

پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه کالارگراس (*Leptochloa fescua* L. kunth) به تنش‌های ترکیبی خشکی و شوری در شرایط کنترل شده

کمال حاج محمدنیا قالی باف^{۱*}، یحیی سلاح ورزی^۲

۱. مربی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۲. مربی، مرکز تحقیقات انار، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۱۶

چکیده

خشکی و شوری در بسیاری از مناطق جهان از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاهان به شمار می‌روند. یک سازوکار مناسب در این زمینه استفاده از گیاهانی است که بتوانند در چنین شرایط محیطی، از تولید رضایت بخشی برخوردار باشند. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار روی گیاه کالارگراس (*Leptochloa fescua* L. kunth) تحت شرایط کنترل شده در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۸۸، انجام پذیرفت. سطوح خشکی در سه سطح (۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شوری در چهار سطح (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ دسی زمینس بر متر) تیمارهای آزمایش را تشکیل دادند. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که صفات فیزیولوژیک سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، عملکرد فلورسانس کلروفیل و عدد کلروفیل متر کالارگراس با افزایش سطوح خشکی و شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت، به طوری که شدیدترین تیمارهای خشکی (۲۵ FC) و شوری (۲۰ dSm⁻¹) در این آزمایش، کمترین مقادیر این صفات را به خود اختصاص دادند. تنش متوسط خشکی (۵۰ FC) افزایش معنی‌دار عملکرد فلورسانس کلروفیل، و تنش‌های کم تا متوسط شوری (۵-۱۰ dSm⁻¹) (EC = ۵) افزایش معنی‌دار عملکرد فلورسانس کلروفیل و عدد کلروفیل متر را در مقایسه با شاهد باعث شدند. افزایش معنی‌دار نسبت ریشه به اندام هوایی کالارگراس در تنش شدید خشکی (۲۵ FC) مشاهده شد، در حالی که در تنش‌های متوسط تا شدید شوری (۱۰-۲۰ dSm⁻¹) این تغییر اتفاق افتاد. همچنین بالاترین سطوح تیمارهای خشکی و شوری به ترتیب با میانگین ۶۹ و ۴۲ درصد کاهش نسبت به شاهد مربوطه، پایین‌ترین مقادیر زیست توده کالارگراس را باعث شدند. بررسی تنش ترکیبی شوری و خشکی نشان داد این هالوفیت واکنش بهتری در مقابل تنش شوری در مقایسه با تنش خشکی دارد، به طوری که آبیاری کامل (۱۰۰ FC) با شوری ۲۰ dSm⁻¹ اختلاف آماری با تنش متوسط خشکی (۵۰ FC) تا سطح شوری ۵ dSm⁻¹ روی وزن خشک تک بوته کالارگراس نداشت. در مجموع، این گیاه سطوح بالاتر شوری را در شرایط آبیاری کامل بهتر از شرایط آبیاری متوسط تحمل کرد، بنابراین کشت آن در اراضی دارای آب شور و لب شور بدون محدودیت آبیاری قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز، عدد کلروفیل متر، عملکرد فلورسانس کلروفیل

مقدمه

از سطح کره زمین را نیز مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهند.

تنش رطوبتی می‌تواند بسیاری از جنبه‌های متابولیسم و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (De and Kar, 1994). کمبود آب با تأثیر بر آماس سلولی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و از طرف دیگر با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، بر رشد

تنش‌های محیطی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده الگوی پراکنش گیاهی در سطح جهان می‌باشند و تنش‌های خشکی و شوری نیز به سهم خود تعیین‌کننده بخش قابل توجهی از این پراکنش می‌باشند (Kafi et al., 2009). به طوری که شوری در حدود ۸۳۰ میلیون هکتار از مساحت زمین‌های جهان و تقریباً ۱۹/۵ درصد زمین‌های زراعی فاریاب را تحت تأثیر خود قرار داده است (FAO, 2007). در عین حال بیش از ۶/۱ میلیارد هکتار معادل ۴۷/۲ درصد

(Poaceae)، یکی از این گیاهان هالوفیت جدید می‌باشد که به صورت گسترده‌ای در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری پراکنش یافته است. این گیاه به خاک‌های شور، سدیمی و آهکی بسیار متحمل بوده و قادر است بدون هیچ‌گونه منبعی کودی رشد نموده و سالانه بین ۲۰ تا ۴۰ تن در هکتار علوفه سبز تولید نماید (Reinhold et al., 1998). برخی تحقیقات نیز حاکی از توانایی این گیاه در اصلاح خاک‌های شور و قلیایی و بهبود نفوذپذیری خاک می‌باشد (Ahmad et al., 1990; Reinhold et al., 1998).

