

Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices

رجب چوکان^۱، توفیق طاهرخانی^۲، محمدرضا قنادها^۳ و منوچهر خدارحمی^۴

ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران. جلد هشتم، شماره ۱، صفحه: ۷۹ تا ۸۹.

K3615/1		K3651/1	TOL	SSI
	HarM GMP STI MP			
(/ / /)	K3615/2	(/ / /)		K19/1
/ / /	K3615/2			
/ / /	K19/1 (/ / /		K3640/6 (
				(

تاریخ دریافت: ۸۵/۲/۳۱

۱- (مکاتبه کننده) عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. کرج.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

۳- عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، کرج.

۴- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. کرج.

مقدم و هادی‌زاده (۱۳۸۱) واکنش هیبریدهای ذرت و لاین‌های والدی آن‌ها به خشکی را با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش بررسی کردند که نتایج نشان داد از میان چهار شاخص محاسبه شده STI، SSI، TOL^۴ و MP^۵، شاخص STI از مزایای بیشتری برای گزینش ارقام مطلوب در شرایط تنش و بدون تنش برخوردار بود. همچنین از میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی، هیبرید SC704 با پتانسیل عملکرد بالا، مناسب شرایط بدون تنش و هیبرید SC704M مناسب شرایط تنش بود. تغییر شرایط محیطی بر هیبرید اخیر تأثیر کمتری نسبت به SC704 داشت. هیبرید SC711 وضعیت بینین دو هیبرید دیگر در آزمایش را داشت. همبستگی میان هیبریدها و لاین‌های والدی در شرایط عادی منفی و ضعیف بود که با تغییر شرایط به حالت تنش، همبستگی‌ها مثبت و قوی‌تر شد.

در خصوص تأثیر تنش رطوبتی بر سایر گیاهان نیز تحقیقات گسترده‌ای انجام گرفته است. خدام‌بخش و همکاران (۱۳۶۶) در بررسی اثر تنش رطوبتی خاک بر عملکرد و اجزای آن در ارقام سویا نشان دادند که تنش اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزای آن داشت. در تمام تیمارهای تنش تعداد گره در بوته کاهش یافت و در مرحله رسیدگی تنش باعث کاهش وزن دانه‌ها گردید. فتح باهری و همکاران (۱۳۷۹) با ارزیابی برخی از شاخص‌های تحمل به خشکی در چند ژنوتیپ جو بهاره همبستگی معنی‌دار بین شاخص STI با شاخص‌های میانگین هارمونیک، MP و GMP در شرایط تنش و بدون تنش گزارش کردند.

شفازاده و همکاران (۱۳۸۳) به منظور بررسی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم زمستانه و بینین با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش آزمایشی را به مورد اجرا

میانگین بارندگی سالیانه ۲۴۰ میلیمتر، ایران را در زمره کشورهای خشک جهان قرار داده است. آب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان به خصوص در مناطق خشک است. هر سال خسارت زیادی از طریق خشکی در مناطق کشت ذرت به این گیاه وارد می‌شود که بر این اساس تحقیقات زیادی انجام شده است. امام و رنجبر (۱۳۷۹) در بررسی تأثیر تراکم بوته و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارآیی استفاده از آب در ذرت دانه‌ای نتیجه گرفتند که تنش خشکی وزن ماده خشک، پوشش بلال و قطر بلال را به صورت معنی‌داری کاهش داد و باعث کاهش عملکرد نهایی دانه در واحد سطح شد.

احمدی و همکاران (۱۳۷۹) در بررسی مقاومت به خشکی در هیبریدهای دیررس تجارتهای ذرت دانه‌ای در سه رژیم آبیاری نشان دادند که بین هیبریدها از نظر صفات رویشی، مراحل نمو، عملکرد و اجزای آن تنوع قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. در این بررسی اکثر صفات مورد بررسی نسبت به شرایط تنش واکنش منفی نشان دادند و بیشترین اثر تنش بر عملکرد دانه بود که ناشی از کاهش تعداد دانه در ردیف، طول بلال و وزن ۵۰۰ دانه بوده است. خلیلی و همکاران (۱۳۸۳) نیز در بررسی و ارزیابی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در هشت ژنوتیپ ذرت دیررس در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله زایشی و رویشی نشان دادند که بر اساس شاخص‌های GMP^1 ، STI^2 هیبریدهایی با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش، و با استفاده از شاخص SSI^3 هیبریدهایی با میانگین عملکرد بالا در شرایط تنش انتخاب می‌گردند.

1- Geometrical mean productivity
3- Stress susceptibility index
5- Mean productivity.

2- Stress tolerance index
4- Tolerance index

عملکرد دانه و اجزای عملکرد ژنوتیپ های گندم در شرایط کم آبیاری نتیجه گرفتند که بیشترین سرعت رشد محصول در مرحله گرده افشانی مربوط به ژنوتیپ های Dovin-1 و Desconcido-7 و کمترین سرعت رشد محصول در مرحله گرده افشانی مربوط به ژنوتیپ های "Mays 74" s، "Kvz/Bjy" s بود.

