

ارزیابی تحمل خشکی در لاین‌های پیشرفته سورگوم دانه‌ای

عظیم خزائی

مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

چکیده

به منظور ارزیابی تحمل خشکی در لاین‌های پیشرفته سورگوم دانه‌ای، آزمایشی به صورت کرت-های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ اجرا شد. در این آزمایش اعمال تیمار آبیاری در سه سطح به صورت آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر (آبیاری نرمال)، ۱۲۰ میلی‌متر (تنش ملایم) و ۱۸۰ میلی‌متر (تنش شدید) تبخیر از سطح تشتک تبخیر، به عنوان عامل اصلی و ۷ لاین پیشرفته سورگوم دانه‌ای (KGS36 & KGS32, KGS27, KGS25, KGS23, KGS19, KGS15) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج ارزیابی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی نشان داد که بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) لاین‌های KGS15 و KGS19 با عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش (STI) میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) لاین KGS32 با عملکرد دانه به میزان ۱۱۲۴۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط بدون تنش و عملکرد دانه ۶۳۶۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش شدید به همراه لاین KGS36 به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط شناخته شدند. شاخص‌های STI, GMP و MP با همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه به عنوان معیارهای مناسب جهت معرفی و تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند و لاین‌های KGS32 و KGS36 به عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی تعیین شدند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تحمل خشکی، *Sorghum bicolor* L.، تحمل تنش

Evaluation of Drought Tolerance in Advanced Grain Sorghum Lines

Azim Khazaei

Seed and Plant Improvement Institute, Karaj

Abstract:

In order to study of drought tolerance in advanced grain sorghum lines, an experiment was conducted in a split-plot on randomized complete block design with three replications in experimental field of seed and plant Improvement Institute, Karaj, Iran during 2009-2010. Irrigation regimes were assigned to main plots at three levels including normal irrigation (I1=60mm), moderate stress (I2=120mm) and sever stress (I3=180mm). Seven lines including KGS15, KGS19, KGS23, KGS25, KGS27, KGS32 & KGS36 were considered as sub-plots. Results on stress susceptibility index (SSI) and tolerance index (TOL) showed that lines KGS15 and KGS19 were more tolerant than other lines. Stress tolerance index (STI), mean productivity (MP) and geometric mean productivity (GMP) showed that line KGS32 with grain yield 11240 Kg/ha under non-stress condition and 6368 Kg/ha under stress condition along with line KGS36 determined as genotypes with highest yield under both optimum irrigation and drought conditions. Presense of high and positive correlation between STI, MP and GMP grain yield indicated that all of these indices could be used for selection of drought tolerant genotypes. It is concluded that lines KGS32 and KGS36 are suitable genotypes for cultivation under drought stress conditions.

Key words: Drought indices, *Sorghum bicolor* L., Stress tolerance

مقدمه

سورگوم (*Sorghum bicolor*) با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی منحصر به فردی که دارد به عنوان شاخص گیاهان زراعی مقاوم به خشکی معرفی شده است و نسبت به سایر گیاهان زراعی مقاوم تر بوده و نیاز آبی کمتری دارد (معاونی، ۱۳۸۲). سورگوم دانه‌ای به عنوان غذای اصلی برای میلیون‌ها نفر در چین، هند و آفریقا مطرح می‌باشد و در سایر نقاط جهان نیز برای مصارف تعلیف دام‌ها کاربرد دارد. تولید جهانی سورگوم دانه‌ای در سال ۲۰۰۹ حدود ۸۰ میلیون تن بوده است که به ترتیب اهمیت در بین غلات جهان پس از گندم، برنج و ذرت در مقام چهارم قرار می‌گیرد (فائو، ۲۰۰۹). با توجه به سیستم فتوسنتزی، نحوه فعالیت روزنه‌ای و سیستم ریشه‌ای این گیاه هم قادر است آب را بهتر جذب کند و هم اینکه تلفات آب را به اتمسفر کمتر نماید و حتی بعد از یک دوره خشکی طولانی روزنه‌ها قادر خواهند بود فعالیت مجدد خود را بدون آسیب شروع کنند (کوچکی، ۱۳۶۴). ناروئی‌راد (۱۳۸۲) با ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش در گیاه سورگوم گزارش نمود که اکثر صفات و به خصوص اجزاء عملکرد به خشکی عکس‌العمل منفی نشان می‌دهند که در این میان صفت عملکرد آسیب بیشتری می‌بیند، همچنین شاخص تحمل به تنش (STI) را در جداسازی ژنوتیپ‌های

متحمل به خشکی را از سایر شاخص‌ها موفق تر اعلام نمودند.

