

دانشگاه شیراز
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هفتم / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۶ (۲۹۹-۲۸۵)

ارزیابی ارقام و لاین‌های سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط تنش شوری با استفاده از شاخص‌های تحمل

احسان شاکری^۱، یحیی امام^{۲*} و سید علی طباطبایی^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۲۵

چکیده

به منظور بررسی واکنش ۴۵ لاین و رقم سورگوم به تنش شوری، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط نرمال (شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر) و تنش شوری (شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد واقع در شهرستان اردکان در سال ۱۳۹۳ انجام شد. تنش شوری باعث کاهش میانگین شاخص‌های مختلف ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد، به طوری که قطر ساقه، ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک تحت شرایط تنش شوری به ترتیب ۱۴/۴۵، ۲۵/۲۴، ۱۸/۰۶، ۳۱/۸۶، ۴۰/۱۹ و ۳۲/۳۶ درصد کاهش یافتند. بیشترین عملکرد علوفه خشک (۲۸۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) تحت شرایط بدون تنش از لاین ۲۳ (KDFGS23) و تحت شرایط تنش شوری از رقم جامبو (۲۱۰۴۲ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. نتایج حاصل از ضرایب همبستگی بین عملکرد علوفه خشک تحت شرایط بدون تنش و تنش شوری با شاخص‌های تحمل به تنش نشان داد که مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل، شاخص‌های GMP، HAM، MP و STI بودند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ارقام جامبو، پگاه، سیستان، قلمی هرات، سورگوم شیرین و اسپیدفید مغان به عنوان متحمل‌ترین ارقام و لاین‌های شماره ۲۳ (KDFGS23)، ۲۶ (KDFGS26) و رقم نکتار به عنوان ژنوتیپ‌های حساس و در عین حال مناسب برای شرایط نرمال شناخته شدند. لاین شماره ۱ (KDFGS1) به دلیل ثبات بالای عملکرد تحت شرایط تنش می‌تواند در پروژه‌های به‌نژادی آینده مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، صفات مورفولوژیک، عملکرد علوفه خشک

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

* نویسنده مسئول: yaemam@shirazu.ac.ir

مقدمه

در بین تنش‌های محیطی، تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌هایی است که می‌تواند تولید بهینه محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد (Dai *et al.*, 2011). از مهم‌ترین آثار منفی تنش شوری بر گیاهان می‌توان به بروز تنش اسمزی، سمیت یون‌ها و عدم تعادل عناصر غذایی اشاره کرد (Wakeel, 2013). به بیان دیگر، استفاده روزافزون از منابع طبیعی مورد نیاز (زمین و آب) برای تولید محصولات کشاورزی و نیاز روزافزون بشر به تولید مواد غذایی بیشتر به جهت افزایش تقاضای جهانی آن، استفاده و کاربرد آب‌های با کیفیت کمتر را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک امری اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (Lobell *et al.*, 2007; Min *et al.*, 2014). در واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل تبخیر و تعرق شدید و میزان بارندگی‌های کم و ناکافی برای آبرسانی خاک، شوری یک مشکل اجتناب‌ناپذیر و به بیان بهتر مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید محصول خواهد بود (Yarami and Sepaskhah, 2015). کشور ایران نیز که در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده است، با دارا بودن ۶/۸ میلیون هکتار اراضی شور، پس از هند و پاکستان در رتبه بعدی کشورهای در معرض تنش شوری قرار دارد (Moameni, 2010).

بر اساس منابع موجود، سورگوم در بین غلات، تحمل بیشتری به تنش شوری در مقایسه با ذرت دارد و همچنین دارای پتانسیل تولید بالاتری از نظر تولید دانه و علوفه در خاک‌های شور است (Ould Ahmed *et al.*, 2007). از دیدگاه تغذیه‌ای نیز سورگوم در مناطق خشک، نیمه‌خشک و گرم، توان تولید بیشتری در مقایسه با ذرت دارد. همچنین گزارش شده است که این گیاه تحمل بیشتری به خاک‌های مرطوب و شرایط غرقابی در مقایسه با دیگر غلات دانه‌ای دارد. علاوه بر این موارد، سورگوم توانایی سازگاری با انواع خاک‌ها با درجه‌های متفاوت سمیت عناصر و نیز شرایط متفاوت تنش‌ها را دارد (Saadat and Homae, 2015). مناطق زیر کشت سورگوم در ایران بیشتر در نواحی گرم و خشک جنوبی مانند خوزستان، سیستان و بلوچستان، کرمان و سواحل جنوبی قرار دارند که با توجه به اهمیت آن در تولید علوفه، در دیگر مناطق کشور نظیر گیلان، گلستان، مازندران، خراسان، فارس و آذربایجان نیز توسعه یافته است،

اما بسیاری از این مناطق دارای مشکلات شوری و خاک‌های شور هستند. بر اساس منابع موجود، تحمل به تنش شوری در بین ارقام مختلف یک گونه زراعی می‌تواند متفاوت باشد که این مطلب در گیاهانی مانند یونجه (Noble *et al.*, 1984)، یولاف (Verma and Yadava, 1986)، گندم (Munns and James, 2003)، سورگوم (Krishnamurthy *et al.*, 2007) و باقلا (Tavakkoli *et al.*, 2012) گزارش شده است. لاسردا و همکاران (Lacerda *et al.*, 2003) کاهش شاخص‌های رویشی گیاه سورگوم را در مواجهه با تنش شوری گزارش کردند. کاظم‌زاده حقیقی (Kazemzadeh Haghghi, 2008) با بررسی نه رقم سورگوم علوفه‌ای تحت دو شرایط کشت هیدروپونیک و مزرعه‌ای، به این نتیجه رسید که از بین ارقام مورد بررسی، فقط رقم ایرانی (قلمی هرات) مقاومت متوسطی به شوری داشت. در پژوهش دیگری که در آن ۲۷ ژنوتیپ مختلف سورگوم تحت شرایط تنش شوری (۱۰ dS/m) مورد بررسی قرار گرفت، تنوع بسیار گسترده‌ای از نظر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته و طول دوره گلدهی مشاهده شد (Reddy *et al.*, 2010).