پلات (Plaut, 1995) گزارش کرد که عدم آبیاری در مرحله گلدهی و تشکیل بلال در ذرت تأثیر بیشتری بر کاهش عملکرد در مقایسه با سایر مراحل دارد. با این وجود، کاهش کم و یکنواخت آب در طی تمام مراحل رشد به طور معنی داری باعث خسارت کم در تولید دانه می شود ولو اینکه مقدار کل آب مصرفی مشابه مرحله عدم آبیاری کامل باشد.

چپمن و همکاران (Chapman et al., 1997) نتیجه گرفتند که در مناطق گرمسیری عملکرد ذرت یکساله در نتیجه خشکی به طور متوسط در حدود ۱۷٪ کاهش می یابد، اما بسته به شدت و زمان وقوع خشکی این کاهش عملکرد به ۸۰٪ هم می رسد. اگر خشکی در آخر فصل اتفاق افتد، ممکن است ژنوتیپ های زودرس از خسارت خشکی اجتناب کنند. از آنجا که عملکرد ذرت عمدتاً یک هفته قبل و بعد از گل دهی به تنش خشکی حساس تر است، صفاتی نظیر فاصله گرده افشانی - کاکل دهی کوتاه (ASI کوتاه) و تعداد بیشتر بلال در هر گیاه (EPP²) می تواند در گزینش برای تحمل به این شرایط مفید باشد.

ادمیدز و همکاران (Edmeads et al., 1990) در بررسی اثر خشکی روی ذرت نتیجه گرفتند که تنش آبی قبل از ظهور کاکل باعث کاهش اندازه بلال ها می شود و این تنش در مرحله گلدهی موجب کاهش دانه بندی در بلال می شود. تنش آبی روی قابلیت زیستی دانه های گرده اثر چندانی نداشته بلکه بیشتر باعث کاهش تعداد دانه های گرده ای می شود که توسط گل تاجی تولید می شوند. در این شرایط گل های تاجی قادر به پخش

گذاشتند که نتایج نشان داد که رتبه بندی ژنوتیپ ها برای میانگین حسابی MP، میانگین هندسی GMP و شاخص تحمل به خشکی STI یکسان بود و از طرفی همبستگی مثبت و معنی داری بین این شاخص ها با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی وجود داشت. بنابراین نتیجه گیری کردند که سه شاخص مذکور برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ های مناسب ترند.

قدسی و همکاران (۱۳۸۲) به منظور تعیین حساسیت مراحل نمو گندم نان به تنش رطوبتی و تأثیر آن بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد آزمایشی را در قالب طرح کرت های خرد شده بر پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی به اجرا در آوردند. نتایج نشان داد اعمال تنش در هر مرحله از نمو گندم باعث کاهش عملکرد شده و مراحل پرشدن دانه و رشد سریع گندم نسبت به کمبود رطوبت بسیار حساس هستند، هر چند اثر سوء تنش بر عملکرد نزدیک مرحله گرده افشانی و در مرحله پنجه زنی بیشتر قابل توجه بود.

نادری و همکاران (۱۳۷۷) در بررسی اثر زمان قطع آبیاری و تاریخ برداشت بر عملکرد کمی و کیفی نیشکر واریته CP-57 در خوزستان نشان دادند که در همه تیمارهای قطع آبیاری، خلوص شربت با پیشرفت زمان به شکل بسیار معنی دار افزایش یافت. درصد ساکاروز با اندک تفاوتی از روند تغییرات خلوص شربت تبعیت کرد. تفاوت میانگین عملکرد ساقه در تیمارهای آزمایشی معنی داری نبود و عملکرد ساکاروز در اثر تأخیر در برداشت محصول به شکل بسیار معنی دار افزایش نشان داد. بالاترین میانگین عملکرد ساکاروز به میزان ۱۶/۲۸ تن در هکتار مربوط به تیمار قطع آبیاری سوم یعنی هفتم مهرماه و برداشت محصول ششم یعنی سوم آذرماه بود.

حسین پور و همکاران (۱۳۸۲) در بررسی برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مؤثر بر

تعداد ۳ بذر کاشته شد که بعد از جوانه زدن و اطمینان از سبز کامل بوته‌ها، بوته‌های اضافی شامل بوته‌هایی که از نظر ظاهری ضعیف بودند حذف و در هر کپه یک بوته نگهداری شد. کود به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نیز به صورت سرک در مرحله حدود ۵ برگی شدن بوته‌ها مصرف شد. در آزمایش شرایط آبیاری کامل، آبیاری بر حسب نیاز ظاهری گیاه به طور متوسط هر ۱۰ روز یک بار انجام شد. در آزمایش تنش مرحله رویشی، آبیاری از ابتدای مرحله رشد سریع گیاه تا ابتدای ظهور گل تاجی متوقف گردید و پس از آن آبیاری به روش آبیاری نرمال ادامه یافت. در آزمایش تنش در مرحله زایشی، آبیاری از آغاز ظهور نوک گل تاجی تا خاتمه دوره گرده افشانی قطع شد، و پس از آن به صورت معمول آبیاری انجام شد. در زمان رسیدن پس از برداشت کلیه بلال‌ها، تعداد ۱۰ بلال به طور تصادفی انتخاب و نسبت به جدا کردن دانه‌ها از چوب بلال اقدام شد. سپس وزن دانه‌ها بر حسب گرم تعیین و میانگین وزن دانه‌ها در یک بوته محاسبه شد. میزان رطوبت هر نمونه تعیین شد و عملکرد نهایی دانه در بوته بر اساس ۱۴ درصد رطوبت تصحیح شد و در هر دو مرحله تنش آبیاری شاخص‌های مربوط به مقاومت به خشکی محاسبه گردید.

