

تجزیه مسیر و تحلیل همبستگی عملکرد دانه و اجزاء آن در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) تحت شرایط تنش خشکی

علی آذری نصرآباد^{۱*}، سید محسن موسوی نیک^۲، محمد گلوی^۲، علیرضا سیروس مهر^۲، سید علیرضا بهشتی^۳

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبه: azari_ali2003@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.292387.1200

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹

چکیده

به منظور بررسی تنوع و روابط موجود بین صفات با عملکرد و اجزای عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای تنش شامل آبیاری معمول، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (رؤیت آخرین برگ به صورت لوله‌ای) به عنوان تنش شدید و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (۵۰ درصد بوته‌ها در مرحله گل‌دهی) یا تنش متوسط به عنوان عامل اصلی و ۱۰ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای شامل سپیده، KGS29، MGS2، KGS33، KGFS27، MGS5، KGFS5، KGFS17، KGFS13 و KGFS30 به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. ژنوتیپ‌ها از نظر اغلب ویژگی‌های مورد بررسی، تفاوت آماری معنی‌داری نشان دادند که حاکی از وجود تنوع بالا در بین ژنوتیپ‌ها است. برهمکنش تنش خشکی و ژنوتیپ در دو سال آزمایش نشان می‌دهد که از نظر عملکرد دانه ژنوتیپ KGFS13 در شرایط تنش ملایم و آبیاری نرمال به همراه KGFS17 در شرایط آبیاری نرمال بیشترین و ژنوتیپ KGFS5 در شرایط تنش خشکی شدید کمترین عملکرد دانه را دارا بود. بر اساس تجزیه علیت، در شرایط نرمال، وزن هزار دانه بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت، در حالی که تعداد دانه در پانیکول از طریق وزن هزار دانه بیشترین تأثیر غیرمستقیم و منفی بر عملکرد داشت. همچنین در شرایط تنش خشکی متوسط، ارتفاع گیاه بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت در حالی که ارتفاع گیاه از طریق وزن هزار دانه تأثیر غیرمستقیم بر عملکرد داشت.

واژه‌های کلیدی: قطع آبیاری، مرحله رویشی، وزن هزاردانه

مقدمه

رطوبتی بستگی دارد. تنش خشکی اثرات معکوس بر روی عملکرد دارد بسته به مرحله‌ای که اتفاق افتاده است. ویژگی‌های مرتبط با تحمل به تنش خشکی قبل از گرده‌افشانی شامل میزان فتوسنتز بیشتر برگ (Lawlor and Cornic, 2002)، کاهش دمای کانوپی به میزان بیشتر، بهبود خروج پانیکول (Ayeneh et al., 2002; Lawlor and Cornic 2002) و باروری بیشتر دانه گرده است. در حالی که ویژگی‌های مرتبط با تحمل به تنش خشکی پس از گرده‌افشانی شامل عمق ریشه بیشتر (Sharp et al., 2004)، سبزمانی (Borrell et al., 2000)، دوره طولانی‌تر پر شدن دانه، افزایش میزان پر شدن دانه و افزایش وزن تک‌دانه است (Borrell et al., 2000).

تنش خشکی، تهدید فزاینده جهان است، اغلب کشورهای جهان با مشکل خشکی مواجه‌اند و کمبود آب به عنوان اصلی‌ترین تنش محیطی و بروز خسارت به قسمت‌های مختلف تولیدات گیاهی دنیا محسوب می‌شود (Khan et al., 2004; Farshadfar et al., 2011). تنش خشکی به عنوان مشکل اصلی در بهره‌وری محصولات در تمام دنیا است (Farooq et al., 2009) با توجه به خسارات ناشی از وقوع تنش خشکی، ارزیابی واکنش گیاهان در این شرایط بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Passioura, 2007). اثرات تنش خشکی بر محصول، به زمان و شدت تنش

و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۵۸ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۸۱ متر) انجام گردید. عملیات تهیه زمین شامل شخم پاییزه و بهاره و دیسک و تسطیح در بهار ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ انجام و کود دهی بر اساس نتایج آزمون خاک انجام گرفت. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول شماره ۱ آورده شده است. کود اوره به میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در ۲ نوبت (یک سوم همزمان با کاشت و دوسوم باقی مانده به فاصله یک ماه بعد از سبز شدن یعنی در مرحله تفکیک نقاط رشد یا مرحله ۸ برگی به صورت نواری در پای بوته)، کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیز همزمان با کاشت به زمین داده شد. کاشت در پایان اردیبهشت ماه انجام گرفت. در تمام مدت آزمایش کنترل علف‌های هرز به صورت دوره‌ای و به صورت وجین دستی انجام گرفت. دور آبیاری ۷ روز، حجم آب آبیاری در هر نوبت بر اساس میزان دبی سیفون‌های آبیاری در هر کرت حدود ۹۰۰ لیتر بود، بر این اساس میزان مصرف آب در تیمار آبیاری نرمال در هر کرت حدود ۱۰۰۰۰ مترمکعب، در مورد تیمار تنش خشکی ملایم این میزان حدود ۶۲۵۰ مترمکعب و در تیمار تنش خشکی شدید ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار بود.

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای تنش شامل آبیاری معمول، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (رؤیت آخرین برگ به صورت لوله‌ای) به عنوان تنش شدید و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (در مرحله گل‌دهی ۵۰ درصد بوته‌ها) یا تنش متوسط به عنوان عامل اصلی و ۱۰ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای شامل سپیده، KGS29، MGS2، KGS33، KGFS27، MGS5، KGFS5، KGFS17، KGFS13 و KGFS30 به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند (Wardlaw and Willenbrink, 1994).

هر کرت شامل چهار خط به طول شش متر و فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر و مساحت هر کرت ۱۴/۴ مترمربع بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف کاشت ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ضمناً بین هر کرت و کرت مجاور یک خط نکاشت در نظر گرفته شد. کاشت در پایان اردیبهشت ماه در هر دو سال مطالعه پس از رسیدن دمای خاک به ۱۲ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. برای تعیین اجزای عملکرد دانه از هر کرت نیم متر طولی (۰/۳

