیل ریشه، در واکنش گیاه به تنش شوری تأثیر دارد (Jamil & Rha, 2004). در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش شدت تنش شوری، وزن خشک ریشه و همچنین حجم ریشه کاهش پیدا کرد.

شاخص پایداری غشا در تیمارهای مختلف با افزایش شدت تنش شوری کاهش یافت و بین سطوح مختلف شوری در هر دو مرحلهٔ اعمال تنش اختلاف معناداری مشاهده شد (جدول‌های ۱ و ۲). درصد کاهش پایداری غشا در بیشترین شدت تنش شوری نسبت به شاهد در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت و گیاهچه‌ای به‌ترتیب ۷۷/۸ و ۴۸/۳ درصد بود (جدول‌های ۱ و ۲). این نتایج نشان داد که اعمال تنش شوری شدید در گیاهانی که تا مرحلهٔ گیاهچه‌ای رشد کرده‌اند و سپس به آنها تنش وارد می‌شود، در مقایسه با گیاهانی که از مرحلهٔ کاشت به آنها تنش اعمال شده، خسارت کمتری بر غشای سلول‌های آنها وارد می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کوشیا در مراحل ابتدایی رشد، به تنش شوری حساس‌تر است و اگر استقرار کوشیا با آب غیرشور امکان‌پذیر باشد، بهتر است تا مرحلهٔ گیاهچه‌ای، آبیاری با آب غیرشور انجام گیرد.

تنش شوری با پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تولید مالوندآلدئید توسط گونه‌های فعال اکسیژن، سبب آسیب‌دیدگی غشاها، افزایش نفوذپذیری و کاهش شاخص پایداری غشا می‌شود (Sairam *et al.*, 2002). شاخص پایداری غشا، نشان‌دهندهٔ شاخصی از خسارت به غشا در اثر پراکسیداسیون لیپیدهای غشا توسط گونه‌های فعال اکسیژن است و از طریق تراوش نسبی یون‌ها برآورد می‌شود. در آزمایش اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت مقدار همبستگی شاخص پایداری غشا با آسکوربات پراکسیداز (۰/۶۴)، مهار فعالیت رادیکالDPPH (۰/۴۸)، سوپر اکسید دیسموتاز (۰/۴۱) و گلوتاتیون ردوکتاز (۰/۳۰)، بود. در آزمایش اثر اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای، همبستگی شاخص پایداری غشا با گلوتاتیون ردوکتاز (۰/۳۹)، آسکوربات پراکسیداز (۰/۳۸)، پراکسیداز (۰/۱۹) و مهار فعالیت رادیکالDPPH (۰/۱۳) بود. افزایش نفوذپذیری و کاهش شاخص پایداری غشا، به افزایش نشت الکترولیت‌ها منجر می‌شود (Sairam et al., 2002). محققان مختلف، کاهش شاخص پایداری غشا در اثر شوری را گزارش کرده‌اند (Azizpour *et al.*, 2010; Farooq & Azam, 2006; Battacharjee, & Mukherjee, 1996). با وجود این، در این مطالعه، وضعیت غشای سلول‌ها در هر دو روش اعمال تنش شوری با افزایش شوری تا سطح ۲۰ دسی‌زیمنس، به‌نسبت پایدار بود، ولی بالاتر از این سطح موجب کاهش شدید پایداری غشا شد.

محتوای نسبی آب برگ در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت در تیمارهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد افزایش معناداری پیدا کرد (جدول ۱). در آزمایش اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای از نظر محتوای نسبی آب برگ بین تیمارها اختلاف معناداری وجود نداشت (جدول ۲). مقدار افزایش محتوای آب نسبی برگ در تیمار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت و گیاهچه‌ای به‌ترتیب ۲۱/۱ و ۱۱/۳ درصد بود (جدول‌های ۱ و ۲). در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت در تیمار ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش ناگهانی در محتوای آب نسبی برگ مشاهده شد (جدول ۱). از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی که نشان‌دهندهٔ وضعیت آبی گیاه هستند، می‌توان به محتوای آب نسبی بافت و پتانسیل کل آب اشاره کرد (Ashraf, 2004). به‌نظر Sinclair & Ludlow (1985) محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با متغیرهای ترمودینامیکی وضعیت آب، شاخص بهتری است. محتوای آب نسبی برگ با افزایش تنش شوری کاهش می‌یابد (Ashraf, 2004; Sairam & Srivastava, 2002). گیاهانی که در شرایط شور سریع‌تر به‌حالت تعدیل اسمزی می‌رسند، سریع‌تر با محیط اطراف خود سازگار می‌شوند و می‌توانند محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب بافت‌های خود را با جذب بهتر آب حفظ کنند. توانایی حفظ محتوای نسبی آب برگ بیشتر در هر پتانسیل آبی بیانگر استحکام دیوارهٔ سلول‌ها و تحمل آنها

