

## ارزیابی تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات در لاین‌های پیشرفته سورگوم دو منظوره علوفه‌ای-دانه‌ای تحت رژیم کم‌آبیاری

مرتضی آشوری<sup>۱</sup>، محمدحسین فتوکیان<sup>۲\*</sup> و عظیم خزائی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳

### چکیده

به منظور ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبیاری در لاین‌های پیشرفته سورگوم دو منظوره علوفه‌ای و دانه‌ای، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا شد. در این آزمایش، آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح شامل ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از سطح تشتک تبخیر کلاس A و لاین‌های سورگوم به‌عنوان عامل فرعی در هشت سطح شامل KDFGS1، KDFGS6، KDFGS9، KDFGS10، KDFGS12، KDFGS13، KDFGS14 و KDFGS16 در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بین لاین‌های سورگوم مورد مطالعه از نظر همه صفات به استثنای قطر ساقه و وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. برهمکنش رژیم‌های آبیاری و لاین‌ها بر ارتفاع بوته و وزن خشک علوفه، معنی‌دار بود اما اثر آن بر بقیه صفات مطالعه شده معنی‌دار نبود. همبستگی بین وزن خوشه و عملکرد علوفه در هر دو رژیم آبیاری معنی‌دار نبود. در هر دو رژیم آبیاری، گرچه لاین‌های KDFGS1، KDFGS6، KDFGS9، KDFGS10، KDFGS12، KDFGS13، KDFGS14 و KDFGS16 در خوشه اول و لاین KDFGS14 به تنهایی در خوشه دوم قرار گرفتند ولی فاصله ژنتیکی بین لاین‌ها متفاوت بوده است. در تجزیه عاملی در هر دو رژیم آبیاری صفات مورد مطالعه به سه عامل کاهش یافتند ولی در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر وزن خوشه، وزن علوفه و قطر ساقه و در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر وزن خوشه، شاخص برداشت، وزن علوفه، و اندازه ساقه و خوشه از مهمترین صفات تاثیرگذار بودند. لاین سورگوم KDFGS14، به دلیل برتری در صفات مرتبط با عملکرد، به عنوان لاین برتر پیشنهاد می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** تجزیه خوشه‌ای، تجزیه عاملی، تنش خشکی، ضریب همبستگی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

\* نویسنده مسئول: [fotokian@shahed.ac.ir](mailto:fotokian@shahed.ac.ir)

## مقدمه

تنش خشکی بر فرآیندهای متعددی در گیاه اثر می‌گذارد. در وهله اول کمبود آب سبب کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Yadav *et al.*, 1999). خزایی (Khazaei, 2011) در مطالعه پنج لاین امیدبخش سورگوم علوفه‌ای در سه رژیم آبیاری (۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A) طی دو چین برداشت، نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌داری بین عملکرد علوفه تر در دو تیمار ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر وجود نداشت، ولی عملکرد در ۱۸۰ میلی‌متر با دو سطح دیگر دارای تفاوت معنی‌داری بود. بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد علوفه تر و خشک، ارتفاع بوته و قطر ساقه تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد که این تفاوت می‌تواند به دلیل تفاوت ژنتیکی لاین‌ها باشد. برهمکنش آبیاری با ارقام سورگوم برای این صفات نیز معنی‌دار نبود. شیرازی خرازی (Shirazi Kharazi *et al.*, 2008) هفت رقم سورگوم دانه‌ای را در منطقه سیستان در دو سطح آبیاری (نرمال و قطع آبیاری از زمان ظهور خوشه) در یک آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مطالعه کرد و نتیجه گرفت که بین ارقام مورد مطالعه سورگوم تفاوت معنی‌داری برای ارتفاع بوته، طول خوشه و وزن صد دانه وجود داشت، در حالی‌که بین دو سطح آبیاری و نیز برهمکنش بین سطوح آبیاری با ارقام سورگوم برای این صفات غیرمعنی‌دار بود.

تحقیقات اصلاحی سورگوم در ایران از سال ۱۳۶۵ شروع شد و تا کنون تعداد قابل توجهی لاین خالص سورگوم دانه‌ای، علوفه‌ای و دو منظوره تولید شده است (Fouman, 2011) که لاین‌های سورگوم مطالعه شده در این تحقیق نیز نتیجه همین تحقیقات بوده است. در تحقیق حاضر، تعدادی از لاین‌های پیشرفته سورگوم دو منظوره علوفه‌ای و دانه‌ای تحت دو شرایط معمولی و تنش خشکی برای برخی از صفات مورد مطالعه قرار گرفت و هدف اصلی تحقیق ارزیابی تنوع ژنتیکی و تحمل به تنش کم‌آبیاری در لاین‌ها و نیز روابط بین صفات در دو شرایط محیطی بود.

خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محدود کننده عملکرد به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. از آنجا که بخش اعظم ارضی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاهان زراعی و در نتیجه تلاش برای اصلاح گیاهان متحمل به خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Chassemi *et al.*, 1995; Beheshti and Serori, 2011). سورگوم (*Sorghum bicolor*) به دلیل تحمل فوق‌العاده در شرایط نامساعد محیطی، تعدد چین و سازگاری خوب با شرایط اقلیم‌های مختلف، در قسمت‌های وسیعی از جهان کشت می‌شود (Thakur and Sharma, 2005). سورگوم نسبت به سایر غلات جهت رشد و نمو به آب کم‌تری نیاز دارد. سورگوم در دنیا به‌عنوان یک غله مطرح است، ولی با توجه به کمبود علوفه در ایران، نوع علوفه‌ای آن اولویت دارد. برای جبران کمبود علوفه به گیاهانی نیاز است که ضمن تولید علوفه بیشتر و کیفیت مناسب، نسبت به شرایط نامساعد محیطی نیز متحمل باشند. کارایی مصرف آب در سورگوم بیش‌تر از ذرت است و در شرایط خشکی تاریخ کاشت دیرهنگام را بهتر تحمل می‌کند (Fouman *et al.*, 2006; Imam *et al.*, 2013). سورگوم به دلیل سیستم ریشه‌ای گسترده و عمیق نسبت به سایر گیاهان خانواده گرامینه به خشکی مقاوم است و به دلیل این مقاومت بالا به شتر گیاهان زراعی معروف است (Mohaveni and Heydari, 2005; Shirazi Kharazi, 2008). وقتی سورگوم در دوره رشد با تنش خشکی مواجه می‌شود، بسته شدن روزنه‌ها همراه با کاهش پتانسیل آب برگ موجب محدود شدن تثبیت دی‌اکسید کربن در فتوسنتز می‌شود (Almodares *et al.*, 2007). این عامل نیز باعث کاهش سطح برگ و مواد غذایی در دسترس گیاه و در نتیجه کاهش دوام سطح برگ می‌شود. بنابراین، تنش خشکی از طریق کاهش توسعه سطح برگ و دوام سطح برگ، باعث کاهش استفاده از نور می‌شود و در نتیجه با کاهش سرعت رشد محصول میزان تجمع ماده خشک در واحد سطح کاهش می‌یابد (Fouman *et al.*, 2006).

**مواد و روش‌ها**

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با مشخصات طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷۵ دقیقه شرقی اجرا شد. رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی به صورت تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر کلاس A در دو سطح (۱۲۰ میلی‌متر و ۲۴۰ میلی‌متر) و لاین‌های پیشرفته سورگوم دو منظوره دانه‌ای و علوفه‌ای که از بخش علوفه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند، به‌عنوان عامل فرعی در هشت سطح شامل KDFGS9, KDFGS6, KDFGS1, KDFGS10, KDFGS12, KDFGS13, KDFGS14 و KDFGS16 در نظر گرفته شدند. هر کرت فرعی به طول هفت متر و عرض ۲/۴ متر شامل چهار پشته ۶۰ سانتی‌متری و چهار خط کاشت با فاصله ۱۲ سانتی‌متری بود. بافت خاک مزرعه رسی-شنی و سال قبل از اجرای آزمایش، به صورت آیش بود. میزان کود مورد استفاده، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمان کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌عنوان سرک در زمانی که ارتفاع بوته‌ها حدود ۳۵ سانتی‌متر بود، با توجه به نتایج آزمون خاک داده شد. رژیم آبیاری بعد از مرحله چهار برگی اعمال شد.

در طول دوره رشد، صفات ارتفاع گیاه (از سطح خاک تا انتهای پانیکول) و قطر ساقه اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که لاین‌های سورگوم مورد مطالعه دارای خاصیت سبزمانی بوده و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه، ساقه و برگ‌ها سبز بودند و بالای ۵۰ درصد رطوبت داشتند. بعد از برداشت نیز عملکرد دانه، عملکرد علوفه و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، پانیکول‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک برداشت و بلافاصله توزین شدند و زمانی که رطوبت دانه به ۱۲ درصد رسید، دوباره وزن پانیکول‌ها اندازه‌گیری شد. پانیکول‌ها خرم‌نکوبی و دانه خالص دوباره توزین و از وزن خشک پانیکول کسر شد و وزن خشک کاه و کلش پانیکول به‌دست آمد. عملکرد علوفه نیز بعد از برداشت پانیکول‌ها بلافاصله ساقه و برگ برداشت و توزین شد و وزن تر علوفه به‌دست آمد. یک کیلوگرم از آن به‌عنوان نمونه، خشک و بعد از اینکه رطوبت نمونه به ۱۲ درصد رسید، توزین شد و وزن خشک و تر علوفه به‌دست آمد. شاخص برداشت از تقسیم وزن خوشه بر حاصل جمع

وزن خوشه و وزن علوفه به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول خوشه، پنج بوته تصادفی در حال رقابت از کرت‌های فرعی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری سایر صفات دو خط کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط حذف و بقیه سطح کرت برداشت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون توکی)، همبستگی پیرسون، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه عاملی و تجزیه تابع تشخیص (جهت بررسی صحت نتایج تجزیه خوشه‌ای) با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شد. تجزیه خوشه‌ای با داده‌های استاندارد شده (Z) بر اساس مربع فاصله اقلیدوسی بین لاین‌های سورگوم انجام و دندروگرام تجزیه با روش حداقل واریانس وارد (Ward) رسم شد. تعداد خوشه‌ها بر اساس رابطه  $\sqrt{n} \div 2$  تعیین شد که در آن n تعداد لاین‌های مورد مطالعه است. تجزیه عاملی نیز بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام شد و برای تعیین کفایت اندازه نمونه و همبستگی بین متغیرها به ترتیب از معیار کیزر-مایر-اولکین (Kaiser-Meir-Olkin) و آزمون کرویت بارلت (از طریق آزمون مربع کای) و برای توزیع بهتر واریانس در عامل‌ها از چرخش وریماکس (Varimax) استفاده شد (Farbood, et al., 2018). درصد تغییر از تقسیم حاصل تفریق میانگین صفت در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر از میانگین صفت در رژیم آبیاری ۲۸۰ میلی‌متر بر میانگین صفت در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر بدست آمد.