سورگوم [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] از غلات اصلی برای کشاورزی دیم در مناطق نیمه گرمسیری است و به دلیل مقاومت فوق‌العاده آن در شرایط نامساعد محیطی، در قسمت‌های وسیعی از جهان کشت می‌شود (Thakur and Sharma, 2005). سورگوم رشد یافته در نواحی خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر تنش آبی در مراحل انتهایی رشد نظیر گرده‌افشانی قرار می‌گیرد که اثرات منفی بر عملکرد دارد (Prasad et al., 2008). اطلاعات در مورد همبستگی معنی‌دار بین صفات برای شروع یک برنامه اصلاحی حائز اهمیت است؛ زیرا این موضوع احتمال انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب با صفات مطلوب و دلخواه را به‌طور هم‌زمان فراهم می‌کند (Ali et al., 2009). در تحقیقی همبستگی مثبت بین صفات دخیل در عملکرد نظیر ضخامت پانیکول و وزن دانه در بوته نشان داد که این صفات برای انتخاب مستقیم ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در سورگوم نقش اساسی دارند (Prasad and Audilakshmi, 2008). طول پانیکول صفتی وابسته به ژنوتیپ بوده و سهم عمده‌ای در عملکرد نهایی و تعداد دانه در پانیکول دارد (Abbad et al., 2004). پژوهشگران بیان نموده‌اند که تنش خشکی تعداد دانه در پانیکول را کاهش می‌دهد (Sinclair et al., 1990). تجزیه ضرایب مسیر در ابتدا توسط رایت (Wright, 1921) پیشنهاد گردید که توسط آن می‌توان ضرایب همبستگی را به اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مختلف بر متغیر وابسته تقسیم نمود و بنابراین به تشخیص روابط علت- معلولی و گزینش کارآمد کمک می‌کند.

با توجه به گسترش روزافزون دامداری‌ها و توسعه سطح زیر کشت این محصول که از گیاهان نسبتاً مقاوم به خشکی است، در منطقه خراسان جنوبی و به‌ویژه بیرجند انجام طرح‌های بهنژادی و بهزراعی بسیار ضروری و حائز اهمیت است. این تحقیق باهدف تجزیه و تحلیل همبستگی و علیت عملکرد دانه و اجزاء آن در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای تحت شرایط تنش خشکی در منطقه بیرجند به مرحله اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه

تهویه دار در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، کل نمونه‌ها توزین و عملکرد بیولوژیک تعیین شد و سپس نمونه‌ها با دست کوبیده شده و دانه‌ها جدا و توزین گردید و شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه شد.

مترمربع) برداشت و تعداد بوته، تعداد پانیکول در بوته، تعداد دانه پانیکول و وزن هزار دانه تعیین گردیدند. برای تعیین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت پس از حذف دو خط حاشیه و نیم متر ابتدا و انتهای هر کرت از سطح سه مترمربع برداشت انجام شد و پس از خشک شدن کامل در آون

جدول ۱- خصوصیات خاک محل آزمایش

Table 1- Soil properties of the research site

سديم Sodium Na ⁺ (meq/l)	منيزيم Magnesium Mg ²⁺ (meq/l)	کلسيم Calcium Ca ²⁺ (meq/l)	مجموع آنيون‌ها Total anions (meq/l)	سولفات Sulphate SO ₄ ²⁻ (meq/l)	کلر Chlorine Cl ⁻ (meq/l)	بيکربنات HCO ₃ ⁻ (meq/l)	کربنات Carbonate CO ₃ ²⁻ (meq/l)	عمق خاک Soil depth (cm)
16	5.2	8.9	31	6.1	19	5.9	0.2	0-30
16	5.4	9.2	32	6.4	19	6.2	0.3	30-60
پتاسيم قابل جذب Absorbable potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (ppm)	ازت کل % (N)	اسيدپته pH	هدایت الکتریکی عماره اشباع خاک Saturated soil extract electrical conductivity (ds/m)	نسبت جذب سديم Sodium absorption ratio	مجموع کاتيون‌ها Total cations (meq/l)	پتاسيم Potassium K ⁺ (meq/l)	عمق خاک Soil depth (cm)
214	5.4	0.03	8.1	3.2	6.3	32	1.1	0-30
196	4.3	0.02	8	3.3	6.1	32	0.9	30-60

* میلی اکی والان در لیتر (meq/l)

سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند و از نظر بقیه صفات این اثرات معنی‌دار نبودند. اثر متقابل بین سال و تنش آبی و ژنوتیپ از نظر وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد و از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی‌دار داشته و از نظر بقیه صفات این اثر معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

مقایسه میانگین نشان می‌دهد که از نظر عملکرد بیولوژیک، آبیاری معمولی مشترکا با تیمار تنش ملایم بالاتر از تیمار تنش شدید قرار گرفتند. از نظر عملکرد دانه، تیمار آبیاری معمولی مشترکا با تیمار تنش ملایم بالاتر از تیمار تنش خشکی شدید قرار گرفتند (جدول ۳). در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، از نظر عملکرد دانه ژنوتیپ KGFS13 بیشترین عملکرد دانه را داشته و ژنوتیپ KGS33 کمترین میزان را دارا بود. از نظر عملکرد بیولوژیک، ژنوتیپ‌های KGFS30، KGFS13، KGFS17 و KGFS5 مشترکا بیشترین میزان و ژنوتیپ‌های MGS2، KGS29 و سپیده مشترکا کمترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

درواقع کاهش عملکرد، ناشی از کاهش تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه به‌عنوان اجزای عملکرد دانه است (Maman et al., 2004). محققین گزارش نموده‌اند که تنش

پس از جمع‌آوری اطلاعات به‌منظور بررسی وجود تنوع صفات میان ارقام و لاین‌های مورد مطالعه بر روی تک‌تک صفات تجزیه مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات و رگرسیون گام‌به‌گام با نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای مشخص کردن اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مهم، تجزیه مسیر از نرم‌افزار PATH استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد و اجزای آن در جدول ۲ آورده شده است. بر این اساس، اثر تنش آبی بر صفت تعداد دانه در پانیکول در سطح احتمال یک درصد و بر صفات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید و از نظر شاخص برداشت و وزن هزار دانه معنی‌دار نبود. اثر متقابل سال و تنش آبی نیز از نظر هیچ‌یک از صفات فوق معنی‌دار نبود. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و از نظر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و تعداد در پانیکول در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی‌دار نشان دادند (جدول ۲). اثر متقابل تنش آبی و ژنوتیپ از نظر شاخص برداشت و عملکرد دانه در

کاهش (2003)، کاهش هدایت روزنه‌ای (Liang *et al.*, 2002)، کاهش غلظت پروتئین‌های محلول (Rodriguez *et al.*, 2007) و نهایتاً کاهش سرعت فتوسنتز (Yang and Zang, 2006) و تسریع پیری برگ‌ها (Martinez *et al.*, 2003)، میزان تولید بیوماس و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته میزان خسارت به‌شدت و مدت‌زمان اعمال تنش و همچنین مقاومت گیاه و مرحله رشدی که گیاه در آن قرار دارد بستگی دارد (Thomas Robertson *et al.*, 2004).

