دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

بررسی تحمل به تنش کمبود آب هیبریدهای ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل

جمیله سیدزوار[۱]، مجید نوروزی[۲]، سعید اهری‌زاد[۳] و محمد مقدم[۴]

۱- دانشجوی مقطع دکترای اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دانشیار گروه بهنژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، (نویسنده مسوول: Norouzi@tabrizu.ac.ir)
۳- استاد گروه بهنژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۴- استاد گروه بهنژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۱
صفحه: ۱۰۵ تا ۱۱۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: ذرت یکی از مهمترین غلات دانه‌ای است که در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود و یکی از مهمترین غلات برای تولید مواد غذایی سرتاسر مردم جهان است. یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی، کمبود آب است که باعث محدودیت رشد و بقای گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود. واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش در زمان و مکان‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی، می‌تواند کمک شایانی در جهت اصلاح و تولید محصول ذرت نماید.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به‌منظور بررسی تحمل هیبریدهای ذرت به تنش کم‌آبی، ۱۸ هیبرید ذرت در آزمایشی بصورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. آبیاری در شرایط شاهد بعد از ۷۰ میلی‌متر و شرایط تنش کم‌آبی بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و عادی، شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، تحمل (TOL)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک بهره‌وری (HARM)، خشکی نسبی (RDI)، مقاومت به خشکی (DI)، پایداری عملکرد (YSI) و انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) برای هیبریدهای مورد مطالعه محاسبه شد و هیبریدهای متحمل‌تر و حساس‌تر شناسایی شدند. همچنین گروه‌بندی هیبریدها بر اساس تجزیه کلاستر و تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام شد.

یافته‌ها: در این پژوهش، صفت عملکرد در شرایط نرمال و تنش همبستگی کمی با شاخص TOL، همبستگی منفی و معنی‌داری با SSI و همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YSI، RDI، DI و SIIG داشت و بنابراین هیبریدهای با مقادیر عددی بیشتر برای این شاخص‌ها، عملکرد بالایی در شرایط واجد تنش و نرمال داشتند. بر این اساس، شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YSI، RDI، DI و SIIG به‌دلیل دارا بودن همبستگی بالا با عملکرد در محیط تنش و بدون تنش، شاخص‌های مناسبی برای شناسایی هیبریدهای پر محصول در هر دو شرایط محیطی (گروه A فرناندز) می‌باشند.

نتیجه‌گیری: در شرایط نرمال هیبرید SC704، بیشترین (۱۸/۵۷ تن در هکتار) و هیبریدهای SC703 (۱۱/۸۱ تن در هکتار)، SC702 (۱۱/۷۶ تن در هکتار)، SC720 (۱۲/۶۶ تن در هکتار)، SC701 (۱۱/۷۷ تن در هکتار)، K3651/2×K19 (۱۱/۰۹) و AR66 (۱۱/۴۳ تن در هکتار) کمترین عملکرد دانه را داشتند. همچنین در شرایط تنش کمبود آب، هیبرید SC704 بیشترین (۱۵/۹ تن در هکتار) و هیبرید AR66 کمترین (۶/۱۶ تن در هکتار) عملکرد دانه ذرت را دارا بودند. بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های مورد مطالعه، در مجموع هیبریدهای SC500 و SC704 به‌عنوان هیبریدهای متحمل به کمبود آب و هیبریدهای SC670 و AR66 نیز به‌عنوان هیبریدهای حساس به تنش کم‌آبی شناسایی شدند. نتایج حاصل از تجزیه کلاستر و تجزیه به مولفه‌های اصلی و رسم نمودار بای‌پلات نیز این موضوع را تایید کردند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مولفه‌های اصلی، تجزیه کلاستر، ذرت، نمودار بای‌پلات، همبستگی

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان و تغییرات زیست‌محیطی، امنیت غذایی به‌عنوان یک نگرانی عمده در سراسر جهان مطرح شده است (۱۳). تنش‌های محیطی، بیشتر مناطق جهان را تحت تاثیر قرار می‌دهند و محدودیت‌های بزرگی را برای بهره‌وری محصول اعمال می‌کنند (۱). در دسترس بودن آب، یک عامل مهم و کلیدی تاثیرگذار در فرایند فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاهان است (۱۱،۱۵،۲۱).

با وجود تفاوت‌های ژنتیکی که بین گونه‌های گیاهی در مورد تحمل به تنش وجود دارد، اما به‌طور معمول محصولات زراعی نسبت به تنش آبی بسیار حساس هستند و در این میان ذرت (Zea mays) محصولی است که سالانه در سراسر جهان کشت می‌شود و بهره‌وری مطلوبی تحت تاثیر کمبود آب دارا است (۴،۶). بدین منظور، جستجو برای یافتن محصولات مقاوم به تنش کمبود آب، به چالش بزرگ اصلاح‌گران نبات تبدیل شده است و موفقیت‌های چشم‌گیری در چندین محصول زراعی حاصل گشته است (۲،۳۲). ذرت یک محصول مهم غلات و علوفه‌ای است که در سراسر جهان کشت می‌شود (۳۱) و پیش‌بینی می‌شود با افزایش گرمایش اقلیم جهانی و به دنبال آن کمبود آب، تولید محصول ذرت با کاهش چشم‌گیری مواجه شود (۱۷،۲۶).

امروزه شاخص‌های تحمل به تنش‌های محیطی امکان غربال ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش را بر اساس میزان خسارت وارده به عملکرد تحت شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش فراهم می‌سازند (۱۸). شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف زیست محیطی و برای تعیین قدرت و استعداد آن‌ها در شرایط مواجه با تنش ارایه شده‌اند که بر اساس یک رابطه ریاضی بین شرایط تنش و شرایط مطلوب پیشنهاد شده است (۲۰). به‌منظور تعیین اینکه ژنوتیپ‌ها در هردو شرایط تنش و بدون تنش کمبود آب، چه واکنشی از خود نشان می‌دهند، فرناندز ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه تقسیم‌بندی کرد. گروه A: ژنوتیپ‌هایی که برتری مشابهی در هر دو محیط واجد تنش و فاقد تنش دارند. گروه B: ژنوتیپ‌هایی که تنها در محیط فاقد تنش عملکرد مطلوبی دارند. گروه C: ژنوتیپ‌هایی که تنها در محیط واجد تنش عملکرد نسبی بالاتری دارند. گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در هر

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]