در صورتی که سورگوم با تنش خشکی مواجه شود، اندازه بذر عموماً تحت تأثیر قرار گرفته و کوچک می‌شود. تعداد پانیکول در مترمربع تحت تأثیر تنش‌های رطوبتی قرار نمی‌گیرد، مگر اینکه تنش به حدی باشد که از شکل‌گیری پانیکول جلوگیری به عمل آورد. از حدود یک هفته قبل از ظهور پانیکول یا مرحله ظهور غلاف آخرین برگ و دو هفته بعد از این مرحله، مرحله گلدهی آغاز و گیاه سورگوم به آب نیاز مبرم جهت تولید عملکرد بیشتر در زمانی که گیاه تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد، دارد (گوپتا، ۱۹۸۳).

عواملی که می‌توانند تنش را افزایش دهند عبارتند از: شوری بالا، آب کشیدگی (دهیدراسیون)، سرما و گرما که این عوامل نهایتاً بر روی رشد و تولید گیاه تأثیر می‌گذارند (گیرینگ و گود، ۱۹۸۳). گیاهان با مکانیسم‌های متفاوتی از جمله تغییرات مورفولوژیکی، الگوی رشد، به خصوص عوامل فیزیولوژیکی و عکس‌العمل‌های بیوشیمیایی برای شرایط تنش سازگار می‌شوند (رستمی و یزدی صمدی، ۱۳۷۰). ویژگی دیگری که باعث افزایش این مقاومت می‌شود وجود پوشش مومی بر سطح برگ‌ها می‌باشد که تلفات تعرقی آب را کاهش می‌دهد. همچنین سورگوم دارای توانایی کاهش تلفات آب از طریق آرایش برگ‌ها و تنظیم

فیشر و ماورر (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش ((SSI و فرناندز (۱۹۹۲) شاخص تحمل به تنش ((STI را برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی متحمل به خشکی معرفی کردند. هرچه مقدار SSI کمتر باشد حساسیت به تنش کمتر و تحمل به آن بیشتر است. در محاسبه شاخص حساسیت به تنش یک جزء بنام SI وجود دارد که به عنوان سختی محیط نامبرده می‌شود. هرچه میزان SI بزرگ‌تر باشد حاکی از شرایط سخت‌تر است (بانت و همکاران، ۱۹۹۵). فرناندز (۱۹۹۲) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط (تنش و شرایط عادی) واکنش گیاهان را به چهار گروه تقسیم کرد: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط، عملکرد بالایی دارند (گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط عادی عملکرد بالایی دارند (گروه B)، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش، عملکرد خوبی دارند (گروه C) و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد پایینی هستند (گروه D). بهترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از سه گروه دیگر متمایز کند به نظر می‌رسد که شاخص‌های MP، TOL و SSI برای این منظور مناسب نیستند. طبق نظر فرناندز (۱۹۹۲) بهترین شاخص برای گزینش ارقام، شاخص تحمل به تنش (STI) می‌باشد او معتقد است که شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) با توجه به همبستگی‌های بالا و معنی‌دار موجود بین آن‌ها و عملکرد دانه در

روزنه‌ها و استفاده از مواد فتوسنتزی ساخته شده قبل از گرده‌افشانی برای تکمیل رشد خود می‌باشد (کوچکی، ۱۳۶۴). مقاومت گیاهان به خشکی به میزان رطوبت خاک و ژنوتیپ بستگی دارد، به این ترتیب که در مقدار معینی از رطوبت خاک، توانایی عملکرد دانه یک ژنوتیپ ممکن است بیشتر از ژنوتیپ دیگر باشد. بر این اساس، مقاومت به خشکی در گیاه به مجموعه‌ای از ساز و کارها و واکنش‌های پیچیده اطلاق می‌شود که گیاه در صورت مواجه شدن با کمبود آب، توانایی رشد و نمو موفقیت‌آمیز خود را تا حدودی حفظ می‌کند (رستمی و یزدی صمدی، ۱۳۷۰). بنابه اظهار ریچاردز (۱۹۹۶) انتخاب براساس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش باعث انتخاب ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط تنش می‌گردد، چون پاسخ به انتخاب در شرایط بدون تنش به دلیل بالا بودن وراثت‌پذیری عملکرد در شرایط بدون تنش، حداکثر است. مستقیم‌ترین معیار برای ارزیابی پاسخ به استرس‌ها میزان عملکرد است، زیرا ساز و کارهای اساسی ژنتیکی برای هر دو عملکرد دانه و بیوماس، تحت تاثیر محیط می‌باشند. به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شاخص‌های مختلفی براساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش معرفی شده است. روزیلی و هامبلین (۱۹۸۱) شاخص‌های تحمل (TOL) و میانگین بهره‌وری (MP)،

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تحمل به خشکی در لاین‌های پیشرفته سورگوم دانه‌ای براساس شاخص‌های ارزیابی تنش در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج واقع در طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷۵ دقیقه شرقی انجام شد. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش نشان داد که خاک مزرعه آزمایشی دارای بافت رسی شنی، هدایت الکتریکی (EC) آن ۰/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر، کربنات کلسیم ۹ درصد، کربن آلی ۰/۵۰ درصد، ازت کل ۰/۰۵ درصد، فسفر قابل جذب ۸/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل جذب ۲۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه حدود ۲۷ درصد وزنی، جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و اسیدیته آن حدود ۷/۵ بود.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش آبیاری به عنوان عامل اصلی به صورت تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر کلاس A در سه سطح (۶۰ میلی‌متر، ۱۲۰ میلی‌متر و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و لاین‌ها (KGS36 & KGS32, KGS27, KGS25, KGS23, KGS19, KGS15) به عنوان عامل فرعی مورد

