



## بررسی ارتباط برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای با عملکرد و اجزای آن در شرایط تنش آبی

علی آذری نصرآباد<sup>۱</sup>، سیدمحسن موسوی نیک<sup>۲</sup>، محمد گلوی<sup>۲</sup>، مسعود خزاعی<sup>۴</sup>، سیدعلیرضا بهشتی<sup>۵</sup>، علیرضا سیروس مهر<sup>۶</sup>  
 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  
 ۲ و ۳ و ۶. به ترتیب دانشیار، استاد و استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل  
 ۴. دکتری زراعت گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند  
 ۵. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۱۹

### چکیده

مقاومت گیاهان به تنش خشکی به علت پیچیده بودن اثرات متقابل بین عوامل تنش و نیز تنوع پدیده‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مؤثر بر رشد و نمو گیاه بسیار پیچیده است. به منظور بررسی اثر تنش آبی بر عملکرد، اجزای عملکرد، ویژگی‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی 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 ملایم به عنوان عامل اصلی و ۱۰ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای شامل KGS29، MGS2، KGS33، سپیده، KGFS27، MGS5، KGFS17، KGFS13، KGFS30 و KGFS13 به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تنش آبی شدید و پس از آن تنش ملایم به طور معنی‌داری عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در پانیکول را کاهش داد. برهمکنش تنش آبی و ژنوتیپ 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 آبی شدید کمترین عملکرد دانه را دارا بود. نتایج حاصل از همبستگی‌های بین صفات مورد بررسی نشان داد که در شرایط نرمال (بدون تنش) صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در پانیکول، درصد قند ساقه، محتوای پرولین آزاد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت می‌توانند در جهت بهبود عملکرد دانه به کار روند. در شرایط تنش آبی، درصد قند ساقه، ارتفاع بوته، دمای کانوپی، محتوای پرولین آزاد برگ بیشترین همبستگی را با عملکرد و اجزای آن داشتند. به طور کلی توجه به جنبه‌های دیگر از مقاومت به خشکی مانند شاخص‌های فیزیولوژیکی (هدایت روزنه، محتوای نسبی آب، دمای کانوپی) بسیار مهم است.

واژه‌های کلیدی: پرولین آزاد، دمای کانوپی، سورگوم دانه‌ای، کلروفیل

### مقدمه

مختلف تولیدات گیاهی دنیا محسوب می‌شود (Khan et al., 2010; Farshadfar et al., 2011). تنش خشکی به عنوان مشکل اصلی در بهره‌وری محصولات در تمام دنیا است

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

می‌کند (Prasad et al., 2008). در تحقیق دیگری بیان شد که تنش شدید خشکی در مرحله رشد رویشی سورگوم و تنش متوسط در مرحله زایشی منجر به کاهش عملکرد می‌شوند اما این کاهش با افزایش کارایی مصرف آب همراه بوده و به آستانه اقتصادی نمی‌رسد (Khalili et al., 2008). این تحقیق باهدف بررسی اثر تنش آبی بر عملکرد دانه و اجزای آن، ویژگی‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی و ارتباط آن‌ها با عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای انجام شد.

### 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 و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۵۸ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۸۱ متر) انجام گردید. اقلیم منطقه معتدل خشک بوده، میانگین بارندگی سالیانه ۱۴۷ میلی‌متر است. کاشت در پایان اردیبهشت‌ماه پس از رسیدن دمای خاک به ۱۲ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای (۱۰ ژنوتیپ) شامل KGS29، MGS2، KGS33، سپیده، KGFS27، MGS5، KGFS5، KGFS17، KGFS13 و KGFS30 در معرض سطوح مختلف تنش آبی (آبیاری نرمال با استفاده از سیفون (بدون تنش)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (مرحله رؤیت آخرین برگ به صورت لوله‌ای) و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (۵۰ درصد بوته‌ها در مرحله آغاز گلدهی) قرار گرفتند (Wardlaw and Willenbri آبیاری نرمال در هر کرت حدود ۱۰۰۰۰ مترمکعب، در مورد تیمار تنش آبی ملایم این میزان حدود ۶۲۵۰ مترمکعب و در تیمار تنش آبی شدید ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار بود.