دو محیط واجد تنش و فاقد تنش عملکرد پایینی دارند. به‌نظر فرناندز، مناسب‌ترین معیار گزینش، شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد (۷). شاخص انتخاب مناسب باید بتواند ژنوتیپ‌های برتر در هر دو محیط را از ژنوتیپ‌های برتر در یک محیط متمایز کند (۹). در این رابطه شاخص‌های مختلفی توسط محققین ارائه شده است. از جمله این شاخص‌ها، می‌توان به شاخص‌های تحمل (TOL) و میانگین حسابی عملکرد (MP) برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و متحمل به تنش در شرایط تنش خشکی (۲۸)، شاخص حساسیت به خشکی (SSI) با محاسبه شاخص شدت تنش (SI) (۸) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) (۳) برای تعیین میزان حساسیت ژنوتیپ‌ها به خشکی، شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود آب (۷)، شاخص مقاومت به خشکی (DI) (۱۶)، شاخص خشکی نسبی (RDI) (۸)، شاخص میانگین هندسی (HARM) و همچنین شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، (۱۲) که روشی مناسب برای انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری به صورت همزمان می‌باشد (۲۵) اشاره کرد. در این روش، برای هر شاخص به‌طور جداگانه بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ انتخاب می‌شود. همچنین، برای هر ژنوتیپ، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل محاسبه می‌گردد. بنابراین علاوه بر گزینش ژنوتیپ‌های ایده‌آل، فاصله بین ژنوتیپ‌ها را نیز مشخص می‌کند. با توجه به اینکه ممکن است هر ژنوتیپی از نظر یک شاخص یا یک صفت، ژنوتیپ ایده‌آل باشد و با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، ممکن است انتخاب ژنوتیپ مناسب برای محقق دشوار شود، با کمک شاخص SIIG تمام شاخص‌ها و صفات به یک شاخص واحد تبدیل می‌شوند و رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر آسان‌تر می‌شود. از مزیت‌های دیگر این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوت و طبیعت منفی و مثبت باشند. به عبارت دیگر،می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این روش استفاده کرد (۳۴،۳۵). در پژوهشی، به‌منظور ارزیابی عملکرد دانه و برخی صفات مورفولوژیک لاین‌های گندم دوروم در شرایط تنش کمبود آب، از ۱۲ لاین در دو شرایط تنش و بدون تنش استفاده کردند و نتیجه گرفتند که تنش کمبود آب موجب کاهش کلیه صفات مورد ارزیابی مخصوصاً عملکرد دانه، تعداد سنبله در هر بوته و شاخص برداشت می‌گردد (۱۹).

هدف از این پژوهش شناسایی و معرفی هیبریدهای ذرت متحمل به شرایط کمبود آب با دارا بودن بازده مطلوب و پایداری مناسب در محیط‌های تحت تنش و عادی، با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۸ هیبرید ذرت دانه‌ای (تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) در دو سطح آبیاری مختلف، در یک آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در اراضی کرکج، ارزیابی شدند. اسامی هیبریدهای مورد ارزیابی در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱- اسامی هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

Table 1. Names of studied maize hybrids

نام Name	شماره Number	نام Name	شماره Number	نام Name	شماره Number
K3647×K18	13	SC647	7	SC700	1
SC666	14	SC604	8	SC704	2
SC703	15	K166×K18	9	KSC705	3
AR66	16	SC720	10	SC706	4
SC701	17	K48×K19	11	SC702	5
K3651/2×K19	18	SC500	12	SC670	6

کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری (شاهد: پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و تنش: پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و کرت‌های فرعی شامل ۱۸ هیبرید ذرت بود. درون هر کرت فرعی سه ردیف به طول شش متر از هر هیبرید مورد کاشت قرار گرفت. فاصله ریف‌های کاشت از یکدیگر ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از هر طرف کرت اصلی و همچنین بلوک‌های مجاور، دو متر به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. بذور هیبریدهای ذرت در داغاب پشته‌ها، در عمق ۵ سانتی‌متری و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر کاشته شدند. تراکم کاشت در هر مترمربع، ۵/۷ بوته بود. زمان شروع اعمال تنش در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی بود. همچنین پس از آبیاری اولیه، عملیات مربوط به داشت، شامل آبیاری‌های منظم، وجین علف‌های هرز، خاک‌دهی پای بوته و کوددهی (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه سرک) به‌طور مرتب انجام شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، کل بلال‌های بوته‌های هر کرت (۴۸ بوته) برداشت شد و پس از خشک شدن دانه‌ها، از چوب بلال جدا و عملکرد هر واحد آزمایشی به‌طور جداگانه توسط ترازوی حساس توزین شده و یادداشت گردید.

جهت تعیین میزان تحمل یا حساسیت هیبریدها به تنش کمبود آب از شاخص‌های SSI، STI، MP، GMP،TOL،HARM،DI، RDI، YSI و SIIG استفاده شد. جهت محاسبه این شاخص‌ها از روابط زیر استفاده گردید:

$$SSI=\frac{(1-\frac{Y_S}{Y_P})}{SI}\ ,\ SI=1-(\frac{Y_{\bar{S}}}{Y_{\bar{P}}}) \quad (۸)$$

$$TOL= Y_P - Y_S \quad (۲۸)$$

$$MP = \frac{Y_S+Y_P}{2} \quad (۲۸)$$

$$STI=(\frac{Y_P}{Y_{\bar{P}}})(\frac{Y_S}{Y_S})(\frac{Y_{\bar{S}}}{Y_{\bar{P}}})=\frac{(Y_P)(Y_S)}{(Y_{\bar{P}})^2} \quad (۷)$$

$$GMP=\sqrt{Y_S \times Y_P} \quad (۷)$$

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]

$$HARM=\frac{2\,YP\times YS}{YP+YS} \quad (۲۷)$$

$$DI=\frac{Y_S\times\frac{Y_S}{Y_P}}{Y_{\bar{P}}} \quad (۱۶)$$

$$RDI=\frac{\frac{Y_S}{Y_P}}{\frac{Y_S}{Y_{\bar{P}}}} \quad (۸)$$

$$YSI=\frac{Y_S}{Y_{\bar{P}}} \quad (۳)$$

$$SIIG=\frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (۱۲)$$

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(r_{ij}-r_j^+)^2 i} = 1, 2, \ldots, n$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(r_{ij}-r_j^-)^2 i} = 1, 2, \ldots, n$$

در این روابط، $Y_{\bar{S}}$ و $Y_{\bar{P}}$ به‌ترتیب میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تنش‌زا و عادی می‌باشد. همچنین Y_S عملکرد ارقام در شرایط تنش و Y_P عملکرد ارقام در شرایط نرمال است (۸). d_i^+ فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و d_i^- فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل است. اندیس‌های i و j به ترتیب معرف ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها هستند که در آن r_j^+ بهترین مقدار jامین شاخص از بین تمام ژنوتیپ‌ها و r_j^- بدترین مقدار jامین شاخص از بین تمام ژنوتیپ‌ها است. ژنوتیپ‌هایی که r_{ij} آن‌ها برابر با r_j^+ و r_j^- باشد به ترتیب بهترین و بدترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌گردند (۳۴،۳۶).