شرایط تنش و بدون تنش، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مطلوب، قابل توصیه می‌باشند. او طی آزمایشی نشان داد که شاخص STI برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش بهتر از سایر شاخص‌ها است. این شاخص بر میانگین هندسی استوار است و مقادیر بالای این شاخص حاکی از تحمل بیشتر به تنش است (خورشیدی و همکاران، ۱۳۸۷).

فریزر و همکاران (۱۹۸۳) معتقدند که بررسی واکنش ارقام نسبت به خشکی اگر تنها بر مبنای حساسیت عملکرد آن‌ها نسبت به خشکی باشد مفیدتر است. در مطالعه سنجری (۱۳۷۷) بر روی گندم همبستگی بالا و مثبت میان شاخص‌های مذکور و عملکرد بالقوه و با عملکرد در شرایط تنش به دست آمد. در یک بررسی مظفری و همکاران (۱۳۷۵) بهترین شاخص ارزیابی تحمل به خشکی را در ژنوتیپ‌های آفتابگردان، شاخص STI دانستند و آن‌ها دریافتند که ژنوتیپ گلشید از نظر شاخص‌های GMP، STI و GMP بهترین ژنوتیپ بود در حالی که از نظر شاخص TOL هیبرید دیگری گزینش شد. در این تحقیق سعی شده تحمل به تنش کمبود آب در تعدادی از لاین‌های پیشرفته سورگوم-دانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و همچنین شاخص و یا شاخص‌های مناسب برای انتخاب لاین‌های سورگوم دانه‌ای با عملکرد بالا و متحمل به خشکی شناسایی گردند.

تنش شدید (۱۸۰ میلی متر تبخیر)، عملکرد سطح ۱۸۰ میلی متر به عنوان سطح تنش انتخاب و شاخص‌های ارزیابی تنش با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند.

ارزیابی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی به طول ۵ متر و عرض ۲/۴ متر شامل ۴ پشته ۶۰ سانتی متری و ۴ خط کاشت بود و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. به خاطر ممانعت از نفوذ آب بین کرت‌ها فاصله سه متر بین کرت‌های اصلی لحاظ گردید، همچنین فاصله بین دو تکرار مجاور پنج متر تعیین گردید. پس از آماده نمودن زمین برای کاشت براساس نتایج تجزیه خاک، میزان کود فسفات آمونیم ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در زمان کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به عنوان سرک در زمانی که ارتفاع بوته‌ها به حدود ۳۵ سانتی متر رسید، براساس آزمون خاک مصرف شد. تاریخ کاشت ۱۸ خرداد ماه بود. تا مرحله چهار برگی آبیاری بطور یکسان هر هفته انجام گرفت و سپس تنش رطوبتی اعمال گردید. آبیاری معمولی یا بدون تنش (آبیاری بعد از ۶۰ میلی - متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A)، تنش ملایم (آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A) و تنش شدید (آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A). بعد از برداشت عملکرد دانه و وزن هزار دانه تعیین شد. تعداد دفعات آبیاری در طول فصل زراعی برای سطح بدون تنش ۱۲، تنش ملایم ۹ و تنش شدید ۶ مرحله بود. با توجه وجود اختلاف معنی دار در عملکرد شاهد (آبیاری معمولی یا بدون تنش) و

(شاخص حساسیت به تنش) $SSI = [1 - (Y_s/Y_p)]/SI$	(Fischer and Maurer, 1978)
(شدت تنش) $SI = 1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)$	(Fischer and Maurer, 1978)
(شاخص تحمل) $TOL = Y_p - Y_s$	(Rosielle and Hamblin, 1984)
(شاخص تحمل به تنش) $STI = (Y_p \times Y_s)/(\bar{Y}_p)^2$	(Fernandez, 1992)
(شاخص میانگین بهره‌وری) $MP = (Y_p + Y_s)/2$	(Rosielle and Hamblin, 1984)
(میانگین هندسی بهره‌وری) $GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$	(Fernandez, 1992)
(شاخص عملکرد) $YI = (Y_s/\bar{Y}_s)$	(Gavazzi et al., 1997)
(شاخص پایداری عملکرد) $YSI = Y_s/Y_p$	(Bousslama and Schapaugh, 1984)
(درصد کاهش) $\% \text{ Reduction} = [(Y_p - Y_s)/Y_p] \times 100$	Choukan et al., 2006

