



## به‌زرعی کشاورزی

دوره ۱۵ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۲  
صفحه‌های ۱۳-۱

# تعیین شاخص‌های تحمل به خشکی در هیبریدهای مختلف ذرت شیرین

فرهاد عزیزی\*<sup>۱</sup>، علی ماهرخ<sup>۲</sup>

۱. استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر، کرج - ایران

۲. کارشناس ارشد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر، کرج - ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۷/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۰/۳/۱۱

### چکیده

به منظور مقایسه و تعیین بهترین شاخص‌های تحمل خشکی در هیبریدهای ذرت شیرین آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، در سال ۱۳۸۵، انجام شد. ۳ تیمار آبیاری (آبیاری پس از ۷۵ (شاهد)، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان فاکتور اصلی و ۱۲ هیبرید ذرت شیرین شامل سینگل کراس ۴۰۳، چیس، اسکوایر، ریوال، رویل، دیوا، شیمیر، شیکر، پی‌اس ۱۰۷، گولدا، رویالتی و رانا به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. در این آزمایش، از شاخص‌های میانگین حسابی (MP)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین هندسی (GMP)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI) برای تعیین میزان تحمل یا حساسیت هیبریدها به خشکی استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های STI و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و شدید داشتند. با توجه به این ۲ شاخص هیبریدهای دیوا و گولدا در شرایط مطلوب عملکرد مناسبی داشتند، ولی با حاکم شدن شرایط تنش شدید، عملکرد آن‌ها کاهش یافت. هیبریدهای سینگل کراس ۴۰۳، اسکوایر، شیمیر و شیکر در شرایط بدون تنش عملکرد پایینی داشتند، اما در شرایط تنش شدید عملکرد مناسبی نشان دادند. هیبریدهای چیس، ریوال و رویل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش شدید عملکرد پایینی داشتند. همچنین، از هیبریدهای پی‌اس ۱۰۷، رویالتی و رانا در هر دو شرایط مطلوب و تنش شدید عملکرد قابل قبولی حاصل شد. بنابراین، کشت این هیبریدها در هر ۲ شرایط کمبود و فراهمی آب توصیه می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** تنش خشکی، حساسیت، ذرت شیرین، عملکرد دانه، هیبرید.

## ۱. مقدمه

ذرت شیرین با نام علمی *Zea mays var. saccharata* یکی از واریته‌های ذرت معمولی است که با حضور ژن و یا ژن‌هایی که بر ساخت نشاسته در آندوسپرم تأثیر می‌گذارند، از میان انواع ذرت متمایز شده است و کاربرد آن را به‌عنوان سبزی ممکن می‌سازد. حدود ۳۰ سال قبل الل قندی‌بودن (su) بر روی کروموزوم شماره ۴ ذرت شیرین شناسایی شد و امروزه، حداقل ۷ ژن دیگر نیز شناسایی شده‌اند که بر ساخت کربوهیدرات آندوسپرم اثر می‌گذارند و به‌صورت انفرادی و ترکیبی در ارقام ذرت شیرین به‌کار می‌روند [۱۳]. این ژن‌ها بر کیفیت خوراکی (طعم، نرمی و بافت)، ظاهر بلال و بوته و قدرت زندگی اثر می‌گذارند. از میان این ژن‌ها، ژنی که در وسیع‌ترین شکل به‌کار می‌رود، ژن چروکیدگی (sh2) است [۱۳].

به‌طور کلی به هر عامل یا ترکیبی از عوامل محیطی که باعث شود گیاه نتواند به اندازه پتانسیل ژنتیکی خود رشد کند، تنش گفته می‌شود. تنش خشکی در نتیجه نبود تعادل بین تبخیر و تعرق و بارندگی به وجود می‌آید. در واقع خشکی نتیجه بارندگی کم، دمای بالا و وزش باد است و واکنش گیاه نسبت به آن، بستگی به مرحله‌ای از رشد گیاه دارد که خشکی در آن روی می‌دهد [۱۵].

در جهان حدود ۱۶۰ میلیون هکتار ذرت به‌صورت فاریاب کشت می‌شود که به دلیل وجود شرایط خشکی حدود ۲۵ درصد کاهش عملکرد گزارش شده است [۶]. به دلیل توزیع غیریکنواخت و نامنظم بارندگی کاهش محصول در مناطق گرمسیری بیشتر است. در نواحی که آب کافی برای کشت ذرت موجود باشد، برداشت سودآور محصول به دلیل کاهش حجم آب آبیاری میسر نیست [۱۶]. از آنجا که تحمل خشکی صفتی پیچیده است و با تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود، پیشرفت به‌نژادی ذرت برای تحمل خشکی بسیار کند انجام می‌شود. بنابراین، به‌نژادگران به منظور اصلاح ذرت از صفات ثانویه و

شاخص‌های انتخاب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر تحت شرایط تنش خشکی بهره برده‌اند [۱۳]. عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطلوب و شرایط تنش می‌تواند به‌عنوان معیاری برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های با بارندگی پیش‌بینی نشده استفاده شود [۱۴].

در مطالعه‌ای برای شناسایی ژنوتیپ‌های با تحمل زیاد به خشکی تحت شرایط تنش خشکی ملایم ( $SI=0/23$ )<sup>۱</sup> و شدید ( $SI=0/76$ )، انتخاب بر مبنای شاخص تحمل (TOL)<sup>۲</sup> به نفع ژنوتیپ‌هایی عمل کرد که پتانسیل محصول‌دهی پایینی داشتند. همچنین، انتخاب بر مبنای شاخص میانگین محصول‌دهی (MP)<sup>۳</sup> را ژنوتیپ‌هایی شناسایی کردند که پتانسیل محصول‌دهی بالایی داشتند. شاخص حساسیت به تنش (SSI)<sup>۴</sup> نیز ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کرد که متحمل به تنش بودند، ولی پتانسیل عملکرد پایینی داشتند. این شاخص‌های انتخاب در شناسایی ژنوتیپ‌هایی ناموفق بودند که پتانسیل عملکرد بالا و همچنین، تحمل به تنش بالایی داشتند. بنابراین، یک شاخص انتخاب به نام شاخص تحمل به تنش (STI)<sup>۵</sup> پیشنهاد شد که بتواند ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش بالا را شناسایی کند. این شاخص پتانسیل عملکرد را در محیط‌های بدون تنش، تحت شرایط تنش ملایم و تنش شدید در نظر می‌گیرد. بنابراین، هرچه مقدار STI برای یک ژنوتیپ در محیط تنش بیشتر باشد، پتانسیل عملکرد و تحمل آن به تنش نیز بالاتر است [۷].