آبی هم رشد و هم فتوسنتز خالص را کاهش می‌دهد (Ali *et al.*, 2009) و در نتیجه باعث کاهش بیوماس و عملکرد دانه می‌شود. بیوماس، معیاری مناسب برای انتخاب ارقام مقاوم حتی در شرایط نرمال (بدون تنش) است. بعضی از محققین، کاهش وزن دانه را یکی از دلایل کاهش میزان شیره پرورده وارد شده به دانه و کاهش دوره پرشدن دانه بیان کرده‌اند (Khalili *et al.*, 2008). تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه از طریق کاهش رشد برگ‌ها (Gan and Amasino, 1997; Galle *et al.*, 2010) کاهش غلظت کلروفیل (Brevedan and Egli,

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای

Table 2- Combined analysis of variance (Mean squares) of drought stress on yield and yield component in different grain sorghum genotypes

S.O.V	دانه درجیات آزاد d.f	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	شاخص برداشت Harvest Index	وزن هزار دانه 1000 grain weight	تعداد دانه در پانیکول Grains per panicle	تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to Anthesis	ارتفاع گیاه Plant height	ضخامت ساقه Stem Diameter	تعداد برگ Leaf number	تعداد پنجه Tiller Number	طول پانیکول Panicle length	مساحت برگ پرچم Flag Leaf Area
سال Year(y)	1	3956940 ^{ns}	11043457 ^{ns}	0.0059 ^{ns}	5024*	186953 ^{ns}	21.3	1626	0.49	2.85	0.06	23.74	195.15
تکرار × سال Replication × y	4	2109121	39073289	0.0079	110.2	82843	44.1	440	0.09	18.98	0.28	18.78	4047
تنش آبی Water stress(S)	2	26291981*	351168418*	0.027 ^{ns}	490 ^{ns}	137801**	184**	3730**	0.03	2.33	1.94	210	4021
سال × تنش Y × S	2	1211342 ^{ns}	27664900 ^{ns}	0.005 ^{ns}	64.3 ^{ns}	2301 ^{ns}	0.02	1172*	0.22	0.58	0.001	50	250
خطا Error	8	489619	67186589	0.021	84.2	9194	14.5	208	0.07	1.93	0.84	9.02	2719
ژنوتیپ Genotype (G)	9	10119465**	182206565*	0.031*	728**	496223*	1004**	842**	0.56**	39.88**	6.02**	233**	65451**
سال × ژنوتیپ Y × G	9	1718758 ^{ns}	61463635	0.01 ^{ns}	69 ^{ns}	116001**	0.02	379**	0.05	1.75	0.004	22.6	6543
تنش آبی × ژنوتیپ S × G	18	3351248**	48665898 ^{ns}	0.027**	68 ^{ns}	49586 ^{ns}	52**	211*	0.05	0.94	1.30**	13.19	1279
سال × تنش Y × S × G	18	598801*	43193804*	0.007 ^{ns}	8.7**	43031 ^{ns}	0.02	291**	0.07	1.76	0.0008	22.6	920
خطا Error	108	342458	20376004	0.005	22.8	32928	14.7	122	0.05	1.50	0.46	7.20	1656
ضریب تغییرات CV%		25	16.3	42	11.6	44	5.46	13.07	12.8	10.3	9	14.09	26.3

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

*, **: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای

Table 3- Mean comparison of the effect of water stress on yield and its components in grain sorghum genotypes

تیمارها Treatments	تعداد دانه در پانیکول Grain number per panicle	وزن هزار دانه 1000 grain weight (gr)	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (Kg/ ha)	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ ha)
تنش خشکی					
Water stress					
S1	1	467 a	0.19 a	17649 a	2979 a
S2	2	377 b	0.15 a	12825 b	1657 b
S3	3	392 b	0.18 a	15562 ab	2384 ab
ژنوتیپ‌ها					
Genotypes					
KGS29	1	274 d	0.24 a	12155 b	2492 bc
MGS2	2	306 cd	0.19 ab	11265 b	1802 c
KGS33	3	241 d	0.14 b	13824 ab	1682 c
Sepideh	4	307 cd	0.17 ab	12446 b	1848 c
KGFS27	5	746 a	0.18 ab	13712 ab	2075 bc
MGS5	6	326 b-d	0.13 b	14583 ab	1965 c
KGFS5	7	341 b-d	0.12 b	18450 a	2199 bc
KGFS17	8	559 a-c	0.17 ab	18484 a	2960 b
KGFS13	9	582 ab	0.24 a	19143 a	4193 a
KGFS30	10	447 b-d	0.12 b	19394 a	2183 bc

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند. قطع آبیاری در مرحله زایشی = تنش خشکی ۱، قطع آبیاری در مرحله رویشی = تنش خشکی ۲، آبیاری نرمال = تنش خشکی ۳

Means in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability LSD Test. S1=Normal Irrigation, S2=Irrigation cut off in vegetative stage S3= Irrigation cut off in generative stage.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح تنش خشکی و ژنوتیپ بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای

Table 4- Mean comparison of the effect of water stress on yield and its components in grain sorghum genotypes

تنش خشکی Water stress	ژنوتیپ‌ها Genotypes	وزن هزار دانه 1000 grain weight (gr)	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha)	تنش خشکی Water stress	ژنوتیپ‌ها Genotypes	وزن هزار دانه 1000 grain weight (gr)	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha)
S1	KGS29	48.4 a-d	0.35 a	3664 bc	S2	MGS5	40.6 f-i	0.09 c-f	1239 f-h
S1	MGS2	43.6 d-g	0.15 b-f	1609 e-h	S2	KGFS5	39.6 g-i	0.05 f	690 h
S1	KGS33	40.5 f-i	0.19 b-e	2266 d-f	S2	KGFS17	40.4 f-i	0.2 b-e	2006 d-g
S1	Sepideh	42.6 f-i	0.19 b-e	2244 d-f	S2	KGFS13	38.6 hi	0.19 b-e	2622 c-e
S1	KGFS27	25.2 j	0.19 b-e	2405 c-f	S2	KGFS30	43.7 d-g	0.09 c-f	1682 e-h
S1	MGS5	50.6 ab	0.16 b-f	2644 c-e	S3	KGS29	42.9 f-h	0.21 b-d	2187 d-g
S1	KGFS5	45.1 c-f	0.13 c-f	2704 c-e	S3	MGS2	41.1 f-i	0.22 a-c	1966 d-h
S1	KGFS17	43.3 e-h	0.21 b-d	4748 ab	S3	KGS33	40.5 f-i	0.15 b-f	1856 e-h
S1	KGFS13	49 a-c	0.18 b-f	4683 ab	S3	Sepideh	38.6 hi	0.17 b-f	1985 d-g
S1	KGFS30	53.2 a	0.12 c-f	2815 c-e	S3	KGFS27	23 j	0.08 d-f	1177 f-h
S2	KGS29	37.8 i	0.14 c-f	1622 e-h	S3	MGS5	43.3 e-h	0.15 b-f	2010 d-g
S2	MGS2	40.5 f-i	0.19 b-e	1828 e-h	S3	KGFS5	49.4 a-c	0.19 b-e	3203 cd
S2	KGS33	39.2 g-i	0.07 ef	922 gh	S3	KGFS17	43.2 f-h	0.11 c-f	2124 d-g
S2	Sepideh	41 f-i	0.17 b-f	1314 f-h	S3	KGFS13	48.2 b-e	0.35 a	5272 a
S2	KGFS27	23.3 j	0.28 ab	2643 c-e	S3	KGFS30	37.9 i	0.15 b-f	2052 d-g