ژنوتیپ‌های KGFS30، KGFS27، KGFS17، KGFS13، KGFS5 از تلاقی‌های انجام‌شده در داخل کشور و از برنامه اصلاح سورگوم در ایران می‌باشند. این ژنوتیپ‌ها جزو لاین‌های دانه ای-علوفه ای می‌باشند. ژنوتیپ‌های KGS33 و KGS29 از پروژه «بررسی در توده‌های دورگ و نسل‌های در حال تفکیک سورگوم» در کرج به خلوص رسیده و انتخاب شده‌اند. ژنوتیپ‌های MGS5 و MGS2 از لاین‌های پروژه «بررسی در توده‌های دورگ و نسل‌های در حال تفکیک سورگوم» در مشهد می‌باشند که مسیری مشابه مسیر لاین-های فوق‌الذکر را پیموده‌اند. رقم سپیده این رقم در سال

(Farooq et al., 2009). مقاومت گیاهان به تنش خشکی به علت پیچیده بودن اثرات متقابل بین فاکتورهای تنش و نیز تنوع پدیده‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مؤثر بر رشد و نمو گیاه بسیار پیچیده است و بنابراین شناخت آثار تنش خشکی در گیاهان ضروری به نظر می‌رسد (Hui-Ping et al., 2012).

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). آگاهی از محدودیت‌های مبدأ یا مقصد در عملکرد محصول سورگوم دانه‌ای برای طراحی منطقی فعالیت‌های کشاورزی و استراتژی‌های اصلاحی حیاتی است. محدودیت عملکرد در این گیاه به خاطر ظرفیت مبدأ یا مقصد در طی چرخه محصول متفاوت است (Gambin and Borrás, 2007). 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 (Aruna 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). در تحقیق دیگری گزارش شد که تعداد پانیکول در واحد سطح نقش مهمی در دستیابی به عملکرد دانه بالا از طریق تأثیر بر تعداد دانه در مترمربع داشت (Van Oosterom and Hammer, 2008).

پژوهشگران بیان نمودند که تنش خشکی تعداد دانه در پانیکول را کاهش می‌دهد (Sinclair et al., 1990). کاهش عملکرد دانه سورگوم تحت تنش خشکی قبل از گرده‌افشانی به کاهش تعداد دانه مربوط می‌شود، ولی اندازه بذر کوچک‌تر مسئول کاهش عملکرد در تنش خشکی پس از گرده‌افشانی است (Eastin et al., 1983). تعداد پانیکول در مترمربع تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار نمی‌گیرد مگر اینکه تنش به حدی باشد که از تشکیل پانیکول جلوگیری به عمل آورد. در سورگوم حساس‌ترین مرحله در پر شدن دانه حدود ۱۰ روز قبل از گلدهی تا پایان گلدهی است که مواجهه با تنش خشکی در این دوره بیشترین خسارت را به عملکرد دانه وارد

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد و اجزای آن در جدول یک آورده شده است (جدول ۱). 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 معنی‌دار نشان دادند.

اثر متقابل تنش آبی و ژنوتیپ از نظر شاخص برداشت و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و از نظر بقیه صفات این اثر معنی‌دار نبود. 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 معنی‌دار و از نظر بقیه صفات این اثر معنی‌دار نگردید.

مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تنش آبی و ژنوتیپ نشان می‌دهد که از نظر وزن هزار دانه، ژنوتیپ‌های KGFS30 و MGS5 در شرایط آبیاری نرمال بیشترین وزن هزار دانه و ژنوتیپ KGFS27 در شرایط تنش آبی شدید کمترین میزان را داشت، همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد وزن هزار دانه این ژنوتیپ در شرایط نرمال و تنش آبی متوسط نیز کمترین میزان بود. از نظر شاخص برداشت ژنوتیپ KGFS29 در شرایط آبیاری نرمال به همراه KGFS13 در شرایط تنش متوسط بیشترین میزان و ژنوتیپ KGFS5 در شرایط تنش آبی شدید کمترین میزان را دارا بود. از نظر عملکرد دانه ژنوتیپ KGFS13 در شرایط تنش متوسط و آبیاری نرمال به همراه KGFS17 در شرایط آبیاری نرمال بیشترین عملکرد دانه را داشته و ژنوتیپ KGFS5 در شرایط تنش آبی شدید کمترین میزان عملکرد دانه را دارا بود (جدول ۲).