در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در ۲ محیط تنش و بدون تنش، عکس‌العمل گیاهان را می‌توان به ۴ گروه زیر تقسیم کرد: گروه A: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در هر ۲ محیط تنش و بدون تنش دارند؛ گروه B: ژنوتیپ‌هایی که

1. Stress Intensity
2. Tolerance Index
3. Mean Productivity
4. Stress Susceptibility Index
5. Stress Tolerance Index

## ۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با مشخصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۲۱ متری از سطح دریا اجرا شد. فاکتور اصلی شامل ۳ رژیم آبیاری بهینه (شاهد)، تنش ملایم و شدید (به ترتیب آبیاری پس از ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و فاکتور فرعی شامل ۱۲ هیبرید ذرت شیرین شامل هیبریدهای سینگل کراس ۴۰۳<sup>۱</sup>، چیس<sup>۲</sup>، اسکوایر<sup>۳</sup>، ریوال<sup>۴</sup>، ویل<sup>۵</sup>، دیوا<sup>۶</sup>، شیمر<sup>۷</sup>، شیکر<sup>۸</sup>، پی‌اس ۱۰۷<sup>۹</sup>، گلدا<sup>۱۰</sup>، رویالتی<sup>۱۱</sup> و رانا<sup>۱۲</sup> بودند. هیبرید سینگل کراس ۴۰۳ هیبریدی داخلی و هیبریدهای شماره ۶ (دیوا)، ۷ (شیمر) و ۸ (شیکر) ذرت بسیار شیرین<sup>۱۳</sup> و بقیه ذرت شیرین معمولی بودند.

زمین آزمایش، در پاییز ۱۳۸۴، شخم عمیق زده شد و در بهار ۱۳۸۵ به محض امکان شروع عملیات کشاورزی اقدام به شخم سبک، کودپاشی، دیسک و مال‌ه برای تسطیح شد. در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه، عملیات کاشت به روش دستی اجرا شد. در این آزمایش ۳۰۰ کیلوگرم کود فسفات آمونیوم هم‌زمان با کاشت و ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در ۲ مرحله، ۱ مرحله قبل از کاشت و نیمی در مرحله ۷ تا ۹ برگی به صورت سرک به مزرعه آزمایشی داده شد. هر

فقط عملکرد خوبی در محیط بدون تنش دارند؛ گروه C: ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالایی در محیط تنش هستند و گروه D: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد ضعیفی در هر ۲ محیط دارند. مناسب‌ترین معیار انتخاب، معیاری است که بتواند گروه A را از گروه‌های دیگر تشخیص دهد [۷].

در تحقیقی که طی ۳ آزمایش جداگانه برای تعیین بهترین شاخص تحمل به خشکی در لاین‌های ذرت از ۳ گروه رسیدگی مختلف انجام شد، شاخص‌های مختلف (SSI, Harm, TOL, STI, GMP و MP) با استفاده از عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه شدند. همچنین، روابط میان این شاخص‌ها با استفاده از روش ترسیمی بای‌پلات نمایش داده شد. در گروه دیررس شاخص‌های STI, GMP, MP و Harm توانستند لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی را شناسایی کنند، ولی شاخص‌های TOL و SSI کارایی خوبی نداشتند. از آنجا که همبستگی ۲ شاخص GMP و MP با عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش بالا بود، این شاخص‌ها به عنوان شاخص‌های برتر شناسایی شدند. در گروه متوسط‌رس نیز نتایج مشابه گروه دیررس به دست آمد. در گروه زودرس، شاخص‌های MP, GMP, Harm و STI همگی در شناسایی لاین‌های مورد نظر موفق بودند و کارایی ۲ شاخص TOL و SSI نیز به علت وجود همبستگی مثبت بین عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش افزایش یافت [۱]. مطالعه دیگری درباره ذرت نشان داده است که GMP و STI می‌توانند برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و غیرتنش به کار روند [۴]. به نظر می‌رسد شاخص‌های STI, Harm, GMP و STI توانایی یکسانی در تمایز ژنوتیپ‌های حساس و متحمل داشته باشند [۹]. این تحقیق نیز به منظور مقایسه و تعیین بهترین شاخص‌های تحمل خشکی در هیبریدهای ذرت شیرین و با هدف شناسایی مناسب‌ترین هیبرید متحمل به این تنش انجام شد.

1. KSC403su
2. Chase
3. Esquire
4. Rival
5. Reveille
6. Diva
7. Shimmer
8. Shaker
9. PS107
10. Golda
11. Royalty
12. Rana
13. Super sweet corn

$$SSI = \frac{1 - (Y_s / Y_p)}{SI}$$

در مبحث تحمل به خشکی باید شرایط کلی محیط تنش و شدت خشکی محیط را در نظر گرفت. برای محاسبه شدت خشکی محیط یا شدت تنش (SI) باید عملکرد در محیط بهینه را که آبیاری کافی داشته است با عملکرد در محیط تنش مقایسه کرد. بنابراین، شدت تنش از رابطه زیر به دست آمد:

$$SI = 1 - \left( \frac{\bar{Y}_s}{Y_p} \right)$$

$\bar{Y}_p$ : میانگین عملکرد همه هیبریدها در محیط بدون تنش

$\bar{Y}_s$ : میانگین عملکرد همه هیبریدها در محیط تنش  
شاخص تحمل به تنش (STI) برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت هر ۲ شرایط تنش و بدون تنش با فرمول زیر محاسبه شد (V):

$$STI = \left( \frac{Y_p}{Y_p} \right) \left( \frac{Y_s}{Y_s} \right) \left( \frac{\bar{Y}_s}{Y_p} \right) = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(Y_p)^2}$$

میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP) نیز به صورت زیر محاسبه شد:

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$$

### ۳. نتایج و بحث

مقایسه میانگین عملکرد دانه در رژیم‌های مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از رژیم آبیاری بهینه (شاهد) حاصل شد. با افزایش اجرای تنش خشکی از آبیاری بهینه به تنش ملایم عملکرد دانه به میزان ۴/۴۷ درصد به طور معنی‌داری کاهش یافت. تنش شدید نیز موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه به میزان ۹/۶۹ درصد نسبت به شاهد شد (جدول ۱). مقایسه میانگین هیبریدها نشان داد که هیبرید پی‌اس ۱۰۷ بیشترین عملکرد دانه را داشته است و پس از آن به غیر از هیبرید گلداس سایر هیبریدها عملکرد نسبتاً مشابه و کمتری داشتند (جدول ۲).