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند. قطع آبیاری در مرحله زایشی = تنش خشکی ۱، قطع آبیاری در مرحله رویشی = تنش خشکی ۲، آبیاری نرمال = تنش خشکی ۳

Means in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability LSD Test. S1=Normal Irrigation, S2=Irrigation cut off in vegetative stage S3= Irrigation cut off in generative stage

همبستگی غیر معنی‌دار بود (جدول ۷). در این شرایط با افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه کاهش یافته و موجب کاهش عملکرد می‌شود. کاهش در ظرفیت فتوسنتزی به‌عنوان یک اصل در محدود شدن عملکرد است، بنابراین ظرفیت فتوسنتزی کمتر پوشش گیاهی منجر به کاهش عملکرد از طریق کاهش دوره پرشدن دانه می‌شود (Royo and Blanco, 1999; Kumudini *et al.*, 2002). همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد دانه در پانیکول با عملکرد دانه در شرایط تنش شدید مشاهده گردید (جدول ۷). توانایی یک مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی بستگی به ظرفیت مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی دارد و ظرفیت مخزن شامل وزن دانه، تعداد دانه و اندازه دانه است (Beheshti and Behbodi, 2010). در خصوص شاخص برداشت محققین گزارش کرده‌اند که چون این شاخص نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی در عملکرد اقتصادی است، مقادیر بالای آن در شرایط آبیاری نرمال در یک ژنوتیپ می‌تواند عملکرد بالا در شرایط تنش آبی را نیز به همراه داشته باشد (Richards *et al.*, 2002).

ضرایب همبستگی سایر صفات در شرایط نرمال نشان می‌دهد که ارتفاع گیاه با تعداد دانه در پانیکول و تعداد برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. تعداد روز تا گرده‌افشانی با ضخامت ساقه، تعداد برگ و مساحت برگ پرچی همبستگی مثبت و با تعداد پنجه همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد. در این شرایط تعداد پنجه با تعداد برگ همبستگی منفی نشان داد (جدول ۵).

در شرایط تنش متوسط، تعداد دانه در پانیکول با تعداد روز تا گرده‌افشانی و ارتفاع گیاه همبستگی مثبت نشان داد. طول پانیکول با شاخص برداشت همبستگی مثبت و عملکرد بیولوژیک با تعداد روز تا گرده‌افشانی، ضخامت ساقه، تعداد برگ و مساحت برگ پرچی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. همچنین در این شرایط، تعداد روز تا گرده‌افشانی با تعداد برگ و مساحت برگ پرچی همبستگی مثبت و با تعداد پنجه همبستگی منفی داشت. تعداد برگ با ضخامت ساقه همبستگی مثبت و تعداد پنجه با طول پانیکول نیز همبستگی مثبت نشان دادند (جدول ۶).

در شرایط تنش آبی شدید، وزن هزاردانه با تعداد دانه، شاخص برداشت و ارتفاع گیاه همبستگی منفی، تعداد دانه در

برهمکنش تنش خشکی و ژنوتیپ در دو سال آزمایش نشان می‌دهد که از نظر عملکرد دانه ژنوتیپ KGFS13 در شرایط تنش ملایم و آبیاری نرمال به همراه KGFS17 در شرایط آبیاری نرمال بیشترین و ژنوتیپ KGFS5 در شرایط تنش خشکی شدید کمترین عملکرد دانه را دارا بود (جدول ۴).

ضرایب همبستگی ساده صفات

ضرایب همبستگی ساده بین برخی خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های سورگوم دلنه‌ای مورد مطالعه در شرایط نرمال و شرایط تنش آبی متوسط و شدید در جداول ۵ تا ۷ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، عملکرد دانه در شرایط نرمال با صفات ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، مساحت برگ پرچم و تعداد روز تا گرده‌افشانی همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد و با بقیه صفات مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری ملاحظه نگردید (جدول ۵). عملکرد دانه و بیولوژیک در شرایط بدون تنش تحت تأثیر طول دوره رشد (تعداد روز تا گرده‌افشانی) است. در این تحقیق نیز با افزایش تعداد روز تا گرده‌افشانی، عملکرد دانه و بیولوژیک افزایش مثبت و معنی‌داری داشت. نتایج سایر محققین نیز نشان‌دهنده اثر معنی‌دار محیط و ژنوتیپ بر تغییرات تولید در طی دوره پرشدن دانه در سورگوم است (Hammer and Broad, 2003). بالا بودن ضریب همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک نشان‌دهنده آن است که با افزایش کل زیست‌توده، عملکرد دانه افزایش داشته است. این نتیجه با نتیجه تحقیق محققین دیگر مطابقت دارد (Sarvari and Beheshti, 2011). بالا بودن ضریب همبستگی عملکرد دانه با ارتفاع بوته نشان می‌دهد که گیاهان با ارتفاع بیشتر، زیست‌توده بیشتری تولید کرده و باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Sarvari and Beheshti, 2011).