با توجه به محدودیت منابع آب شیرین جهت کشاورزی و همچنین کاهش روز افزون کیفیت این منابع در کشور و از طرفی نیاز به تولید علوفه تحت این شرایط، پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات فیزیولوژیک گیاه کالارگراس تحت تأثیر تنش‌های شوری و خشکی و همچنین معرفی این هالوفیت ارزشمند جهت استفاده در اراضی دارای آب شور و لب شور کشور انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۳۸۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح (۱۰۰، ۵۰، ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شوری در چهار سطح (۵، ۱۰، ۲۰ دسی زیمنس بر متر) بودند. ابتدا بذور کالارگراس جهت جوانه‌زنی و سبز شدن بهتر در سینی‌های مخصوص نشاء محتوی کوکوپیت کشت شدند. در مرحله بعد پس از رشد ابتدایی (مرحله دو برگ حقیقی)، نشاء‌های یکنواخت و سالم کالارگراس به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و ظرفیت ۲/۵ کیلوگرم خاک منتقل شدند. خاک گلدان‌ها از ترکیب یکسان خاک مزرعه، خاک برگ و ماسه تشکیل شد. گلدان‌ها در گلخانه در شرایط ۱۶ ساعت روشنایی (دمای ۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد) و ۸ ساعت تاریکی (دمای ۱۵ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. در دوره استقرار گیاهان به مدت ۳۰ روز، آبیاری به شکلی انجام گرفت که خروج آب از زهکش گلدان‌ها قابل رؤیت بود و بدین طریق همواره گلدان‌های مورد آزمایش در وضعیت ظرفیت زراعی (بدون تنش) قرار داشتند. پس از دوره استقرار بوته‌ها، تنش‌های

گیاه اثر منفی می‌گذارد (Brar et al., 1990; Singh and Patal, 1996).

تنش شوری نیز می‌تواند علاوه بر کاهش پتانسیل آب و پسابیدگی، از طریق بر هم زدن تعادل یونی و بروز سمیت یونی (Hu and Schmidhalter, 2005; Baisakh et al., 2008)، به وسیله تنش‌های ثانویه‌ای چون اختلال تغذیه‌ای (Bartels and Sunkar, 2005)، تخریب غشای سلولی (Sreenivasulu et al., 2000)، سمیت متابولیک و جلوگیری از فعالیت فتوسنتزی بر مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه تأثیرگذار باشد. در واقع تنش شوری بسیاری از پارامترهای فتوسنتزی شامل پتانسیل آب و اسمزی برگ، میزان تعرق، دمای برگ و محتوای نسبی آب برگ را تغییر می‌دهد (Zhao et al., 2007).

در بسیاری از نقاط خشک و نیمه خشک جهان که تولید تحت تنش شوری انجام می‌شود، مشکل کم آبی نیز وجود داشته و اغلب گیاهان به طور همزمان تحت تأثیر هر دو تنش شوری و کم آبی قرار دارند. با کم شدن رطوبت خاک، پتانسیل ماتریک کاهش یافته و گیاه برای برداشت مقدار معینی آب باید انرژی حیاتی بیشتری مصرف کند؛ اما اغلب گیاهان چنین توانایی نداشته و در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با بالا رفتن غلظت املاح در محلول خاک، فشار اسمزی منفی‌تر شده و این نیز به نوبه‌ی خود جذب آب توسط ریشه‌ها را کاهش می‌دهد. بیان کمی پاسخ گیاه به هر دوی این تنش‌ها همچنان دشوار و پیچیده باقی مانده است. بدیهی است پیچیدگی این مسئله هنگامی دو چندان می‌شود که بدانیم پتانسیل‌های ماتریک و اسمزی در زمان و مکان در حال تغییر هستند (Homaei, 2002).

شناخت ویژگی‌های رشدی گیاهان شورپسند^۱ به عنوان گیاهان جایگزین در سیستم‌های زراعی مناطق خشک و نیمه خشک از جنبه‌های مختلف و به خصوص واکنش‌های فیزیولوژیکی آن‌ها در شرایط تنش توأم شوری و خشکی که در بسیاری از اراضی خشک و نیمه خشک کشور اتفاق می‌افتد، می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی در جهت تولید زیست توده آن‌ها در این شرایط مطرح باشد (Jami Al Ahmadi and Kafi, 2008). کالارگراس^۲ (*Leptochloa fusca* L. kunth) از خانواده گندمیان

^۱. Halophyte

^۲. Kallar grass

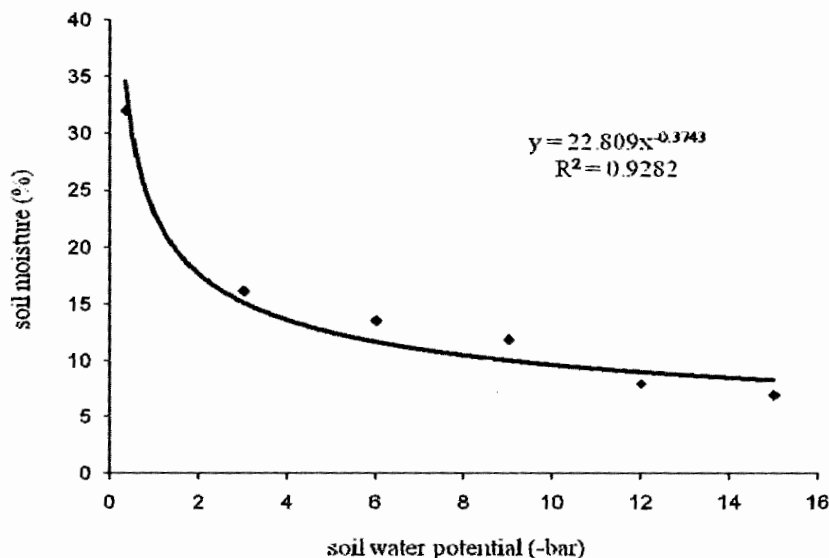
نحوه اعمال تنش شوری: تهیه محلول‌های با سطوح شوری ۵، ۱۰ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر (dSm^{-1}) با حل کردن مقدار مشخص NaCl مرک آلمان (Merek, Germany) با خلوص ۹۹ درصد در آب با استفاده از معادله [۱] (Khan et al., 2001) انجام شد. جهت اطمینان از سطح شوری مورد نظر نیز از EC متر پرتابل مدل Lutron استفاده شد. پس از دوره استقرار بوته‌ها، بسته به تیمار شوری مورد نظر (سطوح دوم، سوم و چهارم تنش شوری) محلول نمک به گلدان مربوطه اضافه گردید.