درواقع کاهش عملکرد، ناشی از کاهش تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه به‌عنوان اجزای عملکرد دانه است (Maman et al., 2004). ژنوتیپ KGFS13 که دارای عملکرد بیولوژیک بالاتری است دارای عملکرد دانه بالاتری نیز بود. محققین گزارش نموده‌اند که تنش آبی هم رشد و هم فتوسنتز خالص را کاهش می‌دهد و در نتیجه باعث کاهش

۱۳۷۶ معرفی شده است و حاصل تلاقی رقم داخلی با خارجی است و مناسب کشت در مناطق گرم، معتدل و خشک است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سطوح مختلف تنش آبی به‌عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم دانه‌ای به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. هر کرت شامل چهار خط به طول شش متر و فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر و مساحت هر کرت ۱۴ 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. برای تعیین اجزای عملکرد دانه از هر کرت نیم متر طولی (۰/۳ مترمربع) برداشت و تعداد بوته، تعداد پانیکول، تعداد دانه پانیکول، وزن هزار دانه، تعداد دانه در مترمربع تعیین گردیدند. برای تعیین عملکرد دانه و 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 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 محاسبه شد. صفات بیوشیمیایی شامل محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، پرولین و کربوهیدرات بر روی برگ پرچم از بوته‌های هر کرت که پس از مرحله گلدهی (۴۵ روز پس از اعمال تنش) نمونه‌گیری شده بودند اندازه‌گیری شدند (Arnon, 1949). درصد قند ساقه نیز پس از برش و پرس ساقه و قرار دادن شیره خارج شده از آن به‌وسیله دستگاه رفرکتومتر مدل (PAL-3-Atago) قرائت شد (Ramulu and Rao, 2003). سنجش غلظت کربوهیدرات‌های محلول پس از مرحله گلدهی (۴۵ روز پس از اعمال تنش) با استفاده از روش فنل سولفوریک انجام گرفت (Schigel, 1956). اندازه‌گیری پرولین آزاد نیز در مرحله فوق با استفاده از روش بیتس انجام گرفت (Bates et al., 1973). سپس داده‌های مربوط به عملکرد و اجزاء آن پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس‌ها (آزمون بارتلت) با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه واریانس ساده و مرکب قرار گرفت. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردیدند. ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه در شرایط نرمال و تنش با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۳ محاسبه شد.

بیوماس و عملکرد دانه می‌شود (Ali et al., 2009). بیوماس، معیاری مناسب برای انتخاب ارقام مقاوم حتی در شرایط نرمال (بدون تنش) است. مقایسه کاهش نسبی وزن هزار دانه و تعداد دانه در پانیکول در تیمارهای تنش آبی متوسط و شدید نسبت به شاهد نشان داد که تعداد دانه در پانیکول بیشتر تحت تأثیر تنش آبی واقع شده است.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای (۱۳۹۴-۱۳۹۳)

Table 1. Combined analysis of variance of water stress effect on yield and its component in grain sorghum genotypes

