



دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هفتم / شماره اول / بهار ۱۳۹۶ (۱۴۱-۱۲۹)

ارزیابی روابط بین عملکرد دانه و صفات مهم زراعی در ارقام و لاین‌های امیدبخش سورگوم دانه‌ای تحت رژیم‌های آبیاری بدون تنش و تنش خشکی

عظیم خزائی^۱، عاطفه صبوری^{۲*}، زهرا سادات شبر^۳ و مریم شهبازی^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۱

چکیده

به منظور ارزیابی روابط بین عملکرد دانه و برخی صفات مهم زراعی در ارقام و لاین‌های امیدبخش سورگوم 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 طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. تیمار آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل آبیاری معمول یا بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید و ژنوتیپ به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل کیمیا، سپیده، KGS32، KGS23 و KGS15 در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورفولوژیک و عملکردی نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بررسی شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی تولید (GMP) نشان داد که رقم کیمیا و لاین KGS23 به ترتیب با متوسط عملکرد دانه ۹۱۶۲/۵ و ۸۵۲۱/۹ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط بدون تنش و ۶۶۴۴/۰ و ۶۵۷۸/۰ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط تنش شدید، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در این تحقیق بودند. ارزیابی ضرایب همبستگی ژنوتیپی بین صفات تحت شرایط معمول و تنش نشان داد که بین عملکرد دانه با صفات طول خوشه، قطر ساقه، وزن خوشه، عملکرد علوفه تر، عملکرد زیست‌توده، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. نتایج تجزیه علیت عملکرد دانه بر اساس همبستگی‌های ژنوتیپی بین عملکرد با سایر صفات مورد مطالعه نشان داد که صفات وزن خوشه و وزن هزار دانه دارای اثر مستقیم مثبت و قابل توجه‌ای روی عملکرد دانه تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی بودند، اما اثر مستقیم عملکرد زیست‌توده تحت شرایط بدون تنش منفی و ناچیز و تحت شرایط تنش خشکی مثبت و قابل توجه بود. بنابراین، برای اصلاح سورگوم دانه‌ای، انجام گزینش‌های غیرمستقیم از طریق وزن خوشه و وزن هزار دانه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح گزینشی، تجزیه علیت، شاخص‌های تحمل، ضریب همبستگی ژنوتیپی

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- استادیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* نویسنده مسئول: a.sabouri@guilan.ac.ir

مقدمه

عملکرد دانه، برای اصلاح جمعیت از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از روش‌های کاربردی برای این منظور، تجزیه علیت است که بر اساس آن، ضریب همبستگی بین متغیر وابسته با متغیرهای مستقل به میزان آثار مستقیم و غیر مستقیم هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته تفکیک می‌شود و به این ترتیب می‌توان متغیرهای مستقل دارای آثار مستقیم بیشتر را شناسایی و انتخاب کرد (Pourmoradi and Mirzaie-Nadoushan, 2011). بنابراین، تجزیه علیت به تشخیص روابط علت و معلولی و سپس انجام گزینش‌های کارآمد و مفید جهت اصلاح جمعیت کمک می‌کند (Farshadfar, 1998). در حقیقت تجزیه علیت یکی از روش‌های مطالعه اصل علیت در میان مجموعه‌ای از متغیرها می‌باشد و برای تجزیه همبستگی و پی بردن به آثار مستقیم و غیر مستقیم صفات مفید است. دوی و لو (Dewey and Lu, 1959) در شرح تجزیه علیت اظهار کردند که کل تغییرات متغیر وابسته به دو جزء قابل توجیه و غیرقابل توجیه با متغیرهای تحت بررسی تقسیم می‌شود و جزء قابل توجیه توسط متغیرهای مستقل همان ضریب تبیین در تجزیه رگرسیون چندگانه استاندارد شده است. ازیکو و محمد (Ezeeku and Mohammed, 2006) با تجزیه علیت و بررسی روابط مستقیم و غیر مستقیم صفات مرتبط با عملکرد دانه در ۳۰ رقم سورگوم دانه‌ای، نتیجه گرفتند که وزن پانیکول بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه دارا می‌باشد. آذری نصرآباد و رضانی (Azari-Nasrabad and Ramazani, 2011) با استفاده از تجزیه علیت گزارش دادند که وزن خوشه بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد داشت، در حالی که تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و طول خوشه از طریق وزن خوشه تأثیر غیر مستقیم بالایی بر عملکرد دانه داشتند. در بعضی از موارد ممکن است یک متغیر مستقل، علاوه بر اثر مستقیم بر یک متغیر وابسته، به‌طور غیر مستقیم نیز از طریق متغیر یا متغیرهای مستقل دیگر بر آن اثر گذارد. بنابراین شناسایی صفت یا صفاتی که هم به‌طور مستقیم و هم به‌طور غیر مستقیم بر عملکرد اثر می‌گذارند و تعیین ماهیت و میزان تأثیر آن‌ها، ضروری است (Rao, 1983). هدف از این پژوهش، ارزیابی تحمل به خشکی چند رقم و لاین امیدبخش سورگوم دانه‌ای، برآورد روابط بین عملکرد و صفات مهم و تعیین نقش و میزان سهم هر یک از صفات بر عملکرد دانه بود تا بدین وسیله بتوان با استفاده از

سورگوم (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) از نظر اهمیت در بین غلات در دنیا بعد از گندم، برنج، ذرت و جو در مقام پنجم قرار دارد و در بعضی از کشورها از جمله سودان در مقام اول و در ایالات متحده آمریکا بعد از گندم و ذرت در مقام سوم قرار گرفته است. با توجه به کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و محدودیت منابع آبی در ایران و با توجه به تحمل بعضی از ارقام سورگوم به خشکی، تولید این محصول می‌تواند کمک موثری در جهت رفع نیاز کشور به علوفه باشد. سطح زیر کشت سورگوم در جهان حدود ۴۲/۳۴ میلیون هکتار است که ۹۰ درصد این سطح زیر کشت را ارقام دانه‌ای به‌خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، سورگوم در دنیا در درجه اول به‌عنوان یک غله مطرح است. سطح زیر کشت سورگوم در ایران ۴۰ هزار هکتار است (FAO, 2013).