**نتایج و بحث****تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات**

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در لاین‌های پیشرفته سورگوم در جدول ۱ ارائه شده است. بین رژیم‌های آبیاری فقط در ارتفاع بوته تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. بین لاین‌های سورگوم مورد مطالعه از نظر همه صفات به استثنای قطر ساقه و وزن هزار دانه تفاوت معنی‌دار وجود داشت. در مطالعه فومن (Fouman, 2011)، تفاوت بین ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای مورد مطالعه برای ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن علوفه تر و وزن علوفه خشک تفاوت معنی‌دار گزارش گردید. تأثیر اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و لاین‌ها در تحقیق حاضر در ارتفاع بوته و وزن علوفه خشک معنی‌دار و در بقیه صفات معنی‌دار نبود. دقت آزمایش با توجه به مقدار ضریب تغییرات (با استفاده از خطای دوم برآورد شد) در همه صفات مورد مطالعه قابل قبول بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری و لاین‌های پیشرفته سورگوم بر صفات مورد بررسی

Table 1. Analysis of variance of the effect of irrigation regimes and advanced sorghum lines on the studied traits

Source of variations	df	Mean squares									
		Plant height	Stem diameter	Panicle length	Wet panicle wet	Dry panicle wet	Wet forage weight	Dry forage weight	Wet harvest index	Dry harvest index	1000 grain weight
Replication	2	230.0	.003	9.06	1.18	0.56	65.9	13.0	0.004	0.002	10.3
Irrigation (I)	1	12087.0*	.013	61.2	300.5	143	112.8	39.0	0.76	0.09	72.0
Ea	2	170.5*	.27	36.58	25.4	12.7	15.4	5.2	0.008	0.05	12.3
Line (L)	7	634.0**	.078	31.5**	18.7**	9.1**	122**	28.0**	0.018**	.037**	19.5
L × I	7	126.7**	.037	6.18	4.5	2.2	25.8	8.3*	0.003	0.005	14.6
Eb	28	32.63	.073	7.02	5.4	2.63	22.26	2.76	0.001	0.003	8.28
CV (%)	-	3.7	4.6	9.4	22.7	22.6	16.3	15.6	12.2	13.7	9.5

\* and \*\*: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش رژیم آبیاری و لاین سورگوم در جدول ۲ ارائه شده است. از آنجایی که این برهمکنش فقط برای صفات ارتفاع بوته و وزن علوفه خشک معنی‌دار بود، آزمون مقایسه میانگین توکی فقط برای این دو صفت انجام شد. حداکثر ارتفاع بوته گرچه در لاین KDFGS14 مشاهده شد ولی تفاوت ارتفاع بوته این لاین با بقیه لاین‌های سورگوم مورد مطالعه به استثنای KDFGS9, KDFGS6 و KDFGS10 معنی‌دار نبود. در تنش شدید آبیاری (۲۴۰ میلی‌متر) لاین KDFGS14 نسبت به بقیه لاین‌ها دارای ارتفاع بوته بیش‌تر بود. این لاین دارای بیش‌ترین وزن علوفه خشک در هر دو رژیم آبیاری بود و می‌توان این لاین را به‌عنوان لاین برتر پیشنهاد کرد. وزن خوشه تر و وزن هزار دانه لاین KDFGS14 نسبت به بقیه لاین‌ها قابل توجه بوده است.

بیش‌ترین آسیب ناشی از تنش خشکی مربوط به وزن تر و وزن خشک خوشه (۳۹ درصد) بود. به نظر می‌رسد که وزن خوشه حساس‌ترین جزء عملکرد به تنش خشکی باشد. تنش خشکی باعث ۲۶/۶ درصد در کاهش شاخص برداشت تر شد در حالی که این مقدار برای شاخص برداشت خشک ۱۶/۴ درصد بود.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش رژیم آبیاری و لاین سورگوم در جدول ۲ ارائه شده است. از آنجایی که این برهمکنش فقط برای صفات ارتفاع بوته و وزن علوفه خشک معنی‌دار بود، آزمون مقایسه میانگین توکی فقط برای این دو صفت انجام شد. حداکثر ارتفاع بوته گرچه در لاین KDFGS14 مشاهده شد ولی تفاوت ارتفاع بوته این لاین با بقیه لاین‌های سورگوم مورد مطالعه به استثنای KDFGS9, KDFGS6 و KDFGS10 معنی‌دار نبود. در تنش شدید آبیاری (۲۴۰ میلی‌متر) لاین KDFGS14 نسبت به بقیه لاین‌ها دارای ارتفاع بوته بیش‌تر بود. این لاین دارای بیش‌ترین وزن علوفه خشک در هر دو رژیم آبیاری بود و می‌توان این لاین را به‌عنوان لاین برتر پیشنهاد کرد. وزن خوشه تر و وزن هزار دانه لاین KDFGS14 نسبت به بقیه لاین‌ها قابل توجه بوده است.

بیش‌ترین آسیب ناشی از تنش خشکی مربوط به وزن تر و وزن خشک خوشه (۳۹ درصد) بود. به نظر می‌رسد که وزن خوشه حساس‌ترین جزء عملکرد به تنش خشکی باشد. تنش خشکی باعث ۲۶/۶ درصد در کاهش شاخص برداشت تر شد در حالی که این مقدار برای شاخص برداشت خشک ۱۶/۴ درصد بود.

خرایی و فومن (Khazaei and Fouman, 2012) ده ژنوتیپ پیشرفته سورگوم دانه‌ای را در سه رژیم آبیاری (۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A) به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده بررسی و تفاوت بین ژنوتیپ‌ها را برای همه صفات مورد مطالعه از جمله ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول خوشه و وزن هزار دانه معنی‌دار گزارش دادند. اثر متقابل رژیم‌های آبیاری با ژنوتیپ‌های سورگوم فقط برای قطر ساقه و عملکرد دانه معنی‌دار شد. حداکثر قطر ساقه (۲۴/۸ میلی‌متر) در ژنوتیپ KGS36 در رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر گزارش شد. خزایی (, Khazaei

جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش رژیم آبیاری و لاین‌های پیشرفته سورگوم

Table 2. Mean comparison of the interaction of irrigation regime and advanced sorghum lines