در مورد شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، شاخص حساسیت به تنش (SSI=Stress Susceptibility Index) را فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) ارائه کردند و هر چه مقدار آن کمتر باشد، میزان تحمل به تنش بالاتر است. شاخص تحمل (TOL=Tolerance Index) و میانگین بهره‌وری (MP=Mean Productivity) (Rosielle and Hamblin, 1981) نیز به‌وسیله روسیله و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) ارائه شد. مقادیر بالای شاخص تحمل نشان‌دهنده حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌ها به تنش است و بنابراین هر چه میزان این شاخص کمتر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود. در مورد شاخص میانگین بهره‌وری نیز می‌توان گفت هر چه مقدار آن بیشتر باشد، مطلوب‌تر است (Chogan *et al.*, 2008). فرناندز (Fernandez, 1992) نیز شاخص تحمل به تنش (STI=Stress Tolerance Index) و شاخص میانگین هارمونیک (HAM=Harmonic Mean) را معرفی کرد که مقادیر بالای آن برای یک رقم، نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش و عملکرد بالقوه بیشتر آن رقم است. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص دیگری تحت عنوان میانگین

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این تحقیق، شامل ۳۰ لاین امیدبخش و ۱۵ رقم سورگوم بودند که لاین‌ها و ارقام داخلی در شرایط آب و هوایی ایران اصلاح و تولید شده‌اند (جدول ۱). لاین‌های مورد استفاده در این آزمایش (KDFGS1-KDFGS30) طی یک برنامه به‌نژادی در سال ۱۳۹۲ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تولید شده‌اند. ارقام مورد بررسی نیز شامل ارقام Nectar, Jumbo و Speed-feed (ارقام استرالیایی)، رقم Super dun (رقم آمریکایی)، ارقام KFS1، KFS2 و KFS4 (ارقام خالص داخلی)، رقم KFS3 (در سال ۱۳۸۵ به‌عنوان رقم پگاه معرفی شد)، رقم قلمی هرات (یک نمونه بومی که از طریق انتخاب بوته و خود تلقیحی خالص شده و هم‌اکنون در نواحی شمال کشور مورد کشت و کار قرار می‌گیرد)، سیستم (مانند رقم قلمی هرات از نمونه بومی انتخاب و خالص شده) و ارقام سپیده و کیمیا (ارقام دانه‌ای که در ایران اصلاح و معرفی شده‌اند) بودند.

این پژوهش در تابستان ۱۳۹۳ به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط نرمال ($EC=2$ dS/m) و تنش شوری ($EC=12$ dS/m) در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد واقع در شهرستان اردکان با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ درجه شمالی انجام شد. هر کرت شامل چهار خط به‌طول ۵ متر و به‌فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود و فاصله بین بوته ۱۰ سانتی‌متر منظور شد. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم در پاییز سال ۱۳۹۲ به‌عمق ۴۰ سانتی‌متر و دیسک در بهار ۹۳ انجام شد. قبل از دیسک‌زدن، کودپاشی با استفاده از سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب ۲۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار انجام شد. کاشت به‌صورت دستی و بر اساس وزن هزار دانه و میزان بذر توصیه‌شده انجام و سپس آبیاری انجام شد. آبیاری دوم سه روز پس از کاشت به‌منظور سبزشدن کامل بذرها و آبیاری‌های بعدی به‌طور مرتب بر اساس نیاز گیاه انجام شد. پس از هر آبیاری، برای تعیین شوری خاک در طول فصل رشد، نمونه‌گیری از عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری انجام شد. کود نیتروژن بر اساس توصیه کودی در سه نوبت پس از کاشت، مرحله پنجه‌زنی و بعد از ساقه رفتن به زمین داده شد. قبل از برداشت، در هر کرت ۱۰ بوته

هندسی (GMP=Geometric Mean Productivity) را نیز ارایه کرد که حساسیت کمتری نسبت به عملکرد در شرایط نرمال و تنش دارد و بیشتر بودن مقدار عددی آن نشانه تحمل بیشتر به تنش است. شاخص دیگری که در این زمینه معرفی شده است، شاخص پایداری عملکرد (YSI=Yield Stability Index) است که توسط بوسلاما و شاپاک (Bousslama and Schapagha, 1984) ارایه شد. این شاخص عملکرد یک رقم در شرایط تنش را به‌صورت وابسته به عملکرد غیرتنش ارزیابی می‌کند که در نتیجه ارقامی که شاخص پایداری عملکرد بیشتری داشته باشند، در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بیشتری خواهند داشت (Khaksar et al., 2014). شاخص دیگر مورد استفاده، شاخص عملکرد (YI=Yield Index) است که به دلیل اینکه ارقام را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند، قادر به تشخیص ارقام با عملکرد بالا در هردو شرایط تنش و غیرتنش نیست (Siosemardeh et al., 2006).

کامرانی و همکاران (Kamrani et al., 2015) و خاکسار و همکاران (Khaksar et al., 2014) در مطالعات خود که در زمینه واکنش گندم به تنش کم‌آبی انجام شد نشان دادند شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل به تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و غیرتنش بودند و این شاخص‌ها را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها معرفی کردند. اسدی و آسترکی (Asadi and Asterki, 2015) نیز در بررسی ۲۱ رقم و لاین لوبیا چیتی در پاسخ به تنش خشکی، شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص تحمل به تنش را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ارقام متحمل تشخیص دادند. به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد تا به حال پژوهشی به‌منظور بررسی واکنش ارقام و لاین‌های مختلف سورگوم به تنش شوری بر اساس شاخص‌های تحمل انجام نشده باشد. از این‌رو، در راستای مقایسه لاین‌ها و ارقام رایج سورگوم موجود در کشور به تنش شوری، پژوهش حاضر طراحی و در استان یزد که دارای اراضی شور بوده و به نوعی نماینده بسیاری از مناطق شور کشور است، انجام شد.

بلافاصله توزین شد. برای اندازه‌گیری میزان عملکرد علوفه خشک، یک نمونه تصادفی دو کیلوگرمی از علوفه تر مربوط به هر تکرار انتخاب و در آون در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک و توزین شد (Fouman and Khazaei, 2014).

به‌طور تصادفی انتخاب و قطر ساقه، ارتفاع بوته و تعداد برگ اندازه‌گیری شد. برداشت بوته‌ها هنگامی که بیشتر ارقام مورد آزمایش وارد مرحله گلدهی شده بودند، انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد تر، دو ردیف وسط هر کرت (معادل ۴/۸ متر مربع) پس از حذف حاشیه به‌طور کامل برداشت و

جدول ۱- ارقام و لاین‌های سورگوم مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. Sorghum varieties and lines used in this research

Code	Name	Code	Name
1	KDFGS1	24	KDFGS24
2	KDFGS2	25	KDFGS25
3	KDFGS3	26	KDFGS26
4	KDFGS4	27	KDFGS27
5	KDFGS5	28	KDFGS28
6	KDFGS6	29	KDFGS29
7	KDFGS7	30	KDFGS30
8	KDFGS8	31	Jumbo
9	KDFGS9	32	Nectar
10	KDFGS10	33	Speedfeed
11	KDFGS11	34	Super dun
12	KDFGS12	35	Sistan
13	KDFGS13	36	Ghalami Herat
14	KDFGS14	37	Pegah
15	KDFGS15	38	Sepideh
16	KDFGS16	39	KFS1
17	KDFGS17	40	KFS2
18	KDFGS18	41	KFS4
19	KDFGS19	42	Broom corn
20	KDFGS20	43	Sweet Sorghum
21	KDFGS21	44	Kimia
22	KDFGS22	45	Speedfeed (Moghan)
23	KDFGS23	-	-

$$SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{SI}, \quad SI = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \quad (1)$$

- شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_p - Y_s \quad (2)$$

- بهره‌وری متوسط (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad (3)$$

جهت تعیین حساسیت و تحمل ارقام و لاین‌ها به تنش شوری از هشت شاخص تحمل و حساسیت به تنش بر اساس عملکرد علوفه خشک بر مبنای روابط زیر استفاده شد:

- شاخص حساسیت به تنش (Fisher and Maurer, 1978):