برای گروهبندی هیبریدها بر مبنای شاخص‌های مورد مطالعه از تجزیه خوشه‌ای و به روش ward استفاده شد. برای تعیین بهترین محل برش از تجزیه تابع تشخیص در سطح احتمال ۱ درصد استفاده شد.

با توجه به اینکه هیبریدهای مورد ارزیابی دارای طول دوره رشدی نسبی متفاوتی بودند، بنابراین شروع اعمال تنش در هر هیبرید در مرحله ۵۰ درصد گلدهی هر هیبرید به‌طور جداگانه اعمال گردید. برای انجام محاسبات آماری از نرم افزارهای MSTATC، SPSS و EXCEL استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت عملکرد دانه برای ۱۸ هیبرید مورد ارزیابی در جدول ۲ درج شده است. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، مشاهده شد که تنش کمبود آب اعمال شده، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت گردیده است (میانگین عملکرد در شرایط فاقد تنش ۱۴/۵۱ تن در هکتار و در شرایط تنش ۱۰/۶۱ تن در هکتار بود) و بین هیبریدهای ذرت مورد مطالعه در متوسط شرایط، اختلافات معنی‌دار مشاهده شد. اثر متقابل ژنوتیپ در تنش کمبود آب، برای این صفت معنی‌دار نبود.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در شرایط عادی و تنش کمبود آب

Table 2. Analysis of variance on grain yield of maize hybrids under normal and water deficit conditions

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
تکرار Repeat	2	8.63*
آبیاری Irrigation	1	410.63**
خطای اصلی Main Plot Error	2	0.34
هیبرید Hybrid	17	64.05**
آبیاری × هیبرید Hybrid×Irrigation	17	1.63ns
خطای فرعی Sub Plot Error	68	1.82
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of Variation(%)		10.74

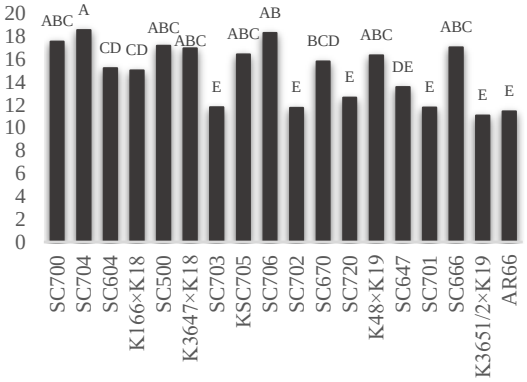
ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels respectively.

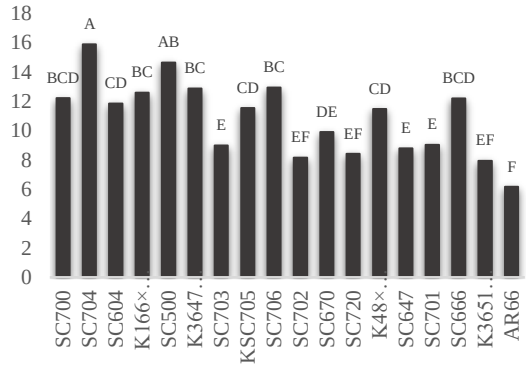
مقایسه میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در شرایط نرمال در سطح احتمال ۵ درصد، نشان داد که هیبرید SC704 بیشترین و هیبریدهای SC703، SC702، SC720، SC701، K3651/2×K19 و AR66 کمترین عملکرد دانه را داشتند (شکل ۱). همچنین مقایسه میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در شرایط تنش در سطح احتمال ۵ درصد، نشان داد که هیبرید SC704 بیشترین و هیبرید AR66 کمترین عملکرد دانه ذرت را داشتند (شکل ۲).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در شرایط نرمال در سطح احتمال ۵ درصد (تن در هکتار)
Figure 1. Mean comparison of grain yield of maize hybrids under normal conditions at the 5% probability level (tons/ha)



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در شرایط تنش کمبود آب (تن در هکتار).
Figure 2. Mean comparison of grain yield of maize hybrids under stress conditions at the 5% probability level (tons/ha)

مقادیر مربوط به شاخص‌های تحمل به تنش از نظر صفت عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به شرایط عادی در جدول ۳ درج شده است. بر اساس نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که از نظر شاخص TOL هیبریدهای SC704، K166×K18، SC500، SC703 و SC701 متحمل‌ترین و هیبریدهای SC700، SC670 و AR66 به عنوان حساس‌ترین هیبریدها شناخته شدند. مقادیر بالای TOL ،نشان‌دهنده حساسیت به تنش و مقادیر پایین TOL نشان‌دهنده تحمل به تنش است (جدول ۳).

هدف نهایی برنامه‌های به نژادی، افزایش راندمان و پایداری تولید و ایجاد تنوع ژنتیکی این محصولات با ارزش در مزارع کشاورزان است که از طریق جایگزینی ارقام پربازده‌تر با ارقام کم‌بازده و قدیمی‌تر میسر می‌گردد (۳۳). بنابراین استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب می‌تواند در این مسیر تاثیر بسزایی داشته باشد. بر اساس شاخص SSI در شرایط تنش کمبود آب، هیبریدهای SC704، SC500 و K166×K18 متحمل‌ترین و هیبریدهای AR66، SC670، SC720، K3651/2×K19 و SC702 به عنوانحساس‌ترین هیبریدها شناخته شدند (جدول ۳). مقادیر پایین‌تر SSI بیانگر تحمل بیشتر به تنش کمبود آب می‌باشد. به عبارتی هرچه مقدار Y_S به Y_P نزدیک‌تر باشد، مقاومت آن ژنوتیپ به کمبود آب بیشتر است و در نتیجه SSI آن ژنوتیپ کوچک‌تر است. فرناندز گزارش نموده است که در بیشتر آزمایشات، SSI و TOL همبستگی مثبتی داشته‌اند و گزینش بر اساس آن منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های گروه C می‌گردد. اما این شاخص‌ها، در شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A از گروه C ناتوان هستند (۷).