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و مقایسه میانگین آن در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. عملکرد دانه در سال-های انجام آزمایش در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود این امر می‌تواند بخاطر شرایط محیطی متفاوت مثل شرایط دمایی باشد که سبب تفاوت عملکرد دانه در طی دو سال آزمایش شده است. تأثیر سطوح تنش در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید که نشان دهنده اثرات متفاوت سطوح تنش بر عملکرد دانه می‌باشد. بیشترین عملکرد دانه در سطح آبیاری I_1 با متوسط ۹۳۷۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. سطح آبیاری I_2 با متوسط عملکرد دانه ۸۱۳۷ کیلوگرم در هکتار با سطح آبیاری I_1 در یک گروه قرار گرفت یعنی عملکرد دانه در

در روابط فوق \bar{Y}_s و \bar{Y}_p به ترتیب میانگین عملکرد دانه کلید لاین‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی می‌باشد. با تجزیه واریانس مرکب، مقایسه میانگین عملکرد دانه به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. پس از محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و دارای پتانسیل عملکرد بالاتر براساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و غیرتنش برای نتایج دو ساله مشخص شد. به منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص برای تشخیص ارقام متحمل به تنش، همبستگی بین عملکرد دانه در محیط تنش و بدون تنش و شاخص‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

۱۰۱۴۲ کیلوگرم در هکتار در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفتند. اثر متقابل سه گانه آبیاری، ارقام و سال در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری بودند (جدول ۱۰).

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های

منابع تغییر	میانگین مربعات عملکرد دانه
سال	۱۴۴۷۱۵۴۷۳**
تکرار درون سال (اشتباه)	۶۶۶۷۳۰۷
آبیاری	۱۸۹۷۶۱۰۳۵**
سال×آبیاری	۱۷۶۸۵۳ ^{ns}
اشتباه ۱	۹۹۳۵۵۳۱
لاین	۱۹۶۱۷۳۵۶**
لاین×سال	۲۴۹۲۶۷۹ ^{ns}
آبیاری×لاین	۳۵۱۵۸۴۷ ^{ns}
آبیاری×لاین×سال	۲۹۴۱۰۲۶*
اشتباه ۲	۱۴۲۰۸۲۹

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

مقایسه‌ها نشان داد که اثر متقابل سه گانه لاین KGS32، سطح آبیاری I₁ و سال اول با عملکرد دانه ۱۲۹۷۳/۸۹ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد بود و همچنین اثر متقابل سه گانه لاین KGS36 سطح آبیاری I₁ و سال اول با عملکرد دانه به ترتیب ۱۲۹۷۴ و ۱۱۳۶۷ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت.

با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار در عملکرد شاهد (۶۰ میلی متر تبخیر) و ۱۸۰ میلی - متر تبخیر (به ترتیب ۹۳۷۵ و ۵۸۶۹ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد سطح ۱۸۰ میلی متر به عنوان

سطوح آبیاری I₁ و I₂ تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین عملکرد دانه در سطح آبیاری I₃ با متوسط عملکرد ۵۸۶۹ کیلوگرم در هکتار بدست آمد.

تسریع در گلدهی و کوتاه شدن دوره رشد به عنوان یکی از دلایل کاهش عملکرد گیاهی می‌باشد. مظاهری لقب و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند تنش خشکی ضمن کاهش سطح برگ و پیری زودرس موجب افت عملکرد دانه می‌گردد در این راستا فراری و فرناندز (۱۹۸۶) دریافتند که در اثر تنش خشکی در آفتابگردان سطح برگ به سرعت کاهش یافته و تأثیر منفی بر عملکرد دانه می‌گذارد. پدیده خروج خوشه از غلاف برگ سورگوم در شرایط کمبود و محدودیت آب از اهمیت بالایی برخوردار است و کمتر بودن طول و وزن خوشه در تیمار سطوح آبیاری به دلیل خروج کم خوشه‌ها از غلاف برگ و عقیم شدن سنبله‌ها بوده است.

لاین‌ها در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد لاین KGS32 با عملکرد دانه ۹۲۹۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داد و لاین KGS36 با عملکرد دانه ۸۵۰۷ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد، سطح آبیاری I₁ و لاین‌های KGS32 و KGS36 به ترتیب با عملکرد دانه ۱۱۲۴۰ و

بلکه فقط به علت پایین بودن درصد تغییر عملکرد، بوسیله این شاخص به عنوان متحمل‌ترین لاین متمایز شد. بنابراین شاخص SSI گزینش را به سوی لاین‌های متحمل و کم بازده ای که دارای تغییرات عملکرد کمتر در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش رطوبتی است، سوق می‌دهد.