دارای بیشترین شاخص سطح برگ (۵/۸۱) نیز بود و بعد از آن نیز رقم نکتار با شاخص سطح برگ ۵/۷۳ در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۳). از نظر تعداد پنجه نیز رقم سورگوم جارویی بیشترین تعداد پنجه (۱/۴۱) را تولید کرد (جدول ۳). بیشترین عملکرد علوفه تر (۵۸۸۶۷ کیلوگرم در هکتار) متعلق به رقم جامبو بود و بعد از آن نیز رقم نکتار (۵۶۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) و لاین ۲۳ (KDFGS23) (۵۲۶۶۷ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب بیشترین عملکرد علوفه تر را داشتند (جدول ۳). در مقابل، لاین شماره ۲۳ (KDFGS23)، رقم نکتار و رقم جامبو به ترتیب با مقادیر ۲۸۵۳۰، ۲۶۲۹۳ و ۲۴۸۵۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین علوفه خشک را تولید کردند (جدول ۳). برتری ارقام جامبو و نکتار در مقایسه با ارقام دیگر پیش از این در تحقیقات دیگری نیز گزارش شده است (Fouman *et al.*, 2006; Fouman, 2010). به نظر می‌رسد اختلاف عملکرد و اجزای عملکرد ارقام تحت شرایط بدون تنش و شرایط مناسب محیطی بیشتر می‌تواند به دلیل ظرفیت ژنتیکی تولیدی ارقام و لاین‌های مختلف باشد. تفاوت معنی‌دار ارقام سورگوم در شرایط متفاوت پیش از این نیز در پژوهش‌های دیگری گزارش شده است (Igartua *et al.*, 1995; Krishnamurthy *et al.*, 2007; Tari *et al.*, 2012).

تحت شرایط تنش شوری، رقم جامبو با اختلاف بسیار معنی‌داری بیشترین عملکرد علوفه خشک (۲۱۰۴۲ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد، ولی رقم نکتار و لاین شماره ۲۳ که تحت شرایط بدون تنش دارای بیشترین عملکرد بودند، کاهش قابل توجهی در عملکرد علوفه در اثر تنش شوری نشان دادند (جدول ۴). نکته حایز اهمیت تحت شرایط تنش شوری، عملکرد بالای لاین شماره ۱ (KDFGS1) بود که در واقع کمترین کاهش عملکرد علوفه خشک را در مقایسه با کلیه ارقام و لاین‌های مورد مطالعه نشان داد (جدول ۴) و بنابراین به‌عنوان یک لاین مناسب تحت شرایط تنش شوری می‌تواند مورد توجه به‌نژادگران قرار گیرد. ارقام پگاه، محلی سیستان، KFS2 و قلمی هرات بعد از ارقام جامبو و لاین شماره ۱ بیشترین عملکرد علوفه خشک تولیدی را نشان دادند (جدول ۴).

- شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2} \quad (4)$$

- میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad (5)$$

- میانگین هارمونیک بهره‌وری (Fernandez, 1992):

$$HAM = \frac{2 \times Y_p \times Y_s}{Y_p + Y_s} \quad (6)$$

- شاخص پایداری عملکرد (Bousslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p} \quad (7)$$

- شاخص پایداری عملکرد (Bousslama and Schapaugh, 1984):

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \quad (8)$$

که در این روابط \bar{Y}_p ، Y_s ، Y_p و \bar{Y}_s به ترتیب بیانگر عملکرد تحت شرایط بدون تنش، عملکرد تحت شرایط تنش شوری، میانگین عملکرد ارقام تحت شرایط بدون تنش و میانگین عملکرد ارقام تحت شرایط تنش شوری هستند. جهت تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، رسم بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای به روش Ward نیز از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تحت شرایط بدون تنش، رقم جامبو دارای بیشترین مقادیر قطر ساقه (۲۵/۰۸ میلی‌متر)، ارتفاع بوته (۲۳۰/۶۷ سانتی‌متر) و تعداد برگ در بوته (۱۵/۲۵) بود (جدول ۳). در بین لاین‌ها نیز لاین شماره ۲۳ (KDFGS23) دارای بیشترین قطر ساقه (۲۲/۰۸ میلی‌متر) و تعداد برگ در بوته (۱۴/۴۱) بود که از نظر این شاخص‌ها بعد از رقم جامبو در رتبه دوم قرار گرفت. همچنین این لاین در بین تمامی لاین‌ها و ارقام

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در سورگوم تحت شرایط بدون تنش (N) و تنش (S)

Table 2. Analysis of variance of the studied traits in sorghum under stress (S) and non-stress (N) conditions

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	قطر ساقه		ارتفاع بوته		تعداد برگ	
			Stem diameter		Stem height		Leaf number	
			N	S	N	S	N	S
Replication	تکرار	2	40.27	0.87	2716.45	1326.37	19.17	0.12
Variety	واریته	44	26.54**	12.55**	3156.96**	2290.52**	8.85**	4.95
Error	خطای آزمایش	88	8.12	1.58	248.01	367.31	2.68	2.14
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		18.25	8.39	12.20	19.76	14.84	11.56

** : Significant at 1% probability level.

** : معنی دار در سطح احتمال ۱٪.

Table 2. Continued

جدول ۲- ادامه

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ		عملکرد علوفه تر		عملکرد علوفه خشک	
			Leaf area index		Fresh forage yield		Dry forage yield	
			N	S	N	S	N	S
Replication	تکرار	2	3.60	3.5	5155972	11755069	2648907	9491493
Variety	واریته	44	3.56**	2.21**	492451226**	95516887**	87762970**	25216431**
Error	خطای آزمایش	88	0.85	1.08	18232512	12782839	2821198	3771810
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		24.17	25.6	12.89	17.15	11.19	16.36

** : Significant at 1% probability level.

** : معنی دار در سطح احتمال ۱٪.

کاهش جذب آب که با کاهش سنتز پروتئین، تعرق، انتقال یون و در نهایت کاهش محصول است، همراه می باشد (Krishnamurthy *et al.*, 2007).

کریشنامورتی و همکاران (Krishnamurthy *et al.*, 2007) بیان کردند که زیست توده تولیدی در شرایط تنش و غیرتنش معیار مناسبی برای تشخیص ارقام متحمل و حساس است، ولی واکنش لاین شماره ۱ در مواجهه با تنش شوری در این آزمایش نشان داد که به غیر از زیست توده تولیدی، می بایست شاخص های دیگری مانند شاخص های تحمل نیز مورد بررسی قرار گیرند تا بتوان میزان حساسیت و تحمل ارقام یک گونه گیاهی را به نحو دقیق تری تشخیص داد. از این رو در مرحله بعدی، شاخص های تحمل و حساسیت لاین ها و ارقام بر اساس عملکرد علوفه خشک نیز ارزیابی و در جدول ۵ ارایه شد.