نحوه محاسبه شاخص‌ها بدین صورت بود:

$$TOL = Y_p - Y_s \quad M_p = \frac{Y_p + Y_s}{2}$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad STI = \frac{Y_p \times Y_s}{(Y_p)^2}$$

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{SI} \quad Harm = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{Y_p + Y_s} \quad SI = 1 - \frac{X_s}{X_p}$$

که در این فرمول‌ها TOL = شاخص تحمل، M_p = میانگین حسابی، GMP = میانگین هندسی، STI = شاخص تحمل به خشکی، SSI = شاخص حساسیت به خشکی، $Harm$ = میانگین هارمونیک هستند. Y_s عملکرد لاین در شرایط تنش و Y_p عملکرد در شرایط

دانه‌های گرده نبوده و ظهور گل تاجی نیز ممکن است به طور کامل انجام نگیرد. تنش آبی در مرحله گلدهی باعث تأخیر بیشتر در ظهور کاکل نسبت به ظهور گل تاجی و نهایتاً افزایش ASI می‌شود. در تنش‌های شدید ظهور کاکل ممکن است حتی تا بعد از پخش دانه‌های گرده به تعویق بیفتد که منجر به عدم باروری گلچه‌ها و کاهش محصول می‌شود. تأخیر در ظهور کاکل‌ها به علت کافی نبودن آب مورد نیاز جهت طویل شدن سریع سلول‌های تارهای ابریشمی است.

نظر به اهمیت زراعت ذرت در کشور و روند رو به افزایش سطح زیر کشت آن و محدودیت منابع آبی در کشور و اجرای برنامه افزایش تولید ذرت دانه‌ای، این مطالعه جهت بررسی امکان دستیابی به لاین‌های متحمل به خشکی به عنوان والدین هیبریدهای پرمحصول و متحمل به خشکی و در نتیجه امکان توسعه کشت این محصول به اجرا درآمد.

آزمایش در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج در سال ۱۳۸۴ اجرا گردید. تعداد ۲۰ لاین ذرت در سه آزمایش جداگانه در شرایط آبیاری نرمال، تنش در مرحله رویشی و تنش در مرحله زایشی مورد بررسی قرار گرفتند. هر آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کشت گردید. زمین مورد نظر در سال قبل آیش بوده و در فصل پاییز شخم نیمه عمیق زده شد. در اوایل فصل بهار یک دیسک سنگین زده شد و سپس توسط ماله تسطیح گردید. کودهای فسفات آمونیوم به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت مصرف شدند. همزمان با کودپاشی، سم ارادیکان به مقدار ۶ لیتر در هکتار برای کنترل علف‌های هرز استفاده شد. سپس یک دیسک سبک به عمق ۵ الی ۱۰ سانتی‌متر برای مخلوط کردن کود و سم با خاک زده شد. هر لاین در هر کرت در یک ردیف ۲۰ کپه‌ای به فاصله‌ی کپه ۲۰ سانتی‌متر کشت گردید. در هر کپه

بهینه، X_s = میانگین عملکرد لاین ها در شرایط تنش، است همچنین درصد تغییر صفات بر اثر تنش به صورت
 X_p = میانگین عملکرد لاین ها در شرایط بدون تنش زیر محاسبه گردید.

$$100 \times \frac{\text{میزان صفت در شرایط تنش} - \text{میزان صفت در شرایط بدون تنش}}{\text{میزان صفت در شرایط بدون تنش}} = \text{درصد تغییر صفت}$$

شاخص MP شده است. بنابراین شاخص MP در گزینش لاین هایی که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش هستند مناسب نیست (Fernandez, 1992). یک شاخص مناسب برای گزینش آن است که منجر به انتخاب ژنوتیپ هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش گردد (مقدم و هادی زاده، ۱۳۸۱). احمدزاده (۱۳۷۶) گزارش کرد که شاخص MP در شناسایی لاین های پرمحصول و متحمل به خشکی ذرت مطلوب است.

بر اساس شاخص میانگین هارمونیک (HarM) از میان ۲۰ لاین مورد بررسی لاین های K3615/1 و K19/1 به ترتیب با عملکرد ۱/۴۴ و ۲/۸۳ تن در هکتار به عنوان لاین های متحمل به تنش در مرحله زایشی و لاین های K3615/2، K3640/6، K193/4-3-3-2-3 و K19/1 به ترتیب با عملکرد ۲/۷۰، ۲/۹۳، ۳/۰۷ و ۳/۰۷ تن در هکتار به عنوان لاین های متحمل به تنش در مرحله رویشی شناسایی شدند. لازم به توضیح است که مقادیر بالای عددی این شاخص نشان دهنده تحمل نسبی لاین ها است.