Irrigation regime	Sorghum lines	Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	Panicle length (cm)	Wet panicle weight (ton/ha)	Dry panicle weight (ton/ha)	Wet forage weight (ton/ha)	Dry forage weight (ton/ha)	Wet harvest index	Dry harvest index	1000 grain weight (g)
120 mm	KDFGS1	181.1a	1.83	27.3	12.2	8.5	25.4	8.4cd	0.326	0.493	31.66
	KDFGS6	144.5de	1.83	25.5	16.6	11.6	30	9.99bcd	0.356	0.543	30.33
	KDFGS9	148.6cd	1.66	26.1	15.1	10.5	22.6	8.02d	0.403	0.572	30.0
	GFGS10	165.1bc	1.63	27	13.3	9.3	28.4	10.66bcd	0.318	0.467	33.66
	DFGS12	169.7ab	1.76	30.5	98.3	6.9	31.0	11.47bcd	0.242	0.378	30.33
	KDFGS13	175.7ab	1.93	32.4	12.1	8.5	24.6	13.57ab	0.257	0.384	32.66
	KDFGS14	183.7a	1.93	31.7	99.0	6.9	40.6	17.08a	0.195	0.279	34.0
	KDFGS16	173.5ab	2.03	31.6	12.9	9.0	30.5	12.54bcd	0.296	0.417	28.0
	Mean	167.8	1.8	29.0	12.7	8.9	30.4	11.6	0.3	0.44	31.3
	Standard deviation	14.4	0.28	3.9	3.0	2.1	7.1	3.5	0.07	0.11	2.3
	CV (%)	8.6	15.5	13.4	23.6	23.6	23.3	30.2	23.3	25.0	7.3
240 mm	KDFGS1	141def	1.76	25.56	87.0	6.13	26.03	9.5bcd	0.373	0.236	31.33
	KDFGS6	126f	1.7	25.56	94.0	6.56	25.76	8.4cd	0.433	0.265	30.33
	KDFGS9	130ef	1.76	25.33	85.0	5.93	24.43	9.3bcd	0.382	0.253	30.33
	KGFGS10	137.8def	1.83	25.0	86.0	6.03	29.43	10.4bcd	0.369	0.228	33.0
	KDFGS12	135.1def	1.9	28.43	87.0	5.4	27.9	8.9bcd	0.369	0.212	26.33
	KDFGS13	139.1def	2.03	30.56	79.0	5.53	24.63	9bcd	0.378	0.241	26.33
	KDFGS14	147.7cd	2.02	28.76	47.0	3.3	37.06	13.1abc	0.199	0.112	26.33
	KDFGS16	131.5def	1.8	24.9	63.3	4.46	23.83	9.28bcd	0.321	0.207	27.0
	Mean	136	1.9	26.8	7.7	5.4	27.4	9.7	0.22	0.35	28.9
	Standard deviation	9.9	0.26	2.9	2.6	1.8	5.3	1.9	0.06	0.08	4.1
	CV (%)	7.3	13.6	10.8	33.7	33.3	19.3	19.6	27.3	22.8	14.1
	Change (%)	18.9	-5.5	7.5	39.4	39.3	9.8	16.4	26.6	20.4	7.6

Means followed by at least one common letter in each column do not significantly differ by Tukey's test at 5% probability level.

درصد معنی دار بود، ولی قطر ساقه با وزن تر و خشک علوفه همبستگی معنی دار نداشت. ارتفاع بوته با قطر ساقه دارای همبستگی معنی دار نبود.

وزن هزار دانه در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی متر با بقیه صفات همبستگی معنی دار نداشت، ولی تحت شرایط ۱۲۰ میلی متر با وزن علوفه خشک و شاخص برداشت تر و خشک همبستگی معنی دار داشت. طول خوشه با وزن تر و خشک خوشه در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی متر دارای همبستگی منفی بود یعنی با افزایش طول خوشه وزن خوشه کاهش یافت ولی این همبستگی در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی متر معنی دار نبود.

آذری نصرآباد و رضانی (Azari-Nasrabad and Ramazani, 2011) با مطالعه ۱۲ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای، همبستگی بین ارتفاع گیاه را با عملکرد زیستی معنی دار گزارش کردند. همبستگی وزن خشک خوشه با صفاتی مانند وزن هزار دانه، طول خوشه و شاخص برداشت معنی دار بود. بر اساس تجزیه علیت، وزن خشک خوشه بیشترین تاثیر مثبت را بر عملکرد دانه داشت. در مکزیک از سورگوم دومنظوره علوفه‌ای و دانه‌ای IS5587 مقدار ۱۹/۲۶ تن در هکتار علوفه خشک برداشت شد و مشخص شد که عملکرد علوفه خشک همبستگی مثبت با قطر ساقه، وزن برگ، وزن خوشه و ارتفاع بوته دارد (Maiti et al., 1994). اثر شرایط محیطی در جهت ضرایب همبستگی معنی دار (مثلا ارتباط دو صفت در یک شرایط مثبت و معنی دار و در شرایط دیگر منفی و معنی دار شود) در این تحقیق مشاهده نشد.

ارتباط بین متغیرها از طریق روش‌های آماری چندمتغیره بررسی می‌شود. ساده‌ترین روش تعیین ارتباط دو متغیر، محاسبه ضریب همبستگی است که متوسط رابطه بین دو متغیر را نشان می‌دهد. معنی دار بودن همبستگی بین دو متغیر، نشان می‌دهد که هر دو تحت تاثیر عامل‌های مشترک قرار گرفته‌اند (Montgomery et al., 2006). ضرایب همبستگی در تعیین میزان تبیین روابط بین صفات زیاد استفاده می‌شوند (Amarantath et al., 1990; Kumar et al., 2002)، ولی گاهی ممکن است همراه کننده باشند، به طوری که همبستگی بالای بین دو صفت ممکن است نتیجه آثار غیرمستقیم صفات دیگر باشد و استفاده از تجزیه همبستگی ساده، به طور کلی روابط بین صفات را نتواند توضیح دهد.