$$\text{NaCl (mgL}^{-1}\text{)} = \text{EC (dSm}^{-1}\text{)} \times 640 \quad [1]$$

نحوه اعمال تنش توأم خشکی و شوری: اعمال تنش ترکیبی بسته به سطوح توأم خشکی و شوری انجام شد. به عنوان مثال در تنش ترکیبی ($\text{FC} \times 50\% \times 10 \text{ dSm}^{-1}$)، محلول نمک معادل ۱۰ دسی زیمنس بر متر به صورت آب آبیاری برای جبران نقصان رطوبتی مورد نیاز تا حد ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک (۱۶٪ وزنی خاک) با توجه به وزن گلدان محاسبه و روزانه به گلدان اضافه شد.

خشکی و شوری تا مرحله خروج گل آذین در گلدان‌های شاهد بدون تنش (طی مدت ۶ هفته) به شرح ذیل اعمال شدند.

نحوه اعمال تنش خشکی: رطوبت هر ۱۰۰ گرم از خاک مورد استفاده در این آزمایش برابر ۳۲ گرم ($\text{FC} = 32\%$) معادل پتانسیل -0.33 بار) به دست آمد (شکل ۱). بنابراین، به وسیله وزن کردن روزانه تمامی گلدان‌ها در ساعت ۹ صبح، وضعیت رطوبتی آن‌ها مشخص گردید و بدین ترتیب نقصان رطوبتی گلدان‌های شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با اضافه نمودن مقدار آب لازم به صورت روزانه و رساندن آن‌ها به حد ظرفیت زراعی جبران شد. در مورد سایر گلدان‌ها نیز بسته به تیمار مورد نظر (سطوح دوم و سوم تنش خشکی به ترتیب برای ایجاد ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی معادل پتانسیل $-3/4$ و $-11/2$ بار)، مقدار آب لازم (به ترتیب ۱۶٪ و ۸٪ وزنی خاک) جهت ایجاد تنش خشکی مربوطه اضافه گردید. اضافه وزن گیاهان نیز ثابت در نظر گرفته شد.



شکل ۱. منحنی رطوبتی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Fig. 1. Soil moisture curve used in the experiment.

مورد آزمایش کاسته شد، به طوری که بالاترین سطوح تیمارهای خشکی (۲۵٪ FC) و شوری (20 dSm^{-1}) در این آزمایش، به ترتیب با ۵۰ و ۴۳ درصد کاهش نسبت به شاهد مربوطه، کمترین سرعت فتوسنتز را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). در همین راستا، تحقیق سیلوا و همکاران (Silva et al., 2010) نیز کاهش معنی‌دار فتوسنتز گیاه *Jatropha curcas* را تحت تنش‌های جداگانه خشکی و شوری نشان داد.

برهمکنش بین تنش‌های خشکی و شوری در جدول ۳ آمده است. همان طوری که مشخص است در شرایط رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک با افزایش سطوح شوری تا مقدار 10 dSm^{-1} ، سرعت فتوسنتز در کالارگراس به شدت کاهش یافت و با افزایش بیشتر شوری تغییر معنی‌داری مشاهده نشد؛ این در حالی بود که در تنش‌های متوسط و شدید خشکی (به ترتیب ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی خاک) با وجود کاهش فتوسنتز، افزایش شوری تغییر معنی‌داری در فتوسنتز این گیاه نسبت به شاهد مربوطه (بدون تنش شوری) ایجاد نکرد (جدول ۳). به نظر می‌رسد اعمال تنش متوسط خشکی در این آزمایش علیرغم کاهش فتوسنتز، تحمل کالارگراس را در مقابل افزایش سطوح شوری آب آبیاری بهبود بخشیده و باعث ثبات فتوسنتز شده است. در این زمینه مگدیچ و همکاران (Megdiche et al., 2008) نیز ثبات فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای را تحت تنش کم شوری در گیاه هالوفیت *Cakile maritime* گزارش نمودند.

در شرایط تنش همراه با کاهش در ظرفیت بیوشیمیایی برای کربن‌گیری، محدودیت انتشار گازی نیز مشاهده می‌شود. انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش قرار گرفته و موجب اشباع شدن برگ‌ها از این مواد می‌شود که به نوبه‌ی خود فتوسنتز را محدود می‌کند (Ashraf, 2004; Kriedemann and Goodwin, 2004; Taiz and Zeiger, 2006). در مطالعه برگ انگور در شرایط تنش نیز مشاهده شد کاهش فتوسنتز هم ناشی از کاهش جذب دی‌اکسید کربن و هم به خاطر کاهش فعالیت آنزیم‌ها بود (Chaves et al, 2009). بر اساس نظر مانس (Munns, 2006) کاهش فتوسنتز گیاهان تحت تنش را می‌توان ناشی از تأثیر منفی تنش بر دستگاه فتوسنتزی و یا میزان کلروفیل و یا اثر توأم هر دو عامل دانست.