کرت شامل ۴ خط به طول ۵ متر بود و فاصله بین خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر ردیف بذور با فاصله ۱۷/۵ سانتی‌متر از هم قرار داده شدند و در هر کپه ۲ بذر کاشته شد که در مرحله ۵ تا ۶ برگگی عملیات تنک اجرا و تراکم حدود ۷/۶۱ بوته در مترمربع حاصل شد. اولین آبیاری، پس از کاشت در اول خردادماه ۱۳۸۵ اجرا و به عنوان تاریخ کاشت منظور شد. تا مرحله ۸ تا ۱۰ برگگی تمامی بوته‌ها به صورت یکسان هر هفته یکبار آبیاری شدند. از این مرحله به بعد آبیاری براساس میزان تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A در ۳ سطح ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر اجرا شد.

برای کسب نتایج آماری صحیح و حذف اثر حاشیه، ۲ ردیف از هر طرف و همچنین، ۱ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف در هنگام نمونه برداری و برداشت حذف شد و عملکرد دانه از روی سطحی معادل ۴/۵ مترمربع اندازه‌گیری شد. در این آزمایش از ۵ شاخص میانگین حسابی (MP)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین هندسی (GMP)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI) برای تعیین میزان تحمل یا حساسیت هیبریدها به خشکی براساس روابط زیر استفاده شد. شاخص تحمل (TOL) به صورت اختلاف عملکرد محیط تنش و بدون تنش محاسبه شد. همچنین، شاخص متوسط محصول‌دهی (MP) به صورت میانگین عملکرد در ۲ محیط تنش و بدون تنش برآورد شد [۱۵].

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$$

$$TOL = Y_p - Y_s$$

که در روابط (۱) و (۲)،  $Y_p$  و  $Y_s$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$Y_p$ : عملکرد بالقوه هر هیبرید در محیط بدون تنش

$Y_s$ : عملکرد بالقوه هر هیبرید در محیط تنش

شاخص حساسیت به تنش (SSI) از طریق فرمول زیر

محاسبه شد:

تعیین شاخص‌های تحمل به خشکی در هیبریدهای مختلف ذرت شیرین

جدول ۱. میانگین عملکرد دانه در رژیم‌های مختلف آبیاری

عملکرد دانه (تن در هکتار)	رژیم آبیاری
۹/۹۶۷ a	آبیاری نرمال
۵/۲۳۹ b	تنش ملایم
۳/۰۰۲ c	تنش شدید

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون براساس روش چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۲. مقایسه میانگین عملکرد دانه ۱۲ هیبرید ذرت شیرین

عملکرد دانه (تن در هکتار)	هیبریدها	عملکرد دانه (تن در هکتار)	هیبریدها	عملکرد دانه (تن در هکتار)	هیبریدها
۸/۳۵۰ a	پی‌اس ۱۰۷	۵/۷۴۵ cd	رویلا	۶/۱۶۴ bcd	سینگل کراس ۴۰۳
۵/۲۸۴ cd	گلدل	۵/۴۰۹ cd	دیوا	۴/۹۳۱ d	چیس
۷/۴۷۵ ab	رویالتی	۶/۱۱۴ bcd	شیمیر	۶/۱۴۸ bcd	اسکوایر
۶/۴۹۳ bc	رانا	۵/۸۵۷ cd	شیکر	۴/۸۶۴ d	ریوال

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون براساس روش چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

### ۱.۳. ارزیابی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌های تحمل

#### به خشکی

شدت تنش (SI) برای محیط با تنش ملایم ۰/۴۷ و برای محیط با تنش شدید ۰/۷ بود. براساس شرایط حاکم بر محیط‌های تنش ملایم و شدید، برای تعیین مناسب‌ترین ارقام متحمل به خشکی، شاخص‌های تحمل مختلف براساس عملکرد ارقام در محیط بدون تنش ( $Y_p$ ) و در محیط تنش ( $Y_s$ ) به دست آمد (جدول ۳ و ۴). همه شاخص‌های تحمل به خشکی، روند افزایش و کاهش تقریباً یکسانی برای هیبریدهای مورد بررسی داشتند (جدول ۳ و ۴). هیبریدهای پی‌اس ۱۰۷ و رویالتی در هر ۲ محیط تنش ملایم و شدید بیشترین مقادیر شاخص تحمل به تنش (TOL) و میانگین هندسی (GMP) را

داشتند و تحمل خوبی نسبت به تنش نشان دادند. در مقابل هیبریدهای چیس و گلدل از نظر شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین هندسی جزء هیبریدها حساس قرار گرفتند (جدول ۳ و ۴). در مطالعه درباره گندم دوروم شاخص‌های STI، MP و GMP در هر ۲ محیط تنش و بدون تنش به‌عنوان معیاری مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا معرفی شده‌اند [۸]. در مقابل گزارش شده است که شاخص‌های STI، Harm و GMP در تمایز ژنوتیپ‌های حساس و متحمل یکسان هستند [۹]. مطالعه دیگری نیز نشان داده است که از ۶ شاخص STI، SSI، TOL، MP، GMP و Harm شاخص‌های GMP و STI برای جداکردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از سایر ژنوتیپ‌ها موفق‌ترند [۲].