شاخص تحمل به تنش (STI)

لاین KGS32 با میانگین عملکرد دانه ۱۱۲۴۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان لاین متحمل به تنش تعیین شد (جدول ۳). در مجموع شاخص STI زمانی قابل اعتماد است که با عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر گرفته شود. در مطالعه مقدم و هادی‌زاده (۱۳۷۹) مشخص گردید که شاخص تحمل به تنش STI نسبت به شاخص حساسیت به تنش SSI از کارآیی بیشتری در گزینش ژنوتیپ‌های ذرت متحمل به تنش برخوردار است. به طور کلی عکس‌العمل گیاهان زراعی و ارزیابی آن‌ها برای حداکثر عملکرد در شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آن‌ها در استفاده از شرایط محیطی است. این امر از طریق تنظیم اجزای عملکرد و اثرات متقابل ارقام به هنگام بروز شرایط نامطلوب و مطلوب امکان‌پذیر است (جعفرزاده کنارسری و پوستینی، ۱۳۷۷). طبق نظر فرناندز (۱۹۹۲)، بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های STI و GMP

سطح تنش انتخاب و شاخص‌های ارزیابی تنش بر آن اساس محاسبه شدند.

شاخص حساسیت به تنش (SSI)

سختی محیط بر اساس محیط تنش شدید (۱۸۰ میلی‌متر تبخیر) محاسبه شد و مقدار آن ۳۷٪ برآورد شد. شاخص SSI نشان داد که لاین‌های KGS15، KGS19 به ترتیب با SSI‌های ۴۹٪، ۷۷٪ و نسبت به بقیه لاین‌ها تحمل بیشتری داشتند. مطالعات انجام شده توسط فیشر و ماورر (۱۹۷۸) نشان داد که ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص حساسیت محیطی، مواد آزمایش را فقط بر اساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند، به عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان لاین‌های حساس و مقاوم را بدون توجه به عملکرد بالقوه آن‌ها تعیین و شناسایی نمود. شاخص SSI بر اساس نسبت عملکرد هر لاین در شرایط تنش به شرایط بدون تنش در مقایسه با این نسبت در کل لاین‌ها سنجیده می‌شود، بنابراین دو لاین با عملکرد زیاد یا کم در دو محیط می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند، در نتیجه انتخاب بر اساس SSI مناسب نمی‌باشد. در این آزمایش لاین KGS15 به عنوان لاین متحمل بیان شد در صورتی که عملکرد این لاین در شرایط تنش و بدون تنش پایین‌تر از میانگین عملکرد دانه سایر لاین‌ها است. بنابراین لاین KGS15 نه به دلیل تولید عملکرد بالا در شرایط تنش،

دهد. نتایج این بررسی با نتایج احمدزاده (۱۹۹۷) و نتایج مقدم و هادی‌زاده (۲۰۰۰) که اعلام نمودند شاخص MP در گزینش ارقام متحمل به تنش نسبت به شاخصهای SSI و TOL بهتر عمل میکند، کاملاً مطابقت دارد.

میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

از نظر شاخص GMP مقادیر بالای آن، نشان‌دهنده تحمل لاین‌ها می‌باشد لاین‌های KGS32 و KGS36 در شرایط بدون تنش به ترتیب با عملکردهای دانه ۱۱۲۴۰ و ۱۰۱۴۲ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش به ترتیب ۶۳۶۸ و ۶۳۲۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس این شاخص به عنوان ارقام متحمل معرفی شدند (جدول ۳).

شاخص تحمل (TOL)

مقادیر عددی پایین TOL، نشان‌دهنده تحمل نسبی ارقام می‌باشد بنابراین گزینش برای تحمل تنش با حداقل اختلاف در بین Y_p و Y_s همراه است. شاخص TOL نشان داد که لاین‌های KGS15 و KGS19 به ترتیب با عملکرد دانه ۵۴۲۱ و ۶۲۶۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل تعیین شدند (جدول ۳). هر چند این شاخص به تغییرات کمتر و یا ثبات بیشتر در تغییر شرایط اشاره دارد ولی کم بودن شاخص TOL لزوماً بر بالا بودن عملکرد در شرایط عادی یا تحت تنش دلالت ندارد، بلکه ممکن است یک لاین

می‌باشد، چون قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند (گروه A از گروه C, B و D) هستند، در حالی که شنایدر و همکاران (۱۹۹۷) بهترین شاخص در گزینش ژنوتیپ‌های لویا، شاخص GMP معرفی کرده‌اند.

میانگین بهره‌وری (MP)

در این پژوهش شاخص MP، لاین‌های KGS32 و KGS36 به ترتیب با عملکردهای ۶۳۶۸ و ۶۳۲۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش شدید را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش معرفی کرد (جدول ۳). واضح است که هرچه میزان عددی این شاخص بیشتر باشد، تحمل نسبی به تنش بیشتر است. اما این شاخص در گزینش لاین‌هایی که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش هستند، مناسب نیست (خورشیدی و همکاران، ۱۳۸۷). شاخصی جهت گزینش مناسب می‌باشد که منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش شود. به اعتقاد فرناندز (۱۹۹۲) انتخاب براساس MP موجب گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و انتخاب براساس SSI باعث گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ولی با پتانسیل عملکرد پایین می‌گردد. بنابراین شاخص MP گزینش را به سوی لاین‌های پربازده در هر دو شرایط دارای تنش و بدون تنش سوق می‌-

پژوهش لاین‌های KGS15 و KGS19 از نظر شاخص YSI در رتبه بالاتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار گرفتند. در حالی که از نظر شاخص کاهش در آخرین رتبه‌ها جای داشتند (جدول ۳). شاخص YSI همانند شاخص TOL برپایه میزان تغییر عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دو شاخص مذکور فاقد توانایی لازم برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط باشند.