در برابر فروپاشی متأثر از تلفات تنش است (Greenway & Munns, 1980). نگارندگان در آزمایشی که در شرایط مزرعه انجام دادند (Nabati, 2010)، مشاهده کردند که با افزایش شوری تا ۲۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر مقدار محتوای نسبی آب برگ کوشیا کاهش می‌یابد، اما در این آزمایش‌ها افزایش محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد. احتمالا استفاده از نمک خالص در این آزمایش‌ها (در شرایط مزرعه هدایت الکتریکی مجموع همهٔ یون‌های موجود است) موجب افزایش مقدار جذب نمک در گیاه کوشیا شده است. افزایش جذب نمک در تیمارهای تنش شوری در کوشیا موجب آبدار شدن برگ‌های این گیاه همانند سایر گیاهان شورزی شد، که نتیجهٔ آن افزایش محتوای نسبی آب برگ بود. به‌علاوه در این آزمایش مشاهده شد که هنگام قرار گرفتن برگ گیاهان رشدیافته در تیمارهای بالای تنش شوری در آب مقطر، به‌دلیل مقدار زیاد نمک در بافت برگ و جذب بیش از حد آب، بافت برگ متلاشی شده و وزن آماس از وزن اولیه کمتر می‌شود و در نتیجه موجب ایجاد خطا در اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ می‌شود. بنابراین احتمالا می‌توان گفت که در شدت‌های بالای تنش شوری محتوای نسبی آب برگ صفت مناسبی برای ارزیابی وضعیت آب برگ نیست. مقدار پرولین برگ در تیمار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت (۹۳/۲ درصد) و گیاهچه‌ای (۹۱/۸ درصد) افزایش معناداری نشان داد (جدول‌های ۱ و ۲).

بررسی غلظت کربوهیدرات‌های محلول در تیمارهای مختلف شوری در هر دو آزمایش الگوی متفاوتی نشان داد (جدول‌های ۱ و ۲). در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت بین تیمارهای شاهد، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معناداری مشاهد نشد و غلظت کربوهیدرات‌های محلول در تیمارهای ۴۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد کاهش معناداری پیدا کردند (جدول۱). در آزمایش اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای با افزایش شدت تنش شوری غلظت کربوهیدرات‌های محلول کاهش یافت (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد که کوشیا برای مقابله با تنش شوری به انرژی نیاز دارد که با مصرف کربوهیدرات‌های تولیدی مقداری از اثرهای تنش شوری را مدیریت می‌کند.

افزایش شدت تنش شوری موجب افزایش معنادار پتانسیل اسمزی در بین تیمارهای مختلف شوری در هر دو روش اعمال تنش شوری در مراحل مختلف رشد شد (جدول‌های ۱ و۲). مقدار افزایش پتانسیل اسمزی در تیمار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت و گیاهچه‌ای به‌ترتیب ۱/۷و ۲/۵ مگاپاسکال بود (جدول‌های۱ و ۲).

شناسایی املاح درون‌سلولی و تغییر متابولیسم آنها در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای انتخاب گیاهان متحمل به شوری مطرح باشد. سنتز و تجمع ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین در سیتوسول و اندامک‌های درون‌سلولی، یکی از پاسخ‌های گیاه برای سازگاری به تنش شوری است (Sairam & Srivastava, 2002). نقش اصلی اسمولیت‌های سازگار این است که با تنظیم اسمزی در شرایط تنش از سلول در برابر تنش اسمزی ناشی از شوری محافظت می‌کنند. از جمله دیگر نقش‌های اسمولیت‌های سازگار، حفاظت از یکپارچگی غشای پلاسمایی و تیلاکوئید، پایداری پروتئین‌ها و به‌عنوان منبعی برای کربن و نیتروژن و حذف رادیکال‌های هیدروکسیل تولیدی توسط تنش شوری است (Munns & Tester, 2008).