یکی از مسائل مهم در ارزیابی ارقام برای مقاومت به خشکی، اندازه‌گیری کمی معیارهای مقاومت به خشکی است (Clark and McCaig, 1982). این معیارها که بر اساس عملکرد گیاه در دو محیط تنش و غیرتنش ارزیابی می‌شوند، می‌توانند در گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و تفکیک آن‌ها از ژنوتیپ‌های حساس، مورد استفاده به‌نژادگران قرار گیرند. تعداد نسبتاً زیادی از شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی از جمله شاخص تحمل (Tolerance Index, TOL)، شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index, STI)، شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index, SSI)، شاخص میانگین بهره‌وری (Mean Productivity, MP) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (MP Geometric) توسط محققین مختلف ارائه شده‌اند که هر محقق بر اساس شرایط آزمایش خود می‌تواند از آن‌ها استفاده کند. به‌طور کلی، شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط هستند (Farooq et al., 2009).

علاوه بر معیارهای کمی مقاومت که در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش مفید هستند، ارزیابی روابط بین صفات و به‌ویژه شناسایی میزان آثار مستقیم و غیر مستقیم صفات مورد مطالعه روی صفات وابسته مانند

صفات مهم‌تر مرتبط با عملکرد به بهبود این هدف مهم اصلاحی دست یافت.

میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط معمول (\bar{Y}_p) و تحت شرایط تنش (\bar{Y}_s) بر اساس روابط (۱) تا (۷) ارزیابی شدند:

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

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

- شاخص تحمل (Rosille and Hamblin, 1981):

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

- شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2} \quad (3)$$

- بهره‌وری متوسط (Rosille and Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad (4)$$

- میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992):

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

- شاخص عملکرد (Gavazzi et al., 1997):

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \quad (6)$$

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

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

برای بررسی میزان ارتباط بین صفات مورد مطالعه، ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی بین صفات تعیین شد. برای انجام تجزیه علیت، ابتدا تجزیه رگرسیون گام به گام با در نظر گرفتن عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع و صفات دیگر به‌عنوان متغیر علت انجام شد و متغیرهایی که بیشترین تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند، شناسایی شدند. سپس از مدل رگرسیون گام به گام استفاده و ضرایب همبستگی ژنوتیپی بین عملکرد دانه و صفاتی که وارد مدل رگرسیون شدند، با استفاده از تجزیه علیت به روش دوی و لو (Dewey and Lu, 1959) به آثار مستقیم (ضریب علیت) و غیر مستقیم تفکیک شدند (Williams et al., 1990) تا اهمیت هر صفت مشخص شود و از طریق آن بتوان گزینش‌های غیر مستقیمی برای افزایش عملکرد دانه انجام داد. با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین شرایط بدون تنش (معمول آبیاری) و تنش ملایم، تجزیه علیت فقط برای دو شرایط بدون تنش و تنش

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه ۴۰۰ هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در دو سال زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ اجرا شد. آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل آبیاری معمول یا بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید و ژنوتیپ به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل دو رقم کیمیا و سپیده و سه لاین امیدبخش KGS32، KGS23 و KGS15 بودند. در تیمار آبیاری معمول، آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A انجام شد، در حالی‌که در تیمار تنش متوسط، آبیاری تا زمان گلدهی به‌صورت معمول انجام و پس از آن آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک انجام شد و این رژیم آبیاری تا زمان برداشت ادامه یافت و سرانجام در تیمار تنش شدید، آبیاری تا زمان گلدهی به‌صورت معمول انجام و بعد از آن آبیاری به‌طور کامل تا پایان فصل رشد و زمان برداشت قطع شد.

هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به‌طول ۵ متر بود و فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بافت خاک مزرعه رسی-شنی بود و مزرعه در سال قبل از آزمایش به‌صورت آبیاری قرار داشت. اسیدیته (pH) خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر ۷/۵، هدایت الکتریکی (EC) آن ۰/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر، کربنات کلسیم، کربن آلی و ازت کل خاک به‌ترتیب ۹ درصد، ۰/۵۰ درصد و ۰/۰۵ درصد، فسفر و پتاسیم قابل جذب آن به‌ترتیب ۸/۲ و ۲۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی حدود ۲۷ درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود.

تجزیه‌های آماری

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها پس از آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش روی داده‌های دوساله انجام شد. به‌منظور بررسی میزان تحمل ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به تنش خشکی، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط معمول آبیاری (\bar{Y}_p) و تحت شرایط تنش (Y_s) و نیز

شدید انجام شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزارهای SPSS و SAS انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و سایر صفات مورد مطالعه نشان داد که اثر سال برای صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه، عملکرد علوفه تر، عملکرد زیست‌توده و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و برای تعداد انشعابات خوشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). معنی‌دار بودن اثر سال نشان‌دهنده یکسان نبودن شرایط محیطی طی دو سال انجام آزمایش است. بین ارقام و لاین‌های مورد مطالعه نیز از لحاظ عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات مورد بررسی، به جز تعداد انشعابات خوشه که در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، تفاوت‌های معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. بنابراین با توجه به تفاوت‌های موجود امکان‌پذیرش برای صفات موجود مربوطه وجود دارد.

مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان داد که تحت شرایط بدون تنش، رقم کیمیا و لاین KGS23 به ترتیب با عملکرد دانه ۹۱۶۲/۵ و ۸۵۲۱/۹۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند و در یک گروه قرار گرفتند. پس از آن‌ها رقم سپیده و لاین KGS15 به ترتیب با ۷۹۷۳/۶۱ و ۷۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در گروه دوم و لاین KGS32 با عملکرد دانه ۶۸۴۳/۰۶ کیلوگرم در رتبه آخر قرار گرفت. تحت شرایط تنش نیز رقم کیمیا و لاین KGS23 به ترتیب با عملکرد دانه ۶۶۴۴ و ۶۵۷۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقدار عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند و لاین KGS32 با عملکرد دانه ۴۶۰۸ کیلوگرم در هکتار دارای کمترین عملکرد دانه بود (جدول ۲). همچنین برهمکنش سال و ژنوتیپ از لحاظ تمام صفات مطالعه شده به جزء وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). رقم کیمیا و لاین KGS23 از نظر بسیاری از صفات مهم و مرتبط با عملکرد دانه دارای ارزش فنوتیپی بالایی بودند و بنابراین می‌توان آن‌ها را به عنوان ژنوتیپ‌های مهم‌تر مورد توجه قرار داد. ضریب تغییرات خطای آزمایش نیز برای کلیه صفات در حد قابل قبول بود، به طوری که بیشترین مقدار ضریب تغییرات با ۱۸/۰۳ مربوط به تعداد دانه در خوشه بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد، اجزای عملکرد دانه و برخی صفات مورفولوژیک

Table 1. Combined analysis of variance for yield and yield components and some morphological traits

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	طول خوشه Panicle length	تعداد انشعاب خوشه No. of panicle shoots	قطر ساقه Stem Diameter	وزن خوشه Panicle weight
Year (Y)	سال	1	4623.93**	25.20	1134.94*	0.04	1.56
Replication (R)/Y	تکرار درون سال	4	40.90	9.81	252.36	0.11	8.77
Irrigation (I)	آبیاری	2	77.12	4.12	44.92	0.14	31.07
Y×R	سال × آبیاری	2	36.83	10.92	75.48	0.15	0.79
Main error	خطای اصلی	8	40.30	9.23	143.42	0.09	14.06
Genotype (G)	ژنوتیپ	4	4585.91**	330.20**	333.61*	3.69**	39.56**
G×Y	ژنوتیپ × سال	4	126.35**	20.83**	496.27**	0.22*	7.09*
G×I	ژنوتیپ × آبیاری	8	39.80	4.91	33.04	0.04	2.91
G×Y×I	ژنوتیپ × سال × آبیاری	8	48.71	4.60	22.95	0.05	4.13
Sub-error	خطای فرعی	48	24.00	2.80	97.01	0.07	2.02
CV (%)	- ضریب تغییرات (درصد)		4.30	6.00	17.24	14.22	12.65

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

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

Table 1. Continued

جدول ۱- ادامه

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد زیست‌توده Biologic yield	تعداد دانه در خوشه No. of grain/panicle	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
Year (Y)	سال	1	2027.40**	2141.33**	791.76**	177.24**	47352.78**
Replication (R)/Y	تکرار درون سال	4	49.01	88.78	7.77	27.11	202.74
Irrigation (I)	آبیاری	2	394.08**	644.87**	3.79	34.57	275667.18**
Y×R	سال × آبیاری	2	9.05	13.27	3.77	0.95	169.70
Main error	خطای اصلی	8	18.05	59.58	9.43	10.98	568.77
Genotype (G)	ژنوتیپ	4	104.59**	88.05**	47.94**	405.01**	12901.64**
G×Y	ژنوتیپ × سال	4	7.91*	17.52*	40.63**	4.82	1513.28**
G×I	ژنوتیپ × آبیاری	8	3.42	11.08	7.15	10.16	514.55
G×Y×I	ژنوتیپ × سال × آبیاری	8	4.85	16.79*	6.63	7.28	880.39*
Sub-error	خطای فرعی	48	2.81	6.64	4.60	6.51	368.07
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)	-	11.20	9.84	18.03	8.52	8.67

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

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

(جدول ۳). هر اندازه مقدار عددی شاخص SSI کوچک‌تر باشد، حساسیت به تنش کمتر و تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی بیشتر است. به عبارت دیگر، هر قدر Y_s از نظر کمی به Y_p نزدیک‌تر باشد، به همان اندازه نیز حساسیت آن ژنوتیپ به خشکی کمتر خواهد بود. شاخص SSI بر اساس نسبت عملکرد هر رقم در شرایط تنش به شرایط بدون تنش در مقایسه با این نسبت در کل ارقام سنجیده می‌شود و بنابراین دو رقم با عملکرد زیاد یا کم در دو محیط می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند، در نتیجه انتخاب بر اساس SSI مناسب نمی‌باشد. با استفاده از این شاخص فقط می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (Naderi *et al.*, 2000). در این آزمایش لاین KGS15 به‌عنوان متحمل‌ترین لاین بود، در صورتی‌که این لاین در دو شرایط تنش و بدون تنش بیشترین عملکرد را نداشت. بنابراین، لاین KGS15 نه به دلیل عملکرد بالا تحت شرایط تنش، بلکه فقط به‌علت پایین بودن درصد تغییرات عملکرد، با این شاخص به‌عنوان متحمل‌ترین لاین معرفی شد. در مقابل، رقم کیمیا و لاین KGS23 با وجود عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش، به‌عنوان ارقام متحمل معرفی نشدند.

در این راستا فراری و فرناندز (Ferrari and Fernandez, 1986) دریافتند که زمان بروز تنش خشکی در نوع و میزان خسارت وارد شده به گیاه اثر زیادی دارد. مطالعات انجام شده روی ارزن و سورگوم نشان داده است که تنش خشکی در مرحله رشد زایشی تا ۵۰ درصد عملکرد دانه را کاهش داد، اما بروز تنش در مرحله رشد رویشی در ارزن ۲۵ درصد و در سورگوم ۳۰ درصد عملکرد را پایین آورد. به نظر می‌رسد که مصرف متعادل آب طی مراحل مختلف نمو در تیمار شاهد (آبیاری معمول) منجر به بهبود عملکرد دانه می‌شود. همچنین بهره‌مندی بیشتر از امکانات محیطی در تیمار شاهد با افزایش طول دوره رسیدگی می‌تواند در ارتقاء کمی و کیفی محصول نقش بسزایی داشته باشد (Roshdi and Rezadost, 2005).

ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی

میزان شدت تنش (Stress intensity, SI) در این پژوهش ۰/۲۴ برآورد شد (جدول ۳). بررسی شاخص‌های تحمل در این آزمایش نشان داد که بر اساس شاخص SSI لاین KGS15 با SSI برابر ۰/۵۹ کمترین مقدار را داشت و متحمل‌ترین ژنوتیپ نسبت به شرایط تنش خشکی بود

جدول ۲- میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای تحت شرایط معمول (ردیف بالا) و تنش خشکی شدید
Table 2. Mean of the studied traits in grain sorghum under normal (up) and severe stress (below) conditions

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول خوشه Panicle length (cm)	تعداد انشعاب خوشه No. of panicle shoots	قطر ساقه Stem diameter (cm)	وزن خوشه Panicle weight (t.ha ⁻¹)	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد زیست‌توده Biologic yield (t.ha ⁻¹)	تعداد دانه در خوشه No. of grain/panicle	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)
کیمیا Kimiya	108.9	27.8	54.8	2.5	12.9	21.4	34.3	3348.9	37.8	9162.5
سپیده Sepideh	108.3	26.6	58.8	2.5	11.3	12.7	23.0	4067.0	35.0	6644.0
KGS15	127.6	29.7	61.2	1.4	11.3	15.0	31.8	3191.5	33.9	7973.6
KGS23	128.4	29.5	63.8	1.3	10.7	8.7	20.4	4520.0	23.4	6147.0
KGS32	114.9	30.3	54.7	2.3	11.0	19.0	31.1	3233.4	33.5	7400.0
	111.7	28.6	56.1	2.0	10.8	12.7	21.8	4410.0	32.3	6345.0
	93.7	20.4	55.2	1.6	12.5	15.2	32.1	4142.4	35.6	8521.9
	97.9	21.3	50.3	1.5	11.1	9.5	22.9	3771.0	33.7	6578.0
	133.9	31.7	64.8	2.4	10.2	20.3	30.1	2961.8	28.5	6843.1
	133.0	31.2	58.8	1.5	7.2	12.0	19.3	2682.0	22.8	4608.0

در شاخص پایداری عملکرد (YSI) مقادیر عددی بیشتر از واحد، حساسیت ژنوتیپ و ضعف پایداری عملکرد در شرایط تنش را نشان می‌دهد (Eberhart and Russel, 1966). ژنوتیپی که به‌عنوان ژنوتیپ با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش توسط شاخص YSI شناسایی می‌شود، از پایین‌ترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار است. در این آزمایش از نظر شاخص YSI، لاین KGS15 در رتبه بالاتری نسبت به همه ژنوتیپ‌ها قرار گرفت و در مقابل لاین KGS32 و رقم کیمیا به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی معرفی شدند که دارای کم‌ترین پایداری عملکرد و یا به عبارتی بیشترین درصد کاهش عملکرد بودند (جدول ۳). شاخص YSI همانند شاخص TOL بر پایه میزان تغییر عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این دو شاخص فاقد توانایی لازم برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا تحت هر دو محیط هستند. در مقابل، شاخص YI رقم کیمیا و لاین KGS23 را به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی بالاترین میزان پایداری عملکرد در دو محیط شناسایی کرد. این دو ژنوتیپ در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالا بودند و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص YI دارای توانایی لازم برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشد (جدول ۳).

از نظر شاخص STI و GMP که مقادیر بالای آن‌ها، نشان‌دهنده تحمل ارقام می‌باشد، رقم کیمیا و لاین KGS23 به‌ترتیب با متوسط عملکرد دانه ۹۱۶۲/۵۱ و ۸۵۲۱/۹۵ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان ارقام متحمل تعیین شدند (جدول ۳). در این آزمایش شاخص MP نیز لاین KGS23 و رقم کیمیا را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش معرفی کرد (جدول ۳). ژنوتیپ‌هایی که توسط شاخص TOL به‌عنوان ارقام متحمل به تنش شناسایی شدند از نظر میزان عملکرد تولیدی در شرایط بدون تنش و تنش در پایین‌ترین رتبه‌ها قرار دارند (جدول ۳). ارقامی که دارای شاخص TOL کمتری هستند در محیط تنش تغییر عملکرد کمتری از خود نشان می‌دهند. مسئله دیگر در مورد این شاخص آن است که پایین بودن شاخص TOL الزاماً به معنی بالا بودن عملکرد رقم در محیط بدون تنش نمی‌باشد، چون ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کمتری همراه باشد که باعث کوچک شدن شاخص TOL شود و در نتیجه این رقم به‌عنوان رقم متحمل معرفی شود (Moghaddam and Hadizade, 2002). بنابراین مشخص می‌شود که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی موفق نیست و گزینش را به‌سوی ژنوتیپ‌های کم‌بازده و متحمل سوق می‌دهد.

جدول ۳- ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش به همراه عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سورگوم تحت شرایط بدون تنش و تنش شدید خشکی
Table 3. Estimation of stress tolerance indices together with grain yield of sorghum genotypes under normal and severe drought stress conditions

ژنوتیپ Genotype	Yp (kg/ha)	Ys (kg/ha)	TOL	MP	GMP	SSI	STI	YI	YSI	R
کیمیا Kimiya	9162.51	6644.44	2518.07	7903.48	7802.55	1.15	0.96	1.10	0.73	27
سپیده Sepideh	7973.61	6147.23	1826.38	7060.42	7001.12	0.95	0.80	1.01	0.77	23
KGS15	7399.99	6344.59	1055.40	6872.29	6851.99	0.59	0.73	1.05	0.85	23
KGS23	8521.95	6577.78	1944.17	7549.87	7487.02	0.95	0.88	1.08	0.77	23
KGS32	6843.06	4608.33	2234.73	5725.70	5615.61	1.36	0.49	0.76	0.67	33
میانگین	7980.22	6064.47	1915.75	7022.35	6951.66	1.00	0.77	1.00	0.76	25.80

*: Yp و Ys به ترتیب عملکرد دانه تحت شرایط معمول و تنش شدید خشکی، TOL شاخص تحمل، MP بهره‌وری متوسط، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به تنش، STI شاخص تحمل به تنش، YI شاخص عملکرد، YSI شاخص پایداری عملکرد و R درصد کاهش صفت تحت شرایط تنش شدید نسبت به شرایط معمول آبیاری است. مقدار شدت تنش در شرایط تنش شدید خشکی در این آزمایش ۰/۲۴ بود.