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	تعداد دانه در		شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد	
			پانیکول Grains per panicle	وزن هزار دانه 1000 Seed weight		بیولوژیک Biologic yield	عملکرد دانه Grain yield
Year (Y)	سال	1	186953 <sup>ns</sup>	5024*	0.0059 <sup>ns</sup>	11043457 <sup>ns</sup>	3956940 <sup>ns</sup>
Replication × Y	تکرار × سال	4	82843	110.2	0.0079	39073289	2109121
Water stress (S)	تنش آبی	2	137801**	490 <sup>ns</sup>	0.027 <sup>ns</sup>	351168418*	26291981*
Y × S	سال × تنش آبی	2	2301 <sup>ns</sup>	64.3 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	27664900 <sup>ns</sup>	1211342 <sup>ns</sup>
Error (a)	خطای الف	8	9194	84.2	0.021	67186589	489619
Genotype (G)	ژنوتیپ	9	496223*	728**	0.031*	182206565*	10119465**
Y × G	سال × ژنوتیپ	9	116001	69 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	61463635	1718758 <sup>ns</sup>
S × G	تنش آبی × ژنوتیپ	18	49586 <sup>ns</sup>	68 <sup>ns</sup>	0.027**	48665898 <sup>ns</sup>	3351248**
Y×S×G	سال × تنش آبی × ژنوتیپ	18	43031 <sup>ns</sup>	8.7 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	43193804*	598801 <sup>ns</sup>
Error (b)	خطای ب	108	32928	22.8	0.005	20376004	342458
CV%	ضریب تغییرات (%)		44	11.6	42	16.3	25

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱٪

<sup>ns</sup>, \* and \*\*: Non-significant and significant at 5% and 1% levels respectively

مورد مطالعه در شرایط نرمال و شرایط تنش آبی در جدول ۳ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، صفت عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه در پانیکول، وزن هزار دانه، طول پانیکول، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات درصد قند ساقه (Brix)، دمای کانوپی، هدایت الکتریکی (نشت یونی) غشای سلول و محتوای کربوهیدرات‌های محلول، همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد و با بقیه صفات مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری ملاحظه نگردید (جدول ۳).

همبستگی بسیار بالایی بین تعداد دانه در پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد نهایی مشاهده شده است. کاهش وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش آبی مربوط به انتقال کمتر کربوهیدرات‌ها به دانه است، زیرا مرحله پر شدن دانه در سورگوم هم‌زمان با رقابت شدید برای مصرف متابولیت‌هاست (Bdulki et al., 2007). در خصوص شاخص برداشت محققین گزارش کرده‌اند که چون این شاخص نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی در عملکرد اقتصادی است، مقادیر بالای آن

بعضی از محققین، کاهش وزن دانه را به یکی از دلایل کاهش میزان شیره پرورده وارد شده به دانه و یا کاهش دوره پر شدن 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, 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 به شدت و مدت‌زمان اعمال تنش و همچنین مقاومت گیاه و مرحله رشدی که گیاه در آن قرار دارد بستگی دارد (Thomas Robertson et al., 2004).

#### بررسی ضرایب همبستگی ساده صفات

ضرایب همبستگی ساده بین برخی خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای

شاخص فیزیولوژیکی هدایت روزنه‌ای با عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد و با صفات دمای کانوپی، هدایت الکتریکی (نشت یونی) غشای سلول، محتوای کربوهیدرات محلول و درصد قند ساقه (Brix) همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). همبستگی منفی بین هدایت روزنه‌ای و دمای کانوپی با توجه به وضعیت بهتر تعرق و تبادلات گازی در ژنوتیپ‌های با هدایت روزنه‌ای بالاتر و در نتیجه پایین‌تر بودن دمای اطراف کانوپی گیاه مورد انتظار است و توسط سایر محققین، این موضوع تأیید می‌گردد (Mutava, 2012).

در شرایط آبیاری نرمال در یک ژنوتیپ می‌تواند عملکرد بالا در شرایط تنش آبی را نیز به همراه داشته باشد (Richards et al., 2002).

عملکرد بیولوژیک نیز با صفات تعداد برگ، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، هدایت روزنه‌ای و محتوای آب نسبی برگ، همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات دمای کانوپی، هدایت الکتریکی (نشت یونی) غشای سلول همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). شاخص سبزینگی (SPAD) در این شرایط با محتوای کلروفیل b و هدایت روزنه‌ای و طول پانیکول همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۳).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سطوح تنش آبی و ژنوتیپ بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای

Table 2. Mean comparison of the effect of different level of water stress and genotypes on yield and its components in grain sorghum