جدول ۳. تخمین میزان حساسیت هیبریدها با شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (تنش ملایم) در هیبریدهای ذرت شیرین

شاخص‌های تحمل به تنش خشکی							
Y <sub>P</sub>	Y <sub>S</sub>	MP	GMP	TOL	STI	SSI	شماره هیبرید
۹/۶۷	۵/۱۶۱	۷/۴۱۶	۷/۰۶۴	۴/۵۰۹	۰/۵۰۲	۰/۹۸۴	سینگل کراس ۴۰۳
۷/۳۷۵	۴/۴۳۱	۵/۹۰۳	۵/۷۱۷	۲/۹۴۴	۰/۳۲۹	۰/۸۴۲	چیس
۸/۷۳۷	۵/۷۸۶	۷/۲۶۲	۷/۱۱	۲/۹۵۱	۰/۵۰۹	۰/۷۱۳	اسکوایر
۸/۹۸۳	۴/۳۱۲	۶/۶۴۸	۶/۲۲۴	۴/۶۷۱	۰/۳۹	۱/۰۹۷	ریوال
۹/۲۲۱	۵/۱۸۳	۷/۲۰۲	۶/۹۱۳	۴/۰۳۸	۰/۴۸۱	۰/۹۲۴	رویال
۱۰/۴۴	۴/۱۲۹	۷/۲۸۵	۶/۵۶۶	۶/۳۱۱	۰/۴۳۴	۱/۲۷۵	دیوا
۹/۸۱۹	۴/۹۶۹	۷/۳۹۴	۶/۹۸۵	۴/۸۵	۰/۴۹۱	۱/۰۴۲	شیمر
۸/۲۳۷	۵/۷۶۸	۷/۰۰۳	۶/۸۹۳	۲/۴۶۹	۰/۴۷۸	۰/۶۳۲	شیکر
۱۴/۹۴	۶/۸۰۶	۱۰/۸۷۳	۱۰/۰۸۴	۸/۱۳۴	۱/۰۲۴	۱/۱۴۹	پی‌اس ۱۰۷
۱۰/۲۵	۳/۴۸	۶/۸۶۵	۵/۹۷۲	۶/۷۷	۰/۳۵۹	۱/۳۹۳	گلد
۱۲/۰۱	۶/۸۵۱	۹/۴۳۱	۹/۰۷۱	۵/۱۵۹	۰/۸۲۸	۰/۹۰۶	رویالتی
۹/۹۱۴	۵/۹۹۶	۷/۹۵۵	۷/۷۱	۳/۹۱۸	۰/۵۹۸	۰/۸۳۴	رانا
۹/۹۶۶	۵/۲۳۹	۷/۶۰۳	۷/۱۹۲	۴/۷۲۷	۰/۵۳۵	۰/۹۸۳	میانگین

جدول ۴. تخمین میزان حساسیت هیبریدها با شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (تنش شدید) در هیبریدهای ذرت شیرین

شاخص‌های تحمل به خشکی							
Y <sub>P</sub>	Y <sub>S</sub>	MP	GMP	TOL	STI	SSI	شماره هیبرید
۹/۶۷	۳/۶۶۲	۶/۶۶۶	۵/۹۵۱	۶/۰۰۸	۰/۳۵۶	۰/۸۸۹	سینگل کراس ۴۰۳
۷/۳۷۵	۲/۹۸۶	۵/۱۸۱	۴/۶۹۳	۴/۳۸۹	۰/۲۲۲	۰/۸۵۱	چیس
۸/۷۳۷	۳/۹۲۱	۶/۳۲۹	۵/۸۵۳	۴/۸۱۶	۰/۳۴۵	۰/۷۸۹	اسکوایر
۸/۹۸۳	۱/۲۹۶	۵/۱۴	۳/۴۱۲	۷/۶۸۷	۰/۱۱۷	۱/۲۲۴	ریوال
۹/۲۲۱	۲/۸۳	۶/۰۲۶	۵/۱۰۸	۶/۳۹۱	۰/۲۶۳	۰/۹۹۲	رویال
۱۰/۴۴	۱/۶۵۸	۶/۰۴۹	۴/۱۶	۸/۷۸۲	۰/۱۷۴	۱/۲۰۳	دیوا
۹/۸۱۹	۳/۵۵۴	۶/۶۸۷	۵/۹۰۷	۶/۲۶۵	۰/۳۵۱	۰/۹۱۳	شیمر
۸/۲۳۷	۳/۵۶۶	۵/۹۰۲	۵/۴۲	۴/۶۷۱	۰/۲۹۶	۰/۸۱۱	شیکر
۱۴/۹۴	۳/۳	۹/۱۲	۷/۰۲۲	۱۱/۶۴	۰/۴۹۶	۱/۱۱۵	پی‌اس ۱۰۷
۱۰/۲۵	۲/۱۲۵	۶/۱۸۸	۴/۶۶۷	۸/۱۲۵	۰/۲۱۹	۱/۱۳۴	گلد
۱۲/۰۱	۳/۵۶	۷/۷۸۵	۶/۵۳۹	۸/۴۵	۰/۴۳	۱/۰۰۷	رویالتی
۹/۹۱۴	۳/۵۷	۶/۷۴۲	۵/۹۴۹	۶/۳۴۴	۰/۳۵۶	۰/۹۱۵	رانا
۹/۹۶۶	۳/۰۰۲	۶/۴۸۵	۵/۳۹	۶/۹۶۴	۰/۳۰۲	۰/۹۸۷	میانگین

به تنش کمتر از ۰/۳۱ و در ارقام حساس این شاخص بیشتر از ۰/۴۴ بود. در این مطالعه بین صفات فنولوژیک و تحمل به خشکی ارتباطی مشاهده نشد.

به نظر می‌رسد هیبریدهای با مقادیر کمتر SSI و TOL در شرایط تنش خشکی افت عملکرد کمتری خواهند داشت؛ اما برای انتخاب هیبریدهای متحمل به خشکی باید به پتانسیل عملکرد آن رقم و یا همان عملکرد در شرایط عادی و بدون تنش ( $Y_p$ ) نیز توجه شود. ولی هیبریدهای دارای شاخص‌های SSI و TOL بالا در شرایط بدون تنش عملکرد مطلوبی نداشتند. هیبریدهای شماره ۲ (چیس)، ۳ (اسکواپر) و ۸ (شیکر) دارای شاخص‌های SSI و TOL پایین بودند (حساسیت کمتر به خشکی)، در حالی که عملکرد مطلوبی در شرایط بدون تنش نداشتند. در مقابل هیبریدهای شماره ۹ (پی‌اس ۱۰۷) و ۱۱ (رویالتی) که عملکرد بالایی در هر ۲ شرایط تنش و بدون تنش داشتند، شاخص‌های SSI و TOL بالایی (حساسیت بیشتر به خشکی) داشتند. در حالی که، برای انتخاب هیبریدهای مقاوم به خشکی از شاخصی باید استفاده شود که در هر ۲ شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با  $Y_p$  و  $Y_s$  باشند [۳، ۷].

