



Path and Biplot analysis of Agronomic Traits of Maize Hybrids under Normal Irrigation and Water-Deficit Stress Conditions

Jamileh Seyedzavar¹, Majid Norouzi^{2*}, Saeid Aharizad³, Mohammad Moghaddam³

Received: 24 December 2022 Accepted: 12 April 2023

1-Dept. of Plant Breeding & Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz., Iran.

2-Assoc. Prof., Dept. of Plant Breeding & Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz., Iran.

3-Prof., Dept. of Plant Breeding & Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz., Iran.

*Corresponding Author Email: norouzi@tabrizu.ac.ir

Abstract

Objectives: Multiple regression analysis and path analysis of maize grain yield with other agronomic traits to determine the most effective traits of the grain yield, as well as analysis of genotype × trait interaction using the GGE biplot method, to evaluate the response of the hybrids to normal and water-deficit stress conditions based on the measured traits for determining high-yielding hybrids for both conditions, were carried out.

Materials and Methods: In order to determine superior hybrids under normal and water-deficit stress conditions based on agronomic traits and with the help of genotype x trait biplot analysis and also to determine traits affecting grain yield through multiple regression and path analysis, 18 maize hybrids were evaluated in a split-plot design based on the randomized complete block design in three replications and in two consecutive years. Two levels of irrigation (control and water-deficit stress) were allocated in the main plots and maize hybrids in the subplots.

Results: In the path analysis of the grain yield with other studied traits, the number of kernel rows, the 300-grain weight and the number of grains per row under normal conditions, and the number of kernel rows and the 300-grain weight in the water deficit stress conditions had significant direct effects on the grain yield. These traits can be used to select grain yield in the segregating generations. The results of GGE biplot analysis of genotype x trait in normal and water-deficit stress conditions showed that in normal conditions, the first component explained 59.48% and the second component 12.8 of the total variance, and in water-deficit stress conditions, the first and second components explained 74.61% and 8.99% of the total variance, respectively. In both normal and water-deficit stress conditions, hybrid SC704 was recognized as the ideal genotype.

Conclusion: Hybrid SC704 ranked first as the most high-yielding hybrid in both normal and water-deficit conditions, and hybrid SC647 ranked next. However, it is recommended to conduct more experiments in different locations and years.

Keywords: GGE biplot, Maize, Path Analysis, Water Deficit Stress



تجزیه بای پلات و علیت صفات هیبریدهای مختلف ذرت در شرایط آبیاری عادی و تنش کمبود آب

جمیله سید زوار^۱، مجید نوروزی^{۲*}، محمد مقدم^۳، سعید اهری زاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۳

۱- گروه به نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه به نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه به نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: Email: norouzi@tabrizu.ac.ir

چکیده

اهداف: تعیین صفات موثر بر عملکرد دانه و نیز تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × صفت با استفاده از روش GGE بای پلات، برای ارزیابی واکنش هیبریدها در شرایط محیطی عادی و تنش کمبود آب بر اساس صفات مورد ارزیابی و تعیین هیبریدهای پرمحصول برای هر دو محیط انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: به منظور تعیین هیبریدهای برتر در شرایط عادی و تنش کم آبی بر اساس صفات زراعی و به کمک تجزیه بای پلات ژنوتیپ × صفت و نیز تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه از طریق رگرسیون چندگانه و تجزیه علیت، ۱۸ هیبرید ذرت به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و طی دو سال متوالی مورد ارزیابی قرار گرفتند. دو سطح آبیاری (شاهد و تنش کمبود آب ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی و هیبریدهای ذرت در کرت‌های فرعی منظور شدند.