برای شاخص تحمل به تنش (STI)، مقادیر بالای شاخص نشان دهنده تحمل لاین ها است، لاین های K3640/6 و K19/1 به ترتیب با عملکرد ۲/۲۰ و ۲/۸۳ تن در هکتار در شرایط تنش مرحله زایشی و لاین های K3615/2 و K3640/6 و K193/4-3-3-2-3 به ترتیب با عملکرد ۲/۷۰، ۲/۹۳ و ۳/۰۷ تن در هکتار به عنوان لاین های متحمل به تنش در مرحله رویشی شناسایی شدند. چون شاخص STI حاصل ضرب دو کمیت $(Y_s \times Y_p)$ است و به دلیل خاصیت ضرب اعداد ممکن است برای جفت هایی از اعداد که با یکدیگر تفاوت ماهوی دارند، مربع میانگین هندسی یکسان باشد

کلیه شاخص های مورد نظر با توجه به فرمول تعریف شده در جداول ۱ و ۲ خلاصه شده است که نتایج آن به شرح زیر می باشد:

برای شاخص بهره وری متوسط (MP) که میزان بالای عددی این شاخص نشان دهنده تحمل نسبی به تنش است، لاین های K3615/2 و K19/1 و K3640/6 به ترتیب با عملکرد ۲/۴۳، ۲/۸۳ و ۲/۲۰ تن در هکتار به عنوان لاین های متحمل به تنش در مرحله زایشی تعیین شدند. بر اساس این شاخص، لاین های K3615/2، K3640/6، K193/4-3-3-2-3 و B73rfc، K3615/1 و K19/1 به ترتیب با عملکرد ۲/۷۰، ۲/۹۳، ۳/۰۷، ۳/۰۷، ۱/۹۱ و ۲/۵۱ تن در هکتار، به عنوان لاین های متحمل در شرایط تنش رویشی تعیین شدند. نتایج نشان داد که لاین های K3615/2 به ترتیب با عملکرد ۴/۷۷، ۲/۴۳، ۲/۷۰ تن در هکتار و K19/1 به ترتیب با عملکرد ۴/۲۰، ۲/۸۳، ۲/۵۱ تن در هکتار و K3640/6 به ترتیب با عملکرد ۴/۴۰، ۲/۲۰، ۲/۹۳ تن در هکتار به عنوان لاین های متحمل در هر سه شرایط آبیاری کامل، تنش در مرحله زایشی و تنش در مرحله رویشی بودند. مقایسه دو لاین K3640/6 و K193/4-3-3-2-3 در شرایط تنش لاین K193/4-3-3-2-3 نشان داد که عملکرد در شرایط تنش لاین K193/4-3-3-2-3 بالاتر از لاین K3640/6 بود ولی شاخص MP آن پایین تر بود. در شرایط تنش در مرحله رویشی از مقایسه لاین B73rfc با K3640/5-1 مشاهده می شود، که علیرغم بالاتر بودن عملکرد در شرایط تنش، این شاخص لاین K3640/5-1 را متحمل تشخیص نداده است. علت را می توان بالاتر بودن عملکرد لاین های K3640/6 و B73rfc در شرایط بدون تنش دانست که باعث بالا رفتن

در شاخص تحمل (TOL) مقادیر عددی پایین نشان‌دهنده تحمل نسبی لاین‌ها است. گروه‌بندی لاین‌ها با استفاده از این شاخص نشان داد که لاین‌های K3640/5-1 و Mo17 و K3651/1 به ترتیب با عملکرد ۲/۰۷، ۱/۲۹ و ۱/۶۴ تن در هکتار به عنوان لاین‌های متحمل به تنش در مرحله زایشی و لاین‌های K3640/5-1، K3615/1، K193/4-3-3-2-3 به ترتیب با عملکرد ۲/۳۱، ۳/۰۷، ۳/۰۷ تن در هکتار را به عنوان لاین‌های متحمل به شرایط تنش در مرحله رویشی شناسایی گردیدند. لاین K3640/5-1 به ترتیب با عملکرد ۲/۹۳، ۲/۰۷، ۲/۳۱ تن در هکتار در هر سه شرایط و لاین بهینه K3615/1 به ترتیب با عملکرد ۳/۴۷، ۲، ۳/۰۷ تن در هکتار در هر سه شرایط به عنوان لاین‌های متحمل در هر سه شرایط یعنی بدون تنش، تنش در مرحله زایشی و تنش در مرحله رویشی شناسایی شدند. با بررسی عملکرد لاین‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مشخص شد که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش موفق بوده است ولی در گزینش ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد مناسب باشند، موفق نبود. در واقع شاخص TOL به نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می‌کند. یعنی لاین‌هایی که دارای شاخص TOL پایینی هستند تغییرات کمتری نشان می‌دهند، و برعکس. نکته دیگر در مورد این شاخص این است که پایین بودن TOL الزاماً به معنی بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکن است عملکرد یک لاین در شرایط بدون تنش پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد، که این باعث کوچک ماندن TOL می‌شود (مقدم و هادی‌زاده، ۱۳۸۱). به عنوان مثال لاین K193/4-3-3-2-3 که در شرایط تنش در مرحله رویشی، به نسبت سایر لاین‌ها دارای عملکرد پایین‌تری در شرایط بدون تنش بود اما به دلیل افت اندک عملکرد در شرایط تنش براساس، این شاخص به عنوان لاین متحمل شناسایی شد.