*: Yp and Ys, grain yield under normal and severe drought stress, respectively; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; SSI, stress susceptibility index; STI, stress tolerance index; YI, yield index; YSI, yield stability index and R, percentage of the reducing trait under severe stress than normal conditions. The stress intensity value under severe drought stress in this experiment was 0.24.

عملکرد بالا و انتخاب بر اساس SSI باعث گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، ولی با پتانسیل عملکرد پایین می‌شود. طبق نظر وی بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های STI و GMP هستند، چون قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی هستند که در هر دو محیط تنش و بدون تنش، عملکرد بالایی تولید می‌کنند.

همبستگی بین صفات و تجزیه علیت

ارتباط بین عملکرد دانه و مؤلفه‌های آن پیچیده است. بدیهی است که برخی از صفات تغییرات عملکرد دانه را بهتر از بقیه توجیه می‌کنند. ضرایب همبستگی کامل ارتباط دوجانبه بین صفات را بدون در نظر گرفتن روابط علت و معلولی بین آن‌ها اندازه‌گیری می‌کند، در صورتی که در تجزیه علیت، اهمیت نسبی صفات و سبب‌ها تعیین می‌شوند. به‌طور کلی، برآورد ضرایب همبستگی در این تحقیق نشان داد که همبستگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی در شرایط معمول بیشتر از شرایط تنش و در هر دو محیط همبستگی‌های ژنتیکی بیشتر از همبستگی‌های فنوتیپی بودند (جدول‌های ۵ و ۶). مقادیر نزدیک و مشابه همبستگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی به دلیل اثر ناچیز محیط می‌باشد (Estilai *et al.*, 1992).

مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، آن است که دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد (Farshadfar, 1998). همبستگی بین شاخص‌های مطالعه شده و عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۴ ارائه شده است. شاخص‌های MP، GMP و STI به ترتیب با ۰/۹۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۶ دارای بالاترین همبستگی با عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش بودند. این شاخص‌ها تحت شرایط تنش نیز به ترتیب دارای همبستگی ۰/۹۵، ۰/۹۶ و ۰/۹۴ با عملکرد دانه بودند. شفاف‌زاده و همکاران (Shafazade *et al.*, 2004) نیز این شاخص‌ها را شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و متحمل به خشکی در گندم معرفی کردند. شاخص عملکرد (YI) دارای بالاترین همبستگی مثبت (۱) با عملکرد دانه تحت شرایط تنش بود و تحت شرایط بدون تنش نیز همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه داشت ($r=0/81$)، بنابراین شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش بود. به اعتقاد فرناندز (Fernandez, 1992) انتخاب بر اساس شاخص MP موجب گزینش ژنوتیپ‌های دارای

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی با عملکرد دانه تحت شرایط معمول آبیاری و تنش شدید
Table 4. Correlation coefficients between drought tolerance indices and grain yield under normal irrigation and severe drought stress condition

شاخص Index	Yp(kg/ha)	Ys(kg/ha)	TOL	MP	GMP	SSI	STI	YI	YSI	%R
Yp(kg/ha)	1									
Ys(kg/ha)	0.81	1								
TOL	0.43	-0.19	1							
MP	0.95*	0.95*	0.14	1						
GMP	0.94*	0.96*	0.10	1.00**	1					
SSI	-0.20	-0.61	0.89*	-0.32	-0.36	1				
STI	0.96*	0.94*	0.15	1.00**	1.00**	-0.31	1			
YI	0.81	1.00**	-0.19	0.95*	0.96*	-0.61	0.94*	1		
YSI	0.08	0.66	-0.86	0.38	0.42	-1.00**	0.37	0.66	1	
%R	-0.42	-0.83	0.58	-0.65	-0.68	0.84	-0.66	-0.83	-0.86	1

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

†: Yp و Ys به ترتیب عملکرد دانه تحت شرایط معمول و تنش شدید خشکی، TOL شاخص تحمل، MP بهره‌وری متوسط، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به تنش، STI شاخص تحمل به تنش، YI شاخص عملکرد، YSI شاخص پایداری عملکرد و R درصد کاهش صفت تحت شرایط تنش شدید نسبت به شرایط معمول آبیاری است. مقدار شدت تنش در شرایط تنش شدید خشکی در این آزمایش ۰/۲۴ بود.

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

†: Yp and Ys, grain yield under normal and severe drought stress, respectively; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; SSI, stress susceptibility index; STI, stress tolerance index; YI, yield index; YSI, yield stability index and R, percentage of the reducing trait under severe stress than normal conditions. The stress intensity value under severe drought stress in this experiment was 0.24.

معنی‌دار بین صفات زراعی و مورفولوژیک با عملکرد دانه در بیشتر گیاهان و محصولات زراعی و از جمله سورگوم گزارش شده است. اگرچه اطلاع از این برآوردها در تعیین اجزای متشکله صفت پیچیده‌ای مانند عملکرد دانه مهم است، ولی تصویر درستی از اهمیت نسبی و میزان آثار مستقیم و غیر مستقیم هر یک از این صفات را بر عملکرد دانه ارایه نمی‌دهد. از طرف دیگر، اصلاح جمعیت‌ها برای عملکرد دانه به دلیل ماهیت پیچیده عملکرد (کنترل آن با تعداد زیاد ژن‌های کوچک‌اثر، تاثیرپذیری شدید از عوامل محیطی و روابط مختلف آن با صفات دیگر) بسیار مشکل است و بهتر است از صفات دیگر برای اصلاح عملکرد استفاده شود، اما نمی‌توان فقط با توجه به همبستگی بین عملکرد با صفات دیگر، صفات مناسب برای اصلاح عملکرد را انتخاب کرد. برای این منظور لازم است سهم آثار مستقیم و غیر مستقیم صفات مختلف در توجیه تغییرات عملکرد ارزیابی و از این طریق صفات مناسب برای اصلاح عملکرد انتخاب شوند که این کار می‌تواند به وسیله تجزیه علیت انجام شود.