بر اساس شاخص MP، GMP و STI در شرایط محدودیت آبی، هیبریدهای SC700، SC704 و SC500 به‌عنوان هیبریدهای متحمل و هیبریدهای AR66، K3651/2×K19، SC701 و SC702 به‌عنوان حساس‌ترین هیبریدها شناخته شدند (جدول ۳). فرناندز بیان نموده است که در اکثر آزمایشات عملکرد، همبستگی MP با Y_S و Y_P مثبت بوده است. بنابراین گزینش بر اساس MP، متوسط عملکرد را در هر دو محیط واجد تنش و عادی افزایش می‌دهد (گروه B)، اما قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B نمی‌باشد (۷). هر چه مقدار شاخص GMP بیشتر باشد، رقم یا ژنوتیپ مورد بررسی مقاومت بیشتری نسبت به شرایط تنش خواهد داشت (۳۰).

STI، بر اساس GMP برآورد می‌شود، بنابراین همبستگی رتبه‌ای بین STI و GMP برابر با یک می‌باشد. مقادیر بالای این شاخص، بیانگر تحمل تنش و عملکرد بالقوه بیشتر است. انتظار می‌رود این شاخص توانایی تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A را از گروه B و C داشته باشد (۷). مقدم و هادی‌زاده،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]

گزارش کردند که شاخص STI جهت گزینش ارقام مطلوب ذرت تحت شرایط تنش‌زا و فاقد تنش مفیدتر از سایر شاخص‌ها عمل می‌کند (۲۰).

بر اساس شاخص‌های HARM و YSI در شرایط مواجه با تنش، هیبریدهای SC704 و SC500 به‌عنوان هیبریدهای متحمل و هیبریدهای AR66 و K3651/2×K19 هیبریدهای حساس شناخته شدند (جدول ۳). جعفری و همکاران در تحقیقی که بر روی هیبریدهای مختلف ذرت انجام داده‌اند، نشان دادند که شاخص‌های HARM، STI و GMP همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش دارند و بنابراین می‌توان به‌عنوان بهترین شاخص‌ها در برنامه‌های اصلاح ذرت و به‌منظور معرفی هیبریدهای متحمل به خشکی از آن‌ها استفاده کرد (۱۴). بر اساس شاخص پایداری عملکرد (YSI)، ژنوتیپ‌هایی که مقدار شاخص بالاتری دارند، میزان عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش از خود نشان می‌دهند (۸). ژنوتیپی که توسط شاخص YSI به‌عنوان رقمی با پایداری عملکرد در شرایط تنش شناسایی می‌شود، از پایین‌ترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار است (۲۹). بر اساس شاخص‌های RDI و DI در شرایط تنش کمبود آب، هیبریدهای SC704، K166×K18 و SC500 به‌عنوان متحمل‌ترین هیبریدها و هیبریدهای AR66، SC702، SC720 و K3651/2×K19 به عنوان حساس‌ترین هیبریدها شناخته شدند (جدول ۳). بیان شده است که ژنوتیپ‌هایی که شاخص RDI بزرگ‌تر از یک داشته باشند، دارای تحمل خوبی نسبت به تنش خشکی هستند، ولی در صورتی که از مقدار عددی کوچک‌تر از یک برخوردار باشند، نشان از حساس بودن ژنوتیپ‌ها می‌دهد (۸). بر این اساس هیبریدهای SC604، K3647×K18، SC703، KSC705، K48×K19، SC701 و SC666 را هم بر اساس این شاخص، می‌توان در زمره هیبریدهای مطلوب قرار داد.

به‌منظور بررسی کاراتر تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها با استفاده از تمام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی، علاوه برشاخص‌های یاد شده، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) نیز استفاده شد. این شاخص بر مبنای نه شاخص تحمل به کمبود آب جدول ۳، شامل TOL، SSI، MP، GMP، STI، HARM، YI، RDI و DI استفاده شد (جدول ۳). در واقع این روش، نتایج شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی را ادغام نموده و تبدیل به یک شاخص واحد می‌کند و کارایی تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد (۳۶). در این روش، برای هر شاخص به‌طور جداگانه بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ انتخاب شد. همچنین برای هر ژنوتیپ، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (di^+) و فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل (di^-) با استفاده از روابط یاد شده، محاسبه گردید. شاخص SIIG به عنوان روش مناسبی به‌منظور ادغام شاخص‌های تجزیه‌ی پایداری معرفی شده است (۳۴). بر اساس این شاخص در شرایط تنش کمبود آب، هیبریدهای SC704 و SC500 به‌عنوان متحمل‌ترین هیبریدها و هیبریدهای AR66، K3651/2×K19، SC720 و SC702 به‌عنوان حساس‌ترین هیبریدها شناخته شدند (جدول ۳). مقدار SIIG، بین صفر و یک متغیر است و هرچه ژنوتیپ مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر است (۳۴،۳۶).

جدول ۳- شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب در هیبریدهای ذرت بر اساس عملکرد دانه
Table 3. Drought tolerance indices for yield of maize hybrids