(نادری و همکاران، ۱۳۷۸). بنابراین ممکن است لاین‌های شناسایی شده لاین‌های متحمل نباشند زیرا امکان دارد لاینی دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش ولی دارای عملکرد پایین در شرایط تنش باشد. بنابراین این شاخص زمانی قابل اعتماد است که ژنوتیپ دارای عملکرد بالا در شرایط تنش نیز باشد. همانند لاین K193/4-3-3-2-3 که در تنش رویشی شاخص STI کمتری نسبت به لاین‌های K3640/6، K3615/2 دارد ولی با توجه به عملکرد در شرایط تنش این لاین را می‌توان به عنوان لاین متحمل شناسایی کرد.

در شاخص حساسیت به تنش (SSI) مقادیر عددی پایین نشان‌دهنده تحمل بالای لاین‌ها است. با استفاده از این شاخص لاین‌های K3640/5-1 و K19/1 به ترتیب با عملکرد ۲/۰۷ و ۲/۸۳ تن در هکتار به عنوان لاین‌های متحمل به شرایط تنش در مرحله زایشی و لاین‌های K193/4-3-3-2-3 و K3615/1 به ترتیب با عملکرد ۳/۰۷ و ۳/۰۷ تن در هکتار به عنوان لاین‌های متحمل در شرایط تنش مرحله رویشی شناسایی شدند. در محاسبه این شاخص یک جزء به نام SI وجود دارد که به آن سختی محیط یا شدت تنش می‌گویند و هر چه این جزء بزرگ‌تر باشد شاخص SSI کوچکتر می‌شود (مقدم و هادی‌زاده، ۱۳۸۱). محاسبه SI در کل لاین‌ها نشان داد که شدت تنش در شرایط تنش در مرحله زایشی بیشتر بوده است. در شاخص SSI علاوه بر میزان عملکرد لاین‌ها در شرایط تنش، تغییر یا آسیب وارده به لاین‌ها در اثر تنش نیز مد نظر قرار می‌گیرد. بدین معنی که اگر لاینی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالاتری باشد اما درصد تغییر زیادی نشان دهد به عنوان لاین متحمل شناسایی نمی‌شود، به عنوان مثال، لاین K3640/6 که در شرایط تنش در مرحله رویشی دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش است، ولی به علت درصد تغییر زیاد به عنوان لاین متحمل شناسایی نشده است.

تمام شدن گرده افشانی با ۰/۳۴ درصد تغییر در شرایط آزمایش تنش در مرحله رویشی است. در شرایط آزمایش تنش در مرحله زایشی نیز بالاترین تغییر یا آسیب متعلق به صفت تعداد دانه سقط شده با ۰/۷-۴۹۸- و کمترین تغییر متعلق به صفت طول پدانکول گل تاجی با ۰/۴۴ است.

به طور کلی واکنش گیاهان زراعی و ارزیابی آنها برای عملکرد بهینه در شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آنها در استفاده از شرایط محیطی است. این امر از طریق تنظیم اجزای عملکرد و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به هنگام بروز شرایط مطلوب و نامطلوب در هر مرحله از رشد و نمو گیاه امکان پذیر است (Entz and Flower, 1990). بر این اساس نادری و

برای شاخص میانگین هندسی (GMP) با توجه به اینکه مقادیر عددی بالا نشان دهنده تحمل نسبی است، لاین های K3615/2 و K19/1 به ترتیب با عملکرد ۲/۴۳ و ۲/۸۳ تن در هکتار به عنوان لاین های متحمل در شرایط تنش در مرحله زایشی و لاین های K3615/1، K3640/5-1، K3640/6 و K19/1 به ترتیب با عملکرد ۳/۰۷، ۲/۳۱، ۲/۹۳ تن در هکتار را به عنوان لاین های متحمل در شرایط تنش در مرحله رویشی شناسایی شدند.