نمونه برداری: با آغاز خروج گل آذین کالارگراس در گلدان‌های شاهد (بدون تنش)، پارامترهای تبادلات گازی از جمله مقدار فتوسنتز و تعرق برگ پرچمی بوته‌ها در تیمارهای مختلف آزمایش با استفاده از دستگاه LCA4 ساخت شرکت ΔT اندازه‌گیری شد. زمان اندازه‌گیری فتوسنتز در فاصله بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ قبل از ظهر و محل اندازه‌گیری یک سوم میانی برگ پرچمی بود. هر اندازه‌گیری حدود ۳ تا ۵ دقیقه به طول انجامید تا تغییرات ناگهانی در غلظت گازها در محفظه دستگاه به حالت پایدار برسد. میزان فتوسنتز خالص (میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) توسط دستگاه با استفاده از معادلات مربوطه و بر اساس تفاوت CO_2 ورودی و خروجی محاسبه و ثبت شد. سنجش وضعیت فلورسانس کلروفیل نیز در همین زمان با استفاده از دستگاه فلورومتر (مدل OSI-FL) روی برگ پرچمی بوته‌ها اندازه‌گیری شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل بازتاب فلورسانس از برگ خوگرفته به روشنایی (F_o)، بیشینه فلورسانس برگ خوگرفته به روشنایی (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v) و عملکرد فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m) بودند (Yamasaki et al., 2002).

همزمان محتوای نسبی کلروفیل یا عدد کلروفیل متر (SPAD) برگ پرچمی کالارگراس توسط دستگاه SPAD-502 (شرکت Minolta) قرائت شد. هر رکورد میانگین سه دفعه اندازه‌گیری بود. وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه نیز به تفکیک در زمان خروج گل‌آذین بوته‌های کالارگراس در گلدان‌های شاهد، با خشک کردن نمونه‌ها در آون دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین با ترازوی ۰/۰۱ گرم، محاسبه شدند.

تجزیه آماری: تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار MINITAB-13 صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزارهای EXCEL 2007 استفاده شد. میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد به کمک نرم افزار MSTAT-C مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

سرعت فتوسنتز

مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی تنش‌های اعمال شده نشان داد که با افزایش سطوح هر یک از تنش‌های خشکی ($p \leq 0/05$) و شوری ($p \leq 0/01$) از مقدار فتوسنتز گیاهان

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در کالارگراس

Table 1. Analysis of variance of measured traits in kallar grass¹

source of variance	df	photosynthesis rate	transpiration rate	Fv/Fm	SPAD	root/shoot ratio	Shoot dry weight
Drought خشکی	2	10.230 *	1.409**	0.117**	456.842**	272.062**	29.959**
Salinity شوری	3	117.571**	0.817**	0.167**	137.391**	376.917**	4.951**
Drought × Salinity خشکی × شوری	6	55.731**	1.980**	0.189**	305.086**	32.469 ^{ns}	0.966**
Error خطا	36	2.880	0.017	0.005	10.877	47.154	0.217
CV (%)		22.22	13.46	12.06	12.68	18.57	18.34

ns, *, ** و * به ترتیب عدم معنی داری، و معنی دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

^{ns}, * and ** are non-significant, significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively.

جدول ۲. اثر تیمارهای خشکی و شوری روی صفات اندازه‌گیری شده در کالارگراس

Table 2. The effect of drought and salinity treatments on measured traits in kallar grass

treatments	photosynthesis rate (μmolm ⁻² s ⁻¹)	transpiration rate (molm ⁻² s ⁻¹)	Fv/Fm	SPAD	root/shoot ratio (%)	shoot dry weight (gr.p ⁻¹)
سطوح خشکی						
drought levels						
100% FC	8.67	1.49	0.57	31.09	33.39	3.95
50% FC	6.03	0.65	0.64	26.53	36.07	2.44
25% FC	4.33	0.48	0.47	20.44	41.48	1.22
LSD (5%)	1.22	0.09	0.05	2.36	4.92	0.33
سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر)						
Salinity levels (dSm ⁻¹)						
0	8.42	1.26	0.48	24.10	32.50	3.18
5	6.75	1.06	0.66	29.53	32.33	2.98
10	5.49	0.61	0.66	28.19	39.21	2.16
20	4.75	0.59	0.47	23.92	43.88	1.84
LSD (5%)	1.41	0.11	0.06	2.73	5.69	0.38

سرعت تعرق

با بررسی تنش ترکیبی شوری و خشکی مشخص شد که بیشترین سرعت تعرق این گیاه با مقدار ۲/۵۹ مول بر متر مربع در ثانیه در شرایط عدم تنش خشکی و شوری (۱۰۰FC × صفر دسی‌زیمنس بر متر) به دست آمد، در

حالی که علیرغم تأمین رطوبت مورد نیاز کالارگراس با افزایش شوری آب آبیاری تا ۱۰ dSm⁻¹، سرعت تعرق گیاه بیش از ۷۰ درصد کاهش یافت و به ۰/۷۴ molm⁻²s⁻¹ رسید (p ≤ ۰/۰۱) که تفاوتی با شوری ۲۰ dSm⁻¹ نداشت. همانند سرعت فتوسنتز، افزایش سطوح شوری در شرایط

نتایج تحقیق دیگری نیز اثر سوء تنش‌های شوری و خشکی بر سرعت تعرق گیاه یونجه افزایشی بود، اما مقدار آن برابر نبود (Petcu et al., 2007).