در واقع حاصل تجمع اسمولیت‌ها در سلول‌های گیاهی کاهش پتانسیل اسمزی سلول و بنابراین ادامهٔ جذب آب و حفظ فشار آماس سلول است که احتمالا موجب ثبات فرایندهای فیزیولوژیکی مانند باز ماندن روزنه‌ها، فتوسنتز و توسعهٔ رشد می‌شود (Serraj & Sinclair, 2002). در این مطالعه با افزایش شدت تنش شوری، تولید پرولین و پتانسیل اسمزی افزایش یافت. با توجه به غلظت پرولین، می‌توان نتیجه گرفت که نمک‌های محلول سهم بیشتری در پتانسیل اسمزی ایجادشده داشته‌اند و نقش پرولین در شوری‌های شدید، محافظت اسمزی بوده است (Yokoi *et al*. 2002). مقدار کربوهیدرات‌ها در تیمارهای مختلف وضعیت متفاوتی داشت (جدول‌های ۱ و ۲). در اعمال تدریجی تنش شوری در مرحلهٔ گیاهچه‌ای با افزایش شوری کاهش غلظت کربوهیدرات‌ها مشاهده شد، که دلیل این مسئله

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 هزینهٔ ممانعت از ورود نمک، نگهداری داخل‌سلولی، راندن نمک به غده‌ها و کیسه‌های نمکی و سنتز مواد محلول آلی است (Munns *et al.* 2006) و احتمالاً کربوهیدرات‌ها به‌منظور تأمین انرژی لازم برای این فعالیت‌ها مصرف می‌شوند.

فعالیت آسکوربات پراکسیداز در اعمال تدریجی سطوح مختلف تنش شوری از مرحلهٔ کاشت و گیاهچه‌ای به‌طور معناداری تحت تأثیر تیمارهای مختلف شوری قرار گرفت (جدول‌های ۱ و۲) و افزایش شدت تنش شوری موجب افزایش فعالیت آن شد، به‌طوری که مقدار فعالیت آن در تیمار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت و گیاهچه‌ای به‌ترتیب ۸۳/۹ و ۸۱/۴ درصد افزایش یافت (جدول‌های ۱ و ۲).

در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت و گیاهچه‌ای، فعالیت کاتالاز با افزایش سطح شوری افزایش یافت، اما فقط در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معناداری با سایر تیمارها وجود داشت (جدول‌های ۱ و ۲). افزایش شدت تنش شوری در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت موجب افزایش معنادار فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز شد (جدول ۱). در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای (جدول ۲) بین تیمارهای شوری از نظر فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز اختلاف معنادار مشاهده نشد.

فعالیت پراکسیداز در تیمارهای مختلف در اعمال تدریجی تنش شوری از ابتدای کاشت (جدول ۱) اختلاف معناداری با هم نداشتند. در اعمال تدریجی (جدول ۲) سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای با افزایش شدت تنش، فعالیت پراکسیداز افزایش معناداری پیدا کرد.

فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت و گیاهچه‌ای در تیمارهای مختلف شوری با افزایش شدت تنش افزایش معناداری یافت (جدول‌های ۱ و ۲). مهار فعالیت رادیکالDPPH در اعمال تدریجی (جدول ۱) سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت با افزایش تنش شوری افزایش معناداری پیدا کرد. این مقدار افزایش مهار فعالیت رادیکالDPPH در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت در تیمار حداکثر تنش نسبت به شاهد ۶۱/۵ درصد بود (جدول ۱). از نظر میزان مهار فعالیت رادیکالDPPH بین تیمارهای مختلف شوری در اعمال تدریجی (جدول ۲) سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای اختلاف معناداری مشاهده نشد.

مقدار فنل کل در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از ابتدای کاشت با افزایش شوری افزایش معناداری یافت، به‌طوری که این مقدار در تیمارهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ ۵۰ و ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر، در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۹/۷، ۲۳/۷، ۳۲/۷، ۵/۱، ۳۳/۹ و ۳۰/۲ درصد افزایش یافت (جدول ۱). بررسی وضعیت فنل کل در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای نشان داد که تنها در تیمار ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر شوری مقدار فنل کل با سایر تیمارها اختلاف معناداری داشت (جدول ۲).