در جدول ۳ درصد تغییرات ناشی از شرایط تنش برای کلیه صفات نشان داده شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده برای صفات مشاهده می شود که بالاترین آسیب یا تغییر متعلق به صفت تعداد دانه سقط شده با ۴۸۳/۲۶- درصد تغییر و کمترین آسیب متعلق به صفت

جدول ۱- شاخص های تحمل به خشکی محاسبه شده برای لاین های ذرت در شرایط تنش خشکی در مرحله زایشی

Table 1. Drought tolerance indices for grain maize inbred lines in reproductive stage under drought stress

	HarM	SSI	STI	GMP	MP	TOL	Ys	Yp
N160	1.57	1.40	0.29	1.88	2.27	2.53	1.01	3.54
A679	2.17	0.74	0.41	2.23	2.29	1.07	1.76	2.83
K1263/14-2	1.98	1.09	0.38	2.14	2.32	1.79	1.43	3.22
K3615/2	3.21	0.96	0.95	3.40	3.60	2.34	2.43	4.77
K3547/5	2.08	0.97	0.40	2.20	2.34	1.54	1.57	3.11
K3547/4	2.27	0.79	0.45	2.35	2.43	1.23	1.82	3.05
K3640/5	1.73	1.30	0.32	1.99	2.30	2.28	1.16	3.44
K3640/5-1	2.42	0.57	0.50	2.46	2.50	0.86	2.07	2.93
K3640/6	2.93	0.98	0.79	3.11	3.30	2.20	2.20	4.40
K3640/7	1.74	1.31	0.33	2.01	2.34	2.36	1.16	3.52
K3640/10	2.14	0.87	0.41	2.23	2.33	1.33	1.67	3
K3651/1	1.95	0.62	0.32	1.98	2.02	0.77	1.64	2.41
K3651/2	2.47	0.95	0.56	2.60	2.57	1.77	1.87	3.64
K193/4-3-3-2-3	2.78	0.81	0.68	2.88	2.99	1.56	2.21	3.77
KLM76011/1-12-2-1-1-1	1.83	0.84	0.30	1.90	1.98	1.09	1.44	2.53
K3615/1	2.53	0.83	0.57	2.63	2.73	1.47	2	3.47
K18	1.87	1.44	0.43	2.30	2.83	3.26	1.19	2.45
MO17	1.60	0.76	0.22	1.64	1.70	0.82	1.29	2.11
B73rfc	1.75	1.47	0.39	2.19	2.74	3.29	1.10	4.39
K19/1	3.38	0.64	0.98	3.44	3.51	1.37	2.83	4.20

GMP=Geometrical Mean Productivity

STI=Stress Tolerance Index

Yp=Yield potential

Ys= Yield stress

SSI=Stress Susceptibility Index

MP=Mean Productivity

TOL=Tolerance Index

HarM=Harmonic mean

لاین‌های K3615/2 (به ترتیب با عملکرد ۴/۷۷، ۲/۷۰ و ۲/۴۳ تن در هکتار)، K3640/6 (به ترتیب با عملکرد ۴/۴۰، ۲/۲۰، ۲/۹۳ تن در هکتار) و K19/1 (به ترتیب با عملکرد ۴/۲۰، ۲/۵۱ و ۲/۸۳ تن در هکتار) را به ترتیب در شرایط بهینه، تنش در مراحل رویشی و زایشی به عنوان مناسب‌ترین لاین‌ها در تولید ارقام هیبرید متحمل به تنش خشکی معرفی کرد. با توجه به هدف نهایی در تولید ارقام متحمل به خشکی و نوع و زمان وقوع تنش در مناطق مختلف می‌توان لاین‌های K3615/2، K19/1 و K193/4-3-3-2-3 را برای ایجاد ارقام مقاوم به تنش خشکی در مرحله رویشی و لاین‌های K3615/2 و K19/1 را برای ایجاد ارقام مقاوم به تنش در مرحله زایشی معرفی کرد.

همکاران (۱۳۷۸) ضرورت تغییر شاخص‌های موجود را با حفظ دو ویژگی پایداری و میانگین عملکرد بالا مورد تأکید قرار دادند. آن‌ها در بررسی خود با توجه به احتمال بروز شرایط مطلوب و نامطلوب در سال‌های مختلف در هر منطقه ضروری را برای تصحیح شاخص فرناندز (Fernandez, 1992) پیشنهاد کردند، که به اعتقاد آن‌ها قادر به گزینش ژنوتیپ‌های سازگار با عملکرد بالا برحسب احتمال بروز شرایط مطلوب و نامطلوب بود. براساس کلیه شاخص‌ها، لاین‌های K3615/2، K3640/6 و K19/1 به عنوان لاین‌های متحمل به خشکی در هر سه شرایط آبیاری شناسایی شدند. با توجه به اینکه بهترین لاین‌ها، لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط بهینه و حداقل کاهش عملکرد در شرایط تنش است، می‌توان

جدول ۲- شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شده برای لاین‌های ذرت در شرایط تنش خشکی در مرحله رویشی

Table 2. Drought tolerance indices for grain maize inbred lines in vegetative stage under drought stress