همبستگی مثبت و معنی‌دار بین فتوسنتز و تعرق ($r=0.63^{**}$) کالارگراس در این آزمایش نیز مؤید این موضوع بود که این گیاه برای حفظ آب، با کاهش عبور روزنه‌ای، تعرق را کاهش داده و به همین دلیل فتوسنتز نیز در تیمار تحت تنش کاهش یافته است (جدول ۴).

تنش خشکی متوسط و حتی شدید، علیرغم کاهش سرعت تعرق، تغییر معنی داری در آن ایجاد نکرد (جدول ۳). در همین راستا، همایی و فدس (Homaei and Feddes, 2001) با بررسی تنش‌های شوری و خشکی گیاه یونجه در شرایط آزمایشگاهی نتیجه گرفتند که تنش ترکیبی بالاترین سطوح شوری (آب آبیاری با شوری 5 dSm^{-1}) و خشکی (۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک) در آزمایش آنها، تعرق نسبی برگ را به شکل معنی‌داری کاهش داد و به حدود نصف بالاترین سطوح تنش‌های مجزا رسانید. بر اساس

جدول ۳. واکنش متقابل تیمارهای خشکی و شوری روی صفات اندازه گیری شده در کالارگراس

Table 3. Interaction effects of drought and salinity on measured traits in kallar grass

تیمارها treatments	سرعت فتوسنتز (میکرومول بر مترمربع در ثانیه)	سرعت تعرق (مول بر مترمربع در ثانیه)	عملکرد فلورسانس کلروفیل	عدد کلروفیل متر	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	
	photosynthesis rate ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	transpiration rate ($\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Fv/Fm	SPAD	shoot dry weight (gr.pl^{-1})	
100% FC	0	13.82	2.59	0.65	34.42	5.07
	5	9.83	1.95	0.65	34.00	4.33
	10	6.77	0.74	0.67	30.00	3.47
	20	5.26	0.70	0.33	25.92	2.95
50% FC	0	7.24	0.74	0.70	31.02	3.27
	5	6.29	0.70	0.71	26.45	3.17
	10	5.28	0.62	0.66	26.42	1.83
	20	5.31	0.56	0.48	22.22	1.50
25% FC	0	4.21	0.44	0.40	16.85	1.21
	5	4.99	0.52	0.62	28.15	1.44
	10	4.43	0.48	0.66	28.15	1.18
	20	3.69	0.50	0.59	23.60	1.07
LSD (5%)	2.43	0.19	0.10	4.73	0.67	

اسید (ABA)^۱ در آن‌ها افزایش می‌یابد که از طریق آوند چوبی به بخش هوایی گیاه منتقل شده و نهایتاً بسته شدن روزنه‌ها را سبب می‌گردد (Ueda et al., 2003). در این شرایط، گیاهان متحمل با کاهش هدایت روزنه ای و تعرق خود از اثرات سوء تنش‌های خشکی و شوری اجتناب می‌کنند (Lafitte, 2002).

عدم تعادل بین جذب آب به وسیله ریشه‌ها و تلفات آب توسط تعرق، منجر به پژمردگی گیاه می‌شود. بنابراین گیاهان با بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق از هدررفت آب جلوگیری می‌کنند (Lafitte, 2002). اصولاً زمانی که گیاه با تنش خشکی و شوری روبرو می‌شود، میزان جذب آب توسط ریشه کاهش یافته و در نتیجه بیوسنتز آبسزیک

^۱. Abscisic acid

عملکرد فلورسانس کلروفیل

واکنش متقابل خشکی و شوری در این آزمایش نشان داد در شرایط رطوبتی ۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک با افزایش شوری تا مقدار ۱۰ دسی زیمنس بر متر، عملکرد فلورسانس کلروفیل برگ پرچمی این گیاه تغییر معنی داری پیدا نکرد، ولی در شوری 20 dSm^{-1} کاهش یافت ($p \leq 0/01$). در صورتی که در تنش شدید خشکی، روند معکوس شد (جدول ۳). در بررسی تحمل به شوری اکوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) در گلخانه، با افزایش شوری آب آبیاری از ۱ تا ۴ دسی زیمنس بر متر، کاهش اندکی در عملکرد فلورسانس کلروفیل کنجد مشاهده شد، ولی افزایش شوری آب تا 8 dSm^{-1} این صفت را حدود ۳۰ درصد شاهد کاهش داد (Fazeli Kakhki, 2010). در اظهار نظری متفاوت، گزارش شده است که عملکرد فلورسانس در تیمار شوری و شاهد در گیاهان کلم و چغندر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (Jamil, 2007). در همین ارتباط، سیلوا و همکاران (Silva et al., 2010) با مقایسه اثرات تنش‌های شوری و خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه *Jatropha curcas* گزارش کردند که تنش‌های ملایم شوری (۵۰ mM NaCl) و خشکی (۰/۲۲ MPa, PEG 6000) تأثیر کاهشی بر عملکرد فلورسانس کلروفیل این گیاه نداشت.

عدد کلروفیل متر

مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی تنش‌های اعمال شده نشان داد که عدد کلروفیل متر کالارگراس تحت تأثیر معنی‌دار تنش‌های خشکی و شوری ($p \leq 0/01$) قرار گرفت، به طوری که بالاترین سطح تیمار خشکی (FC ۲۵٪) در این آزمایش عدد کلروفیل متر این گیاه را ۳۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. در حالی که آبیاری با آب شور به میزان ۵ و 10 dSm^{-1} عدد کلروفیل متر کالارگراس را به شکل معنی‌داری افزایش داد، ولی در شوری 20 dSm^{-1} تفاوت آماری با شاهد ملاحظه نشد (جدول ۲).