ارتفاع بوته از جمله صفاتی است که در گیاهان علوفه ای همواره مورد توجه بوده است (Soleimani *et al.*, 2008). در گیاهان تحت تنش شوری، عدم تورژسانس مناسب سلول و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن دوره رشد گیاه و نیز مکانیزم های فرار از تنش همگی می توانند مانع از توسعه عادی سلول ها و در نتیجه کاهش شاخص های مختلف گیاه شوند (Lacerda *et al.*, 2003). کاهش وزن تر اندام هوایی در اثر تنش شوری نیز به دلیل کاهش جذب آب و ایجاد شرایط تنش آبی ناشی از شوری است (Torres-Netto *et al.*, 2002). کاهش وزن خشک گیاه نیز در اثر تنش شوری به دلیل اثرات زیانبار تنش شوری بر میزان رشد و کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه است که در شرایط تنش، بخشی از مواد تولید شده به سمت مواد تولید شده برای تنظیم پتانسیل اسمزی مصرف می شوند که نتیجه آن صرف انرژی برای گیاه و کاهش ماده خشک تولیدی خواهد بود. همچنین بیان شده است که برهم خوردن توازن یونی در اثر تنش شوری از کاهش جذب یون های ضروری و انباشتگی یون های مضر و کم آبی ناشی از

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در لاین‌ها و ارقام سورگوم تحت شرایط بدون تنش

Table 3. Mean comparisons of the studied traits in sorghum lines and varieties under non-stress conditions

رقم و لاین* Variety/Line*	قطر ساقه Stem diameter (mm)	ارتفاع بوته Stem height (cm)	تعداد برگ Leaf number	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن تر علوفه Forage fresh weight (kg/ha)	وزن خشک علوفه Forage dry weight (kg/ha)
1	16.31	118.00	12.91	4.44	64866	15034
2	15.13	107.00	12.64	4.26	54766	13450
3	16.48	124.64	13.20	4.88	72866	17150
4	20.96	119.00	13.08	4.66	66354	15260
5	14.25	121.00	12.60	4.21	54660	12680
6	13.88	106.37	12.50	4.17	54300	11991
7	16.38	116.34	12.83	4.39	62900	14820
8	15.36	115.00	12.80	4.40	60534	14600
9	15.21	113.66	12.68	4.35	55086	13680
10	12.96	104.61	12.45	4.16	51374	9419
11	12.60	92.00	12.37	4.09	51436	9680
12	13.65	123.71	13.12	4.72	67134	15765
13	16.40	114.63	13.25	5.01	76666	17013
14	20.20	115.31	12.58	4.20	54442	12581
15	14.93	167.32	14.16	5.36	104314	23960
16	15.23	112.00	12.64	4.31	54934	13670
17	13.80	121.36	13.22	4.96	75666	16984
18	15.43	117.69	12.88	4.42	62900	14896
19	16.23	132.67	13.50	5.20	78534	17900
20	15.15	126.00	13.16	4.86	70534	16620
21	18.75	118.37	13.10	4.45	65700	15100
22	16.88	114.39	12.76	4.35	59106	13890
23	22.08	140.68	14.41	5.81	105334	28530
24	18.80	128.00	13.18	5.57	72020	16853
25	14.58	105.35	12.61	4.23	54734	12803
26	16.33	135.33	13.83	5.56	88900	23260
27	15.00	124.00	13.16	4.77	68066	16073
28	17.83	120.00	13.12	4.69	66466	15587
29	15.25	102.59	13.33	5.08	78400	17850
30	14.75	104.72	12.41	4.16	52786	11647
31	25.08	230.67	15.25	5.65	117734	24853
32	18.71	211.33	14.25	5.73	112900	26293
33	12.58	167.00	11.25	4.07	66894	15647
34	14.79	207.65	15.08	4.06	59066	13827
35	12.52	186.60	11.80	4.51	79034	18490
36	14.98	150.00	13.61	5.20	82200	19607
37	14.33	154.31	13.66	5.32	82666	19750
38	14.12	94.73	9.91	3.92	30500	8328
39	12.83	132.69	13.00	4.03	63200	14968
40	14.83	135.00	13.75	5.49	86500	22570
41	12.18	115.00	10.00	3.95	29034	7493
42	8.58	87.61	6.91	2.28	30266	7507
43	15.91	150.35	13.52	5.02	81352	18607
44	19.50	81.00	8.00	3.03	37400	9886
45	10.66	178.61	13.59	5.08	81366	19460
Mean	15.60	129.87	12.75	4.6	67686.44	15911.82
LSD _{0.05}	4.62	25.54	2.65	1.41	13128.24	2724.6

* Sorghum lines and varieties are shown in Table 1.

* ارقام و لاین‌های سورگوم در جدول ۱ ارایه شده‌اند.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در لاین‌ها و ارقام سورگوم تحت شرایط تنش شوری

Table 4. Mean comparisons of the studied traits in sorghum lines and varieties under salinity stress conditions

رقم و لاین* Variety/Line*	قطر ساقه Stem diameter (mm)	ارتفاع بوته Stem height (cm)	تعداد برگ Leaf number	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن تر علوفه Forage fresh weight (kg/ha)	وزن خشک علوفه Forage dry weight (kg/ha)
1	14.92	99.00	11.33	3.89	54659.2	14340
2	13.85	97.00	11.08	3.73	36962.6	11423
3	14.32	83.00	10.50	2.92	38066	10309
4	17.17	100.00	11.25	3.78	48898	12358
5	11.68	91.00	10.60	3.16	43882	10940
6	11.14	78.39	10.29	2.77	33920	9350
7	16.19	97.80	11.16	3.80	44756	11953
8	13.04	79.40	10.33	2.82	35982	9458
9	13.49	88.00	10.54	3.03	38966	10855
10	11.45	70.68	9.41	2.43	31062	8100
11	11.04	75.00	9.58	2.45	31974	8210
12	11.96	86.71	10.53	3.01	38298	10710
13	13.85	78.65	10.26	2.79	35850	9452
14	16.10	81.30	10.49	2.86	37400	9670
15	14.36	103.67	11.50	3.88	53102	13315
16	13.11	86.00	10.54	2.96	38244	10655
17	11.58	70.34	9.25	2.42	30394	7782
18	13.40	78.00	10.10	2.62	33684	8800
19	14.19	101.00	11.10	3.79	48852	11757
20	14.51	78.31	10.25	2.78	34736	9432
21	14.66	80.00	10.35	2.84	36822	9552
22	16.43	95.42	10.83	3.32	40176	11311
23	13.52	64.00	9.75	2.51	33406	8484
24	13.38	73.00	9.89	2.48	32866	8216
25	12.62	93.66	10.66	3.29	43420	11156
26	15.59	83.25	10.50	2.93	38135	10354
27	12.97	70.00	9.31	2.33	30060	7181
28	15.61	82.64	10.48	2.94	37986	10287
29	12.03	96.43	10.30	3.36	46600	11378
30	11.35	76.36	9.91	2.57	33532	8793
31	18.27	179.67	12.16	4.61	80936	21042
32	13.64	127.00	10.91	3.12	46626	11445
33	12.30	149.00	9.90	3.35	45424	11690
34	11.26	130.00	12.10	3.23	40748	11133
35	11.91	156.33	11.16	3.53	54442	13893
36	13.76	142.00	11.66	4.48	53152	13828
37	13.53	135.50	12.00	4.54	66554	16967
38	13.95	84.00	8.20	2.40	27500	7287
39	11.76	109.33	11.50	3.14	43664	10933
40	14.35	123.00	11.75	4.50	53962	13894
41	9.63	69.00	8.91	2.38	26720	6212
42	5.69	80.00	6.50	1.11	26118	6257
43	13.51	133.00	11.41	3.81	50010	13271
44	17.68	64.33	7.70	2.58	29034	7533
45	10.11	148.70	12.40	3.84	50100	13293
Mean	13.35	97.08	10.45	3.13	41281.8	10761.1
LSD _{0.05}	2.04	31.09	2.37	1.68	11602.8	3151.3
Reduction to normal conditions (%)	14.42	25.24	18.06	31.95	39.01	32.37

* Sorghum lines and varieties are shown in Table 1.