ارتفاع گیاه و مساحت برگ پرچم در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه می‌باشند. برگ پرچم نقش مهمی در پرشدن دانه‌ها دارد زیرا نزدیک‌ترین منبع به پانیکول‌ها است و مواد فتوسنتزی را به پانیکول منتقل می‌کند. در شرایط تنش متوسط نیز عملکرد دلنه با شاخص برداشت و ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۶). در شرایط تنش شدید، وزن هزار دانه همبستگی منفی با عملکرد دانه نشان داد هرچند این

پانیکول با شاخص برداشت و ارتفاع گیاه همبستگی مثبت، شاخص برداشت با ارتفاع گیاه همبستگی مثبت، تعداد روز تا گرده‌افشانی با تعداد برگ همبستگی مثبت نشان داد. همچنین در این شرایط، طول پانیکول با مساحت برگ پرچمی همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. همبستگی سایر صفات در شرایط مختلف با یکدیگر معنی‌دار نشد (جدول ۷).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم دانه‌ای در شرایط نرمال

Table 5- Correlation coefficient among agronomical traits in different grain sorghum genotypes in normal condition

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
عملکرد دانه-۱ 1- Grain yield	1											
وزن هزار دانه-۲ 2- 1000 grain weight	0.383	1										
تعداد دانه در پانیکول-۳ 3- Grain per panicle	0.480	-0.462	1									
شاخص برداشت-۴ 4- Harvest Index	0.201	-0.066	0.15	1								
عملکرد بیولوژیک-۵ 5- Biologic yield	0.86**	0.448	0.363	-0.286	1							
تعداد روز تا گرده‌افشانی-۶ 6- Days to Anthesis	0.656*	0.211	0.481	-0.467	0.899**	1						
ارتفاع گیاه-۷ 7- Plant height	0.651*	-0.187	0.707*	-0.170	0.699**	0.797**	1					
ضخامت ساقه-۸ 8- Stem Diameter	0.385	0.242	0.397	-0.462	0.605	0.695**	0.360	1				
تعداد برگ-۹ 9- Leaf number	0.531	0.167	0.494	-0.512	0.789**	0.958**	0.798**	0.727**	1			
تعداد پنجه-۱۰ 10- Tiller Number	-0.455	-0.006	-0.214	0.023	-0.545	-0.665**	-0.661	-0.455	-0.657**	1		
طول پانیکول-۱۱ 11- Panicle length	0.301	-0.107	0.276	0.559	-0.087	-0.331	0.057	-0.549	-0.393	0.475	1	
مساحت برگ پرچم-۱۲ 12- Flag Leaf Area	0.729*	0.227	0.464	-0.070	0.755**	0.752*	0.497	0.590	0.604	-0.505	-0.112	1

* و **: به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح پنج درصد و یک درصد می باشد

* and **: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام

را توجیه کردند. با بررسی نتایج رگرسیون گام‌به‌گام، به ترتیب صفات ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در پانیکول در شرایط بدون تنش، صفات ارتفاع گیاه و وزن هزار دانه در شرایط تنش متوسط و صفت تعداد دانه در پانیکول به‌تنهایی در شرایط تنش شدید، نسبت به سایر صفات از اهمیت نسبی بیشتری برخوردار بودند. این نتایج با نتایج همبستگی ساده ویژگی‌ها مطابقت دارد، به‌طوری‌که صفت تعداد دانه در پانیکول، همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نشان داد (جدول ۸).

به‌منظور شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر در تشکیل بذر و تعیین میزان اهمیت و نقش آن‌ها در عملکرد دانه از روش رگرسیون گام‌به‌گام در شرایط بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید استفاده شد (جدول ۸). با توجه به صفات مؤثر بر عملکرد دانه، ضریب همبستگی چندگانه این صفات در شرایط بدون تنش، ۹۱ درصد، در شرایط تنش متوسط، ۹۱/۴ درصد و در شرایط تنش شدید، ۷۰ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه

عملکرد دانه با تعداد دانه در مترمربع و شاخص برداشت است. تفاوت عملکرد سورگوم با تعداد پانیکول در مترمربع یا تعداد پانیکول در بوته، تعداد دانه در پانیکول و وزن دانه مرتبط است (Maman *et al.*, 2004).

با توجه به نتایج تجزیه رگرسیونی گام به گام در شرایط نرمال می توان گفت که صفات مورد اشاره بیشترین سهم در توجیه تنوع در ژنوتیپ های مورد مطالعه را دارا هستند (جدول ۸). تحقیقات بسیاری حاکی از وجود همبستگی بالا و مثبت بین بهبود ژنتیکی

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین خصوصیات زراعی ژنوتیپ های مختلف سورگوم دانه ای در شرایط تنش آبی متوسط

Table 6- Correlation coefficient among agronomical traits in different grain sorghum genotypes in medium stress condition

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
عملکرد دانه-۱ 1- Grain yield	1											
وزن هزاردانه-۲ 2- 1000 grain weight	0.607	1										
تعداد دانه در پانیکول-۳ 3- Grain per panicle	0.458	-0.265	1									
شاخص برداشت-۴ 4- Harvest index	0.640*	0.501	0.125	1								
عملکرد بیولوژیک-۵ 5- Biologic yield	0.514	0.310	0.326	-0.281	1							
تعداد روز تا گرده افشانی-۶ 6- Days to Anthesis	0.496	0.095	0.693*	-0.226	0.855**	1						
ارتفاع گیاه-۷ 7- Plant height	0.685*	0.003	0.708*	0.233	0.5	0.573	1					
ضخامت ساقه-۸ 8- Stem Diameter	0.159	0.249	-0.133	-0.401	0.690*	0.367	0.093	1				
تعداد برگ-۹ 9- Leaf number	0.339	-0.045	0.420	-0.415	0.843**	0.716*	0.590	0.77**	1			
تعداد پنجه-۱۰ 10- Tiller Number	0.127	0.275	-0.387	0.603	-0.520	-0.733*	-0.079	-0.217	-0.437	1		
طول پانیکول-۱۱ 11- Panicle length	0.298	0.316	0.026	0.754*	-0.440	-0.4	0.230	-0.492	-0.476	0.733*	1	
مساحت برگ پرچم-۱۲ 12- Flag Leaf Area	0.372	0.344	0.242	-0.211	0.789**	0.784**	0.323	0.454	0.49	-0.606	-0.261	1

* و **: به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح پنج درصد و یک درصد می باشد

*, **: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

تجزیه علیت

به منظور تفسیر بهتر نتایج حاصل از همبستگی های ساده بین صفات و رگرسیون گام به گام، تجزیه مسیر (علیت) در مورد عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش متوسط انجام شد (جدول ۹ و ۱۰). با توجه به اینکه در شرایط تنش شدید تنها صفت تعداد دانه در پانیکول وارد مدل رگرسیونی شده بود نیازی به انجام تجزیه علیت در این شرایط نیست. در تجزیه علیت در شرایط بدون تنش، عملکرد دانه به عنوان متغیر تابع روی سه صفت تعداد دانه در پانیکول، وزن هزار دانه و ارتفاع

با توجه به نتایج تجزیه رگرسیونی گام به گام در شرایط تنش خشکی می توان گفت که ویژگی های مورد اشاره بیشترین سهم را در توجیه تنوع در ژنوتیپ های مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی دارا می باشند. همبستگی بسیار بالایی بین تعداد دانه در پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد نهایی مشاهده شده است (جدول ۵ تا ۷). کاهش وزن هزار دانه ژنوتیپ ها در شرایط تنش آبی مربوط به انتقال کمتر کربوهیدرات ها به دانه است، زیرا مرحله پر شدن دانه در سورگوم هم زمان با رقابت شدید برای مصرف متابولیت ها است (Bdulki *et al.*, 2007).