Inbred lines	HarM	SSI	STI	GMP	MP	TOL	Ys	Yp
N160	1.60	1.45	0.30	1.91	2.29	2.50	1.04	3.54
A679	1.48	1.32	0.23	1.68	1.92	1.82	1.01	2.83
K1263/14-2	2.14	1.02	0.42	2.27	2.41	1.61	1.61	3.22
K3615/2	3.44	0.89	1.06	3.58	3.72	2.07	2.70	4.77
K3547/5	2.03	1.05	0.38	2.16	2.31	1.60	1.51	3.11
K3547/4	2.48	0.64	0.52	2.52	2.57	0.95	2.10	3.05
K3640/5	1.33	1.56	0.23	1.68	2.13	2.61	0.83	3.44
K3640/5-1	2.58	0.43	0.55	3.6	2.62	0.62	2.31	2.93
K3640/6	3.51	0.68	1.06	3.59	3.66	1.47	2.93	4.40
K3640/7	2.73	0.84	0.65	2.80	2.88	1.28	2.24	3.52
K3640/10	1.63	1.29	0.27	1.83	2.06	1.88	1.12	3
K3651/1	1.86	0.76	0.30	1.91	1.96	0.89	1.52	2.41
K3651/2	2.17	1.18	0.46	2.37	2.59	2.09	1.55	3.64
K193/4-3-3-2-3	3.38	0.38	0.95	3.40	3.42	0.70	3.07	3.77
KLM76011/1-12-2-1-1-1	1.44	1.23	0.21	1.59	1.77	1.52	1.01	2.53
K3615/1	3.25	0.23	0.87	3.26	3.27	0.40	3.07	3.47
K18	1.92	1.49	0.45	2.33	2.84	3.23	1.23	2.45
MO17	0	2.05	0	0	1.05	2.11	0	2.11
B73rfc	2.66	1.16	0.69	2.89	3.15	2.48	1.91	4.39
K19/1	3.14	0.82	0.87	3.24	3.35	1.69	2.51	4.20

GMP=Geometrical Mean Productivity

MP=Mean Productivity

TOL=Tolerance Index

HarM=Harmonic mean

SSI=Stress Susceptibility Index

STI=Stress Tolerance Index

Yp=Yield potential

Ys= Yield stress

جدول ۳- اثر تنش خشکی در مراحل رشدی متفاوت بر صفات مختلف لاین های ذرت دانهای

Table 3. Effect of drought stress in different growth stage on different traits of grain maize inbred lines

تغییر Variation (%)	میانگین Mean		تغییر Variation (%)	میانگین Mean		صفت Trait
	تنش مرحله زایشی Reproductive stage stress	نرمال Normal		تنش مرحله رویشی Vegetative stage stress	نرمال Normal	
-7.66	9.69	9	-6	9.54	9	Germination جوانه زدن
0.75	73.59	74.15	-3.52	76.77	74.15	Silking ظهور کاکل
1.08	68.20	68.95	-0.63	69.38	68.95	Tasseling ظهور گل تاجی
1.89	71.36	72.74	0.49	72.38	72.74	Pollination گرده افشانی
2.28	79.05	80.90	0.32	80.62	80.90	End of pollen خاتمه گرده
3.05	89.17	91.98	-7.12	98.93	91.98	Silk dry خشک شدن کاکل
3.25	117.96	121.9	-1.87	124.21	121.93	Physiological maturity رسیدن فیزیولوژیک
1.71	71.28	73.52	3.72	69.82	73.52	Ear leaf length طول برگ بلال
-2.27	9.01	8.81	-2.04	8.99	8.81	Ear leaf width عرض برگ بلال
-6.23	13.12	12.35	-20.81	14.92	12.35	Leaf No. تعداد برگ
-2.11	36.76	36	11.30	31.93	36	Flag leaf length طول برگ پرچم
0.99	4.97	5.02	7.17	4.46	5.02	Flag leaf width عرض برگ پرچم
9.10	185.79	204.4	25.34	152.59	204.40	Flag leaf area سطح برگ پرچم
0.44	38.42	38.59	15.70	32.53	38.59	Peduncle lenth طول پدانکل
-2.05	15.39	15.08	-9.74	16.55	15.08	Peduncle length out of leaf پدانکل خارج برگ
-1.08	38.22	37.81	16.05	31.74	37.81	Tassel main axis length طول محور گل تاجی
-18.62	29.04	24.48	14.05	21.04	24.48	Length of main axis above upper side branch طول محور گل تاجی بالای انشعاب
-11.43	12.08	10.84	13.28	9.40	10.84	Tassel branch No. تعداد انشعابات گل تاجی
15.45	13.40	15.85	-100.82	31.83	15.85	Ear length طول بلال
-498.07	31.10	5.20	-483.26	30.33	5.20	Aborted kernel No. تعداد دانه سقط شده
33.89	162.37	246	9.36	222.97	246	1000 Kernel weight وزن هزار دانه
16.61	26.20	31.42	41.15	18.49	31.42	Kernel/ ear row دانه در ردیف بلال
4.14	16.21	16.91	19.63	13.95	16.91	Rows/ ear ردیف دانه در بلال
4.42	14.26	14.92	2.68	14.52	14.92	Moisture % درصد رطوبت
45.41	1.13	4.28	47.82	2.36	4.28	Ear diameter قطر بلال
15.11	0.73	0.86	25.58	0.64	0.86	Kernel depth عمق دانه
51	1.70	3.47	48.41	1.79	3.47	Yield t/ha عملکرد تن در هکتار

مهندس معینی که در تمام مراحل اجرای این تحقیقات ما را یاری کرده‌اند و همچنین از آقای مصطفی طاهرخانی بابت تایپ مقاله کمال تشکر و قدردانی را داریم.