* ارقام و لاین‌های سورگوم در جدول ۱ ارایه شده‌اند.

سیستان و KFS₂ و لاین شماره ۱۵ بیشترین این شاخص‌ها را داشتند. لاین‌های شماره ۲۳، ۲۶ و رقم نکتار دارای بیشترین مقدار شاخص SSI بودند (جدول ۵).

رقم جامبو دارای بیشترین مقدار شاخص‌های GMP، HAM، MP و STI بود که نسبت به ارقام و لاین‌های دیگر به مراتب بیشتر بود. بعد از آن ارقام پگاه، نکتار،

به‌منظور گروه‌بندی لاین‌ها و رقم‌های سورگوم بر مبنای شاخص‌های برتر که بیشترین همبستگی را با عملکرد علوفه خشک تحت شرایط تنش و بدون تنش داشتند، تجزیه خوشه‌ای به روش Ward انجام شد. ژنوتیپ‌های موجود در هر گروه تجزیه خوشه‌ای در جدول ۷ و میانگین گروه‌ها نیز در جدول ۸ ارائه شده است. بر این اساس، رقم شماره ۳۱ (جامبو) به دلیل دارا بودن بیشترین مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه، به‌تنهایی در یک گروه قرار گرفت (جدول ۸). رقم‌های شماره ۳۷ (پگاه)، ۳۵ (سیستان)، ۳۶ (قلمی هرات)، ۴۳ (سورگوم شیرین) و ۴۵ (اسپیدفید مغان) بعد از رقم جامبو در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۱ و جدول ۸). لاین‌های شماره ۲۳، ۲۶ و رقم نکتار (۳۲) نیز در یک گروه قرار گرفتند که به‌نظر می‌رسد دلیل بالا بودن میانگین شاخص MP در این گروه، بیشتر بودن عملکرد آن‌ها در شرایط بدون تنش باشد (جدول‌های ۵ و ۸). این نتایج با یافته‌های حسین و همکاران (Hossain et al., 1990) و محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2010) مطابقت داشت. این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و در عین حال حساس به تنش شوری بودند. لاین‌های شماره ۱۰ و ۱۱ و نیز رقم‌های سپیده، سورگوم جارویی، KFS4 و کیمیا کمترین میانگین این شاخص‌ها را داشتند (جدول ۸) و بر این اساس در هر دو شرایط دارای عملکرد پایینی بودند (جدول ۵). لاین‌های شماره ۱۹ و ۲۹ و رقم‌های اسپیدفید، سوپردان و KFS1 را نیز می‌توان با توجه به قرار گرفتن در یک گروه بر اساس تجزیه خوشه‌ای و دارا بودن مقادیر متوسط برای شاخص‌های تحمل نسبت به گروه‌های دیگر به‌عنوان ژنوتیپ‌های نیمه‌متحمل در نظر گرفت (جدول ۸). لاین‌های شماره ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۲۵، ۲۷، ۲۸ و ۳۰ نیز در یک گروه قرار گرفتند و حساسیت زیادی به تنش شوری نشان دادند (شکل ۱). لاین‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نیز را می‌توان به‌عنوان لاین‌های نیمه‌حساس معرفی کرد. مطابقت نتایج شاخص‌های تحمل و تجزیه خوشه‌ای پیش از این نیز در پژوهش‌های دیگری گزارش شده است (Ebrahimiyan et al., 2011; Dorostkar et al., 2015; Riasat et al., 2015).

کمترین مقدار شاخص TOL نیز در لاین شماره ۱ مشاهده شد، همچنین این لاین دارای کمترین مقدار SSI و TOL نیز بود (جدول ۵). شاخص TOL نشان دهنده تغییرات عملکرد یک رقم در شرایط تنش است و هرچه تغییرات عملکرد یک رقم تحت شرایط تنش کمتر باشد، مقدار عددی آن کمتر است، لذا پایین بودن مقدار این شاخص الزاماً به معنای بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکن است به دلیل افت کمتر عملکرد در شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال باشد (Kamrani et al., 2015). به‌طور کلی بهترین شاخص‌ها برای تشخیص متحمل‌ترین ارقام، آن‌هایی هستند که بیشترین ضریب همبستگی را با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارند. در پژوهش حاضر، شاخص‌های MP، HAM و GMP دارای بیشترین همبستگی با عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص STI دارای همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط تنش بود (جدول ۶) و از این‌رو به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ارقام برتر گزینش شدند. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج خزایی و فومن (Khazaei and Fouman, 2011) در سورگوم، ایزددوست و همکاران (Izaddoost et al., 2013) در برنج، خاکسار و همکاران (Khaksar et al., 2014) در گندم دوروم و اسدی و آسترکی (Asadi and Asterki, 2015) در لوبیا چیتی مطابقت دارد. شاخص YI همبستگی بسیار معنی‌داری فقط با عملکرد در شرایط تنش داشت (جدول ۶) و بنابراین نتوانست ارقام با عملکرد بالا در هر دو شرایط را شناسایی کند. شاخص YSI همبستگی منفی با عملکرد در شرایط بدون تنش داشت و با عملکرد در شرایط تنش همبستگی معنی‌داری نداشت (جدول ۶) که این نتایج پیش از این نیز توسط خزایی و فومن (Khazaei and Fouman, 2011) در سورگوم نیز گزارش شده است. بنابراین، این شاخص نیز قادر به تشخیص ارقام با عملکرد بالا در هر دو شرایط نبود. این نتایج مشابه نتایج سی و سه مرده و همکاران (Siosehmadeh et al., 2006)، گراوندی و همکاران (Garavandi et al., 2010) و خاکسار و همکاران (Khaksar et al., 2014) بود.