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش آبی شدید

Table 7- Correlation coefficient among agronomical traits in different grain sorghum genotypes in sever stress condition

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
عملکرد دانه 1- Grain yield	1											
وزن هزاردانه 2- 1000 grain weight	-0.544	1										
تعداد دانه در پانیکول 3- Grain per panicle	0.740*	-0.9**	1									
شاخص برداشت 4- Harvest index	0.865**	-0.737*	0.867**	1								
عملکرد بیولوژیک 5- Biologic yield	-0.002	0.420	-0.352	-0.459	1							
تعداد روز تا گرده‌افشانی 6- Days to Anthesis	0.459	-0.453	0.571	0.292	0.124	1						
ارتفاع گیاه 7- Plant height	0.519	-0.804**	0.689*	0.656*	-0.176	0.121	1					
ضخامت ساقه 8- Stem Diameter	0.089	-0.183	-0.005	-0.093	0.486	0.134	0.330	1				
تعداد برگ 9- Leaf number	0.219	-0.400	0.387	-0.029	0.248	0.886**	0.081	0.304	1			
تعداد پنجه 10- Tiller Number	-0.027	0.357	-0.317	-0.143	0.117	-0.437	-0.266	-0.418	-0.254	1		
طول پانیکول 11- Panicle length	0.244	-0.163	0.084	0.381	-0.289	-0.597	0.421	0.006	-0.383	0.516	1	
مساحت برگ پرچم 12- Flag Leaf Area	0.215	0.097	0.011	-0.073	0.348	0.748*	-0.195	0.193	0.610	-0.414	-0.665*	1

* و **: به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح پنج درصد و یک درصد می باشد

*, **: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

جدول ۸- تجزیه رگرسیونی گام‌به‌گام عملکرد دانه (متغیر وابسته) با سایر ویژگی‌ها در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم دانه‌ای در شرایط بدون تنش، تنش متوسط و شدید

Table 8- Stepwise regression analysis of grain yield (dependent variable) with other characteristics in different genotypes of grain sorghum under normal conditions, medium stress and sever stress

تیمارها Treatments	متغیرهای وارد شده در مدل Variables entered in model	R	R ²	B	t	Beta
شرایط نرمال Normal	ارتفاع گیاه Plant height	0.707	0.501	31.948	3.357	0.375
	وزن هزاردانه 1000 grain Weight	0.838	0.702	98.176	6.985	0.669
	تعداد دانه در پانیکول grain per panicle	0.910	0.828	3.496	4.353	0.533
تنش متوسط Medium stress	ارتفاع گیاه Plant height	0.685	0.469	99.981	4.463	0.683
	وزن هزاردانه 1000 grain Weight	0.914	0.836	98.636	3.954	0.605
	تعداد دانه در پانیکول grain per panicle	0.704	0.548	1.867	3.114	0.740

داشت (۰/۶۹۲). درحالی‌که تعداد دانه در پانیکول از طریق وزن هزار دانه بیشترین تأثیر غیرمستقیم و منفی بر عملکرد داشت

گیاه انجام شد. بر اساس تجزیه علیت، در شرایط نرمال وزن هزار دانه بیشترین تأثیر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه

گزینه‌های الزاماً منجر به افزایش عملکرد دانه نمی‌گردد. اثر غیرمستقیم وزن هزار دانه از طریق تعداد دانه در پانیکول بر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش توسط تعدادی از محققین گزارش شده است (Solanki and Bakhshi, 1973; Aghaei *et al.*, 1996). اثر مستقیم و بالای تعداد دانه در سنبله بر عملکرد دانه در جو توسط محققین دیگری نیز گزارش و تأیید شده است (Fathi and Rezaei Moghaddam, 2000).

(۰/۳۲-). همچنین وزن هزار دانه به‌طور غیرمستقیم از طریق تعداد دانه در پانیکول بر عملکرد دانه تأثیر داشت (۰/۲۳-). تعداد دانه اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه داشت. درحالی‌که، اثر غیرمستقیم و منفی از طریق وزن هزار دانه بر عملکرد نشان داد (جدول ۹) و درعین‌حال همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه نشان می‌دهد (جدول ۵). ولی این اثر خودش را به‌طور غیرمستقیم از طریق وزن هزار دانه نشان داد. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش در وزن هزار دانه از طریق

جدول ۹- ضرایب تجزیه علیت همبستگی عملکرد بذر با برخی صفات در سورگوم دانه‌ای در شرایط نرمال

Table 9- Path analysis coefficients of correlation between grain yield and some characteristics in grain sorghum under normal conditions

صفات Traits	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect via		
		وزن هزاردانه 1000 grain weight	تعداد دانه در پانیکول Grain per panicle	ارتفاع گیاه Plant height
تعداد دانه در پانیکول Grain per panicle	0.496	-0.32	-	0.303
وزن هزاردانه 1000 grain weight	0.692	-	-0.23	-0.081
ارتفاع گیاه Plant height	0.429	-0.13	0.35	-
جمع (همبستگی بین عملکرد و صفات) Sum (correlation between grain yield and traits)		0.382	0.479	0.651

اثر باقیمانده

Residual Effect = 0.465

جدول ۱۰- ضرایب تجزیه علیت همبستگی عملکرد بذر با برخی صفات در سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش خشکی متوسط

Table 10- Path analysis coefficients of correlation between grain yield and some characteristics in grain sorghum under medium drought stress conditions

صفات Traits	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect via	
		وزن هزاردانه 1000 grain weight	ارتفاع گیاه Plant height
وزن هزاردانه 1000 grain weight	0.604	-	0.002
ارتفاع گیاه Plant height	0.683	0.001	-
جمع (همبستگی بین عملکرد و صفات) Sum (correlation between grain yield and traits)		0.606	0.685

Residual Effect = 0.405

داشت. درحالی‌که تأثیر غیرمستقیم هر یک از صفات مذکور بر عملکرد دانه ناچیز بود (جدول ۱۰). همبستگی بین ارتفاع گیاه

بر اساس تجزیه علیت، در شرایط تنش خشکی متوسط، ارتفاع گیاه بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه (۰/۶۸۳)

شرایط نرمال، وزن هزار دانه و تعداد دانه در پانیکول بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت در حالی که تعداد دانه در پانیکول از طریق وزن هزار دانه بیشترین تأثیر غیرمستقیم و منفی بر عملکرد داشت. بر اساس تجزیه علیت، در شرایط تنش خشکی ارتفاع گیاه بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت. این موضوع نشان می‌دهد که انتخاب بوته‌های بلندتر در شرایط تنش خشکی از طریق گزینش می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه گردد. در مجموع بر اساس نتایج حاصل از آزمایش، چنین استنباط می‌شود که در شرایطی که یکی از مراحل رشد در سورگوم با محدودیت رطوبتی مواجه می‌شود که با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی حاکم بر کشور یک امر رایج و مورد انتظار است، ارزیابی تنوع در صفات مؤثر بر عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم دانه‌ای و بررسی این صفات در شرایط تنش رطوبتی، اقدام مهم و مؤثری در برنامه‌های بهنجاری سورگوم است.