تنش شوری موجب ایجاد تنش اسمزی می‌شود. این کمبود آب موجب ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن مثل سوپراکسید، پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسید و اکسیژن نوزاد می‌شود. این اکسیژن‌های فعال‌شدهٔ سیتوسولی موجب اختلال در متابولیسم از طریق خسارت اکسیداتیو بر لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Walker & McKersie, 1993). برخی گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجادشده، سیستم دفاعی کارایی دارند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین ببرند یا خنثی کنند. این سیستم دفاعی شامل فعال شدن آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، مهار فعالیت رادیکال DPPH، ترکیبات فنلی و تعداد دیگری از مواد آنتی‌اکسیدانتی است (Walker & McKersie, 1993). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مثل کاتالاز، آسکوربات و گلوتامین ردوکتاز تحت تنش افزایش می‌یابد (Kafi *et al.*, 2009). در این مطالعه مشاهده شد که سیستم آنتی‌اکسیدانتی گیاه در اعمال تدریجی تنش شوری از ابتدای کاشت نسبت به اعمال تدریجی از مرحلهٔ گیاهچه‌ای، فعالیت بیشتری نشان داد

(جدول‌های ۱ و ۲). با توجه به این مطالب می‌توان نتیجه گرفت که اگر گیاه زمان طولانی‌تری در معرض تنش شوری قرار گیرد، اثر تجمعی و سمی بودن نمک موجب افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شود. غلظت پتاسیم اندام هوایی کوشیا در روش‌های مختلف اعمال تنش شوری در مراحل مختلف رشدی با افزایش شدت تنش شوری افزایش یافت (جدول‌های ۱ و ۲). وضعیت غلظت پتاسیم ریشه عکس اندام هوایی بود، به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش شوری از غلظت پتاسیم ریشه کاسته شد. در اعمال تدریجی (جدول ۲) سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ گیاهچه‌ای این کاهش پتاسیم ریشه معنادار بود. با افزایش شدت تنش شوری در هر دو آزمایش غلظت سدیم در اندام هوایی و ریشهٔ کوشیا به‌طورمعناداری افزایش یافت (جدول‌های ۱ و ۲). این افزایش غلظت سدیم در تیمار حداکثر شوری نسبت به شاهد در اعمال تدریجی سطوح مختلف شوری از مرحلهٔ کاشت (جدول ۱) و گیاهچه‌ای (جدول ۲) در اندام هوایی به‌ترتیب ۸۳/۰ و ۷۷/۳ درصد و در ریشه ۶۷/۹ و ۷۵/۱ درصد بود. نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه با افزایش شدت تنش شوری افزایش یافت.

با توجه به اینکه مقدار پتاسیم ریشه از اندام هوایی کمتر بود، نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه نسبت به اندام هوایی افزایش بیشتری پیدا کرد (جدول‌های ۱ و ۲). در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش تنش شوری غلظت پتاسیم تا حدودی افزایش یافت، 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 احتمالاً با تنظیم بیان و فعالیت انتقال‌دهنده‌های $Na^+$ و$K^+$ و پمپ‌های $H^+$ انجام می‌دهند (Kang Zhu, 2003)، این افزایش پتاسیم ممکن است از عوامل تحمل زیاد کوشیا به شوری باشد، ولی روشن شدن آن به تحقیق بیشتر نیاز دارد. نگهداری و حفظ نسبت بالایی از پتاسیم به سدیم در سلول‌های گیاهی برای فرایندهای متابولیکی و اساسی تحمل به تنش شوری مناسب خواهد بود (Huang *et al*., 2006). بیش از پنجاه آنزیم به‌وسیلهٔ پتاسیم فعال می‌شود که نقش این عنصر قابل جایگزینی با سدیم نخواهد بود. Zheng *et al*., 2008 گزارش کرده است که نسبت مطلوب پتاسیم به سدیم به‌منظور تنظیم اسمزی، نگهداری فشار تورژسانس، عملکرد روزنه‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین‌ها، متابولیسم اکسیدان‌ها و فتوسنتز مهم و ضروری است. در این مطالعه با افزایش شوری نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه با افزایش شدت تنش شوری افزایش یافت که مطابق با نتایج تحقیقات سایر محققان بود (Pirlak & Esitken, 2004; Munns, *et al*. 2006; Munns & Tester, 2008). نتایج این مطالعه با نتایج تحقیقات Munns *et al*., (2006) که با بررسی تنش شوری در گندم گزارش کردند افزایش تنش شوری موجب کاهش پتاسیم در ریشه می‌شود، مطابقت دارد. با توجه به افزایش غلظت سدیم در اندام هوایی و ریشهٔ کوشیا با افزایش شدت تنش شوری در این مطالعه و با عنایت به این نکته که آنزیم‌های استخراج‌شده از هالوفیت‌هایی مانند آتریپلکس (*Atriplex pongeosa*) و سوئدا (*Suaeda maritime*) در مقایسه با آنزیم‌های استخراج‌شده از نخود و لوبیا، به نمک حساسیت مشابهی دارند (Munns, *et al*. 2008) و همچنین با توجه به نبود غده‌های نمکی در سطح برگ کوشیا این فرضیه تقویت می‌شود که این گیاه احتمالاً ظرفیت زیادی در نگهداری سدیم و کلر در واکوئل‌های خود دارد.