نتایج حاصل از برهمکنش تنش شوری و خشکی نیز بیانگر آن بود که عدد کلروفیل متر برگ کالارگراس تحت شرایط آبیاری کامل و متوسط در اثر غلظت بالای نمک کاهش یافت، در حالی که افزایش شوری خاک در گیاهانی که تحت شرایط تنش شدید خشکی (FC ۲۵٪) قرار داشتند، باعث افزایش عدد کلروفیل متر برگ آن‌ها شد، ولی مشابه

عملکرد فلورسانس کلروفیل نیز کمترین مقدار عدد کلروفیل متر در تیمار ترکیبی تنش خشکی شدید و بدون شوری مشاهده شد (جدول ۳). همبستگی بالای بین عدد کلروفیل متر و عملکرد فلورسانس کلروفیل برگ پرچمی ($r^2 = 0/75$) نیز بیانگر این ارتباط بود (جدول ۴).

کاهش محتوای کلروفیل نیز تحت شرایط تنش گزارش شده است و به نظر می‌رسد که این کاهش در کلروفیل b بیشتر باشد (Ahmadi and Bicker, 2000). بر اساس آزمایش غلامیان و خیاط نژاد (Gholamin and Khayatnezhad, 2011)، تنش خشکی در پایان فصل رشد، محتوای کلروفیل برگ پرچمی ارقام حساس ذرت را کاهش داد. این محققین رابطه مستقیم بین مقدار کلروفیل و تحمل به تنش را نتیجه گرفتند. افزایش محتوای کلروفیل برگ در گیاه هالوفیت *Cakile maritime* تحت تنش کم شوری نیز گزارش شده است (Megdiche et al., 2008). در آزمایش انجام شده بر روی دو توده کوشیا (*Kochia scoparia*)، کاهش بیشتر میزان کلروفیل در توده حساس نسبت به توده متحمل‌تر در شرایط تنش شوری و خشکی گزارش شد (Kafi et al., 2010). در همین راستا، کاهش معنی‌دار ۴۰ و ۳۸ درصدی کلروفیل برگ گیاه *Jatropha curcas* به ترتیب تحت تنش‌های خشکی و شوری گزارش شده است (Silva et al., 2010).

نسبت وزن ریشه به اندام هوایی (R/S)

در این آزمایش، اعمال تنش‌های شوری و خشکی تغییر معنی‌دار نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (R/S) کالارگراس را باعث شدند (جدول ۱). افزایش معنی‌دار R/S تحت تنش شدید خشکی (FC ۲۵٪) نسبت به سطوح پایین‌تر آن اتفاق افتاد. در تنش شوری، افزایش آماری نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در تنش ملایم (شوری آب آبیاری معادل 10 dSm^{-1}) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تنش شدید نداشت (جدول ۲).

جلوگیری از توسعه برگ در شرایط تنش، میزان مصرف کربن و انرژی را در اندام هوایی کاهش می‌دهد و سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی گیاه در ریشه توزیع می‌گردد. در نتیجه توانایی جذب آب و مواد معدنی توسط ریشه بیشتر شده و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی حاصل می‌شود (Banwarie et al., 1994). افزایش نسبت وزن خشک ریشه به ساقه با افزایش تنش خشکی توسط

شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Mambani and Lal, 1983).

در مطالعه پاسخ فیزیولوژیک کلم روغنی (*Brassica oleracea*) به تنش‌های شوری و خشکی، افزایش معنی‌دار نسبت R/S این گیاه در تیمار تنش خشکی (بدون آبیاری) نسبت به شاهد بدون تنش گزارش شد، در صورتی که تنش‌های شوری ۴/۴ و ۸/۵ dSm^{-1} آب آبیاری، افزایش معنی‌داری در این صفت در مقایسه با شاهد ایجاد نکرد (Maggio et al., 2005). این محققین افزایش ضخامت برگ و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ساقه بوته‌های تحت تنش شوری را از دلایل ثبات نسبت R/S عنوان کردند.

محققین گزارش شده است. مثلاً در ذرت، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه در زمان تنش خشکی ۵/۷۹ و در زمان بدون تنش ۱/۴۵ بوده است (Marchner, 1995). در مطالعه ژنوتیپ‌های مختلف سویا نتیجه گرفته شد گیاهانی که دارای نسبت ریشه به بخش هوایی بالایی در ابتدای فصل رشد می‌باشند، قابلیت بیشتری برای حفظ فشار آماس سلولی و متعاقب آن بهبود سرعت فتوسنتز در دوره‌های بعدی وقوع تنش خواهند داشت (Hoogenboon et al., 1987). بعضی از محققین همبستگی مثبتی بین نسبت بالای وزن ریشه به اندام هوایی و عملکرد بالا در

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در کالارگراس در پاسخ به تنش‌های شوری و خشکی^۱
Table 4. Correlation coefficients among measured traits in kallar grass at response to drought and salinity stresses¹

traits	صفات	1	2	3	4	5	6
1	وزن خشک بخش هوایی shoot dry weight (gr.p^{-1})	1					
2	سرعت فتوسنتز photosynthesis rate ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	0.40 **	1				
3	سرعت تعرق transpiration rate ($\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	0.63 **	0.63 **	1			
4	عملکرد فلورسانس کلروفیل Fv/Fm	0.35 **	0.07 ^{ns}	0.30 *	1		
5	عدد کلروفیل متر SPAD	0.56 **	0.12 ^{ns}	0.43 **	0.75 **	1	
6	وزن خشک ریشه به اندام هوایی root/shoot dry weight ratio (%)	-0.64 **	-0.39 **	-0.43 **	-0.14 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	1