و عملکرد دانه در مطالعات دیگر نیز گزارش و تأیید شده است (Tourchi and Rezai, 1996). بر اساس نتایج حاصل در شرایط تنش متوسط، گیاهان پابلند عملکرد دانه بالاتری دارند. همبستگی بالای ارتفاع گیاه و عملکرد دانه می‌تواند ناشی از اثر آن از طریق پانیکول باشد. احتمالاً بوته‌های بلند در قسمت پانیکول نیز دارای گره‌های بیشتری هستند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از همبستگی‌های بین صفات مورد بررسی مشخص شد که در شرایط نرمال (بدون تنش) صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه می‌توانند در جهت بهبود عملکرد دانه به کار برده شوند. در شرایط تنش آبی متوسط، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه بیشترین سهم را در توجیه تنوع ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارا بودند. در شرایط تنش آبی شدید تنها تعداد دانه در پانیکول، بیشترین سهم را در توجیه تنوع ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارا بود. در

References

- Abbad, H., Jafari, E.L., Bort, S.A. and Araus, J.L., 2004. Comparison of flag leaf and ear photosynthesis with biomass and grain yield of durum wheat under various water conditions and genotypes. *Agronomie*, 24, pp.19-28. doi: 10.1051/agro:2003056
- Aghai, M., Moghadam, M., Valizadeh, M., Kazami Arbat, H. and Banaei Khasrai, A., 1996. Stability analysis and path analysis of grain yield in some of spring barely cultivars. *Journal of Science Agriculture*, 19(1 and 2), pp.59-82. [In Persian].
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, pp.1-15. doi: 10.1104/pp.24.1.1
- Aruna, C. and Audilakshmi, S., 2008. A strategy to identify potential germplasm for improving yield attributes using diversity analysis in sorghum. *Plant Genetic Resources*, 6, pp.187-194. doi: 10.1017/s1479262108994144
- Ayeneh, A., Ginkel, M., Reynolds, M.P. and Ammar, K., 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle, and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*, 79, pp.173 – 184. doi: 10.1016/s0378-4290(02)00138-7
- Beheshti, A.R. and Behboodi Fard, B., 2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L. Moench) under drought stress. *Australian Journal of Crop Science*, 4(3), pp.185-189. doi: 10.22067/gsc.v8i4.7966
- Brevedan, R.E. and Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, Leaf senescence, and yield

- of soybean. *Crop Science*, 43, pp.2083-2088. doi: **10.2135/cropsci2003.2083**
- Borrell, A.K., Hammer, G.L., and Douglas, A.C.L., 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? I. Leaf growth and senescence. *Crop Science*, 40, pp.1026–1037. doi: **10.2135/cropsci2000.4041037x**
- Ezeaku, I.E. and Mohammed, S.G., 2006. Character association and path analysis in grain sorghum. *African Journal of Biotechnology*, 5(14), pp.1337-1340.
- Farooq, M.W.A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp.185-212. doi: **10.1007/978-90-481-2666-8_12**
- Farshadfar, E., Rasoli, V., Teixeira da Silva, J.A. and Farshadfar, M., 2011. Inheritance of drought tolerance indicators in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using a diallel technique. *Australian Journal of Crop Science*, 5(7), pp.870-878. doi: **10.3316/informit.281092299825091**
- Fathi, H. and Rezaei Moghaddam, K., 2000. Path analysis of grain yield and yield components for some barley cultivars in Ahvaz region. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(1), pp. 38-48. [In Persian].
- Gambin, B.L. and Borrás, L., 2007. Plasticity of sorghum kernel weight to increase assimilate availability. *Field Crops Research*, 100, pp.272-284. doi: **10.1016/j.fcr.2006.08.002**
- Gan, S. and Amasino, R.M., 1997. Making sense of senescence. *Plant Physiology*, 113, pp.313- 319. doi: **10.1104/pp.113.2.313**
- Hammer, G.L. and Broad, I.J., 2003. Genotype and environment effects on dynamics of harvest index during grain filling in sorghum. *Agronomy Journal*, 95(1), pp.199-206. doi: **10.2134/agronj2003.1990**
- Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, M., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, pp.100-105.
- Khalili, A., Akbari, N. and Chaichi, M.R., 2008. Limited irrigation and phosphorus fertilizer effects on yield and yield components of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.var. Kimia). *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environment Science*, 3(5), pp.697-702.
- Khan, A.S., Ul-Allah, S. and Sadique, S., 2010. Genetic variability and correlation among seedling traits of Wheat (*Triticum aestivum*) under water stress. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2, pp.247-250.
- Lawlor, D.W. and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environment*, 25, pp.275–294. doi: **10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x**
- Liang, Z., Zhang, F., Shao, M. and Zhang, J., 2002. The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Botanical Bulletin- Academia Sinica*, 43, pp.187-192.
- Maman, N., Mason, S.C., Lyon, D.J. and Dhungana, P., 2004. Yield components of pearl millet and grain sorghum across environments in the central great plains. *Crop Science*, 44, pp.2138-2145. doi: **10.2135/cropsci2004.2138**