**نتیجه‌گیری کلی**

به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که با اعمال تدریجی تنش شوری، گیاه شوردوست کوشیا می‌تواند تا ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر به رشد خود ادامه دهد. شدت کاهش وزن خشک و حجم ریشه، و شاخص پایداری غشای کوشیا در اعمال تدریجی تنش از مرحلهٔ گیاهچه‌ای کمتر از اعمال تدریجی تنش از مرحلهٔ کاشت بود. در این مطالعه مشاهده شد که سیستم آنتی‌اکسیدانتی کوشیا در اعمال تدریجی تنش شوری از ابتدای کاشت در مقایسه با اعمال تدریجی از مرحلهٔ گیاهچه‌ای، فعالیت بیشتری دارد، که ممکن است در زنده ماندن گیاه و حفظ تولید مؤثر باشد. در مجموع با وجود اعمال شدت‌های زیاد تنش در این آزمایش‌ها مشخص شد که کوشیا توانایی خوبی در تحمل به تنش‌های شوری شدید از خود نشان می‌دهد.

## REFERENCES


1. Abe, N. Murata, T. & Hirota, A. (1998). Novel 1,1-diphenyl-2-picryhy- drazyl- radical scavengers, bisorbicillin and demethyltrichodimerol, from a fungus. *Biosci. Biotechnol. Biochem*, 62, 61-662.
2. Ashraf, M. & Harris, P.J.C. (2004). Potential biochemical indicators on salinity tolerance in plants. *Plant Sci.* 166, 3-16.
3. Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora*, 199, 361-376.
4. Ashraf, M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Bio. Adv*, 27, 84–93.
5. Asish Kumar, P. & Bandhu Das, A. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecot. Environ. Safety*, 60, 324–349.
6. Azizpour, K., Shakiba, M.R., Khosh Kholg Sima, N.A., Alyari, H., Mogaddam, M., Esfandiari, E. & Pessarakli, M. (2010). Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *J. Plant Nutr*, 33, 859–873.
7. Baker, S. K. & Dynes, R. A. (1999). Evaluation of the feeding value of pasture legumes. In: *Genetic resources of Mediterranean pasture and forage legumes*. Bennett S.J., and Cocks P.S. (Eds), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 120-131.
8. Bates, L. S., Waldran, R. P & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water studies. *Plant Soil*, 39, 205–208.
9. Battacharjee, S., & Mukherjee, A. K. (1996). Ethylene evolution and membrane lipid peroxidation as indicators of salt injury in leaf tissues of *Amaranthus* seedlings. *Indian J. Exp. Biol*, 34, 279–281.
10. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. & Smith, F. (1956). Calorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analyt. Chim*, 28, 350-356.
11. Farooq, S. & Azam, F. (2006). The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *J. Plant Physiol*, 163, 629-637.
12. Ganjeali, A., Porsa, H. & Hojjat, S. (2007). Genotypic diversity of root and shoot characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in hydroponic culture and in the greenhouse. J. *Iranian Field Crop Res*, 5, 143-153. (In Farsi).
13. Greenway, H. & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 149–190.
14. Gregory, P.J. (1988). Root growth of chick pea, faba bean, lentil and pea and effects of water and salt stresses. PP. 857-867. In: R. J. Snmmerfield (ed.) *World Crops: Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic published.
15. Huang, S., Spielmeyer, W., Lagudah, E.S., James, R.A., Platten, J.D., Dennis, E.S. & Munns, R. (2006). A sodium transporter (HKT7) is a candidate for Nax1, a gene for salt tolerance in durum wheat. *Plant Physiol*, 42, 1718-1727.
16. Jamil, M. & Rha, E. S. (2004). The effect of salinity (Na Cl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Korean J. Plant Res*, 7, 226-232.
17. Kafi, M., Asadi, H. & Ganjeali, A. (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. *Agr. Water Manage*, 97, 139-147.
18. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. & Nabati, J. (2009). Physiology of environmental stresses in plants. *Jahad Daneshgali Mashhad Press*. (In Farsi)
19. Kang Zhu, J. (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol*, 6, 441-445.
20. Lee, D. H. & Lee, C. B. (2000). Chilling stress-induced changes of antioxidant enzymes in the leaves of cucumber: in gel enzyme activity assays. *Plant Sci*, 159, 75-85.
21. Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses. 2 nd edition. Volume 1: Chilling Freezing and High Temperature Stresses. *Academic Press*.
22. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol*, 59, 651-681.
23. Munns, R., James, R. A. & Lauchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot*, 57, 1025-1043.
24. Nabati, J. (2010). *Effect of salinity on physiological characteristics and qualitative and quantitative traits of forage Kochia* (*Kochia scoparia*) Ph.D. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture.
25. Pirlak, L. & Esitken, A. (2004). Salinity effects on growth, proline and ion accumulation in strawberry plants. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci*, 54, 189- 192.