	TOL	SSI	MP	GMP	STI	HARM	YSI	RDI	DI	SIIG	Y_P	Y_S	d_i^-	d_i^+
SC700	5.44	1.13	15.05	14.80	1.04	14.56	0.84	0.94	0.80	0.58	17.78	12.33	0.43	0.31
SC704	2.82	0.56	17.15	17.09	1.38	17.03	1.08	1.15	1.25	0.94	18.56	15.74	0.67	0.04
SC604	3.80	0.94	13.1	12.96	0.79	12.82	0.77	1.02	0.78	0.56	15.00	11.2	0.39	0.30
K166×K18	2.47	0.57	14.73	14.67	1.02	14.62	0.92	1.15	1.07	0.78	15.97	13.49	0.56	0.15
SC500	2.80	0.55	17.32	17.26	1.41	17.20	1.09	1.16	1.27	0.94	18.72	15.92	0.68	0.03
K3647×K18	4.28	0.89	15.73	15.59	1.15	15.44	0.93	1.03	0.97	0.72	17.88	13.59	0.51	0.19
SC703	2.93	0.98	9.60	9.48	0.42	9.37	0.56	1.00	0.56	0.38	11.07	8.13	0.29	0.46
KSC705	4.04	0.92	14.31	14.17	0.95	14.03	0.84	1.02	0.87	0.63	16.33	12.29	0.44	0.25
SC706	4.82	1.03	14.99	14.79	1.04	14.60	0.86	0.98	0.85	0.62	17.40	12.58	0.45	0.27
SC702	3.78	1.30	8.91	8.70	0.36	8.50	0.48	0.88	0.42	0.26	10.80	7.01	0.19	0.54
SC670	5.67	1.35	12.76	12.44	0.73	12.13	0.68	0.87	0.59	0.39	15.60	9.92	0.28	0.43
SC720	4.13	1.30	9.67	9.44	0.42	9.23	0.52	0.88	0.46	0.27	11.73	7.60	0.19	0.51
K48×K19	3.88	0.91	13.78	13.64	0.88	13.51	0.81	1.03	0.84	0.60	15.72	11.84	0.42	0.27
SC647	4.09	1.23	10.26	10.06	0.48	9.86	0.56	0.91	0.51	0.32	12.31	8.22	0.22	0.48
SC701	2.15	0.85	8.35	8.28	0.32	8.21	0.50	1.05	0.52	0.39	9.43	7.27	0.32	0.50
SC666	4.44	0.96	14.87	14.70	1.02	14.53	0.87	1.01	0.88	0.64	17.09	12.65	0.46	0.25
K3651/2×K19	3.11	1.32	7.21	7.04	0.23	6.87	0.38	0.88	0.34	0.24	8.77	5.65	0.19	0.60
AR66	5.50	1.86	8.25	7.77	0.28	7.33	0.37	0.68	0.25	0.04	11	5.5	0.03	0.67

همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به تنش کمبود آب در هیبریدهای ذرت برای صفت عملکرد دانه در جدول ۴ آمده است. بر اساس نتایج، عملکرد در شرایط نرمال و تنش، همبستگی معنی‌داری با همه شاخص‌های مورد مطالعه به جز TOL نشان داد. مطالعات دیگر نیز وجود همبستگی معنی‌دار و مثبت اغلب این شاخص‌ها با عملکرد دانه را در گیاه ذرت (۲۲)، جو (۳۷)، گندم دوروم (۳۸) را نشان داده‌اند. به‌طور کلی، شاخص‌هایی که در محیط واجد تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند، شاخص‌های مناسبی برای انتخاب به شمار می‌آیند. چرا که این شاخص‌ها قادر به جداسازی و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند (۲۴). شاخص SSI دارای همبستگی منفی با عملکرد در شرایط نرمال (در سطح احتمال پنج درصد) و تنش (در سطح احتمال یک درصد) داشت. بنابراین می‌توان این چنین نتیجه‌گیری کرد که شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YSI، RDI، DI و SIIG به‌دلیل دارا بودن همبستگی بالا با عملکرد در محیط فاقد تنش و واجد تنش، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها، قابل استفاده هستند. همچنین دو شاخص TOL و SSI همبستگی مثبت و بالایی با یکدیگر داشتند و شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YSI،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]

RDI، DI و SIIG نیز با یکدیگر همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. نتایج این پژوهش با نتایج محققین دیگری نیز مطابقت داشت (۱۰،۶).

همبستگی بالا و معنی‌دار شاخص SIIG با عملکرد دانه نشان داد که بین هیبریدهای مورد ارزیابی، تنوع زیادی از نظر صفت عملکرد دانه وجود داشت. زیرا هر چه تنوع صفتی بالاتر باشد نقش آن در مقدار عددی شاخص SIIG بیشتر خواهد بود (۲۳).

وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه، بیانگر تنوع ژنتیکی بین هیبریدهای مورد مطالعه و امکان انتخاب برای مقاومت به خشکی در مطالعات و برنامه‌های اصلاحی است.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد ذرت

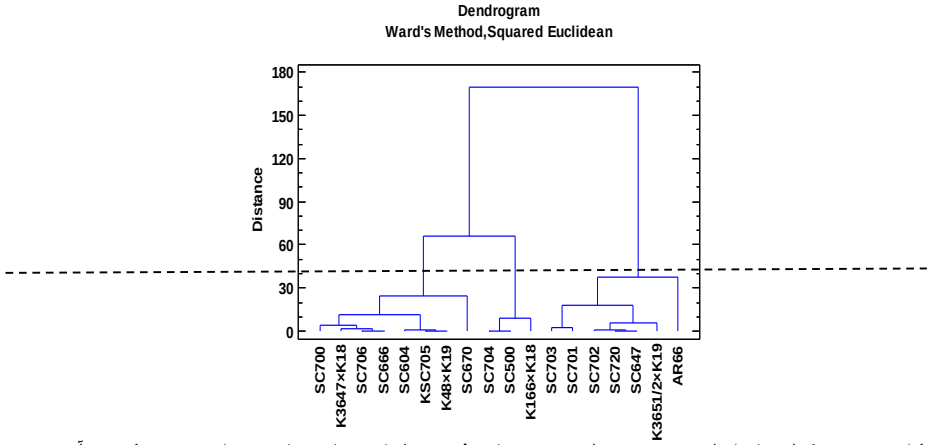
Table 4. Correlation coefficients between drought tolerance indices under drought stress condition

	TOL	SSI	MP	GMP	STI	HARM	YSI	RDI	DI	SIIG	Y_P	Y_S
TOL	1											
SSI	0.663**	1										
MP	0.045	−0.689**	1									
GMP	0.018	−0.709**	1**	1								
STI	−0.023	−0.719**	0.994**	0.994**	1							
HARM	−0.007	−0.727**	0.998**	1**	0.995**	1						
YSI	−0.114	−0.791**	0.987**	0.991**	0.992**	0.994**	1					
RDI	−0.663**	−1**	0.689**	0.709**	0.719**	0.727**	0.791**	1				
DI	−0.282	−0.869**	0.945**	0.952**	0.963**	0.959**	0.984**	0.869**	1			
SIIG	−0.327	−0.901**	0.927**	0.937**	0.947**	0.945**	0.974**	0.901**	0.994**	1		
Y_P	0.201	−0.572*	0.998**	0.983**	0.971**	0.978**	0.950**	0.572*	0.882**	0.857**	1	
Y_S	−0.114	−0.791**	0.987**	0.991**	0.992**	0.994**	1**	0.791**	0.984**	0.974**	0.950**	1

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels respectively.