- Martinez, D.E., Luquez, V.M., Bartoli, C.G. and Guiamet, J.J., 2003. Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Physiology*, 119, pp.1-7. doi: **10.1046/j.1399-3054.2003.00195.x**
- Monneveux, P. and Ribaut, J., 2011. Drought phenotyping in crops: from theory to practice. Generation challenge programme press. pp.296.
- Monti, A., Amaducci, M.T., Pritoni, G. and Verturi, G., 2006. Variation in carbon isotope discrimination during growth and at different organs in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Field Crops Research*, 98, pp.157-163. doi: **10.1016/j.fcr.2006.01.002**
- Passioura, J., 2007. The drought environment: Physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 58, pp.113-117. doi: **10.1093/jxb/erl212**
- Prasad, P.V.V., Pisipati, S.R., Mutava, R.N. and Tuinstra, M.R., 2008. Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress during reproductive development. *Crop Science*, 48, pp. 1911–1917. doi: **10.2135/cropsci2008.01.0036**
- Ramulu, P. and Rao, P.U., 2003. Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16, pp.677–685. doi: **10.1016/s0889-1575(03)00095-4**
- Reynolds, M., Fernanda, D. and Richard, T., 2007. Drought- adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), pp.177-186. doi: **10.1093/jxb/erl250**
- Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G. and Van Herwaarden, A.F., 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*, 42, pp.111-131. doi: **10.2135/cropsci2002.1110**
- Rodriguez, D.J., Romero-Garcia, J., Rodriguez-Garcia, R. and Sanchez, J.A.L., 2002. Characterization of proteins from sunflower leaves and seeds: Relationship of biomass and seed yield. *Trends Crop New*, 1, pp.143-149.
- Royo, C. and Blanco, R., 1999. Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticale. *Field Crops Research*, 59, pp.201-212. doi: **10.1016/s0378-4290(98)00121-x**
- Sarvari, S.M. and Beheshti, S.A., 2011. Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14 (2), pp.183-201. [In Persian].
- Sharp, R.E., Poroyko, V., Hejlek, L.G., Spollen, W.G., Springer, G.K., Bohnet, H.J. and Nguyen, H.T. 2004. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany*, 55, pp.2343–2351. doi: **10.1093/jxb/erh276**
- Sinclair, T., Bennetto, R.D.M. and Muchow, R.O., 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. *Crop Science*, 30, pp.690-693. doi: **10.2135/cropsci1990.0011183x003000030043x**
- Thakur, M. and Sharma, A.D., 2005. Salt stress and phytohormone (ABA) Induced changes in germination, sugars and anzymes of carbohydrate metabolism in *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds. *Journal of Agriculture & Social Science*, 1, pp.89–93.
- Tourchi, M. and Rezai, A.M., 1996. Correlation between traits and path analysis for grain yield in sorghum

- (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Iranian Journal of Agriculture Science*, 28(1), pp.73-86. [In Persian].
- Thomas Robertson, M.J., Fukai, S. and Peoples, M.B., 2004. The effect of timing and severity of water deficit on growth development, yield accumulation and nitrogen fixation of mung bean. *Field Crops Research*, 86(1), pp.67-80. **doi: 10.1016/s0378-4290(03)00120-5**
- Van Oosterom, E.J. and Hammer, G.L., 2008. Determination of grain number in sorghum. *Field Crop Research*, 108, pp.259-268. **doi: 10.1016/j.fcr.2008.06.001**
- Wardlaw, I.F. and Willenbrink, J., 1994. Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation to sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, pp.255-271. **doi: 10.1071/pp9940255.**
- Wright, S., 1921. The effects of inbreeding on the genetic composition of a population. In: Wright, S., Systems of Mating, Bureau of Animal Industry, United States Dept. of Agriculture, Washington, D. C. **doi: 10.1093/genetics/6.2.124**

Correlation and path analysis in yield and its components in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L.) under water stress conditions

Ali Azarinasrabad^{1*}, Seyed Mohsen Mousavi Nik², Mohammad Galavi², Alireza Siroosmehr², Seyed Alireza Beheshti³

¹ Crop and Horticultural Science Research Department, South Khorassan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran

² Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

³ Crop and Horticultural Science Research Department, Khorassan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

*Corresponding Author: azari_ali2003@yahoo.com

Received: 28 February 2022

Accepted: 1 June 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.292387.1200

Abstract

Introduction: Drought stress is a major problem in the productivity of crops around the world. Growth of sorghum in dry and semi-arid regions is affected by water stress at the late stages of growth, such as anthesis, which has negative effects on yield. Information about the significant correlation between traits is important for starting a breeding program. Because it allows the selection of desired genotypes with desirable traits simultaneously. Due to the increasing spread of livestock and the development of the cultivated area of this plant, which is a relatively drought-tolerant plant, it is very important to carry out breeding and agronomic research in the South Khorasan region, especially in Birjand. The objectives of this research were to: a) determine the grain yield relationships with its components using the stepwise regression method; b) investigate the relationships between traits using path analysis.

Materials and Methods: A field experiment was carried out using a split plot design with 3 replications. Main plots include drought stress treatments while the sub-plots consisted of 10 genotypes of sorghum including KGS29, MGS2, Sepideh, KGFS27, MGS5, KGFS5, KGFS17, KGFS13 and KGFS30.

Each plot consisted of four lines with length of 6 meters and a distance between the lines of 60 cm and the area of each plot was 14 square meters. Plant spacing on the row was considered as 10 cm. To determine grain yield and biological yield and harvest index after removing two lines of margin and half a meter of the beginning and the end of each plot were harvested from a surface of three square meters. After drying in a ventilated oven at 72 ° C for 72 Hours, total dry weight and biological yield were determined and then the samples were weighed and the seeds were weighed and the harvest index was calculated. After data collecting, the data were analysed, using SAS software to investigate the diversity of traits among the cultivars and lines. Calculation of correlation coefficient between traits and stepwise regression was performed using SPSS software. To distinguish the direct and indirect effects of important traits, path analysis was used.

Results and Discussion: Results from combined analysis showed that cultivars and lines were significantly different at %1 level for all traits that is from variation between studied lines and cultivars. Comparison of interaction between genotype and stress about grain yield indicated that genotype KGFS13 in medium and normal drought stress, commonly with genotype KGFS17 in normal condition had the highest level and genotype KGFS5 in sever stress condition had the lowest grain yield respectively. In drought stress condition, Based on path analysis, Thousand Kernel weight had the highest direct effect on grain yield in normal condition. While number of seeds per panicle, had indirect effect via 1000-seeds weight on grain yield. The plant height had the highest direct effect on grain yield in medium dry condition. While the plant height, had indirect effect via 1000-seeds weight on grain yield.

Conclusion: According to the results of the correlations between the studied traits, under normal (no stress) conditions, plant height, number of seeds per panicle and 1000-seed weight can be used to improve grain yield. Under moderate water stress conditions, plant height and 1000-seed weight had the largest contribution in determination of the genotypes diversity. Based on path analysis, Thousand Kernel weight had the highest direct effect on grain yield in normal condition. While number of seeds per panicle, had indirect effect via 1000-seeds weight on grain yield. The plant height had the highest direct effect on grain yield in medium dry condition. While the plant height, had indirect effect via 1000-seeds weight on grain yield.

Keywords: Irrigation cut off, Thousand kernel weight, Vegetative stage