فومن و همکاران (Fouman et al., 2006) در مطالعه هشت رقم سورگوم علوفه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی دو سال نشان دادند که بین ارقام سورگوم برای همه صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد پنجه، عملکرد علوفه تر و خشک در سطح ۱٪ تفاوت معنی دار وجود دارد. دو رقم خالص سورگوم علوفه‌ای KFS1 و KFS3 در این تحقیق در برخی صفات مرتبط با عملکرد با ارقام هیبرید برابری کرده و در یک گروه قرار گرفتند. آذری نصرآباد و رضانی (Azari-Nasrabad and Ramazani, 2011)، ۱۲ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای را در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی دو سال در بیرجند مطالعه کردند. تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای بیش‌تر صفات شامل ارتفاع گیاه، طول خوشه، قطر ساقه، وزن خشک خوشه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت و عملکرد دانه معنی دار بود.

### همبستگی بین صفات

در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی متر از ۴۵ ضریب همبستگی برآورد شده، ۲۴ ضریب معنی دار و این تعداد در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی متر ۱۷ ضریب بود (جدول ۳). نتایج متفاوت ضریب همبستگی در دو شرایط آبیاری نشان می‌دهد که ارتباط بین متغیرها می‌تواند تحت تاثیر شرایط محیطی تغییر کند. ارتفاع بوته با صفاتی مانند قطر ساقه، طول خوشه، وزن علوفه تر در شرایط ۱۲۰ میلی متر معنی دار نبود ولی در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی متر معنی دار شد. در مطالعه رهنما و همکاران (Rahnama et al., 2008) همبستگی ارتفاع بوته با عملکرد علوفه تر و علوفه خشک در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود که همسو با نتایج این تحقیق در تنش خشکی (رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی متر) بود. ارتفاع بوته با وزن خوشه تر و خشک و شاخص برداشت تر و خشک همبستگی معنی دار در شرایط ۱۲۰ میلی متر داشت ولی در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی متر این همبستگی غیر معنی دار برآورد گردید. قطر ساقه در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی متر فقط با طول خوشه همبستگی معنی دار داشت ولی در شرایط ۲۴۰ میلی متر علاوه بر طول خوشه با صفاتی مانند وزن خوشه تر و خشک و شاخص برداشت تر و خشک نیز همبستگی معنی دار داشت. در مطالعه فومن (Fouman, 2011) در چند ژنوتیپ سورگوم علوفه‌ای همبستگی بین ارتفاع بوته با وزن تر و خشک علوفه در سطح احتمال یک

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات لاین‌های پیشرفته سورگوم دو منظوره علوفه‌ای و دانه‌ای در سطوح کم‌آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر

(بالای قطر اصلی) و ۲۴۰ میلی‌متر (پایین قطر اصلی) تبخیر از تشتک کلاس A

Table 3. Correlation coefficients between traits of advanced forage-grain sorghum lines at low irrigation levels of 120 mm (above diameter) and 240 mm (below diameter) evaporation from class A pan

Traits	Plant height (PH)	Stem diameter (SD)	Panicle length (PL)	Wet panicle weight (WPW)	Dry panicle weight (DPW)	Wet forage weight (WFW)	Dry forage weight (DFW)	Wet harvest index (WHI)	Dry harvest index (DHI)	1000 grain weight (TGW)
PH	<b>1</b>	0.04	0.37	-0.487*	-0.488*	0.39	0.45**	-0.58**	-0.54**	0.26
SD	0.48*	<b>1</b>	0.63**	-0.33	-0.33	0.05	0.22	-0.24	-0.35	-0.14
PL	0.49*	0.70**	<b>1</b>	-0.49*	-0.49*	0.17	0.37	-0.43*	-0.54**	0.1
WPW	-0.09	-0.51**	-0.2	<b>1</b>	<b>1</b>	-0.06	-0.34	0.71**	0.77**	-0.32
DPW	-0.08	-0.52**	-0.2	1.0**	1.0**	-0.07	-0.34	0.72**	0.78**	-0.32
WFW	0.57**	0.24	0.31	0.05	0.05	<b>1</b>	0.89**	-0.72**	-0.64**	0.31
DFW	0.55**	0.16	0.24	-0.003	0.002	0.91**	<b>1</b>	-0.82**	-0.84**	0.42**
WHI	-0.34	0.59**	-0.32	0.88**	0.88**	-0.4	-0.4	<b>1</b>	0.96**	-0.42**
DHI	-0.32	-0.54**	-0.28	0.88**	0.88**	-0.37	-0.45*	0.97**	<b>1</b>	0.49**
TGW	0.08	-0.11	-0.13	0.19	0.18	0.03	0.03	0.11	0.13	<b>1</b>

\* and \*\*: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

حالی که تحت رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، هفت لاین KDFGS9, KDFGS6, KDFGS1, KDFGS16 و KDFGS13, KDFGS12, KGFGS10 در خوشه اول گروه‌بندی شدند و لاین KDFGS14 به تنهایی در خوشه دوم قرار گرفت (جدول ۴).