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای هیبریدهای مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های محاسبه شده با استفاده از تابع تشخیص کانونیک، هیبریدها را در سه گروه قرار داد. هیبریدهای SC700، K3564×K18، SC706، SC666، SC604، KSC705، K48×K19 و SC670 در گروه اول، هیبریدهای SC704، SC500 و K166×K18 در گروه دوم و هیبریدهای SC703، SC701، SC702، SC720، SC647، K3651/2×K19 و AR66 در گروه سوم قرار گرفتند (شکل ۳). در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کلاستر گروه اول مربوط به هیبریدهای متحمل و کلاستر گروه سوم مربوط به هیبریدهای حساس است. کلاستر گروه دوم در حدواسط این دو گروه قرار دارد و شامل هیبریدهای نیمه‌متحمل است.



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای هیبریدهای ذرت بر اساس شاخصهای تحمل به تنش کمبود آب

Figure 3. Cluster analysis of maize hybrids based on drought tolerance indices

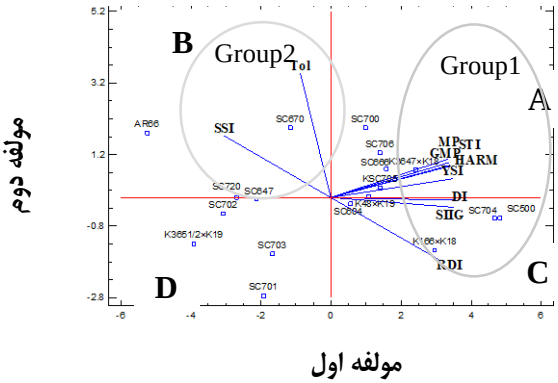
بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از شاخص‌های تحمل به کمبود آب، ۹۹/۳۷ درصد از تغییرات توسط دو مولفه اصلی اول قابل تفسیر بود که از این مقدار سهم مولفه اول ۸۲/۵۴ درصد و سهم مولفه دوم ۱۶/۸۳ درصد بود و حذف سایر مولفه‌ها تاثیر بسیار ناچیزی در کل تغییرات داشت (جدول ۵). مولفه اول را می‌توان مولفه تحمل به خشکی نامید و انتخاب بر اساس مقادیر بیشتر این مولفه، می‌تواند موجب گزینش ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش کمبود آب شوند که در هر دو محیط تنش و فاقد تنش دارای عملکرد بالایی باشند (۲۹). بای‌پلات ترسیمی بر اساس دو مولفه اصلی اول که بیشترین سهم تغییرات را در شرایط کمبود آب توجیه نمودند نشان داد که هیبریدهای SC700، SC706، SC666، K3647×K18 و KSC705 در منطقه A بای‌پلات قرار گرفتند و دارای عملکرد قابل قبولی در شرایط تنش کمبود آب بودند. هیبریدهای SC702، SC703، K3651/2×K19 و SC701 در منطقه D بای‌پلات قرار گرفتند که نسبت به سایر هیبریدهای مورد مطالعه، در هر دو محیط واجد تنش و فاقد تنش، عملکرد پایینی داشتند. در مقابل هیبریدهای K48×K19، SC604، SC704، K166×K18 و SC500 در منطقه C واقع شدند که نشان‌دهنده این مطلب بود که در محیط‌های مطلوب و فاقد تنش عملکرد مناسب و در شرایط تنش، عملکرد نسبتا

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]

مطلوبی دارند. همچنین هیبریدهای SC670، SC720 و SC647 و AR66 در منطقه B واقع شدند که در واقع ژنوتیپ‌هایی هستند که تنها در محیط فاقد تنش عملکرد مطلوبی دارند و به عبارتی دارای عملکرد مناسبی در شرایط عادی هستند اما عملکرد آنها در شرایط تنش، کمتر از میانگین عملکرد هیبریدهای مورد بررسی در شرایط نرمال است (شکل ۴). نتایج بای‌پلات حاصل از دو مولفه اصلی، شاخص‌های تحمل به کمبود آب را در دو گروه قرار داد. شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YSI، RDI، DI و SIIG در گروه اول و شاخص‌های TOL و SSI در گروه دوم قرار گرفتند. با توجه به همبستگی میان شاخص‌های گروه اول، می‌توان چنین نتیجه گرفت که این شاخص‌ها قادر به تشخیص هیبریدهای دارای عملکرد مطلوب در شرایط تنش و نرمال هستند. شاخص‌های گروه دوم در قسمت B نمودار بای‌پلات قرار گرفتند و فقط قادر به تشخیص هیبریدهای با عملکرد مطلوب در شرایط نرمال بودند و به نظر می‌رسد این شاخص‌ها، شاخص‌های مفیدی در برنامه‌های به‌نژادی برای شناسایی هیبریدهای متحمل در شرایط تنش کمبود آب نیستند. زیرا این شاخص‌ها نمی‌توانند هیبریدهای دارای عملکرد مطلوب را در شرایط فاقد تنش و واجد تنش شناسایی کنند (شکل ۴).

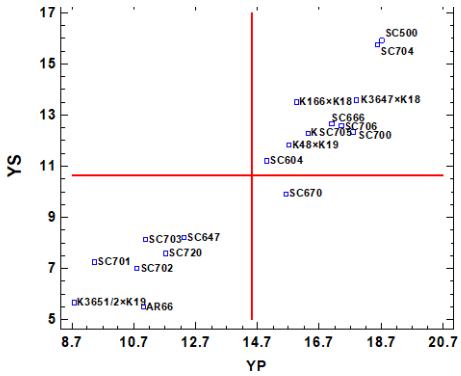
جدول ۵- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه برای شاخص‌های تنش کمبود آب هیبریدهای ذرت دانه‌ای
Table 5. Eigenvalue and Eigenvectors of drought tolerance indices of maize hybrids

مولفه Factor	مقادیر ویژه Eigenvalue	واریانس تجمعی (%) Cumulative variance	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	شاخص تحمل (TOL)	شاخص میانگین بهروری (MP)	میانگین هندسی بهروری (GMP)	شاخص تحمل به تنش (STI)	میانگین هارمونیک بهره‌وری (HARM)	شاخص خشکی نسبی (RDI)	شاخص مقاوت به خشکی (DI)	شاخص پایداری عملکرد YSI	شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)
1	8.25	82.54	−0.303	−0.088	0.332	0.334	0.336	0.337	0.303	0.346	0.344	0.346
2	1.68	99.37	0.366	0.738	0.231	0.210	0.186	0.191	−0.366	−0.014	0.112	−0.057



شکل ۴- نمودار بای‌پلات برای سنجش هیبریدهای متحمل در شرایط کمبود آب
Figure 4. Biplot graph to identify of the tolerant hybrids under drought stress condition

رتبه‌بندی هیبریدها از نظر میانگین عملکرد در شرایط تنش و نرمال نشان داد که هیبریدهای SC500 و SC704 در مجموع شرایط دارای بیشترین عملکرد و هیبریدهای AR66 و K3651/2×K19 دارای کمترین عملکرد از بین هیبریدهای مورد ارزیابی بودند (شکل ۵).