جدول ۵- شاخص‌های تحمل به تنش ارقام و لاین‌های سورگوم بر اساس عملکرد علوفه خشک

Table 5. Stress tolerance indices in sorghum lines and varieties based on dry forage yield

Variety/Line*	Drought stress indices**									
	Yp	Ys	GMP	HAM	MP	SSI	STI	TOL	YI	YSI
1	15034	14340	14682.90	14678.80	14687	0.14	0.85	694	1.33	0.95
2	13450	11423	12395.13	12353.91	12436.50	0.47	0.61	2027	1.06	0.85
3	17150	10309	13296.59	12877.33	13729.50	1.23	0.70	6841	0.96	0.60
4	15260	12358	13732.56	13656.53	13809	0.59	0.74	2902	1.15	0.81
5	12680	10940	11777.91	11745.91	11810	0.42	0.55	1740	1.02	0.86
6	11991	9350	10588.48	10507.08	10670.50	0.68	0.44	2641	0.87	0.78
7	14820	11953	13309.53	13232.99	13386.50	0.60	0.70	2867	1.11	0.81
8	14600	9458	11751.03	11479.49	12029.00	1.09	0.55	5142	0.88	0.65
9	13680	10855	12185.91	12104.86	12267.50	0.64	0.59	2825	1.01	0.79
10	9419	8100	8734.64	8709.85	8759.50	0.43	0.30	1319	0.75	0.86
11	9680	8210	8914.75	8884.61	8945	0.47	0.31	1470	0.76	0.85
12	15765	10710	12993.97	12754.91	13237.50	0.99	0.67	5055	1.00	0.68
13	17013	9452	12680.97	12152.42	13232.50	1.37	0.64	7561	0.88	0.56
14	12581	9670	11029.88	10935.08	11125.50	0.71	0.48	2911	0.90	0.77
15	23960	13315	17861.34	17117.50	18637.50	1.37	1.26	10645	1.24	0.56
16	13670	10655	12068.71	11975.65	12162.50	0.68	0.58	3015	0.99	0.78
17	16984	7782	11496.50	10673.46	12383	1.67	0.52	9202	0.72	0.46
18	14896	8800	11449.23	11063.88	11848	1.26	0.52	6096	0.82	0.59
19	17900	11757	14506.91	14192.29	14828.50	1.06	0.83	6143	1.09	0.66
20	16620	9432	12520.38	12034.38	13026	1.34	0.62	7188	0.88	0.57
21	15100	9552	12009.80	11701.70	12326	1.14	0.57	5548	0.89	0.63
22	13890	11311	12534.34	12468.54	12600.50	0.57	0.62	2579	1.05	0.81
23	28530	8484	15557.91	13078.76	18507	2.17	0.96	20046	0.79	0.30
24	16853	8216	11767.08	11046.65	12534.50	1.58	0.55	8637	0.76	0.49
25	12803	11156	11951.16	11922.89	11979.50	0.40	0.56	1647	1.04	0.87
26	23260	10354	15518.83	14329.39	16807	1.71	0.95	12906	0.96	0.45
27	16073	7181	10743.38	9926.91	11627	1.71	0.46	8892	0.67	0.45
28	15587	10287	12662.68	12394.18	12937	1.05	0.63	5300	0.96	0.66
29	17850	11378	14251.22	13897.45	14614	1.12	0.80	6472	1.06	0.64
30	11647	8793	10119.88	10020.75	10220	0.76	0.40	2854	0.82	0.75
31	24853	21042	22868.25	22789.27	22947.50	0.47	2.07	3811	1.96	0.85
32	26293	11445	17347.14	15948.03	18869	1.74	1.19	14848	1.06	0.44
33	15647	11690	13524.55	13382.11	13668.50	0.78	0.72	3957	1.09	0.75
34	13827	11133	12407.09	12334.61	12480	0.60	0.61	2694	1.03	0.81
35	18490	13893	16027.53	15865.21	16191.50	0.77	1.01	4597	1.29	0.75
36	19607	13828	16465.89	16218.07	16717.50	0.91	1.07	5779	1.28	0.71
37	19750	16967	18305.69	18253.03	18358.50	0.44	1.32	2783	1.58	0.86
38	8328	7287	7790.13	7772.80	7807.50	0.39	0.24	1041	0.68	0.88
39	14968	10933	12792.39	12636.20	12950.50	0.83	0.65	4035	1.02	0.73
40	22570	13894	17708.40	17199.85	18232.00	1.19	1.24	8676	1.29	0.62
41	7493	6212	6822.50	6792.63	6852.50	0.53	0.18	1281	0.58	0.83
42	7507	6257	6853.56	6825.24	6882	0.51	0.19	1250	0.58	0.83
43	18607	13271	15714.12	15492.41	15939	0.89	0.98	5336	1.23	0.71
44	9886	7533	8629.67	8550.58	8709.50	0.74	0.29	2353	0.70	0.76
45	19460	13293	16083.59	15795.91	16376.50	0.98	1.02	6167	1.24	0.68

* ارقام و لاین‌های سورگوم در جدول ۱ ارایه شده‌اند.

** Yp عملکرد در شرایط نرمال، Ys عملکرد در شرایط تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، HAM میانگین هارمونیک، MP میانگین بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به تنش، STI شاخص تحمل به تنش، TOL شاخص تحمل، YI شاخص عملکرد، YSI شاخص پایداری عملکرد. شدت تنش در این آزمایش برابر با ۰/۳۲ بود.

* Sorghum lines and varieties are shown in Table 1.

** Yp, yield in non-stress condition; Ys, yield in stress condition; GMP, geometric mean productivity; HAM, harmonic mean; MP, mean productivity; SSI, stress susceptibility index; STI, stress tolerance index; TOL, tolerance index; YI, yield index; YSI, yield stability index. Stress intensity in this experiment was 0.32.

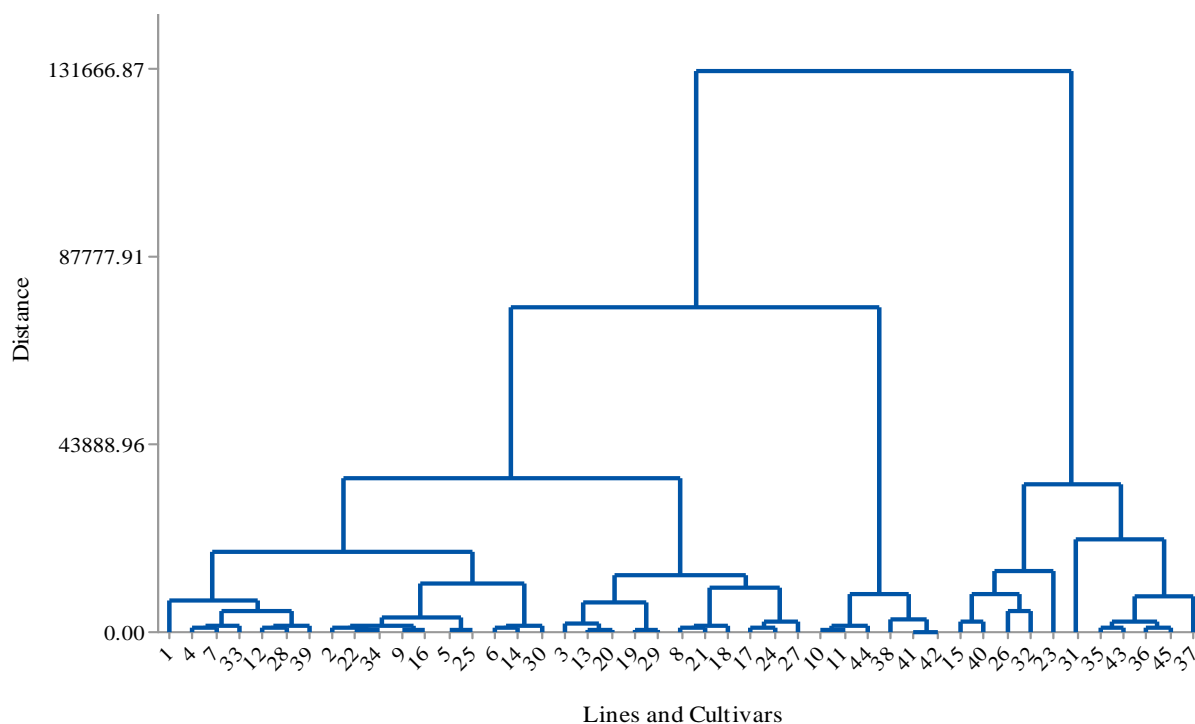
جدول ۶- ضرایب همبستگی بین عملکرد علوفه خشک تحت شرایط نرمال و تنش با شاخص‌های تحمل