یافته‌ها: تجزیه علیت عملکرد دانه با سایر صفات مورد بررسی نشان داد تعداد ردیف در بلال، وزن ۳۰۰ دانه و تعداد دانه در ردیف در شرایط عادی و تعداد ردیف در بلال و وزن ۳۰۰ دانه در شرایط تنش کمبود دارای اثر مستقیم معنی دار روی عملکرد دانه بودند و این صفات را می‌توان به منظور گزینش برای عملکرد دانه در نسل‌های در حال تفرق به کار برد. نتایج حاصل از تجزیه GGE بای پلات ژنوتیپ × صفت در شرایط عادی و تنش کمبود آب نشان داد که در شرایط عادی، دو مولفه اول، در مجموع ۷۲/۲۸ درصد و در شرایط تنش کمبود آب، دو مولفه اول در مجموع ۸۲/۶۰ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه کردند. در هر دو شرایط عادی و تنش کمبود آب، هیبرید SC704 (MO17×B73) نیز به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل شناخته شد.

نتیجه‌گیری: هیبرید SC704 در مرتبه اول به عنوان پرمحصول‌ترین هیبرید در هر دو شرایط عادی و تنش کمبود آب و هیبرید SC647 (K1264/1×B73) در مرتبه بعدی قرار داشت. در عین حال انجام آزمایش‌های بیشتر در مکان‌ها و سال‌های مختلف برای بررسی پایداری عملکرد توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: GGE بای پلات، تجزیه علیت، تنش کمبود آب، ذرت، عملکرد

مقدمه

در میان گیاهان زراعی برخوردار و پایه و اساس امنیت غذایی جهان به شمار می‌روند (فائو ۲۰۲۱). در میان غلات، برنج، گندم و ذرت نیمی از کالری مصرفی

در بین غلات، ذرت (*Zea mays* L.)، برنج و گندم در مجموع از بیشترین میزان تولید در سال (۲/۷۷ میلیارد

توسط یان و همکاران (۲۰۰۰) برای ارزیابی داده‌های دوطرفه ژنوتیپ × محیط ارایه شد و در آن ترسیم بای-پلات بر اساس دو مولفه اصلی اول و دوم انجام می‌شود. تجزیه بای پلات ژنوتیپ × صفت برای تشخیص صفاتی ابداع شد که می‌توانند برای گزینش غیرمستقیم صفت هدف استفاده شوند (یان و راجان ۲۰۰۲). بای پلات، ابزار مناسبی برای توصیف و خلاصه کردن ماتریس اطلاعات در تجزیه توصیفی داده‌ها است و می‌تواند برای بررسی همزمان چندین صفت در ژنوتیپ‌های مختلف استفاده شود. مهمترین اهداف این روش عبارتند از: شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس مجموعه‌ای از صفات، نمایش گرافیکی روابط متقابل صفات و نیز شناسایی صفاتی که ارتباط زیادی با صفت هدف دارند و از آن‌ها می‌توان در گزینش غیرمستقیم صفت هدف استفاده کرد (یان و کانگ ۲۰۰۲).

هدف از این پژوهش، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × صفت با استفاده از روش GGE بای پلات به منظور ارزیابی واکنش هیبریدهای ذرت در شرایط عادی و تنش کمبود آب بر اساس صفات مورد ارزیابی و تعیین هیبریدهای مناسب برای محیط‌های برخوردار از تنش آبی بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۸ هیبرید ذرت (جدول ۱)، تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، در دو سطح آبیاری مختلف، در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در اراضی کرکج، ارزیابی شدند.

محل آزمایش دارای ۱۳۶۰ متر ارتفاع از سطح دریا و در مختصات ۴۶ درجه طول جغرافیایی و ۵ دقیقه و ۳۷ درجه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. بر پایه اطلاعات هواشناسی، اقلیم این منطقه از نوع سرد و نیمه خشک کوهستانی با میانگین بارندگی ۲۷۵ میلی‌متر در سال

جهان را فراهم می‌کنند و در این میان ذرت به عنوان محصول غذایی اساسی، با تولید سالانه ۱/۲۱ میلیارد تن، نقش مهمی در رژیم غذایی میلیون‌ها نفر ایفا می‌کند و یک گیاه مهم دانه‌ای و علوفه‌ای است که در سراسر جهان کشت می‌شود (فائو ۲۰۲۱).