^{ns}, * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

^{ns}, * & ** are non-significant, significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively

بدیهی است که برآیند تأثیر تنش‌های محیطی نهایتاً در زیست توده گیاه نمود پیدا می‌کند. اصولاً نقصان تولید و کاهش بخش هوایی در گراس‌ها در اثر تنش، به کاهش در فتوسنتز، فشار آماس و رشد سلولی نسبت داده می‌شود. در واقع در اکثر گراس‌ها، پاسخ مذکور، به عنوان یک سازوکار مناسب جهت سازگاری با شرایط تنش شدید گزارش شده است (Amiard et al., 2003). برای مثال، گزارش شده است که وزن خشک بخش هوایی گیاه هالوفیت علف شور (*Salsola sp.*) تحت سطوح مختلف شوری و خشکی کاهش نشان داد؛ هر چند که این کاهش تحت تنش خشکی به صورت مشخص‌تری در مقایسه با شوری مشاهده شد (Pessaraki and Kopec, 2008). در تحقیق پتکو و

وزن خشک بخش هوایی

در این آزمایش شدیدترین تیمارهای خشکی و شوری به ترتیب با میانگین ۶۹ و ۴۲ درصد کاهش نسبت به شاهد مربوطه، پایین‌ترین مقادیر این صفت را نشان دادند (جدول ۲). بر اساس نتایج به دست آمده از برهمکنش سطوح خشکی و شوری نیز به خوبی مشخص است که در شرایط آبیاری کامل (FC) و تنش متوسط خشکی (FC/۱۰۰٪)، با افزایش سطوح شوری، وزن خشک بخش هوایی تک بوته کالارگراس به طور معنی‌داری کاسته شد. در صورتی که تحت شرایط تنش شدید خشکی (FC/۲۵٪)، وزن خشک اندام هوایی گیاه با افزایش سطوح شوری تغییر معنی‌داری پیدا نکرد (جدول ۳).

که آبیاری کامل (FC ۱۰۰٪) با شوری 20 dSm^{-1} اختلاف آماری با تنش متوسط خشکی (FC ۵۰٪) تا سطح شوری 5 dSm^{-1} روی وزن خشک تک بوته کالارگراس نداشت. در همین ارتباط، افزایش مصرف آب در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری با کاهش اثرات شوری، بهبود تحمل به شوری کوشیا را به دنبال داشت (Salehi, 2012). در مجموع، گیاه کالارگراس سطوح بالای شوری را در شرایط آبیاری کامل بهتر از شرایط آبیاری متوسط تحمل کرد، بنابراین کشت آن در اراضی دارای آب شور و لب شور بدون محدودیت آبیاری قابل توصیه خواهد بود. آزمایشات مزرعه-ای جهت تأیید نتایج گلخانه‌ای ضرورت می‌یابد.

همکاران (Petcu et al., 2007) نیز تنش‌های شوری و خشکی به ترتیب باعث کاهش ۳۷ و ۷۳ درصدی میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های یونجه در گلخانه شدند. بر اساس نتایج این محققین، کاهش عملکرد بوته‌های تحت تنش یونجه به علت مصرف انرژی و کربوهیدرات‌ها در ساختن محلول‌های آلی برای تنظیم اسمزی در شرایط تنش بود. همچنین، اثرات تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد یونجه افزایشی بود اما یکسان نبود.

نتیجه گیری

گیاه کالارگراس در این آزمایش واکنش بهتری در مقابل تنش شوری در مقایسه با تنش خشکی نشان داد، به طوری

منابع

- Ahmad, N., Qureshi, R.H., Qadir, M., 1990. Comparative effectiveness of gypsum and forage plant species in reclamation of a calcareous saline-sodic soil. *Pakistan J. Agric. Sci.* 27(2), 168-173.
- Ahmadi, A., Bicker, D.A., 2000. Stomatal and non-stomatal factors limiting photosynthesis in wheat under drought stress conditions. *Iranian J. Agric. Sci.* 31(4), 813-825. [In Persian with English Summary].
- Amiard, V., Bertrand, A.M., Billard, J.P., Huault, C., Keller, F., Prudhomme, M.P., 2003. Fructans, but not the sucrosyl-galactosides, raffinose and loliose, are affected by drought stress in perennial ryegrass. *Plant Physiol.* 132, 2218-2229.
- Ashraf, M., 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora.* 199, 361-376.
- Baisakh, N., Subudhi, P.K., Bhardwaj, P., 2008. Primary responses to salt stress in a halophyte, smooth cordgrass (*Spartina alterniflora* Loisel). *Funct. Integr. Genomics.* 8, 287-300.
- Banwarie, L., Kaushik, S.K., Gautam, R.C., 1994. Effect of soil moisture regime, kaolin spray and phosphorus fertilizer on nodulation, P uptake and water use of lentil (*Lense culinaris*). *Indian J. Agron.* 39, 241-245.
- Bartels, D., Sunkar, R., 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24, 23-58.
- Brar, G., Kar, S., Singh, N.T., 1990. Photosynthetic response of wheat to soil water deficits. *J. Agron. Crop Sci.* 164, 343-348.
- Chaves, M.M., Flexas, J., Pinheiro, C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Ann. Bot.* 103, 551-560.
- De, F., Kar, R.K., 1994. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiate*) under water stress included by PEG-6000. *Seed Sci. Technol.* 23, 301-304.
- FAO. 2010. FAO Statistics. Retrieved: November 15, 2011, from <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.