تنش آبی	ژنوتیپ	وزن هزار دانه 1000seed weight (gr)	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha)	میانگین کاهش عملکرد ژنوتیپ تحت تنش Mean yield reduction of genotype %
Water stress	genotypes				
S1 <sup>§</sup>	KGS29	48.4 <sup>a-d</sup>	0.35 <sup>a</sup>	3664 <sup>bc</sup>	48
S1	MGS2	43.6 <sup>d-g</sup>	0.15 <sup>b-f</sup>	1609 <sup>e-h</sup>	15
S1	KGS33	40.5 <sup>f-i</sup>	0.19 <sup>b-e</sup>	2266 <sup>d-f</sup>	39
S1	Sepideh	42.6 <sup>f-i</sup>	0.19 <sup>b-e</sup>	2244 <sup>d-f</sup>	26
S1	KGFS27	25.2 <sup>j</sup>	0.19 <sup>b-e</sup>	2405 <sup>c-f</sup>	21
S1	MGS5	50.6 <sup>ab</sup>	0.16 <sup>b-f</sup>	2644 <sup>c-e</sup>	39
S1	KGFS5	45.1 <sup>c-f</sup>	0.13 <sup>c-f</sup>	2704 <sup>cd</sup>	28
S1	KGFS17	43.3 <sup>e-h</sup>	0.21 <sup>b-d</sup>	4748 <sup>ab</sup>	57
S1	KGFS13	49 <sup>a-c</sup>	0.18 <sup>b-f</sup>	4683 <sup>ab</sup>	16
S1	KGFS30	53.2 <sup>a</sup>	0.12 <sup>c-f</sup>	2815 <sup>c-e</sup>	34
S2	KGS29	37.8 <sup>i</sup>	0.14 <sup>c-f</sup>	1622 <sup>e-h</sup>	-
S2	MGS2	40.5 <sup>f-i</sup>	0.19 <sup>b-e</sup>	1828 <sup>e-h</sup>	-
S2	KGS33	39.2 <sup>g-i</sup>	0.07 <sup>ef</sup>	922 <sup>gh</sup>	-
S2	Sepideh	41 <sup>f-i</sup>	0.17 <sup>b-f</sup>	1314 <sup>f-h</sup>	-
S2	KGFS27	23.3 <sup>j</sup>	0.28 <sup>ab</sup>	2643 <sup>c-f</sup>	-
S2	MGS5	40.6 <sup>f-i</sup>	0.09 <sup>c-f</sup>	1239 <sup>f-h</sup>	-
S2	KGFS5	39.6 <sup>g-i</sup>	0.05 <sup>f</sup>	690 <sup>h</sup>	-
S2	KGFS17	40.4 <sup>f-i</sup>	0.2 <sup>b-e</sup>	2006 <sup>d-g</sup>	-
S2	KGFS13	38.6 <sup>hi</sup>	0.19 <sup>b-e</sup>	2622 <sup>c-e</sup>	-
S2	KGFS30	43.7 <sup>d-g</sup>	0.09 <sup>c-f</sup>	1682 <sup>e-h</sup>	-
S3	KGS29	42.9 <sup>f-h</sup>	0.21 <sup>b-d</sup>	2187 <sup>d-g</sup>	-
S3	MGS2	41.1 <sup>f-i</sup>	0.22 <sup>a-c</sup>	1966 <sup>d-h</sup>	-
S3	KGS33	40.5 <sup>f-i</sup>	0.15 <sup>b-f</sup>	1856 <sup>e-h</sup>	-
S3	Sepideh	38.6 <sup>hi</sup>	0.17 <sup>b-f</sup>	1985 <sup>d-g</sup>	-
S3	KGFS27	23 <sup>j</sup>	0.08 <sup>d-f</sup>	1177 <sup>f-h</sup>	-
S3	MGS5	43.3 <sup>e-h</sup>	0.15 <sup>b-f</sup>	2010 <sup>d-g</sup>	-
S3	KGFS5	49.4 <sup>a-c</sup>	0.19 <sup>b-e</sup>	3203 <sup>c-e</sup>	-
S3	KGFS17	43.2 <sup>f-h</sup>	0.11 <sup>c-f</sup>	2124 <sup>d-g</sup>	-
S3	KGFS13	48.2 <sup>b-e</sup>	0.35 <sup>a</sup>	5272 <sup>a</sup>	-
S3	KGFS30	37.9 <sup>i</sup>	0.15 <sup>b-f</sup>	2052 <sup>d-g</sup>	-

میانگین‌ها در هر ستون و برای هر عامل که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

§ S1 = آبیاری متداول؛ S2 = قطع آبیاری در مرحله رویشی؛ S3 = قطع آبیاری در مرحله زایشی

Means in each column and each factor, 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.