شاخص عملکرد (YI)

شاخص YI لاین‌های KGS32 ، KGS36 و KGS19 را به عنوان ژنوتیپ‌هایی با بالاترین میزان عملکرد دانه در محیط تنش تعیین نمود (جدول ۳). گرچه شاخص YI دارای بالاترین میزان همبستگی مثبت با عملکرد دانه در شرایط تنش بود ($r=0.99$) ولی در شرایط بدون تنش با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار نداشت. لذا شاخص مناسبی برای انتخاب لاین‌های تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش نمی‌باشد که نتایج با گزارش گاوازی و همکاران (۱۹۹۷) که شاخص YI را فاقد توانایی لازم برای گزینش لاین‌ها در شرایط بدون تنش معرفی کرده بودند مطابقت دارد. فرشادفر و همکاران (۱۳۸۰) بر این اعتقادند که مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی بالایی با

در شرایط عادی عملکرد پایینی داشته باشد ولی در شرایط تنش با کاهش اندک عملکرد روبرو شود که موجب کوچکتر شدن شاخص TOL خواهد شد. بنابراین TOL زمانی معتبر است که همراه با عملکرد بالا در نظر گرفته شود. ژنوتیپ‌هایی که توسط شاخص TOL به عنوان لاین‌های متحمل به تنش شناسایی شدند از نظر میزان عملکرد تولیدی در شرایط بدون تنش و تنش در پایین‌ترین رتبه‌ها قرار دارند (جدول ۱) به علاوه پایین بودن شاخص TOL الزاماً به معنای بالا بودن عملکرد لاین در محیط بدون تنش نمی‌باشد چون ممکن است عملکرد لاینی 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 لاین به عنوان لاین متحمل معرفی شود (مقدم و هادی زاده، ۲۰۰۰). بنابر این مشخص می‌شود که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی موفق نبوده و گزینش را به سوی ژنوتیپ‌های کم بازده و متحمل سوق می‌دهد.

شاخص پایداری عملکرد (YSI)

در شاخص پایداری عملکرد (YSI) مقادیر عددی بیشتر از واحد حساسیت ژنوتیپ و ضعف پایداری عملکرد در شرایط تنش را نشان می‌دهد (ابرهارت و راسل، ۱۹۶۶). در این

جدول ۲- مقایسه میانگین مرکب عملکرد دانه لاین‌های پیشرفته سورگوم دانه‌ای مورد بررسی

تیمارها	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
سال اول (Y1)	۸۶۹۰
سال دوم (Y2)	۶۸۹۷
<u>رژیم آبیاری</u>	
I ₁ (۶۰ میلیمتر تبخیر)	۹۳۷۵ a
I ₂ (۱۲۰ میلیمتر تبخیر)	۸۱۳۷ a
I ₃ (۱۸۰ میلیمتر تبخیر)	۵۸۶۹ b
<u>اثر متقابل آبیاری × سال</u>	
Y1 × I1	۱۰۲۱۸ a
Y2 × I3	۴۹۷۳ d
<u>لاین‌ها</u>	
V1(KGS15)	۵۹۷۳ d
V2(KGS19)	۷۹۹۸ c
V3(KGS23)	۸۱۴۲ b
V4(KGS25)	۷۷۱۳ c
V5(KGS27)	۷۸۵۱ c
V6(KGS32)	۹۲۹۹ a
V7(KGS36)	۸۵۰۷ ab
<u>اثر متقابل لاین × سال</u>	
Y1 × V6	۱۰۷۶۴ a
Y2 × V1	۵۲۸۱ f
<u>اثر متقابل لاین × آبیاری</u>	
I1 × V6	۱۱۲۴۰ a
I3 × V1	۵۴۵۲ i

عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد. همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین میزان ضریب همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های تحمل مربوط به شاخص‌های TOL ، MP ، GMP ، SSI و STI به ترتیب با مقادیر ۰/۹۴، ۰/۹۷، ۰/۹۵، ۰/۸۵ و ۰/۹۴ بود که مثبت و از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشند. در شرایط تنش شاخص‌های MP ، GMP ، STI و YI به ترتیب با مقادیر ۰/۷۷، ۰/۸۳، ۰/۸۲ و ۰/۹۹ دارای بیشترین ضرایب همبستگی با عملکرد دانه بودند که مثبت و از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشند (جدول ۴).