عملکرد دانه، بیشترین همبستگی فنوتیپی مثبت و معنی‌دار را با وزن خوشه، عملکرد زیست‌توده و وزن هزار دانه و بیشترین همبستگی منفی را با ارتفاع بوته، طول خوشه و تعداد انشعابات خوشه داشت. همچنین، عملکرد دانه بیشترین همبستگی‌های ژنوتیپی مثبت و معنی‌دار را با طول خوشه، قطر ساقه، وزن خوشه، عملکرد علوفه تر، عملکرد زیست‌توده، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه و کمترین همبستگی را با تعداد انشعابات خوشه دارا بود. عملکرد زیست‌توده نیز بیشترین همبستگی فنوتیپی مثبت و معنی‌دار را با قطر ساقه و بیشترین همبستگی ژنوتیپی مثبت و معنی‌دار را با قطر ساقه، وزن خوشه و عملکرد علوفه تر داشت که با گزارش‌های دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (Lothrop *et al.*, 1985). عدم اطلاع کافی از ارتباط بین صفات مختلف و پرداختن به انتخاب یک جانبه برای صفات زراعی موجب عدم پیشرفت یا حصول نتایج نامطلوب می‌شود. از این‌رو، در طراحی و اجرای برنامه‌های به‌نژادی لازم است به همبستگی بین صفات مختلف توجه شود. وجود همبستگی‌های مثبت و منفی

جدول ۵- همبستگی‌های فنوتیپی (بالای قطر) و ژنوتیپی (پایین قطر) بین صفات مورد مطالعه در سورگوم دانه‌ای تحت شرایط بدون تنش
 Table 5. Phenotypic (above diagonal) and genotypic (below diagonal) correlation coefficients among the studied traits in grain sorghum under normal condition

شماره Code	صفت Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ارتفاع بوته Plant height (cm)	1	0.89*	0.85*	0.16	-0.82*	0.24	-0.55	-0.92*	-0.74	-0.70
2	طول خوشه Panicle length (cm)	1.00**	1	0.55	0.46	-0.72	0.50	-0.38	-0.99**	-0.56	-0.61
3	تعداد انشعابات خوشه No. of panicle shoots	0.35	0.36	1	-0.07	-0.74	-0.01	-0.63	-0.60	-0.83*	-0.66
4	قطر ساقه Stem diameter (cm)	0.99*	0.99*	0.40	1	-0.12	0.98**	0.07	-0.46	-0.15	-0.14
5	وزن خوشه Panicle weight (t.ha ⁻¹)	0.99*	0.99*	0.48	0.99*	1	-0.08	0.92*	0.69	0.94**	0.98**
6	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t.ha ⁻¹)	0.99*	0.99*	0.41	1.00**	0.99*	1	0.92*	-0.52	-0.11	-0.06
7	عملکرد زیست‌توده Biologic yield (t.ha ⁻¹)	0.97*	0.98*	0.55	0.98*	0.99*	0.98*	1	0.34	0.92*	0.96**
8	تعداد دانه در خوشه No. of grain/panicle	0.95*	0.96*	0.62	0.96*	0.98*	0.97*	0.99*	1	0.56	0.57
9	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	1.00**	1.00**	0.38	1.00**	0.99*	1.00**	0.98*	0.96*	1	0.95**
10	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	0.99*	0.99*	0.41	1.00**	0.99*	1.00**	0.98*	0.97*	0.99*	1

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪. * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

وزن هزار دانه بعد از وزن خوشه بیشترین اثر مستقیم مثبت (۰/۴۹۷) را روی عملکرد دانه داشت. این صفت اثر غیرمستقیم خود را که در حدود ۰/۴۹۲ بود، به ترتیب از طریق وزن خوشه (۰/۴۹۵) و عملکرد زیست‌توده (۰/۰۰۳-) اعمال کرد. عملکرد زیست‌توده اثر مستقیم ناچیز و منفی ۰/۰۰۳- روی عملکرد دانه اعمال کرد، اما اثر غیرمستقیم این صفت بر عملکرد دانه بسیار بالا (۰/۹۸۲) بود که از طریق وزن خوشه (۰/۴۹۵) و وزن هزار دانه (۰/۴۸۷) اعمال کرد (جدول ۷).

نتایج تجزیه علیت تحت شرایط تنش شدید جالب توجه بود، به طوری که آثار مستقیم و غیرمستقیم هر سه صفت وزن خوشه، عملکرد زیست‌توده و وزن هزار دانه بر عملکرد دانه نسبتاً یکسان و حدود ۰/۳ بود (جدول ۸). بنابراین، برای اصلاح عملکرد دانه سورگوم تحت شرایط تنش شدید خشکی می‌توان گزینش‌های غیرمستقیمی از طریق هر سه صفت فوق انجام داد.

برای انجام تجزیه علیت ابتدا تجزیه رگرسیون گام به گام به منظور شناخت صفات مهم تاثیرگذار بر عملکرد دانه انجام شد. نتایج نشان داد که سه صفت وزن خوشه، عملکرد زیست‌توده و وزن هزار دانه صفات مستقل و مهم موثر بر عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های سورگوم مورد مطالعه بودند. بر این اساس، تجزیه علیت با در نظر گرفتن عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته و سه صفت بالا به عنوان متغیرهای مستقل انجام و ضریب همبستگی ژنوتیپی بین این سه صفت با عملکرد دانه به آثار مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بر عملکرد تجزیه شد و نتایج آن به ترتیب تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی شدید در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تحت شرایط معمول آبیاری، وزن خوشه بیشترین اثر مستقیم (۰/۵۰) را بر عملکرد دانه داشت. مجموع آثار غیرمستقیم این صفت نیز ۰/۴۸۹ بود، به طوری که اثر منفی ناچیز ۰/۰۰۳- از طریق عملکرد زیست‌توده و اثر قابل توجه ۰/۴۹۲ از طریق وزن هزار دانه روی عملکرد دانه داشت. این نتیجه با گزارش تحقیقاتی ازیکو و محمد (Ezeeku