### ۲.۳. همبستگی‌های بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش

برای تعیین بهترین شاخص تحمل به خشکی باید شاخصی انتخاب شود که دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر ۲ شرایط تنش و بدون تنش باشد [۷]. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی در تنش ملایم در هیبریدهای مختلف (جدول ۵) نشان داد که همبستگی بین  $Y_p$  و شاخص‌های STI، TOL، MP و GMP مثبت و معنی‌دار بود. همچنین، همبستگی بین  $Y_s$  و شاخص‌های STI، MP و GMP نیز مثبت و معنی‌دار شد. ضرایب همبستگی بین عملکرد در محیط‌های بدون تنش و تنش ملایم با شاخص STI معنی‌دار و به ترتیب برابر ۰/۸۷۸ و ۰/۸۵۵ بود. این ضرایب برای شاخص GMP نیز معنی‌دار و به ترتیب برابر ۰/۸۵۹ و ۰/۸۷۹ برآورد شد. شاخص‌های SSI و TOL دارای همبستگی مثبت با  $Y_p$  بودند؛ در حالی که، این همبستگی با  $Y_s$  منفی بود (جدول ۵). باید توجه داشت که مقادیر کمتر این ۲ شاخص نشان‌دهنده حساسیت کمتر هیبریدها به تنش خشکی است. در مطالعه‌ای ۱۸ ژنوتیپ لوییا، سویا، نخود و لوبین را براساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) به ۲ گروه مقاوم و حساس تقسیم کردند. در ارقام مقاوم شاخص حساسیت

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی در تنش ملایم در هیبریدهای ذرت شیرین

شاخص‌ها	$Y_p$	$Y_s$	SSI	STI	TOL	MP	GMP
$Y_p$	۱						
$Y_s$	۰/۵۱۱	۱					
SSI	۰/۴۵۱	-۰/۵۲۹	۱				
STI	۰/۸۷۸**	۰/۸۵۵**	-۰/۰۲۵	۱			
TOL	۰/۸۴۴**	-۰/۰۳۰	۰/۸۵۴**	۰/۴۸۸	۱		
MP	۰/۹۴۰**	۰/۷۷۳**	۰/۱۲۳	۰/۹۸۶**	۰/۶۱۱*	۱	
GMP	۰/۸۵۹**	۰/۸۷۹**	-۰/۰۶۴	۰/۹۹۶**	۰/۴۵۰	۰/۹۸۲**	۱

\* و \*\* به ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دارند.

در شرایط تنش شدید و با توجه به ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش شدید با شاخص‌های دیگر (جدول ۶)، همبستگی بین  $Y_p$  و شاخص‌های  $STI$ ،  $TOL$ ،  $MP$  و  $GMP$  مثبت و معنی‌دار بود؛ اما  $Y_s$  فقط با شاخص‌های  $STI$  و  $GMP$  همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. ضرایب همبستگی بین عملکرد در محیط‌های بدون تنش و تنش شدید با شاخص  $STI$  به ترتیب برابر  $0/639$  و  $0/805$  و برای شاخص  $GMP$  به ترتیب معادل  $0/577$  و  $0/850$  بود. شاخص‌های  $TOL$  و  $SSI$  دارای همبستگی مثبت با  $Y_p$  بودند؛ در حالی که، با  $Y_s$  همبستگی منفی داشتند (جدول ۶). باید توجه داشت که انتخاب، فقط براساس این ۲ شاخص نمی‌تواند مبنای درستی برای گزینش هیبریدهای متحمل به خشکی باشد، زیرا پایین بودن این ۲ شاخص فقط نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها فقط در محیط تنش حساسیت کمتری به خشکی دارند [۱]. هیبریدهای شماره ۲ (چیس)، ۳ (اسکوایر) و ۸ (شیکر) کمترین میزان  $TOL$  و  $SSI$  را دارا بودند (جدول ۴) که نشان‌دهنده حساسیت کمتر این هیبریدها به خشکی

در شرایط تنش است؛ ولی این هیبریدها عملکرد پایینی در شرایط بدون تنش داشتند (جدول ۴). بنابراین، گزینش این هیبریدها برای تحمل به خشکی نمی‌تواند مبنای درستی داشته باشد. با این حال، هیبریدهایی که در هر ۲ محیط بدون تنش و تنش شدید عملکرد بالایی داشتند، از نظر شاخص‌های  $TOL$  و  $SSI$  مناسب نبودند. همچنین، در آزمایش دیگری عنوان شده است که شاخص‌های  $TOL$  و  $SSI$  همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در هر ۲ شرایط تنش و بدون تنش دارند [۱، ۳].

به‌طور کلی شاخص‌هایی که در هر ۲ شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی مثبت، معنی‌دار و نسبتاً بالایی با عملکرد باشند، به‌عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شوند. بنابراین، به نظر می‌رسد در این مطالعه شاخص‌های  $STI$  و  $GMP$  به دلیل همبستگی‌های معنی‌دار و بالایی که در هر ۲ محیط با عملکرد داشتند، شاخص‌های مناسبی برای برآورد پایداری عملکرد در هر ۲ شرایط تنش ملایم و شدید باشند.

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی در تنش شدید در هیبریدهای ذرت شیرین

شاخص‌ها	Yp	Ys	SSI	STI	TOL	MP	GMP
Yp	۱						
Ys	0/639	۱					
SSI	0/471	-0/841**	۱				
STI	0/639*	0/805**	-0/366	۱			
TOL	0/911**	-0/353	0/789**	0/267	۱		
MP	0/92**	0/450	0/090	0/889**	0/676*	۱	
GMP	0/577*	0/850**	-0/438	0/994**	0/190	0/851**	۱

\* و \*\* به ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دارند.