از نظر خصوصیات بیوشیمیایی، محتوای کلروفیل a با محتوای کلروفیل b، محتوای کارتنوئید همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. محتوای کلروفیل b نیز با شاخص سبزی‌نگی (SPAD) همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). محتوای کربوهیدرات محلول نیز با عملکرد دانه، ارتفاع بوته، طول پانیکول، هدایت روزنه‌ای و شاخص سبزی‌نگی (SPAD) همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). درصد قند ساقه (Brix) با هدایت الکتریکی (نشت یونی) غشای سلول همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، طول پانیکول، هدایت روزنه‌ای و وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). محتوای پرولین آزاد برگ با شاخص برداشت، تعداد دانه در پانیکول همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۳).

وزن هزار دانه با صفات عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد در حالی که با صفات درصد قند ساقه، دمای کانوپی، هدایت الکتریکی غشای سلول و تعداد دانه در پانیکول همبستگی منفی و معنی‌دار ملاحظه گردید (جدول ۳). تحقیقات بسیاری حاکی از وجود همبستگی بالا و مثبت بین بهبود ژنتیکی 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). محتوای آب نسبی برگ نیز با صفات عملکرد دانه، تعداد برگ، ارتفاع گیاه، تعداد دانه در پانیکول و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته و با دمای کانوپی، هدایت الکتریکی غشای سلول همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۳).

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم دانه‌ای

Table 3. Correlation coefficient among agronomical, physiological and biochemical traits in different grain sorghum genotypes.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	شرایط آبی <sup>§</sup>	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	تعداد دانه پانیکول	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	طول پانیکول	شاخص سبزی‌نگی (SPAD)
	Water condition <sup>§</sup>	Grain yield	Biological yield	1000 seeds weight	HI	Seeds per panicle	Plant height	Leaf number	Panicle lenght	(SPAD)
1	C	1								
	WD	1								
2	C	0.67**	1							
	WD	0.46*	1							
3	C	0.45**	0.47**	1	1					
	WD	0.38	0.38	1	1					
4	C	0.59**	-0.13	0.08	1					
	WD	0.7**	-0.23	0.07	1					
5	C	0.49**	0.2	-0.4*	0.47*	1				
	WD	0.45*	0.01	-0.5*	0.55*	1				
6	C	0.71**	0.57**	0.0006	0.39*	0.62**	1			
	WD	0.66**	0.33	-0.11	0.53*	0.56**	1			
7	C	0.34	0.69**	0.0000	-0.26	0.4*	0.47**	1		
	WD	0.27	0.66**	-0.16	-0.24	0.35	0.26	1		
8	C	0.38*	-0.08	0.14	0.61**	0.15	0.41*	-0.38*	1	
	WD	0.3	-0.19	0.19	0.62**	0.08	0.53*	-0.4	1	
9	C	0.15	0.06	0.26	0.26	-0.07	0.09	-0.25	0.38*	1
	WD	0.18	0.003	0.33	0.3	-0.2	0.15	-0.35	0.53*	1