جدول ۶- همبستگی های فنوتیپی (بالای قطر) و ژنوتیپی (پایین قطر) بین صفات مورد مطالعه در سورگوم دانه‌ای تحت شرایط تنش شدید
Table 5. Phenotypic (above diagonal) and genotypic (below diagonal) correlation coefficients among the studied traits in grain sorghum under severe stress condition

شماره Code	صفت Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ارتفاع بوته Plant height (cm)	1	0.91**	0.79	-0.43	-0.73	-0.04	-0.95**	-0.33	-0.94**	-0.79
2	طول خوشه Panicle length (cm)	0.98**	1	0.79	-0.09	-0.62	0.31	-0.82	-0.18	-0.73	-0.68
3	تعداد انشعابات خوشه No. of panicle shoots	0.33	0.33	1	-0.08	-0.20	-0.07	-0.58	0.19	-0.64	-0.29
4	قطر ساقه Stem diameter (cm)	0.94*	0.95*	0.38	1	0.38	0.78	0.60	0.22	0.72	0.43
5	وزن خوشه Panicle weight (t.ha ⁻¹)	0.95*	0.94*	0.44	0.95*	1	-0.20	0.83*	0.86*	0.71	0.99**
6	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t.ha ⁻¹)	0.95*	0.95*	0.39	0.98**	0.95*	1	0.11	-0.23	0.34	-0.15
7	عملکرد زیست‌توده Biologic yield (t.ha ⁻¹)	0.94*	0.93*	0.51	0.94*	0.95*	0.95*	1	0.47	0.96**	0.88*
8	تعداد دانه در خوشه No. of grain/panicle	0.91*	0.92*	0.59	0.92*	0.93*	0.92*	0.95*	1	0.36	0.81*
9	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	0.98**	0.98**	0.34	0.98**	0.94*	0.98**	0.94*	0.94*	1	0.78
10	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	0.95*	0.92*	0.39	0.98**	0.95*	0.98**	0.95*	0.91*	0.95*	1

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪. **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۷- تجزیه علیت بر اساس همبستگی های ژنوتیپی بین عملکرد دانه و صفات موثر بر آن تحت شرایط معمول آبیاری
Table 7. Path analysis based on genotypic correlations between grain yield and it's affected traits under normal irrigation condition

صفت Trait	وزن خوشه Panicle weight	عملکرد زیست‌توده Biologic yield	وزن هزار دانه 1000-grain weight	مجموع آثار غیرمستقیم Total indirect effects	همبستگی با عملکرد دانه Correlation with grain yield
وزن خوشه Panicle weight	<u>0.500</u> †	-0.003	0.492	0.489	0.99**
عملکرد زیست‌توده Biologic yield	0.495	<u>-0.003</u>	0.487	0.982	0.98**
وزن هزار دانه 1000-grain weight	0.495	-0.003	<u>0.497</u>	0.492	0.99**

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

†: اعدادی که زیر آن‌ها خط کشیده شده است، آثار مستقیم (ضرایب علیت) هستند.

**: Significant at 1% probability level.

†: The underline numbers are indirect effects (path coefficients).

جدول ۸- تجزیه علیت بر اساس همبستگی‌های ژنوتیپی بین عملکرد دانه و صفات موثر بر آن تحت شرایط تنش شدید

Table 8. Path analysis based on genotypic correlations between grain yield and its affected traits under severe stress condition

صفت Trait	وزن خوشه Panicle weight	عملکرد زیست‌توده Biologic yield	وزن هزار دانه 1000-grain weight	مجموع آثار غیرمستقیم Total indirect effects	همبستگی با عملکرد دانه Correlation with grain yield
وزن خوشه Panicle weight	0.310 [†]	0.300	0.340	0.640	0.95*
عملکرد زیست‌توده Biologic yield	0.300	0.310	0.34	0.640	0.95*
وزن هزار دانه 1000-grain weight	0.290	0.290	0.360	0.580	0.95*

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

†: اعدادی که زیر آن‌ها خط کشیده شده است، آثار مستقیم (ضرایب علیت) هستند.

*: Significant at 1% probability level.

†: The underline numbers are indirect effects (path coefficients).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که رقم کیمیا و لاین KGS23 به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی بودند. برآورد ضریب همبستگی بین عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش با شاخص‌های تحمل به خشکی در این پژوهش نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی در ارقام سورگوم دانه‌ای بودند. با محاسبه ضرایب همبستگی ژنوتیپی مشخص شد که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با طول خوشه، قطر ساقه، وزن خوشه، عملکرد علوفه تر، عملکرد زیست‌توده، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه است. نتایج تجزیه علیت بر اساس ضرایب همبستگی ژنوتیپی نیز نشان داد که دو صفت وزن خوشه و وزن هزار دانه که دارای اثر مستقیم مثبت و بالایی بر عملکرد دانه تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش شدید خشکی بودند، معیارهای مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول و متحمل به تنش خشکی در سورگوم دانه‌ای هستند.

بیتینگر و همکاران (Bittinger *et al.*, 1981)

همبستگی ارتفاع گیاه و وزن خوشه را مثبت و معنی‌دار گزارش کردند. این نتایج بیانگر آن است که می‌توان عملکرد دانه را از طریق تغییر در صفات دیگر افزایش داد. همچنین استنباط می‌شود که انتخاب برای عملکرد دانه بر صفات دیگر تأثیر می‌گذارد. این محققین همچنین ابراز داشتند که وزن خوشه جزء مهم عملکرد دانه در واحد سطح است و بنابراین افزایش عملکرد دانه از طریق گزینش برای وزن خوشه امکان‌پذیر است. وزن خوشه و وزن هزار دانه از جمله اجزای اصلی عملکرد دانه در سورگوم دانه‌ای هستند. از آنجایی که این دو صفت بیشترین تأثیر مستقیم و غیرمستقیم را روی عملکرد دانه داشتند، بنابراین می‌توانند به‌عنوان معیارهایی برای انتخاب ارقام پرمحصول سورگوم دانه‌ای به‌کار روند. آذری نصرآباد و رضانی (Azari-Nasrabad and Ramazani, 2011) نیز با مطالعه همبستگی بین صفات و تجزیه علیت برای عملکرد دانه به نتایج تقریباً مشابهی دست یافتند و بیان داشتند که وزن خوشه بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد دانه داشت، در حالی که تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و طول خوشه از طریق وزن خوشه تأثیر غیرمستقیم بالایی بر عملکرد دانه داشتند.