با افزایش جمعیت جهان و تغییرات زیست‌محیطی، امنیت غذایی به عنوان یک دغدغه عمده در جهان مطرح شده است (اینگرام ۲۰۱۱). تنش‌های محیطی بیشتر مناطق دنیا را تحت تاثیر قرار می‌دهند و محدودیت‌های بزرگی را برای تولید بهینه گیاهان اعمال می‌کنند (اهوجا و همکاران ۲۰۱۰ و بویر ۱۹۸۲). کم آبی یک عامل تنش غیرزیستی مهم است که بهره‌وری محصولات را در سراسر جهان محدود می‌کند و تاثیر آن با تغییرات آب و هوایی در حال افزایش است. صرف نظر از دوره رشد گیاه، خشکسالی در هر مرحله از رشد، اثر کشنده و کاهش دهنده عملکرد بر روی گیاه دارد (اوگز و همکاران ۲۰۲۲).

تولید و یا معرفی گیاهان متحمل در برابر کمبود آب به یک چالش اساسی برای اصلاحگران نبات تبدیل شده است و در این راستا پیشرفت‌هایی خوبی در راستای افزایش تحمل به کم آبی ذرت صورت گرفته است (شئوران ۲۰۲۲). مطالعات حاکی از آن است که گیاه ذرت واکنش‌های متفاوتی در پاسخ به تنش کمبود آب نشان می‌دهند. این تفاوت‌ها در پاسخ به تنش کمبود آب برای دامنه وسیعی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گزارش شده است (لسکری و همکاران ۲۰۲۲). در روش‌های کلاسیک به‌نژادی، اصلاحگران جدول‌های دوطرفه ژنوتیپ × صفت را برای هر صفت ایجاد و ژنوتیپ‌ها را رتبه‌بندی می‌کنند و سپس ژنوتیپ-های برتر را با یکدیگر تلاقی می‌دهند. این روش برای بررسی تعداد محدودی صفت آسان است، اولی برای ارزیابی تعداد زیادی صفت، دشوار و کارایی آن کم است (سامونته و همکاران ۲۰۱۳). یک روش کارا برای تجزیه داده‌های مربوط به تعداد زیادی صفت و انتخاب ارقام و لاین‌های مناسب، روش تجزیه GGE بای پلات^۱ است که

¹ Genotype and Genotype by Environment Biplot

و pH خاک در محدوده‌ی قلیایی ضعیف تا متوسط (۷/۸) است (جعفرزاده و همکاران ۱۹۹۷). فاکتور اصلی شامل دو سطح آبیاری (شاهد و تنش کم‌آبی) و فاکتور فرعی شامل ۱۸ هیبرید ذرت بود. سطح اول آبیاری به عنوان

است. میانگین دمای سالانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای سالانه ۲/۲ درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک محل مورد نظر شنی لومی بوده و در زمره خاک-های سبک و از لحاظ ماده‌ی آلی، فقیر محسوب می‌شود

جدول ۱- اسامی هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

شماره	نام	شماره	نام	شماره	نام
۱	SC700	۷	SC647	۱۳	K3647×K18
۲	SC704	۸	SC604	۱۴	SC666
۳	KSC705	۹	K166×K18	۱۵	SC703
۴	SC706	۱۰	SC720	۱۶	AR66
۵	SC702	۱۱	K48×K19	۱۷	SC701
۶	SC670	۱۲	SC500	۱۸	K3651/2×K19

پرمحصول و پایدار و تعیین محیط‌ها و هیبریدهای ایده-آل، از روش GGE بای‌پلات بر اساس مدل زیر استفاده شد (یان و همکاران ۲۰۰۰):