### تجزیه خوشه‌ای

در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر، چهار لاین KDFGS1, KDFGS6, KDFGS9 و KGFGS10 در خوشه اول و چهار لاین KDFGS12, KDFGS13, KDFGS14 و KDFGS16 در خوشه دوم قرار گروه‌بندی شدند، در

جدول ۴- میانگین خوشه‌ها و آزمون مقایسه میانگین بین خوشه‌ها تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

Table 4. Cluster means and comparison test of means between clusters under different irrigation regimes

Sorghum lines	Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	Panicle length (cm)	Wet panicle weight (ton/ha)	Dry panicle weight (ton/ha)	Wet forage weight (ton/ha)	Dry forage weight (ton/ha)	Wet harvest index	Dry harvest index	1000 grain weight (g)
Irrigation regime (120 mm)										
<b>Cluster 1:</b>										
KDFGS1										
DFGS6	159.8	1.74	26.5	14.3	10.0	26.6	9.27	0.35	0.52	31.4
KDFGS9										
KGFGS10										
<b>Cluster 2:</b>										
KDFGS12										
DFGS13	175.7	1.92	31.6	11.2	7.8	34.3	13.8	0.25	0.36	31.2
KDFGS14										
KDFGS16										
Wilk's Lambda	0.65	0.53	0.07	0.48	0.49	0.46	0.4	0.32	0.27	1.0
F test	3.2	5.2	77.6**	6.3*	6.2*	7.2*	9.0*	13.0*	16.5**	0.011
Irrigation regime (240 mm)										
<b>Cluster 1:</b>										
KDFGS1,										
KDFGS6,										
KDFGS9,										
KGFGS10,	134.4	1.83	26.5	8.16	5.72	26	9.26	.23	.37	29.23
KDFGS12,										
KDFGS13,										
KDFGS16										
<b>Cluster 2:</b>										
KDFGS14	147.7	1.2	28.7	4.7	3.3	37	13.1	0.11	0.2	26.3
Wilk's Lambda	0.53	0.53	0.86	0.35	0.35	0.19	0.15	0.16	0.19	0.85
F test	5.3	5.3	.97	10.9*	11.2*	26.2**	34.9**	30.1**	25.6**	1

\*\* , \* : Significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

## تجزیه عاملی

مقدار کیزر-مایر-اولکین در دو رژیم آبیاری ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌متر به ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۶۴ برآورد شد که نشان می‌دهد اندازه نمونه برای تجزیه عاملی دارای کفایت مناسبی بود. نتیجه آزمون کرویت بارلت در هر دو رژیم آبیاری ۱۲۰ ( $\chi^2=419^{**}$ ) و ۲۴۰ میلی‌متر ( $\chi^2=425^{**}$ ) معنی‌دار شد که نشان می‌دهد همبستگی بین متغیرها برای تجزیه عاملی کفایت می‌کند (Farbood *et al.*, 2018). نتایج تجزیه عاملی در لاین‌های پیشرفته سورگوم مورد مطالعه در دو رژیم آبیاری ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در جدول ۵ ارایه شده است. در هر دو حالت، سه عامل استخراج شد که این عامل‌ها در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر ۸۳/۵ درصد و در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر ۸۳/۱ درصد تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. تحت رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر، عامل‌های اول، دوم و سوم که به ترتیب ۳۳/۸، ۳۱/۹ و ۱۷/۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند، به ترتیب تحت عنوان وزن خوشه، وزن علوفه و قطر ساقه نام‌گذاری شدند. در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر نیز عامل اول، دوم و سوم به ترتیب ۳۸/۱ درصد، ۲۵/۶ درصد و ۱۹/۴ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند، به ترتیب تحت عنوان وزن خوشه و شاخص برداشت، وزن علوفه، و اندازه ساقه و خوشه نام‌گذاری شدند.

با استفاده از تجزیه تابع تشخیص، صحت گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای و همچنین تفاوت بین خوشه‌ها برای هر یک از صفات با معیار ویلکس لامبدا و از طریق آزمون F بررسی شد (جدول ۴).

در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تفاوت بین لاین‌های سورگوم دو خوشه برای همه صفات مورد مطالعه به جز ارتفاع بوته، قطر ساقه و وزن هزار دانه معنی‌دار بود و در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر بین لاین‌های سورگوم دو خوشه علاوه بر صفات فوق، در طول خوشه نیز تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر، خوشه دو که فقط دارای لاین KDFGS14 بود، از نظر ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول خوشه، وزن علوفه تر و خشک، دارای مقادیر بیش‌تر از لاین‌های خوشه یک بود.

در تحقیقی سریده‌ها (Sridhar *et al.*, 2003) ۸۸ رقم سورگوم را از نظر صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد پنجه و عملکرد علوفه تر بررسی و آن‌ها را در ۲۳ گروه متمایز تفکیک کردند. در تحقیق بهشتی و سروری (Beheshti and Serori, 2011) روی ۱۳ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در سه رژیم آبیاری (معمولی، تنش در مرحله رویشی و تنش در مرحله زایشی) که در مشهد اجرا شد، در تجزیه خوشه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، ژنوتیپ B26 و لاین امیدبخش M2 با توجه به بالا بودن عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و قرار گرفتن در یک گروه، مناسب‌ترین ژنوتیپ و لاین تشخیص داده شدند.

جدول ۵- نتایج تجزیه عاملی صفات مورد مطالعه در لاین‌های پیشرفته سورگوم تحت دو رژیم آبیاری

Table 5. Factor analysis of the studied traits in advanced sorghum lines under two irrigation regimes

Traits	Identified factors at 120 mm			Identified factors at 240 mm		
	1	2	3	1	2	3
Plant height	<u>-0.54</u>	0.41	0.003	-0.04	<u>0.65</u>	0.52
Stem diameter	-0.11	0.06	<u>0.91</u>	-0.41	0.11	<u>0.81</u>
Panicle length	-0.38	0.21	<u>0.73</u>	-0.07	0.21	<u>0.90</u>
Wet panicle weight	<u>0.95</u>	-0.07	-0.25	<u>0.97</u>	0.12	-0.17
Dry panicle weight	<u>0.95</u>	-0.08	-0.25	<u>0.97</u>	0.13	-0.17
Wet forage weight	0.02	<u>0.98</u>	.005	-0.06	<u>0.94</u>	0.11
Dry forage weight	-0.23	<u>0.93</u>	0.15	-0.13	<u>0.95</u>	0.01
Wet harvest index	0.62	<u>-0.72</u>	-0.16	<u>0.92</u>	-0.31	-0.21
Dry harvest index	<u>0.67</u>	-0.66	-0.26	<u>0.93</u>	0.32	-0.15
1000 grain weight	<u>-0.48</u>	0.39	-0.40	0.16	0.2	<u>-0.26</u>
Eigen value	5.35	1.80	1.23	4.710	2.37	1.23
Sum of square before rotation (%)	53.40	17.80	12.30	47.10	23.70	12.30
Sum of square after varimax rotation (%)	33.80	31.90	17.80	38.10	25.60	19.40

The effective traits are underlined in each factor.