References

- 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).
- Bittinger, T. S., Cantrell, R. P., Axtell, I. D. and Nyquist, W. E. 1981. Analysis of quantitative traits in PP9 random mating sorghum population. *Crop Science* 21: 664-669.

- Bousslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984.** Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science** 24: 933-937.
- Clarke, J. M. and McCaig, T. N. 1982.** Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. **Crop Science** 22: 503-506.
- Dewey, D. R. and Lu, K. H. 1959.** A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. **Agronomy Journal** 51: 515-518.
- Eberhart, S. A. and Russel, W. A. 1966.** Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science** 6: 36-40.
- Estilai, A., Ehdaie, B., Naqvi, H. H., Dierig, D. A., Ray, D. T. and Thompson, A. E. 1992.** Correlation and path analysis of agronomic traits in guayule. **Crop Science** 32: 953-957.
- Ezeeku, I. E. and Mohamed, S. G. 2006.** Character association and path analysis in grain sorghum. **African Journal of Biotechnology** 5 (14): 1337-1340.
- FAO. 2013.** FAO data base [online]. Food and Agricultural Organization. Available at <http://faostat.fao.org>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. 2009.** Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development** 29: 185-212.
- Farshadfar, E. 1998.** Application of quantitative genetic in plant breeding. University of Razi Press, Kermanshah, Iran. (In Persian).
- Fernandez, G. C. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Tainan, Taiwan.
- Ferrari, E. and Fernandez, J. M. 1986.** Genetic variability in sunflower and soybean under drought. I: Yield relationships. **Australian Journal of Agriculture Research** 37: 573-583.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: Grain yield response. **Australian Journal of Agriculture Research** 29: 897-912.
- Gavazzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L. and Borghi, B. 1997.** Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science** 77: 523-531.
- Lothrop, J. E., Atkins, R. E. and Smith, O. S. 1985.** Variability for yield and yield components in LAIR grain sorghum random mating population. 1: Means, variance components and heritabilities. **Crop Science** 25: 235-240.
- Moghaddam, A. and Hadizade, M. H. 2002.** Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. **Plant and Seed Journal** 18 (3): 255-272. (In Persian with English Abstract).
- Naderi, A., Majidi-Hervan, E., Hashemi-Dezfoli, A., Rezaei, A. and Nourmohammadi, G. 2000.** Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. **Plant and Seed Journal** 15 (4): 390-402. (In Persian with English Abstract).
- Pourmoradi, S. and Mirzaie-Nadoushan, H. 2011.** Path analysis of morphological traits and forage yield on several populations of *lolium* species. **Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research** 18 (2): 345-362. (In Persian with English Abstract).
- Rao, G. N. 1983.** Statistics for agricultural science. Oxford and IBH Pub. Co., London.
- Roshdi, M. and Rezadost, S. 2005.** Study of different irrigation levels on qualitative and quantities traits of sunflower. **Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resource** 46 (5): 1241-1250. (In Persian with English Abstract).
- Rosielle, A. and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 943-946.
- Shafazadeh, M. K., Yazdanehpas, A. Amini, A. and Ghannadha, M. R. 2004.** Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. **Seed and Plant Journal** 20 (1): 57-71. (In Persian with English Abstract).
- Williams, W. A., Jones, M. B. and Demment, M. W. 1990.** A concise table for path analysis statistics. **Agronomy Journal** 82: 1022-1024.



University of Guilan
Faculty of Agricultural
Sciences

Cereal Research
Vol. 7, No. 1, Spring 2017 (129-141)

Evaluating the relationships between grain yield and important agronomic traits in cultivars and promising lines of grain sorghum under non-stress and drought stress irrigation regimes

Azim Khazaei¹, Atefeh Sabouri^{2*}, Zahra Sadat Shobbar³ and Maryam Shahbazi³

Received: September 8, 2015

Accepted: January 11, 2016

Abstract

To evaluate the relationships between grain yield and some important agronomic traits in grain sorghum cultivars and promising lines, an experiment was conducted as a split plots arrangement based on randomized complete block design with three replications in Seed and Plant Improvement Research Institute, Karaj, Iran, during two growing seasons 2013-2014. Irrigation treatments as the main factor at three levels (normal irrigation or non-stress, mild water stress and severe water stress) and genotypes as sub-factor at five levels (Kimiya, Sepideh, KGS15, KGS23, and KGS32) were considered. The results of combined analysis of variance for morphologic and yield traits showed that there was the significant differences at 1% probability level among the genotypes for all studied traits. Evaluation of the stress tolerance index (STI) and geometric mean productivity (GMP) showed that the genotypes Kimiya and KGS23 with grain yield of 9162.5 and 8521.9 kg.ha⁻¹, respectively under non-stress and 6644.0 and 6578.0 kg.ha⁻¹, respectively under severe stress conditions, were determined as tolerant genotypes in this research. The results of genetic correlation coefficients among traits under normal and stress conditions indicated that there was a significant positive correlation between grain yield and panicle length, stem diameter, panicle weight, fresh forage yield, biologic yield, number of grain per panicle and 1000-grain weight. The result of path analysis for grain yield showed that panicle weight and 1000-grain weight had a considerable positive direct effect on grain yield under both non-stress and drought stress conditions, but biologic yield had a little negative direct effect under non-stress and a high positive direct effect under drought stress. Therefore, indirect selection using panicle weight and 1000-grain weight is recommended for improving grain yield of sorghum.

Keywords: Genotypic correlation coefficient, Path analysis, Selection breeding, Tolerance indices

1. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

2. Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

3. Assist. Prof., Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

* Corresponding author: a.sabouri@guilan.ac.ir