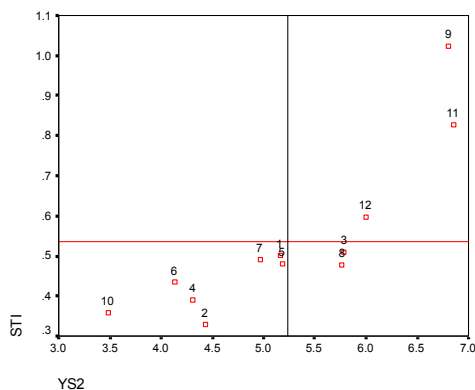
### ۳.۳. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی

برای تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی با عملکرد بالا در هر ۲ محیط از شکل پراکنش هیبریدها با توجه به شاخص‌های تحمل به خشکی استفاده شد. عملکرد دانه در محیط تنش و بدون تنش در ۲ شکل جداگانه بر روی محور Xها و یکی از شاخص‌های انتخاب شده (STI یا GMP) بر روی محور Yها نمایش داده شدند (شکل‌های ۱ تا ۸). برای نشان دادن روابط بین ۳ متغیر عملکرد در محیط تنش، عملکرد در محیط بدون تنش و شاخص مربوطه و جداکردن ژنوتیپ‌های گروه A از گروه‌های دیگر (B، C و D) و همچنین، تشخیص سودمندی شاخص مورد نظر به عنوان معیاری برای انتخاب هیبریدهای پرمحصول و متحمل به خشکی، سطح همه شکل‌ها براساس میانگین‌های عملکرد و شاخص مربوطه به ۴ قسمت تقسیم شد.

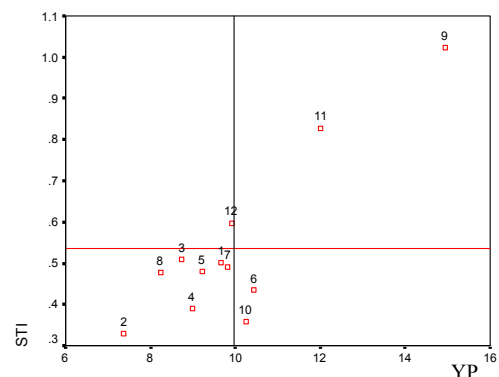
### ۴.۳. بررسی تحمل به خشکی هیبریدها در شرایط بدون تنش و تنش ملایم

هیبرید شماره ۹ (پی‌اس ۱۰۷) از نظر شاخص‌های STI و GMP برتر از سایر هیبریدها شناخته شد (جدول ۲). براساس ۲ شاخص مذکور هیبریدهای شماره ۱۱ (رویالتی) و ۱۲ (رانا) نیز در هر ۲ شرایط بدون تنش و تنش دارای عملکرد بالایی بودند (جدول ۳ و شکل‌های ۱ تا ۴). بنابراین، این هیبریدها به گروه A تعلق دارند [۷]. بر همین اساس هیبریدهای شماره

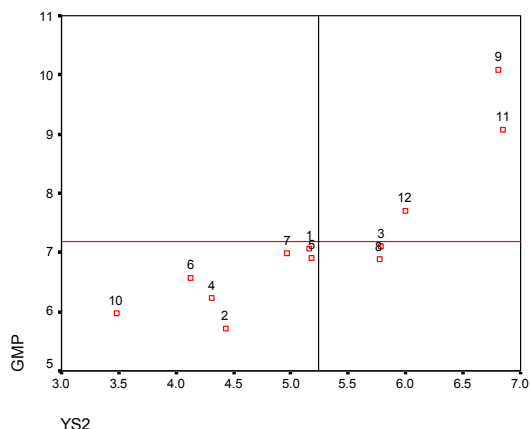
۶ (دیوا) و ۱۰ (گلد) در شرایط بدون تنش دارای عملکرد مناسبی بودند، به طوری که میانگین عملکرد این ۲ هیبرید در شرایط بهینه و بدون تنش از میانگین کلی هیبریدها در شرایط بدون تنش بالاتر و نزدیک به گروه A بود؛ ولی در شرایط تنش ملایم عملکرد هر ۲ هیبرید کاهش یافت. بنابراین، این ۲ هیبرید در گروه B قرار می‌گیرند (جدول ۳ و شکل‌های ۱ تا ۴). طبق شاخص‌های STI و GMP هیبریدهای شماره ۳ (اسکوایر) و ۸ (شیکر) عملکرد ضعیفی در شرایط بدون تنش داشتند؛ به طوری که عملکرد هر ۲ هیبرید در شرایط بدون تنش از میانگین کلی هیبریدها در شرایط تنش پایین تر بود، اما عملکرد هر دو در شرایط تنش بالا بوده است. بنابراین، این هیبریدها در گروه C قرار گرفتند (جدول ۳ و شکل‌های ۱ تا ۴). در نهایت، براساس شاخص‌های مذکور هیبریدهای شماره ۱ (سینگل کراس ۴۰۳)، ۲ (چیس)، ۴ (ریوال)، ۵ (رویال) و ۷ (شیمر) در هر ۲ شرایط بدون تنش و تنش دارای عملکرد کمی بودند و بنابراین، این هیبریدها در گروه D قرار می‌گیرند (جدول ۳ و شکل‌های ۱ تا ۴). بنابراین، هیبریدهای شماره ۹ (پی‌اس ۱۰۷)، ۱۱ (رویالتی) و ۱۲ (رانا) در گروه A، هیبریدهای شماره ۶ (دیوا) و ۱۰ (گلد) در گروه B، هیبریدهای شماره ۳ (چیس) و ۸ (شیکر) در گروه C و هیبریدهای شماره ۱ (سینگل کراس ۴۰۳)، ۲ (چیس)، ۴ (ریوال)، ۵ (رویال) و ۷ (شیمر) در گروه D قرار گرفتند.