26. Qureshi, A. S., Qadir, M., Heydari, N., Turral, H. & Javadi, A. (2007). A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 30p. (IWMI Working Paper 125).
27. Sairam, R. K. & Srivastava, G. C. (2002). Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Sci*, 162, 897-904.
28. Sairam, R.K., Rao, K.V. & Srivastava, G.C. (2002). Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci*, 163, 1037–1046.
29. Salehi, M., M. Kafi, & A. Kiani. (2009). Growth analysis of kochia (*Kochia scoparia* (L.) schrad) irrigated with saline water in summer cropping. *Pak. J. Bot*, 41, 1861-1870.
30. Serraj, R., & Sinclair, T.R. (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. *Plant Cell Environ*, 25, 333-341.
31. Sherrod, L.B. (1971). Nutritive value of *Kochia scoparia*. I. Yield and chemical composition at three stages of maturity. *Agron. J*, 63, 343-344.
32. Sinclair, T.R. & Ludlow, M.M. (1985). Who taught thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Aust. J. Plant Physiol*, 133, 213-217.
33. Sing, D.N., Massod Ali, R.I. & Basu, P.S. (2000). Genetic variation in dry matter partitioning in shoot and root influences of chickpea to drought. *3rd International Crop Science Congress*.
34. Singleton, U.L., & Rossi, J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-posphotungustic acid reagent. *Am. J. Enol, Vit*. 16, 144.
35. Smart, R.E. & Bingham, G.E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiol*, 53, 258–260.
36. Srinivas, N.D., Rashmi, K.R. & Raghavarao, K.S.M.S. (1999). Extraction and purification of a plant peroxidase by aqueous two-phase extraction coupled with gel filtration. *Process Biochem*, 35, 43–48.
37. Velikova, V., I. Yordanov, & A. Edreva. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. *Plant Sci*, 151, 59-66.
38. Walker, M.A. & Mc Kersie, B.D. (1993). Role of the ascorbateglutathione antioxidant system in chilling resistance of tomato. *J. Plant Physiol*, 141, 234–239.
39. Yamaguchi, K., Mori, H. & Nishimura, M. (1995). A novel isoenzyme of ascorbate peroxidase localized on glyoxysomal and leaf peroxisomal membranes in pumpkin. *Plant Cell Physiol*, 36, 1157–1162.
40. Yokoi, S., Bressan, R.A. & Hasegawa, P.M. 2002. Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS Working Report*, 25-33.
41. Yu, Q. & Rengel, Z. (1995). Drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutase in narrow-leafed lupins. *Plant Sci*, 142, 1–11.
42. Zheng, Y., Jiac, A., Ning, T., Xud, J., Li, Z. & Jiang, G. (2008). Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *J. Plant Physiol*, 165, 1455-1465.