- Fazeli Kakhki, S.F., 2012. Evaluation of sesame ecotypes (*Sesamum indicum* L.) for salinity tolerance in field and control condition. Ph.D Dissertion. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. [In Persian with English Summary].
- Gholamin, R., Khayatnezhad, M., 2011. The effect of end season drought stress on the chlorophyll content, chlorophyll fluorescence parameters and yield in maize cultivars. Sci. Res. Essays. 6(25), 5351-5357.
- Homaei, M., 2002. Plant response to salinity. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 97 p.
- Homaei, M., Feddes, R. A. 2001. Quantification of root water extraction under salinity and drought. In: Horst, W.J., Schenk, M.K., Bürkert, A., (Eds.), Plant nutrition: food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research. XIV International Plant Nutrition Colloquium, Hannover. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 376-377. Developments in Plant and Soil Sciences, no. 92.
- Hoogenboon, G., Huck M.G., Peterson, C.M., 1987. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. Agron. J. 79, 609-614
- Hu, Y., Schmidhalter, U., 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168, 541-549.
- Jami Al-Ahmadi, M., Kafi, M., 2008. Kochia (*Kochia scoparia*): To be or not to be? In: Kafi M., Khan, M.A. (Eds.), Crop and Forage Production using Saline Waters. NAM S&T Centre. Daya Publisher, New Delhi.
- Jamil, M., Shafiq, R., Rha, E.S., 2007. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris*) and cabbage (*Brassica oleracea* Capitata). Pak. J. Bot. 39(3), 753-760.
- 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. Agric. Water Manage. 97, 139-147.
- Kafi, M., Borzooei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoomi, A., Nabati, J., 2009. Environmental Stresses in Plant Physiology. Jahade Daneshgahi Press, Mashhad. [In Persian].
- Khan, M., Gul, B., Weber, J., 2001. Effect of salinity on the growth and ion content of *Salicornia rubra*. Soil Sci. Plant Anal. 32, 2965-2977.
- Kriedemann, P.E., Goodwin, I., 2004. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. An information package on two irrigation methods for high-input horticulture. Irrigation Insights No. 4. Land and Water Australia Pub.
- Lafitte, R. 2002. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. Field Crop Res. 76, 165-174.
- Maggio, A., De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., 2005. Physiological response of field-grown cabbage to salinity and drought stress. Europ. J. Agro. 23, 57-67.
- Mambani, B., Lal, R., 1983. Response of upland rice varieties to drought stress. 1. Relation between root system development and leaf water potential. Plant Soil. 73, 59-72.
- Marchner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second reprint. Academic Press. pp. 6-73.

- Megdiche, W., Hessini, K., Gharbi, F., Jaleel, C.A., Ksouri, R., Abdelly, C. 2008. Photosynthesis, photosystem II efficiency of two salt-adapted halophytic seashore *Cakile maritima* ecotypes. *Photosynthetica*. 46, 410-419.
- Munns R., James R.A., Lauchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exper. Bot.* 57, 1025-1043.
- Pessarakli, M., Kopec, D.M., 2008. Comparing growth responses of selected cool-season turfgrasses under salinity and drought stresses. *Turfgrass, LandScape and Urban IPM Research Summary*. P. 155.
- Petcu, E., Schitea, M., Badea, D., 2007. The behavior of some Romanian alfalfa genotypes to salt and water stress. *Romanian Agric. Res.* 24, 51-54.
- Reinhold, R., Hurek, T., Fendrik, I., 1998. Plant-bacteria interactions with special emphasis on the kallar grass association. *Plant Soil*. 110, 249-257.
- Salehi, M., 2011. Salinity and water deficient effects on quantitative and qualitative production and physio-morphological characteristics of *Kochia scoparia*. Ph.D Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. [In Persian with English Summary].
- Silva, E.N., Ribeiro, R.V., Ferreira-Silva, S.L., Viegas, R.A., Silveria, J.A.G., 2010. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. *J. Arid Environ.* 74, 1130-1137.
- Singh, J., Patal, A., 1996. Water statues, gaseous exchange, proline accumulation and yeild of wheat in response to water stress. *Ann. Biol. (Ludhiana)*. 12, 77-81.
- Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobus, U., Weshke, W., 2000. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*). *Plant Physiol.* 109, 435-442.
- Taiz, L., Zeiger, E., 2006. *Plant Physiology*. Fourth Edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts.
- Ueda, A., Kanechi, M., Uno, Y., Inagaki, N., 2003. Photosynthetic limitations of a halophyte sea aster (*Aster tripolium* L.) under water stress and NaCl stress. *J. Plant Res.* 116, 65-70.
- Yamasaki, T., Yamakawa, T., Yamane, Y., Koike, H., Satoh, K., Katoh, S., 2002. Temperature acclimation of photosynthesis and related changes in photosystem electron transport in winter wheat. *Plant Physiol.* 128, 1087-1097.
- Zhao, G.Q., Ma, B.L., Ren, C.Z., 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Sci.* 47, 123-131.