Table 6. Correlation coefficients among tolerance indices and dry forage yield in stress and non-stress conditions

شاخص Index*	Yp	Ys	GMP	HAM	MP	SSI	STI	TOL	YI	YSI
Yp	1									
Ys	0.56**	1								
GMP	0.88**	0.88**	1							
HAM	0.87**	0.93**	0.98**	1						
MP	0.93**	0.81**	0.98**	0.95**	1					
SSI	0.63**	-0.23 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.35 ^{ns}	1				
STI	0.84**	0.89**	0.98**	0.97**	0.96**	0.17 ^{ns}	1			
TOL	0.80**	0.02 ^{ns}	0.43*	0.30 ^{ns}	0.55*	0.93**	0.38 ^{ns}	1		
YI	0.56*	0.1**	0.88**	0.93**	0.81**	-0.23 ^{ns}	0.89**	-0.02 ^{ns}	1	
YSI	-0.63**	0.23 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.34 ^{ns}	-0.99**	-0.17 ^{ns}	-0.93**	0.23 ^{ns}	1

* شاخص‌های Yp عملکرد در شرایط نرمال، Ys عملکرد در شرایط تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، HAM میانگین هارمونیک، MP میانگین بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به تنش، STI شاخص تحمل به تنش، TOL شاخص تحمل، YI شاخص عملکرد، YSI شاخص پایداری عملکرد.

* Yp, yield in non-stress condition; Ys, yield in stress condition; GMP, geometric mean productivity; HAM, harmonic mean; MP, mean productivity; SSI, stress susceptibility index; STI, stress tolerance index; TOL, tolerance index; YI, yield index; YSI, yield stability index.



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها و ارقام سورگوم بر اساس شاخص‌های تحمل با استفاده از روش Ward. لاین‌ها و ارقام سورگوم در جدول ۱ آرایه شده‌اند.

Figure 1. Dendrogram of cluster analysis of sorghum lines and cultivars based on tolerant indices using Ward's method. Sorghum lines and varieties are shown in Table 1.

جدول ۷- شماره ژنوتیپ‌های موجود در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای
Table 7. Number of the genotypes in each group derived from cluster analysis

گروه Group	شماره ژنوتیپ Number of the genotype												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	13	14	
1	1												
2	16	17	18	20	21	22	24	25	27	28	30	-	
3	19	29	33	34	39	-	-	-	-	-	-	-	
4	10	11	38	41	42	44	-	-	-	-	-	-	
5	15	23	32	26	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	35	36	37	40	43	45	-	-	-	-	-	-	
7	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* Sorghum lines and varieties are shown in Table 1.

* ارقام و لاین‌های سورگوم در جدول ۱ ارایه شده‌اند.

جدول ۸- میانگین شاخص‌های تحمل برای گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای ارقام و لاین‌های سورگوم
Table 8. Mean of tolerance indices for the groups derived from cluster analysis of sorghum lines and varieties

شاخص‌های تحمل* Tolerance indices*	گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای The groups from cluster analysis						
	1	2	3	4	5	6	7
GMP	12535.41	11756.65	13496.43	7957.54	16571.31	16717.54	22868.25
HAM	12373.28	11384.45	13288.53	7922.61	15118.42	16470.75	22789.27
MP	12701.75	12149.45	13708.30	7992.66	18205.13	16969.17	22947.50
STI	0.62	0.54	0.72	0.25	1.09	1.10	2.07

* GMP میانگین هندسی بهره‌وری، HAM میانگین هارمونیک، MP میانگین بهره‌وری، STI شاخص تحمل به تنش.

* GMP, geometric mean productivity; HAM, harmonic mean; MP, mean productivity; STI, stress tolerance index.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار صفات و ویژگی‌های مختلف در لاین‌ها و رقم‌های سورگوم مورد مطالعه شد و میزان این کاهش در لاین‌ها و رقم‌های مختلف کاملاً متفاوت بود. با توجه به نتایج ضرایب همبستگی بین عملکرد علوفه خشک تحت شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های تحمل، شاخص‌های GMP، HAM، MP و STI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. در کل با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های

اصلی، ارقام شماره ۳۱ (جامبو)، ۳۷ (پگاه)، ۳۵ (سیستان)، ۳۶ (قلمی هرات)، ۴۳ (سورگوم شیرین) و ۴۵ (اسپیدفید مغان) به‌عنوان متحمل‌ترین رقم‌ها و رقم نکتار (۳۲) و لاین‌های شماره ۲۳ و ۲۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس و در عین حال مناسب برای شرایط بدون تنش شناخته شدند. لاین شماره ۱ نیز دارای ثبات بالای عملکرد تحت شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش بود که در نتیجه این لاین شایسته بررسی‌های دقیق‌تر جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی است.

References

- Assadi, B. and Asteki, H. 2015. Response of chitti bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines to drought stress based on tolerance indices. **Seed and Plant Improvement Journal** 31 (2): 231-248. (In Persian with English Abstract).
- Bousslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science** 24: 933-937.
- Chogan, R., Heidari, A. R., Mohamadi, A. and Hadadi, M. H. 2008. Evaluation of drought tolerance in grain maize hybrids using drought tolerance indices. **Plant and Soil** 24 (3): 543-562. (In Persian with English Abstract).