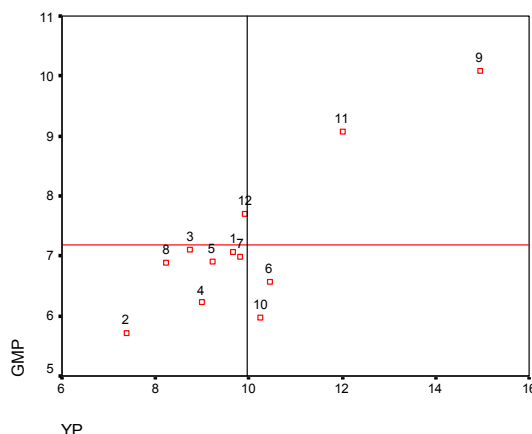
شکل ۲. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی براساس عملکرد در شرایط تنش ملایم و شاخص STI در تنش ملایم



شکل ۱. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی براساس عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص STI در تنش ملایم



شکل ۴. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی براساس عملکرد در شرایط تنش ملایم و شاخص GMP در شرایط تنش ملایم



شکل ۳. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی براساس عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص GMP در شرایط تنش ملای

شاخص‌های مذکور هیبریدهای شماره ۱ (سینگل کراس ۴۰۳)، ۳ (اسکوایر)، ۷ (شیمر) و ۸ (شیکر) در شرایط بدون تنش عملکرد پایینی داشتند، اما در شرایط تنش شدید عملکرد این هیبریدها بالاتر از میانگین کلی هیبریدها بود و به این ترتیب دارای عملکرد مناسبی در شرایط تنش شدید بودند. با در نظر گرفتن این وضعیت این هیبریدها در گروه C تقسیم‌بندی می‌شوند (جدول ۴ و شکل‌های ۵ تا ۸).

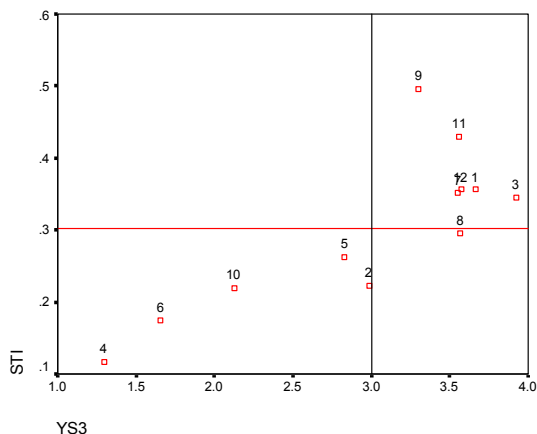
سرانجام با توجه به شاخص‌های تحمل به خشکی و میانگین هندسی و به دلیل اینکه هیبریدهای شماره ۲ (چیس)، ۴ (ریوال) و ۵ (رویل) عملکرد پایینی در شرایط بدون تنش و تنش شدید داشتند، بنابراین، این هیبریدها در گروه D جای می‌گیرند (جدول ۳ و شکل‌های ۵ تا ۸). همچنین، هیبریدهای شماره ۹ (پی‌اس ۱۰۷)، ۱۱ (رویالتی) و ۱۲ (راننا) در گروه A، هیبریدهای شماره ۶ (دیوا) و ۱۰ (گلددا) در گروه B، هیبریدهای شماره ۱ (سینگل کراس ۴۰۳)، ۳ (اسکوایر)، ۷ (شیمر) و ۸ (شیکر) در گروه C و هیبریدهای شماره ۲ (چیس)، ۴ (ریوال) و ۵ (رویل) در گروه D قرار گرفتند.

### ۵.۳. بررسی تحمل به خشکی هیبریدها در شرایط بدون تنش و تنش شدید

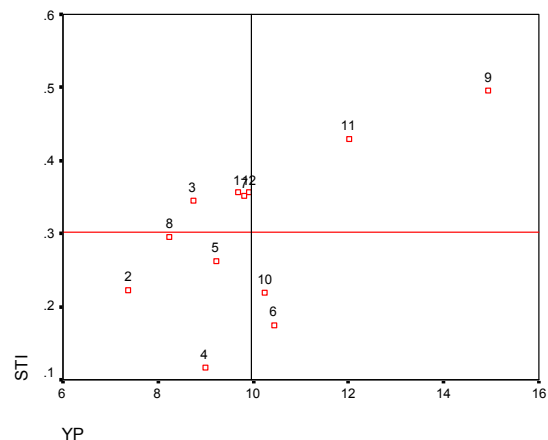
هیبرید شماره ۹ (پی‌اس ۱۰۷) از نظر شاخص‌های STI و GMP برتر از سایر هیبریدها شناخته شد (جدول ۴). این هیبرید همراه با هیبریدهای شماره ۱۱ (رویالتی) و ۱۲ (راننا) در شرایط تنش و بدون تنش عملکرد مناسب و بالایی داشتند. عملکرد هر ۳ هیبرید نیز در شرایط بدون تنش و در شرایط تنش شدید از میانگین هیبریدها در این ۲ شرایط بالاتر بود. بنابراین، این ۳ هیبرید در گروه A قرار می‌گیرند (جدول ۴ و شکل‌های ۵ تا ۸).

هیبریدهای شماره ۶ (دیوا) و ۱۰ (گلددا) از نظر شاخص‌های STI و GMP مانند شرایط تنش ملایم، در محیط بهینه و بدون تنش دارای عملکرد مناسبی بودند، ولی با حاکم شدن شرایط تنش شدید، عملکرد هر ۲ هیبرید به میزانی کمتر از میانگین عملکرد هیبریدها در شرایط تنش شدید رسید و بدین ترتیب در محیط تنش عملکرد ضعیفی نشان دادند. در نتیجه این ۲ هیبرید در گروه B جای می‌گیرند (جدول ۴ و شکل‌های ۵ تا ۸). براساس

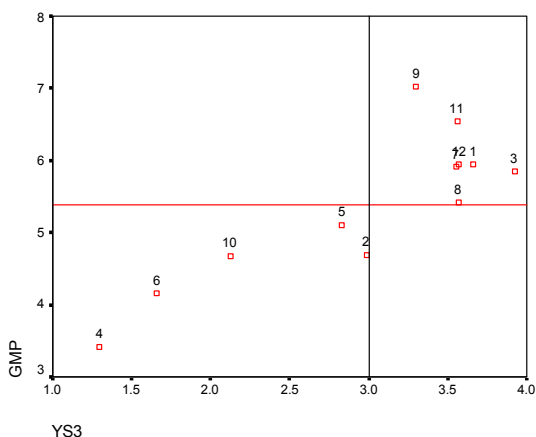
تعیین شاخص‌های تحمل به خشکی در هیبریدهای مختلف ذرت شیرین