جدول ۳- تحمل به تنش خشکی لاین های پیشرفته سورگوم دانه‌ای بر اساس عملکرد پتانسیل (تیمار آبیاری I₁) و عملکرد تنش (تیمار آبیاری I₃)، (SI=0.37)

لاین‌ها	Y _p (kg/ha)	Y _s (kg/ha)	TOL	MP	GMP	SSI	STI	YI	YSI	%R
V1(KGS15)	۶۶۴۳	۵۴۲۱	۱۲۲۲	۶۰۳۲	۶۰۰۱	./۴۹	./۴۱	./۹۲	./۸۲	۱۸/۴
V2(KGS19)	۸۷۵۶	۶۲۶۸	۲۴۸۸	۷۵۱۱	۷۴۰۸	./۷۷	./۶۲	۱/۰۷	./۷۲	۳۹/۷
V3(KGS23)	۱۰۰۶۹	۵۱۴۴	۴۹۲۵	۷۶۰۶	۷۱۹۷	۱/۳۲	./۵۹	./۸۷	./۵۱	۴۸/۹
V4(KGS25)	۹۵۵۹	۵۵۴۹	۴۰۱۱	۷۵۵۴	۷۲۸۳	۱/۱۳	./۶۰	./۹۵	./۵۸	۴۲/۰
V5(KGS27)	۹۸۱۷	۵۷۴۰	۴۰۷۷	۷۷۷۹	۷۵۰۷	۱/۱۲	./۶۴	./۹۸	./۵۸	۴۱/۵
V6(KGS32)	۱۱۲۴۰	۶۳۶۸	۴۸۷۲	۸۸۰۴	۸۴۶۰	۱/۱۷	./۸۱	۱/۰۹	./۵۷	۴۳/۳
V7(KGS36)	۱۰۱۴۲	۶۳۲۰	۳۸۲۲	۸۲۳۱	۸۰۰۶	۱/۰۲	./۷۳	۱/۰۸	./۶۲	۳۷/۷
میانگین	۹۴۶۱	۵۸۳۰	۳۶۳۱	۷۶۴۵	۷۴۰۹	۱	./۶۳	./۹۹	./۶۳	۳۸/۸

Y_s: Yield under drought Condition عملکرد تنش

Y_p: Yield Potential عملکرد پتانسیل

GMP: Geometric Mean Productivity میانگین هندسی بهره‌وری

YI : Yield Index شاخص عملکرد

SI : Stress Index شدت تنش

YSI : Yield Stability Index شاخص پایداری عملکرد

MP : Mean Productivity میانگین بهره‌وری

%R: Reduction درصد کاهش

SSI : Stress Susceptibility Index شاخص حساسیت به تنش

TOL: Tolerance Index شاخص تحمل

STI: Stress Tolerance Index شاخص تحمل به تنش

جدول ۴- تحمل به تنش خشکی لاین های پیشرفته سورگوم دانه ای بر اساس عملکرد پتانسیل (تیمار آبیاری I₁) و عملکرد تنش (تیمار آبیاری I₃)، (SI=0.37)

	Y _p (kg/ha)	Y _s (kg/ha)	TOL	MP	GMP	SSI	STI	YI	YSI	%R
Y _p (kg/ha)	۱									
Y _s (kg/ha)	۰/۶۰*	۱								
TOL	۰/۹۴**	۰/۲۹ ^{ns}	۱							
MP	۰/۹۷**	۰/۷۷**	۰/۸۴**	۱						
GMP	۰/۹۵**	۰/۸۳**	۰/۷۸**	۰/۹۹**	۱					
SSI	۰/۸۵**	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۹۷**	۰/۷۱*	۰/۶۴*	۱				
STI	۰/۹۴**	۰/۸۲**	۰/۷۸**	۰/۹۹**	۰/۹۹**	۰/۶۳ ^{ns}	۱			
YI	۰/۶۰ ^{ns}	۰/۹۹**	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۷۷**	۰/۸۳**	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۸۲**	۱		
YSI	-۰/۸۴**	-۰/۰۹ ^{ns}	-۰/۹۷**	-۰/۷۰*	-۰/۶۳ ^{ns}	-۰/۹۹**	-۰/۶۲ ^{ns}	-۰/۰۹ ^{ns}	۱	
%R	۰/۸۲**	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۹۰**	۰/۷۲*	۰/۶۶*	۰/۹۳**	۰/۶۴*	۰/۲۰ ^{ns}	-۰/۹۲**	۱

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

Ys: Yield under drought Condition عملکرد تنش

Yp: Yield Potential عملکرد پتانسیل

GMP: Geometric Mean Productivity میانگین هندسی بهره‌وری

YI: Yield Index شاخص عملکرد

SI: Stress Index شدت تنش

YSI: Yield Stability Index شاخص پایداری عملکرد

MP: Mean Productivity میانگین بهره‌وری

%R: Reduction درصد کاهش

SSI: Stress Susceptibility Index شاخص حساسیت به تنش

TOL: Tolerance Index شاخص تحمل

STI: Stress Tolerance Index شاخص تحمل به تنش

References:

- Ahmadzade A.** 1997. The determination of the best drought tolerance indices in corn elite lines. M.Sc.Thesis. Faculty of Agriculture, Tuniversity of Tehran.PP.90- 150.
- Bonnot J J, Nelson DE, Jensen RG.** 1995. Adaptations to environmental stresses. *Plant Physiol.* 19:493-500.
- Bousslama M, Schapaugh WET.** 1984. Stress tolerance in Soybean. Part1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Sci.* 24:933-937.
- Choukan R, Taherkhani T, Channadha MR, Khodarahmi M.** 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines usines drought tolerance indices. *Iran. J. Agric. Sci.* 8(1):79-89.
- Eberhart SA, Russelle W.** 1966. Stability paramenters For Comparing Variaties. *Crop Sci.*6: 36-40.
- FAO.** 2009. Food outlook,Global Market Analysis. <http://WWW.Fao.Food.outlook.Com>.
- Farshadfar EA, Zamani MR, Matlabi M, Emam-yome EE.** 2001.Selection fordrought resistance chick pea lines. *Iran. J. Agric. Sci.* 32(1): 65-77
- Ferrari E, Fernandez JM.** 1986. Genetic variability in sunflower and soybean under drought.1.Yield relationships. *Australian Journal of Agriculture Research*, 37, 573 – 583.
- Fereres E, Gimenez C, Brengena J, Fernandez J, Dominguez J.** 1983.GeneticVariability of sunflower cultivars in response to drought. *Helia* 6:17-21.
- Fernandez GCJ.** 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance.Proceeding of the symposium. Taiwan, 13-16 Aug. 1992.AVRDC.PP.257-270.
- Fischer FA, Maurer R.** 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part1: grain yield Response. *Australian Jornal of Agricultural Research* 29:897-912.
- Gavazzi P, Rizza F, Palumbo M, Campaline RG, Ricciardi GL, Borghi, B.** 1997.Evaluation of Field and Laboratory of drought and heat stress in winter Cereals. *Can.J. Plant Sci.* 77:523-531.
- Girirang K, Goud JV.** 1983.Association of yield components and development traits in grain sorghum. *Indian J .Agric. Sci.*, 53:5-8.
- Gupta P.** 1983. Response of some enzymes of nitrogen metabolism to water stress in two species of brassica. *Plant Physiol. Biochem.*10:513.
- Jafarzade–Kenarsari M, Poustini K.** 1997. Evaluation of drought stress in different stages of growth on some morphology traits and yield components of sunflower. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 29 (2), 454 – 461.
- Khorshidi MB, Abdi M, Iranipur S, Akbari R.** 2008. Effect of end season water strees on yield of nine rice cultivars and promising lines based on drought evaluation indices. *Journal of NewAgricultural Sciences*, Islamic Azad University Miyaneh Branch 11:17-29.

- Koocheki A.** 1985. Agronomy on dryland.(Cereals , Leghums , Industrial crops , Forage crops).Mashhad University.
- Koocheki A, Sarmadnia G.** 1999. Physiology of crop plants. Jahad-e – Daneshgahi of Mashhad.
- Mazaherilaghab H, Nori F, Zare – Abyane H, Vafai H.** 2001. Effect of final irrigation on important traits of three varieties of sunflower in dry land farming. Iranian Journal of Agricultural Research, 1, 41 – 44.
- Moaveni P.** 2003. Study to effect of planting space on yield of quantitative and qualitative of forage sorghum .Islamic Azad University Iranshar Branch.
- Moghaddam A, Hadizade M.** 2000. 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.
- Mozafari K, Arshi I, Zinali Khanagha H.** 1996. Study to effect of drought stress in some of morpho physiological traits and yield components of sunflower.Seed and Plant Journal.12(3): 24-33.
- Naderi A, Majidi-Hervan E, Hashemi-Dezfoli A, Rezaei A, 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.
- Narooei Rad M.** 2003. Eliminary of drought stress in sorghum landraces of national plant gene bank of Iran.Agricultural and resources research center of Isfahan .Iran.
- Richards RA.** 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought.Plant Growth Regulation.20(2): 157-166.
- Roshdi M, Rezadost S.** 2005. Study of different irrigation levels on qualitative and quantitative traits of sunflower. Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resource, 46 (5).1241- 1250.
- Rosielle AA, Hamblin J .** 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments.Crop Sci.21:943-945.
- Rostami MA, Yazdi Samadi B.** 1991. Studying drought resistance in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Iranian J. Agric. Sci. 22(203): 4-9
- Sanjari AGh.** 1991. Evaluation of resources of stress drought tolerance and stability wheat yield in semi-arid of country. The seventh Iranian congress of crop sciences. Karaj. Iran.pp 224.
- Schneider KA, Rosales-Serena F, Ibarra-Perez B, Cacaes-Enriquez JA, Acosta-Gllegos R, Ramirec-Vallejo N, Kelly JP.** 1997. Improvement common bean performance under drought stress . Crop Sci. 37: 43-50.
- Sio-se Mardeh A, Ahmadi A, Poustini K, Mohammadi V.** 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental condition.Field Crop Res.98:222- 229.