از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به ویژه بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات این تحقیق و همچنین از آقای

References

- تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در لاین های برگزیده ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ص ۲۳۸.
- بررسی مقاومت به خشکی در هیبریدهای دیررس تجارتي ذرت دانهای. مجله علوم کشاورزی ایران شماره ۴ ص ۹۰۶-۸۹۱.

- تأثیر تراکم بوته و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی بر عملکرد و اجزای عملکرد و کارآیی استفاده از آب بر ذرت دانه‌ای. مجله علوم زراعی ایران، جلد ۲ شماره ۳ ص ۶۲-۵۰.
- بررسی برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مؤثر بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط کم آبیاری، مجله علوم زراعی ایران، جلد ۵ شماره ۱ ص ۲۳-۳۶.
- اثرات تنش رطوبتی خاک بر عملکرد و اجرای عملکرد اجزای سویا. مجله علوم کشاورزی ایران. شماره ۱ و ۲ ص ۶۱-۵۱.
- ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی در مراحل مختلف رشد ژنوتیپ‌های دیررس ذرت. هشتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، رشت. ص ۴۱.
- بررسی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم زمستانه و بینابین با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش، مجله نهال و بذر، جلد ۲۰ شماره ۱ ص ۷۱-۵۷.
- ارزیابی برخی از شاخص‌های تحمل به خشکی در چند ژنوتیپ جو بهاره. مجله دانش کشاورزی، جلد ۱۳ شماره ۳ ص ۱۰۵-۹۵.
- تعیین حساسیت مراحل نمو گندم نان به تنش رطوبتی و تأثیر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد، مجله نهال و بذر، جلد ۲۰ شماره ۴ ص ۵۰۹-۴۸۹.
- عکس‌العمل هیبریدهای ذرت و لاین‌های والدی آن‌ها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. مجله نهال و بذر، جلد ۱۸ شماره ۳ ص ۲۷۲-۲۵۵.
- تحلیل کارآیی شاخص‌های ارزیابی کننده تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی و معرفی یک شاخص جدید. نهال و بذر شماره ۱۵ ص ۴۰۲-۳۹۰.
- اثرات زمان قطع آبیاری و تاریخ برداشت بر عملکرد کمی و کیفی نیشکر واریته CP-57 در خوزستان، مجله علوم زراعی ایران، جلد ۱ شماره ۱ ص ۱۹-۱۳.

Chapman, Sc., J. Crossa., KE. Basford and Pm. Kroonenberg. 1997. Genotype by environment effects and selection for drought tolerance maize. II. Three-mode pattern analysis. *Euphytica*. 95:1, 11-20.

Edmeads, G. O., J. Bolaños, and H. R. Laffitte. 1990. Selection for drought tolerance in maize adapted to the lowland tropics, d. f. Mexico, CIMMYT.

Entz, M. H. and D. B. Flower. 1990. Differential agronomic response of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. *Crop Science* 30: 1119-1123.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed). *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops to Temperature and Waters stress*. Taiwan .

Plaut, Z. 1995. Sensitivity of crop plants to water stress at specific development stages: reevaluation of experimental findings. *Israel. Journal of plant Sci.* 43:2, 99-111.

Yanan, L., Z. Menggian., YN. Liu and MQ. Zeng. 1995. Analysis of drought resistance in 10 maize hybrids in China. *Acta agriculturae Boreali Sinica*. 10:1, 45-50 .

Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices

Choukan, R.¹, T. Taherkhani², M. R. Ghannadha³ and M. Khodarahmi⁴

Abstract

To study drought tolerance in inbred lines is an important task in development of maize hybrids with acceptable yield in moisture limited conditions. Twenty maize inbred lines were evaluated in three moisture conditions, normal irrigation, moisture stress in vegetative and reproductive stages, in three separate experiments, using randomized complete block design with three replications, in experimental field of Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran in 2005 cropping season. Results using TOL and SSI indexes revealed that K3651/1 and K3615/1, as tolerant inbred lines under stress conditions in reproductive and vegetative stages respectively. These two indexes identify genotypes with low yield under normal and high yield under stress conditions. The higher value of MP, STI, GMP and Harm indexes indicate the tolerance of genotypes under consideration. K3615/2 (with 4.770, 2.700 and 2.430 t/ha) and k19/1 (with 4.200, 2.830 and 2.510 t/ha) under normal, stress conditions in vegetative and reproductive revealed as the high yielding lines under three moisture conditions.

Key words: Maize, Drought stress, tolerance indices, inbred line.

Received, April, 2006

1- (Corresponding author) Faculty member, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.

2- Post-graduate student, Islamic Azad University. Unit of Karaj, Karaj, Iran.

3- Member of scientific board, Tehran University, Karaj.

4- Faculty member, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.