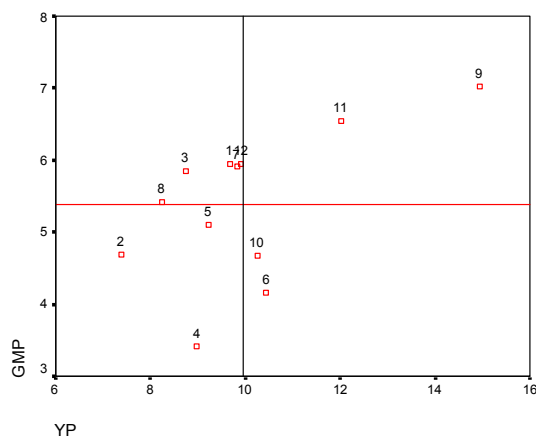
شکل ۶. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی براساس عملکرد در شرایط تنش شدید و شاخص STI در تنش شدید



شکل ۵. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی براساس عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص STI در تنش شدید



شکل ۸. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی براساس عملکرد در شرایط تنش شدید و شاخص GMP در شرایط تنش شدید



شکل ۷. تعیین هیبریدهای متحمل به خشکی براساس عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص GMP در شرایط تنش شدید

پرمحصول برای هر ۲ محیط بدون تنش و دارای تنش خشکی از طریق این ۲ شاخص انجام شد. این شاخص‌ها نشان دادند که هیبریدهای پی‌اس ۱۰۷، رویالتی و رانا دارای عملکرد بالایی در هر ۲ محیط بودند و بنابراین، کشت این هیبریدها در هر ۲ شرایط کمبود و در دسترس بودن آب توصیه می‌شود.

### ۶.۳. نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد به دلیل اینکه ۲ شاخص تحمل به خشکی (STI) و میانگین‌دهی (GMP) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش (ملایم و شدید) داشتند، می‌توان از آنها برای شناسایی و ارزیابی هیبریدهای متحمل به خشکی استفاده کرد. بنابراین، انتخاب هیبریدهای متحمل به خشکی و

منابع

7. Fernandez GC (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance *In*: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tainan, Taiwan, 13-16 Aug. 1992. By C.G. Kuo. AVRDC.
8. Golabadi M, Arzani A and Maibody SAM (2006) Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*. 5:162-171.
9. Golbashi M., Ebrahimi M, Khavari Khorasani S and Choukan R (2010) Evaluation of drought tolerance of some corn (*Zea mays* L.) hybrids in Iran. *African Journal of Agricultural Research*. 5(19):2714-2719.
10. Goodman MM and Brown WL (1988) Races of corn, *In*: Corn and corn improvement, Sprague, G.F. and Dudley, J. W., eds., American Society of Agronomy. Madison, WI.
11. Grzesiak S, Filek W, Skrudlik G and Niziol B (1996) Screening for drought tolerance: Evaluation of seed germination and seedling growth for drought resistance in legume plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 177:245-252.
12. Hirich A, Rami A, Laajaj K, Choukr-Allah R, Jacobsen SE, El youssfi L, El Omari H (2012) Sweet Corn Water Productivity under Several Deficit Irrigation Regimes Applied during Vegetative Growth Stage using Treated Wastewater as Water Irrigation Source. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 61:840-847.
1. احمدزاده، ا؛ (۱۳۷۶). «تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در لاین‌های برگزیده ذرت». دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
۲. ایزانلو، ع؛ زینالی خانقاه، ح؛ حسین‌زاده، ع؛ مجنون حسینی، ن؛ (۱۳۸۱). «تعیین بهترین شاخص‌های تحمل خشکی در ارقام تجاری سویا». چکیده مقالات، هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. کرج، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج.
۳. حاجی‌بابایی، م؛ عزیزی، ف؛ (۱۳۹۰). «ارزیابی شاخص‌های تحمل تنش خشکی در برخی هیبریدهای جدید ذرت». *مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی*. ۴، ۳، ص. ۱۳۹-۱۵۵.
۴. خلیلی، م؛ کاظمی، ح؛ مقدم، م؛ شکیبی، م؛ (۱۳۸۳). «ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی در مراحل مختلف رشد ژنوتیپ‌های دیررس ذرت». هشتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. رشت، ۴۱ صفحه.
۵. نورمند مؤید، ف؛ (۱۳۷۶). «بررسی تنوع صفات کمی و رابطه آن‌ها با عملکرد گندم نان در شرایط دیم و آبی و تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی». دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
6. Edmeades GO (2008) Drought Tolerance in Maize: An Emerging Reality. A Feature *In* James, Clive (Eds.). 2008. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2008. ISAAA Brief No. 39. ISAAA: Ithaca, NY.

13. Mhike X, Okori P, Magorokosho C and Ndlela T (2012) Validation of the use of secondary traits and selection indices for drought tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). African Journal of Plant Science. 6(2): 96-102.
14. Mohammadi R, Armion M, Kahrizi D and Amri A (2010) Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. International Journal of Plant Production. 4:11-24.
15. Osmanzai M, Rajaram S and Knapp EB (1987) Breeding for moisture – stressed areas *In*: Srivastava, J.P., E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma (Eds.), Drought tolerance in winter cereals. John Wiley and Sons. New York. pp: 151-161.
16. Rosegrant MW, Paisner MS, Meijer S and Witcover J (2002) 2020 Global Food Outlook: Trends, Alternatives, and Choices. A Vision for Food, Agriculture and the Environment Initiative. Washington DC, International Food Policy Research Institute, p. 322.
17. Russell WA and Hallauer AR (1988) Corn, *In*: Hybridization of crop plants, Fehr, W.R. and H.H. Hadley (Eds.). American Society of Agronomy and Crop Science of America, Publishers, USA. , pp: 229-312.