شکل ۵- رتبه‌بندی هیبریدهای ذرت از نظر میانگین عملکرد در شرایط واجد تنش و عادی
Figure 5. Ranking of Maize hybrids in terms of yield in stress and normal conditions

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، هیبریدهای SC500 و SC704 توسط شاخص‌های مختلف تحمل به تنش کمبود آب، به‌عنوان هیبریدهای متحمل شناسایی شدند. عملکرد در شرایط نرمال و تنش، همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YSI، RDI، DI و SIIG داشت. در این مطالعه شاخص TOL همبستگی کمی با عملکرد در شرایط نرمال و تنش کمبود آب داشت. شاخص SSI دارای همبستگی منفی با عملکرد در شرایط نرمال (در سطح احتمال پنج درصد) و تنش (در سطح احتمال یک درصد) بود. شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YSI، RDI، DI و SIIG به¬دلیل دارا بودن همبستگی بالا با عملکرد در محیط فاقد تنش و واجد تنش، به¬عنوانبهتربن شاخص‌ها، قابل استفاده هستند. همچنین دو شاخص TOL و SSI همبستگی مثبت و بالایی با یکدیگر داشتند و شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YSI، RDI، DI و SIIG نیز با یکدیگر همبستگی مثبت و بالایی داشتند. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه هیبریدها را در سه گروه قرار داد. بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی، هیبریدهای SC700، SC706، SC666، K3647×K18 و KSC705 به‌عنوان ارقام متحمل به کمبود آب و پرمحصول در شرایط عادی و تنش و هیبریدهای هیبریدهای SC702، SC703، K3651/2×K19 و SC701 به‌عنوان ارقام کم‌بازده در هر دو شرایط تنش و نرمال بودند. در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که در این تحقیق هیبریدهای SC500 و SC704 با عملکرد بالا در شرایط نرمال و عملکرد نسبتا قابل قبول در شرایط تنش به عنوان هیبریدهای متحمل به تنش کمبود آب و هیبریدهای AR66 و SC670 با عملکرد مطلوب در شرایط نرمال ولی با افت عملکرد شدید در شرایط تنش کمبود آب به‌عنوان هیبریدهای حساس به تنش کمبود آب شناسایی شدند.

منابع

1. Ahuja, I., R.C. DeVos, A.M. Bones and R.D. Hall. 2010. Plant molecular stress responses face climate change. Trends in plant science, 15(12): 664-674.
2. Blum, A. 2011. The interdrought conference in perspective. Journal of Experimental Botany, 64(18): 5773-5774.
3. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh Jr. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. Crop Science, 24(5): 933-937.
4. Boyer, J.S. and M.E. Westgate. 2004. Grain yields with limited water. Journal of Experimental Botany, 55(407): 2385-2394.
5. Campos, H., M. Cooper, J.E. Habben, G.O. Edmeades and J.R. Schussler. 2004. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. Field Crops Research, 90(1): 19-34.
6. Choukan, R., A. Heidari, A. Mohammadi and M. H. Haddadi. 2008. Evaluation of drought tolerance in grain maize hybrids using drought tolerance indices. Seed and Plant Production Journal, 24 (3): 543-562 (In Persian).
7. Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 1992: 257-270.
8. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29(5): 897-912.
9. Golabadi, M., A.S.A.M. Arzani and S.M. Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 1(5): 162-171.
10. Golbashy, M., M. Ebrahimi, S. Khavari Khorasani and M.H. Sabour. 2011. The response of grain corn genotypes to drought and determination of rought tolerance indices. Iranian Journal of Field Crops Research, 9(1): 103-113 (In Persian).
11. Guanter, L., Y. Zhang, M. Jung, J. Joiner, M. Voigt, J.A. Berry, C. Frankenberg, A.R. Huete, P. Zarco-Tejada, J.E. Lee and M.S. Moran. 2014. Global and time-resolved monitoring of crop photosynthesis with chlorophyll fluorescence. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(14): E1327-E1333.
12. Hwang, C.L. and K. Yoon. 1981. Methods for multiple attribute decision making. In Multiple attribute decision making, 58-191 pp, Springer, Berlin, Heidelberg.
13. Ingram, J. 2011. A food systems approach to researching food security and its interactions with global environmental change. Food Security, 3(4): 417-431.
14. Jafari, A., F. Paknejad and A.M. Jami. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (Zea mays L.) hybrids. International Journal of Plant Production, 3(4): 33-38.
15. Jin, Z., Q. Zhuang, J. Wang, S.V. Archontoulis, Z. Zobel and V.R. Kotamarthi. 2017. The combined and separate impacts of climate extremes on the current and future US rainfed maize and soybean production under elevated CO2. Global Change Biology, 23(7): 2687-2704.
16. Lan, J., 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 7: 85-87.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]