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

§ C: شاهد؛ WD: کم‌آبی

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

§ C: Control; WD: water deficiency

Table 3. Continued جدول ۳. ادامه

		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	هدایت	هدایت	دمای کانوپی	الکتريکی	محتوی	محتوای	محتوای	محتوای	محتوای	محتوای	درصد
	روزنه‌ای	روزنه‌ای	دمای کانوپی	غشای سلول	نسبی	کلروفیل	کلروفیل	کارتنوئید	کربوهیدرات	محتوای	قند
	Stomata	Stomata	Canopy	Cell	آب برگ	a	b	Carotenoid	Carbohy-	پرولین	ساقه
	conductance	conductance	Temperature	membrane	RWC	Chl a	Chl b		drates	Proline	Brix
	Water	Water		EC							
	condition§	condition§									
10	C	1									
	WD	1									
11	C	-0.62**	1								
	WD	-0.2	1								
12	C	-0.68**	0.78**	1							
	WD	-0.37	0.47*	1							
13	C	0.59**	-0.52**	-0.5**	1						
	WD	-0.2	-0.2	-0.12	1						
14	C	0.24	-0.27	-0.3	0.26	1					
	WD	0.18	-0.25	-0.21	0.16	1					
15	C	0.28	-0.17	-0.2	0.2	0.46**	1				
	WD	0.24	-0.12	-0.17	-0.14	0.87**	1				
16	C	-0.26	0.23	0.12	0.15	0.6**	0.29	1			
	WD	-0.18	0.15	0.01	0.28	0.72**	0.49*	1			
17	C	-0.44**	0.27	0.3	-0.17	-0.07	-0.19	0.34	1		
	WD	-0.44	0.06	0.1	0.14	0.03	-0.14	0.5*	1		
18	C	-0.17	0.09	-0.08	-0.15	-0.14	-0.3	-0.16	0.08	1	
	WD	0.03	-0.11	-0.47*	0.07	-0.09	-0.1	-0.19	-0.01	1	
19	C	0.28	0.06	0.42*	-0.22	0.05	-0.16	0.25	0.28	-0.22	1
	WD	-0.31	0.07	0.35	-0.1	0.14	-0.03	0.28	0.28	0.01	1

Table 3. Continued جدول ۳. ادامه

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	عملکرد	عملکرد	وزن هزار	شاخص	تعداد دانه	تعداد دانه	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	طول	شاخص
	دانه	بیولوژیک	دانه	برداشت	پانیکول	پانیکول	Plant	Leaf	پانیکول	سبزیگی
	Grain	Biological	1000	HI	Seeds per	Seeds per	height	number	Panicle	(SPAD)
	yield	yield	seeds w		panicle	panicle			length	
	Water	Water								
	condition§	condition§								
10	C	0.5**	0.5**	0.69**	0.2	-0.1	0.35	-0.01	0.3	0.4*
	WD	0.29	0.18	0.6**	0.2	-0.4	0.16	-0.29	0.44	0.5*
11	C	-0.5**	-0.6**	-0.5**	-0.05	-0.1	-0.3	-0.4*	0.2	-0.3
	WD	-0.3	-0.55*	-0.44*	0.04	-0.04	0.07	-0.5*	0.37	0.02
12	C	-0.4*	-0.6**	-0.5**	0.02	-0.03	-0.3	-0.3	0.02	-0.2
	WD	-0.2	-0.5*	-0.49*	0.17	0.25	0.02	-0.29	0.14	0.25
13	C	0.5**	0.6**	0.18	0.03	0.4*	0.5**	0.5**	0.01	0.3
	WD	0.26	0.51*	-0.04	-0.05	0.27	0.41	0.5*	-0.03	0.19
14	C	0.14	0.2	0.23	-0.1	0.02	0.02	-0.03	0.1	0.2
	WD	0.08	0.24	0.29	-0.09	-0.11	-0.15	-0.07	0.05	0.19
15	C	0.1	0.04	0.26	0.1	0.06	-0.1	-0.2	0.1	0.4*
	WD	0.09	-0.04	0.24	0.16	-0.05	-0.12	-0.35	0.19	0.23
16	C	-0.18	-0.1	-0.35	-0.1	0.1	-0.1	-0.02	-0.04	-0.1
	WD	-0.15	0.04	-0.21	-0.18	0.07	-0.16	0.06	-0.05	-0.1
17	C	-0.4*	-0.2	-0.29	-0.3	-0.1	-0.5**	-0.02	-0.4*	-0.4*
	WD	-0.35	-0.13	-0.45*	-0.3	0.14	-0.4	0.21	-0.52*	-0.34
18	C	-0.3	0.07	0.11	-0.4*	-0.4*	-0.2	0.07	-0.2	-0.3
	WD	-0.3	0.12	0.31	-0.37	-0.35	-0.22	-0.03	-0.16	-0.15
19	C	-0.6**	-0.2	-0.34	-0.6**	-0.1	-0.4*	0.06	-0.4*	-0.2
	WD	-0.7**	-0.16	-0.37	-0.56*	-0.1	-0.4	-0.05	-0.34	-0.15