## نتیجه‌گیری کلی

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محدود کننده عملکرد به‌ویژه در مناطق گرمسیری به‌شمار می‌رود. در چنین شرایطی تلاش برای اصلاح گیاهان مقاوم به خشکی اهمیت پیدا می‌کند. عملکرد سورگوم علوفه‌ای تابعی از ارتفاع گیاه است، به طوری که هر چه در هنگام برداشت فاصله قطع تا زمین کم‌تر و ارتفاع گیاه بیش‌تر باشد، عملکرد ماده خشک نیز بیشتر خواهد شد (Mohaveni and Heydari, 2005). نتایج این تحقیق نشان داد که لاین KDFGS14 در هر دو رژیم آبیاری، هم دارای ارتفاع گیاه بیش‌تری بود و هم عملکرد علوفه تر و خشک بیش‌تری نسبت به سایر لاین‌ها داشت. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، درجات مختلفی از تفاوت بین نتایج تجزیه همبستگی پیرسون، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه عاملی در دو رژیم آبیاری مشاهده شد. این موضوع نشان می‌دهد که نباید داده‌های حاصل از شرایط محیطی مختلف در مطالعات مربوط به همبستگی بین صفات، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه عاملی با یکدیگر ادغام یا جمع‌شوند، اما اگر بین داده‌های شرایط مختلف محیطی همگنی وجود داشته باشد، امکان جمع‌یابی ادغام آن‌ها امکان‌پذیر خواهد بود. از آنجایی که فنوتیپ حاصل جمع آثار ژن و محیط و برهمکنش بین آن‌ها است، بنابراین تفاوت شرایط محیطی و برهمکنش ژنوتیپ و محیط می‌تواند منجر به ایجاد فنوتیپ‌های مختلف شود.

ارتفاع بوته در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر دارای تاثیر منفی در عامل اول و در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر دارای تاثیر مثبت در عامل دوم بود. شاخص برداشت تر در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تاثیر منفی در عامل دوم داشت، در حالی که در رژیم آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر اولاً در عامل اول قرار گرفت و دوماً دارای تاثیر مثبت در این عامل بود. وزن هزار دانه در هر دو رژیم آبیاری دارای تاثیر منفی بر عامل‌های مربوطه بود. در هر دو سطح تنش، وزن تر و خشک خوشه، وزن تر و خشک علوفه و قطر ساقه به ترتیب در عامل‌های اول تا سوم به‌عنوان مهم‌ترین صفات بودند. در اصلاح ژنتیکی برای تحمل به تنش خشکی این صفات مهم هستند و اصلاحگر حداقل در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای اصلاح از طریق دورگ‌گیری و گزینش می‌تواند از این صفات برای گزینش لاین‌های متحمل به خشکی بهره جویید.

در مطالعه عباسی (Abbasi, 2013) در ۸۹ ژنوتیپ ماشک گل خوشه‌ای در دو محیط تنش و عدم تنش، برخی از صفات مورفولوژی این گیاه مطالعه و همبستگی پیرسون، تجزیه رگرسیون گام به گام و تجزیه عاملی در دو حالت با و بدون تنش به صورت جداگانه برآورد شد و نتایج در دو شرایط، متفاوت بود. در تحقیق حاضر نیز نتایج تجزیه همبستگی پیرسون، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه عاملی در دو رژیم آبیاری دارای درجات مختلفی از تفاوت بودند.

## References

- Abbasi, A., Mohammadi Nargesi, B., Keshavarznia, R. and Ghorbanpour, A. 2013. The study of genetic variation of common vetch (*Vicia sativa* L.) based on morphological traits under normal and stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science* 44 (3): 359-370. (In Persian with English Abstract).
- Almodares, A., Hadi, M. R., Ranjbar, M. and Taheri, R. 2007. The effect of nitrogen treatments, cultivars and harvest stages on stalk yield and sugar content in sweet sorghum. *Asian Journal of Plant Sciences* 6 (2): 423-426.
- Amarantath, K. C., Viswantaha, S. R. and Chemna Keshabera, B. C. 1990. Phenotypic and genotypic correlation coefficient analysis for some quantitative characters in soybean. *Mysor Journal of Agricultural Sciences* 24 (3): 445-449.
- Azari-Nasrabad, A. and Ramazani, S. H. R. 2011. Correlation and path analysis in yield and its components in grain sorghum cultivars. *Electronic Journal of Crop Production* 4 (2): 51-62. (In Persian with English Abstract).
- Beheshti, S. A. and Serori, S. M. 2011. Evaluation of drought tolerance in seed sorghum genotypes using drought tolerance and sensitivity indicators. *Iranian Journal of Field Crop Research* 9 (4): 735-744. (In Persian with English Abstract).
- Chasseimi, F. 1995. Stalinization of land and water resources. Ph. D. Dissertation, University of New South Wales, Australia.
- Farbood, E., Oladi, B. and Abbasi, N. 2018. Analysis of questionnaire data using IBM SPSS software 25. Mehregan Ghalam Publications. (In Persian).