- Dai, X., Huo, Z. and Wang, H. 2011.** Simulation for response of crop yield to soil moisture and salinity with artificial neural network. **Field Crops Research** 121: 441-449.
- Dorostkar, S., Dadkhodaie, A. and Heidari, B. 2015.** Evaluation of grain yield indices in hexaploid wheat genotypes in response to drought stress. **Archives of Agronomy and Soil Science** 61 (3): 397-413.
- Ebrahimiyan, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A. and Gheysari, M. 2011.** Assessment of drought tolerance indices in tall fescue genotypes (*Festuca arundinacea* Schreb.). **Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research** 19 (1): 101-118. (In Persian with English Abstract).
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of Crop Symposium, Aug. 13-18, Taiwan. pp: 257-270.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research** 29: 897-912.
- Fouman, A. 2010.** Evaluation of morphological traits and qualitative and quantitative yield of forage sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L.). **Iranian Journal of Crop Sciences** 41 (4): 833-840. (In Persian with English Abstract).
- Fouman, A. and Khazaei, A. 2014.** Evaluation of forage yield of forage sorghum lines under Karaj conditions in Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences** 16 (3): 181-190. (In Persian with English Abstract).
- Garavandi, M., Farshadfar, E. A. and Kahrizi, D. 2010.** Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. **Seed and Plant Improvement Journal** 26-1 (2): 223-252. (In Persian with English Abstract).
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G. L. and Borghi, B. 1997.** Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science** 77: 523-531.
- Igartua, E., Gracia, M. P. and Lasa, J. H. 1995.** Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. **Field Crops Research** 42: 15-25.
- Izaddoost, H., Samizadeh, H., Rabiei, B. and Abdollahi, S. 2013.** Evaluation of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and lines with emphasis on stress tolerance indices. **Cereal Research** 3 (3): 167-180. (In Persian with English Abstract).
- Kamrani, M., Farzi, A. and Ebadi, A. 2015.** Evaluation of grain yield performance and tolerance to drought stress in wheat genotypes using drought tolerance indices. **Cereal Research** 5 (3): 231-246. (In Persian with English Abstract).
- Kazemzadeh Haghghi, A. 2008.** Evaluation of salinity tolerance in relation to proline accumulation and soluble sugars in nine forage *sorghum* varieties. **Biology Journal** 1 (1): 15-23.
- Khaksar, N., Farshadfar, E. and Mohammadi, R. 2014.** Evaluation of durum wheat advanced genotypes based on drought tolerance indices. **Cereal Research** 3 (4): 267-279. (In Persian with English Abstract).
- Krishnamurthy, L., Serraj, R., Hash, C. T., Dakheel, A. J. and Reddy, B. V. 2007.** Screening sorghum genotypes for salinity tolerant biomass production. **Euphytica** 156: 15-24.
- Lacerda, C. F., Cambraia, J., Oliva, M. A., Ruiz, H. A. and Prisco, J. T. N. 2003.** Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany** 49: 107-120.
- Lobell, D. B., Ortiz-Monsterio, J. I., Gurrola, F. C. and Valenzuela, L. 2007.** Identification of saline soils with multiyear remote sensing of crop yields. **Soil Science Society of America Journal** 71: 777-783.
- Moameni, A. 2010.** Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. **Soil Research Journal** 24: 203-215. (In Persian with English Abstract).
- Min, W., Guo, H., Zhou, G., Zhang, W., Ma, L., Ye, J. and Hou, Z. 2014.** Root distribution and growth of cotton as affected by drip irrigation with saline water. **Field Crops Research** 169: 1-10.
- Munns, R. and James, R. A. 2003.** Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. **Plant and Soil** 253: 201-218.
- Noble, C. L., Halloran, G. M. and West, D. W. 1984.** Identification and selection for salt tolerance in Lucerne (*Medicago sativa* L.). **Australian Journal of Agricultural Research** 35: 239-252.

- Ould Ahmed, B. A., Yamamoto, T., Rasiah, V., Inoue, M. and Anyoji, H. 2007.** The impact of saline water irrigation management options in a dune sand on available soil water and its salinity. **Agricultural Water Management** 88: 63-72.
- Reddy, B. V. S., Ashok Kumar, A., Sanjana Reddy, P., Ibrahim, M., Ramaiah, B., Dakheel, A. J., Ramesh, S. and Krishnamurthy, L. 2010.** Cultivar options for salinity tolerance in sorghum. **Journal of SAT Agricultural Research** 8: 1-5. Available online at: <http://ejournal.icrisat.org>.
- Riasat, M., Jafari, A. A. and Safavi, Y. 2015.** Investigation on forage yield of several accessions of *Elymus pertenuis* in dry and irrigated conditions based on drought tolerance indices in Fars Province. **Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research** 23 (2): 247-258. (In Persian with English Abstract).
- Rosielle, A. A. and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science** 21: 943-946.
- Saadat, S. and Homaee, M. 2015.** Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. **Agricultural Water Management** 152: 119-124.
- Siosehmardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006.** Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research** 98: 222-229.
- Soleimani, M. R., Kafi, M., Ziaee, M. and Shabahang, J. 2008.** Effect of limited irrigation with saline water on forage of two local populations of *Kochia scoparia* L. Schrad. **Journal of Water and Soil** 22: 148-156. (In Persian with English Abstract).
- Tari, I., Laskay, G., Takacs, Z. and Poor, P. 2013.** Response of sorghum to abiotic stresses: A review. **Journal of Agronomy and Crop Science** 199 (4): 264-274.
- Tavakkoli, E., Paull, J., Rengasamy, P. and McDonald, G. K. 2012.** Comparing genotypic variation in faba bean (*Vicia faba* L.) in response to salinity in hydroponic and field experiments. **Field Crops Research** 127: 99-108.
- Torres-Netto, A., Compostrinill, E., Oliveiral, J. G. and Yananishi, O. K. 2002.** Portable chlorophyll meter for quantification on photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya*. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 14: 205-210.
- Verma, O. P. S. and Yadava, R. B. R. 1986.** Salt tolerance of some oats (*Avena sativa* L.) varieties at germination and seedling stage. **Journal of Agronomy and Crop Science** 156: 123-127.
- Wakeel, A., 2013.** Potassium-sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 176: 344-354.
- Yarami, N. and Sepaskhah, A. R. 2015.** Saffron response to irrigation water salinity, cow manure and planting method. **Agricultural Water Management** 150: 57-66.



University of Guilan
Faculty of Agricultural
Sciences

Cereal Research
Vol. 7, No. 2, Summer 2017 (285-299)

Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) lines and cultivars under salinity stress using tolerance indices

Ehsan Shakeri¹, Yahya Emam^{2*} and Seyed Ali Tabatabaei³

Received: February 22, 2016

Accepted: July 15, 2016

Abstract

To evaluate the response of 45 sorghum lines and cultivars to salinity stress, two experiments were conducted in non-stress ($EC=2 \text{ dS.m}^{-1}$) and salinity stress conditions ($EC=12 \text{ dS.m}^{-1}$) using randomized complete block design with three replications. The experiments were carried out at Ardakan research station of Agricultural and Natural Resources Research Center of Yazd, Iran, in 2014. Salinity stress significantly decreased all measured traits in lines and genotypes. Under salinity stress conditions, stem diameter, stem height, leaf number, leaf area index, fresh forage yield and dry forage yield were decreased 14.45%, 25.24%, 18.06%, 31.86%, 40.19% and 32.36%, respectively. The highest dry forage yield under non-stress and salinity stress conditions was produced by KDFGS23 (28530 kg.ha^{-1}) and Jumbo cultivar (21042 kg.ha^{-1}), respectively. Results of correlation coefficients among dry forage yield under non-stress and stress conditions and tolerance indices showed that GMP, HAM, MP and STI indices were the most suitable tolerance indices. Results of cluster analysis showed that Jumbo, Pegah, Sistan, Sweet sorghum, Ghalami Herat and Speedfeed (Moghan) had higher tolerance to salinity stress, while lines KDFGS23 and KDFGS26 and Nectar cultivar had greater sensitivity to salinity stress. Since line No. 1 (KDFGS1) had greater yield stability, it worth further explorations in future breeding projects.

Keywords: Cluster analysis, Dry forage yield, Morphologic characteristics

-
1. Ph. D. Student, Dept. of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
 2. Prof., Dept. of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
 3. Research Assoc. Prof., Dept. of Seed and Plant Improvement Research, Yazd Agricultural and Natural Resources and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

* Corresponding author: yaemam@shirazu.ac.ir