17. Lobell, D.B., M.J. Roberts, W. Schlenker, N. Braun, B.B. Little, R.M. Rejesus and G.L. Hammer. 2014. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the US Midwest. Science, 344(6183): 516-519.
18. Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Current Science, 758-763.
19. Moghadasi, L., V. Rashidi and A. Razban. 2009. Effect of drought stress on grain yield and some morphological traits in durum wheat inbred lines. Journal of Science and Technology in Agricultural Sciences, 12: 41-53 (In Persian).
20. Moghaddam, A. and M.H. Hadizadeh. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices, 255-272.
21. Myers, S.S., M.R. Smith, S. Guth, C.D. Golden, B. Vaitla, N.D. Mueller, A.D. Dangour and P. Huybers. 2017. Climate change and global food systems: potential impacts on food security and undernutrition. Annual Review of Public Health, 38: 259-277.
22. Naghavi, M.R., A. Pour Aboughadareh and M. Khalili. 2013. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. Notulae Scientia Biologicae, 5(3): 388-393.
23. Najafi Mirak, T., M. Dastfal, B. Andarzian, H. Farzadi, M. Bahari and H. Zali. 2018. Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. Journal of Crop Production and Processing, 8(2): 79- 96 (In Persian).
24. Ober, E.S., M. Le Bloa, C.J. Clark, A. Royal, K.W. Jaggard and J.D. Pidgeon. 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. Field Crops Research, 91(2-3): 231-249.
25. Ramzi, E., A. Asghari, S. Khomari and H. Mohammaddoust e Chamanabad. 2018. Investigation of durum wheat (Triticum turgidum L. subsp. Durum Desf) lines for tolerance to aluminum stress condition. Journal of Crop Breeding, 10(25): 63-72 (In Persian).
26. Ribaut, J.M., J. Betran, P. Monneveux and T. Setter. 2009. Drought tolerance in maize. In Handbook of maize: its biologySpringer, New York, NY, 311-344 pp.
27. Ribeiro, I.C., C. Pinheiro, C.M. Ribeiro, M.M. Veloso, M.C. Simoes-Costa, I. Evaristo, O.S. Paulo and C.P. Ricardo. 2016. Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (Beta vulgaris spp. maritima) from three contrasting habitats. Frontiers in Plant Science, 7:1293.
28. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non–stress environment 1. Crop Science, 21(6): 943-946.
29. Saremi, Z., M. Shabazi, M. Zinalabdini, E. Majidi Haravan and R. Azizinezhad. 2022. Evaluation of Drought Tolerance in Barley Genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using Drought Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding, 14(41): 10-18 (In Persian).
30. Shiri, M.R. 2000. The investigation of yield and yield component in wheat variety under water stress. M.Sc Thesis, Islamic Azad University, Ardabil Branch, 143 pp.
31. White, P.J. and L.A. Johnson. 2003. Corn: Chemistry and technology, American Association of Cereal Chemists. Inc., Saint Paul, Minnesota, 467-468.
32. Yang, S., B. Vanderbeld, J. Wan and Y. Huang. 2010. Narrowing down the targets: towards successful genetic engineering of drought-tolerant crops. Molecular Plant, 3(3): 469-490.
33. Zali, H., M. Dastfal, M. Hashemi, F. Farsodeh, M. Karimi, M. Jafari and Z. Mahdavinia. 2022. Evaluation of Seed Yield and Morphological Characteristics of Some Barley Cultivars and Promising Lines in Southern Cities of Fars Province. Journal of Crop Breeding, 14(41): 63-74 (In Persian).
34. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asgharii and S.M. Hoseini. 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. In Biological Forum, 7(2): 703 pp., Research Trend.
35. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. Journal of Crop Breeding, 78(20): 77-90 (In Persian).
36. Zali, H., T. Hassanloo, O. Sofalian, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2017. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. Journal of Crop Breeding, 8(20): 90-77 (In Persian).
37. Zare, M. 2012. Evaluation of drought tolerance indices for the selection of Iranian barley (Hordeum vulgare) cultivars. African Journal of Biotechnology, 11(93): 15975- 15981.
38. Zebarjadi, A.R., S. Tavakoli Shadpi, A. Etminan and R. Mohammadi. 2013. Evaluation of Drought Stress Tolerance in Durum Wheat Genotype Using Drought Tolerance Indices. Seed and Plant Improvement Journal, 29(1): 1-12 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]

Evaluation of Water Stress Tolerance of Maize Hybrids using Tolerance Indicies

Jamileh Seyedzavar[1], Majid Norouzi[2], Saeed Aharizad[3] and Mohammad Moghaddam[4]

1-PhD student of Tabriz University, Tabriz, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Breeding & Biotechnology, Faculty of agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, (Corresponding Author: Norouzi@tabrizu.ac.ir)
3- Profesor, Department of Plant Breeding & Biotechnology, Faculty of agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4- Profesor, Department of Plant Breeding & Biotechnology, Faculty of agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Received: 25 May, 2022 Accepted: 2 August, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Maize is one of the most important cereals that is cultivated in many parts of the world and it is one of the most important cereals for the production of food for people all over the world. The most common environmental stress is drought, which limits the growth and survival of plants in arid and semi-arid areas. The selection of tolerant genotypes to drought can help to improve the performance of maize hybrids under these conditions.

Material and Methods: In this research, to investigate the tolerance of maize hybrids to drought stress, 18 maize hybrids were evaluated in an experiment in the form of the split-plot design based on a randomized complete block design with three replications. In the control conditions, irrigation was done after 70 mm and under drought stress conditions, after 120 mm of evaporation from the class A pan. Based on the grain yield under water-deficit stress and normal conditions, the indices including the stress tolerance index (STI), stress susceptibility index (SSI), tolerance (TOL), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HARM), reconnaissance drought Index (RDI), drought resistance index (DI), yield stability index (YSI) and selection index of ideal genotype (SIIG) were calculated for the studied hybrids and the most tolerant and sensitive hybrids were identified. Also, the grouping of hybrids was done based on cluster analysis and principal component analysis.

Results: In this research, yield under normal and water-deficit stress conditions had a low correlation with the TOL index, a negative and significant correlation with SSI, and a positive and significant correlation with MP, GMP, STI, HARM, YSI, RDI, DI and SIIG and therefore, hybrids with higher values for these indices had higher yield in the water-deficit stress and normal conditions. Thus, MP, GMP, STI, HARM, YSI, RDI, DI, and SIIG were suitable indices for identifying hybrids with higher yield in both conditions due to their higher correlation with the grain yield in water-deficit stress and non-stress environments.

Conclusion: In normal conditions, SC704, has the highest (18.57 tons/ha) and SC703 (11.81 tons/ha), SC702 (11.76 tons/ha), SC720 (12.66 tons/ha), SC701 (11.77 ton/ha), K19/2×K3651 (11.09) and AR66 (11.43 tons/ha) had the lowest yield. Also, under water stress conditions, SC704 had the highest (15.9 tons/ha) and AR66 had the lowest (6.16 tons/ha) yield. Based on the results of the studied indices, SC500 and SC704 were identified as water deficit tolerant hybrids and SC670 and AR66 were also identified as sensitive hybrids to water deficit stress. The results of cluster analysis and principal component analysis and biplot diagram also confirmed this issue.

Keywords: Biplot diagram, Cluster analysis, Correlation, Maize, Principal component, Yield

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.105]