- Fouman, A. 2011.** Evaluation of different forage sorghum cultivars [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] through an assessment of morphological, quantitative and qualitative yield traits. **Iranian Journal of Field Crop Science** 41 (4): 833-840. (In Persian with English Abstract).
- Fouman, A., Ghannadha, M. R., Hossainzadeh, A. and Shakib, A. 2006.** Investigation of quantitative and qualitative traits of new forage sorghum cultivars at different cuttings. **Seed and Plant Improvement Journal** 22 (2): 215-224. (In Persian with English Abstract).
- Imam, Y., Maghsoudi, K. and Moghimi, N. 2013.** Effect of drought stress and nitrogen levels on yield of two cultivars of forage sorghum. **Journal of Crop Production and Processing** 3 (10): 154-145. (In Persian with English Abstract).
- Khazaei, A. 2011.** Evaluation of the reaction of promising forage sorghum lines in drought stress conditions. **Journal of Crop Ecophysiology** 3 (3): 234-247. (In Persian with English Abstract).
- Khazaei, A. and Fouman, A. 2012.** Evaluation of drought tolerance in cultivars and advanced grain sorghum lines under low irrigation stress conditions. **Electronic Journal of Crop Production** 5 (3): 63-79. (In Persian with English Abstract).
- Kumar, J., Singh, H., Singh, T., Tonk, D. S. and Lal, R. 2002.** Correlation and path coefficient analysis of yield and its components in summer mungbean (*Vigna radiate* L. Wilczek). **Crop Research** 24: 374-377.
- Maiti, R. K., Flores Campos, L. O. and Lopej Dominguez, U. R. 1994.** Growth analysis and productivity of 15 genotypes of glossy sorghum for forage and grain production in irrigated and rainfed situations. **International Sorghum and Millets Newsletter** 35: 133-134.
- Mohaveni, P. and Heydari, Y. 2005.** Study of plant density and irrigation intervals on grain yield and some physiological traits in forage sorghum. **Iranian Journal of Crop Sciences** 6 (4): 374-383. (In Persian with English Abstract).
- Montgomery, D. G., Peck, E. A. and Vining, G. G. 2006.** An introduction to liner regression analysis. John Willy and Sons, New York.
- Rahnama, A., Absalan, S. and Makvandi, M. A. 2008.** Effect of low irrigation on yield and yield components of three cultivars of forage sorghum. **Journal of Research in Crop Sciences** 1 (2): 11-23. (In Persian with English Abstract).
- Seyedmohammadi, S. A., Ashraf-Jafari, A., Seyedmohammadi, N., Khayat, M. and Motaghi, M. 2011.** Study of relationship between forage yield and morphological characteristics of *Agropyron desertorum* genotypes. **Crop Physiology Journal** 2 (8): 71-81. (In Persian with English Abstract).
- Shirazi Kharazi, M. A., Narvi-Rad, M. R., Kazemi, H., Asghari, R. and Alizadeh, B. 2008.** Effect of low irrigation on yield of seven sorghum cultivar using stress tolerance indicators. **Pajouhesh Va Sazandegi** 78: 159-164. (In Persian with English Abstract).
- Sridhar, K., Gangaiah, B. and Ramesh, C. R. 2003.** Genetic diversity studies in forage sorghum. **International Sorghum and Millets Newsletter** 44: 3-6.
- Thakur, M. and Sharma, A. D. 2005.** Salt stress and phytohormone (ABA) induced changes in germination, sugars and enzymes of carbohydrate metabolism in *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds. **Journal of Agriculture and Social Sciences** 1: 89-93.
- Yadav, R. S., Hash, C. T., Bidinger, F. R. and Howarth, C. J. 1999.** Identification and utilization of quantitative trait loci to improve terminal drought tolerance in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). CIMMYT workshop on molecular approaches for the genetic improvement of cereals for stable production in water-limited environments. CIMMYT, Mexico, D. F., Mexico.



## **Evaluation of genetic diversity and relation among traits in advanced forage-grain sorghum lines under low-irrigation conditions**

Morteza Ashouri<sup>1</sup>, Mohammad Hossein Fotokian<sup>2\*</sup> and Azim Khazaei<sup>3</sup>

Received: August 11, 2020

Accepted: October 24, 2020

### **Abstract**

To evaluate the tolerance to low irrigation stress in advanced forage-grain sorghum lines, an experiment was performed as split plots in randomized complete block design with three replications in Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Karaj, Iran. In this experiment, low irrigation regimes as the main factor at two levels (120- and 240-mm evaporation from the surface of the Class A evaporation pan) and sorghum lines as sub-plot at 8 levels (KDFGS1, KDFGS6, KDFGS9, KGFGS10, KDFFGSD, KDFGS14, KDFGS16) were evaluated. There was a significant difference among the studied sorghum lines in terms of all traits except stem diameter and 1000-seed weight. The effect of the interaction of irrigation regimes and lines was significant at plant height and dry forage weight and was not significant in others. The correlation between panicle weight and forage yield was not significant in both irrigation regimes. In both irrigation regimes, although the lines KDFGS1, KDFGS6, KDFGS9, KGFGS10, KDFGS12, KDFGS13, KDFGS14, KDFGS16 were grouped in the first cluster and the KDFGS14 line alone was arranged in the second cluster, but the genetic distance among lines was different in irrigation conditions. In factor analysis, although, the studied traits were reduced to three factors in both irrigation regimes, in irrigation 120 mm panicle weight, forage weight and stem diameter, and in irrigation 240 mm panicle weight, harvest index, forage weight, and amount of stem and panicle were determined the most effective traits. KDFGS14 sorghum line is recommended as a superior line due to its superiority in traits related to yield.

**Keywords:** Cluster analysis, Correlation coefficient, Drought stress, Factor analysis

---

1. M. Sc. Graduated, Dept. of Crop Science and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. Crop Science and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

3. Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

\* Corresponding author: [fotokian@shahed.ac.ir](mailto:fotokian@shahed.ac.ir)