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

§ C: شاهد؛ WD: کم‌آبی

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

§ C: Control; WD: water deficiency

### نتیجه‌گیری

پرولین آزاد برگ، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت می‌توانند جهت بهبود عملکرد دانه به کار برده شوند. در شرایط تنش آبی، درصد قند ساقه، ارتفاع بوته، دمای کانوپی، محتوای پرولین آزاد برگ بیشترین سهم را در توجیه تنوع ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارا بودند. از آنجاکه بهبود عملکرد با توجه به وراثت پذیری پایین آن معمولاً دشوار است، توجه به جنبه‌های دیگر از مقاومت به خشکی نظیر شاخص‌های فیزیولوژیکی (هدایت روزنه، محتوای نسبی آب، دمای پوشش سبز) بسیار حائز اهمیت است. به‌طور کلی، صفات فیزیولوژیک جایگزین مکمل و خوبی برای صفات عملکردی هستند، به‌طوری‌که این صفات کسب اطلاعات بیشتر و کامل‌تری را فراهم می‌کنند.

برهمکنش تنش آبی 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 آبی شدید کمترین عملکرد دانه را دارا بود. کمترین درصد کاهش عملکرد ژنوتیپ‌ها مربوط به ژنوتیپ‌های KGFS13 و MGS2 بیشترین میزان کاهش مربوط به ژنوتیپ KGFS17 بود.

با توجه به نتایج حاصل از همبستگی بین صفات مورد بررسی مشخص شد در شرایط نرمال (بدون تنش) صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در پانیکول، درصد قند ساقه، محتوای

### منابع

- Abbad, H., Jafari, E.L., Bort, S.A., Araus, J.L., 2004. Comparative relationship of the flag leaf and the ear photosynthesis with the biomass and grain yield of durum wheat under a range of water conditions and different genotypes. *Agronomie*. 24, 19-28.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1-15.
- Aruna, C., Audilakshmi, S., 2008. A strategy to identify potential germplasm for improving yield attributes using diversity analysis in sorghum. *Plant Genetic Resources*. 6, 187-194.
- Brevedan, R.E., Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, Leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*. 43, 2083-2088.
- Eastin, J. D., Castleberry, R.M., Gerik, T.J., Hultquist, J.H., Mahalakshmi, V., Ogunlela, V.B., Rice, J.R., 1983. Physiological aspects of high temperature and drought stress. In: Raper, Jr. C.D., Kramer, P.J. (Eds.), *Crop Reactions to Water and Temperature Stresses in Humid, Temperature Climates*. pp. 91-112. Westview Press, Boulder, CO., USA.
- Farooq, M.W.A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29, 185-212.
- Farshadfar, E., Rasoli, V., Teixeira da Silva J.A., Farshadfar, M., 2011. Inheritance of drought tolerance indicators in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using a diallel technique. *Australian Journal of Crop Science*. 5, 870-878.
- Gambin, B.L., Borrás, L., 2007. Plasticity of sorghum kernel weight to increase assimilate availability. *Field Crops Research*. 100, 272-284.
- Gan, S., Amasino, R.M., 1997. Making sense of senescence. *Plant Physiology*. 113, 313-319.
- Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*. 11, 100-105.
- Khalili, A., Akbari, N., 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 and Environment Science*. 3, 697-702.
- Khan, A.S., Ul-Allah, S., Sadique, S., 2010. Genetic variability and correlation among seedling traits of Wheat (*Triticum aestivum*) under water stress. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2, 247-250.
- Liang, Z., Zhang, F., Shao, M., Zhang, J., 2002. The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering