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

در فرمول بالا، Y_{ij} میانگین ارزش ژنوتیپ i ام برای صفت j ام، μ میانگین کل، β_j اثر اصلی صفت j ام، λ_1 و λ_2 مقادیر ویژه، ξ_{i1} و ξ_{i2} بردارهای ویژه مربوط به λ_1 و λ_2 مقادیر ویژه، η_{j1} و η_{j2} بردارهای ویژه مرتب (به ترتیب PC1 و PC2)، ε_{ij} باقیمانده یا خطای مدل هستند. تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × صفت با استفاده از برنامه GenStat نسخه ۱۲ انجام و نمودارهای لازم رسم شدند (پین ۲۰۰۹). برای انجام سایر محاسبات آماری از نرم افزارهای آماری MSTAT-C، و SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمون‌های نرمال بودن توزیع خطاهای آزمایشی و یکنواختی واریانس‌های آن‌ها نشان داد که خطاها از توزیع نرمال برخوردار بوده و واریانس خطاها یکنواخت بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده برای ۱۸ هیبرید مورد بررسی (جدول ۲) نشان داد

شاهد پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A و سطح دوم به عنوان تنش کمبود آب پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر اعمال شد. زمان شروع اعمال تنش در مرحله ۵۰ درصد گل دهی بود. در طول فصل عملیات مربوط به داشت شامل آبیاری‌های منظم، وجین علف‌های هرز، خاکدهی پای بوته و کود دهی انجام شد. صفات مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از: ارتفاع بوته، وزن ۳۰۰ دانه و عملکرد دانه، مساحت برگ پرچم، طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف، تعداد دانه در ردیف، قطر ساقه، عمق دانه و وزن ۳۰۰ دانه. به منظور اندازه‌گیری صفات، ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی، به‌طور تصادفی انتخاب و توسط روبان-هایی علامت‌گذاری شدند. پس از جمع‌آوری داده‌ها، برای بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و نرمال بودن توزیع آن‌ها به ترتیب از آزمون بارلت (bartlett) و آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) استفاده شد. سپس تجزیه واریانس مرکب داده‌ها طی دو سال صورت گرفت. افزون بر این، تجزیه رگرسیون گام به گام (پس از تست مفروضات لازم از قبیل چندمخطی، نرمال بودن خطاها، عدم همبستگی خطاها) و تجزیه علیت به منظور تعیین رابطه عملکرد دانه با سایر صفات مورد اندازه‌گیری انجام شد. همچنین به منظور شناسایی هیبریدهای

نوسان اختلاف هیبریدها با تغییر شرایط آبیاری در رابطه با این صفات بود. بین هیبریدهای مورد مطالعه از نظر تمامی صفات مورد ارزیابی تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۱٪ مشاهده شد که نشانگر وجود تنوع در بین هیبریدهای مورد مطالعه از نظر صفات مذکور بود.

اثر متقابل سال × آبیاری × هیبرید برای کلیه صفات مورد ارزیابی غیرمعنی دار بود. اما اثر متقابل آبیاری × هیبرید برای صفت عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در ردیف بلال، مساحت برگ پرچم و وزن ۳۰۰ دانه حداقل در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود که بیان کننده

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

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییر
طول بلال	تعداد ردیف در بلال	قطر ساقه	مساحت برگ پرچم	ارتفاع بوته		
۱۲/۲۴۸ ^{ns}	۱/۳۷۶ ^{ns}	۰/۰۶۲ ^{ns}	۴۴/۹۵۴ ^{ns}	۲۴۵/۴۱۹ ^{ns}	۱	سال
۸/۸۹۷	۷/۰۵۶	۰/۱۶۶	۱۰۹۲/۶۱۹	۴۳۳/۸۹۱	۴	تکرار/سال
۹۶۸/۱۱۳ ^{**}	۹۹۶/۹۹۹ ^{**}	۷/۲۹۷ ^{**}	۱۹۱۱۷۴/۶۹۳ ^{**}	۹۲۰۷۴/۲۲۴ ^{**}	۱	آبیاری
۴/۹۵۲ ^{ns}	۱۵/۷۵۷ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}	۱۶۱/۹۹۸ ^{ns}	۰/۲۳۳ ^{ns}	۱	سال × آبیاری
۴/۵۹۸	۱/۴۳۷	۰/۰۲۷	۳۰۰۸/۸۲۳	۱۷۹/۴۸۱	۴	تکرار × آبیاری / سال
۲۴/۵۰۳ ^{**}	۲۶/۱۳۲ ^{**}	۰/۱۶۶ ^{**}	۸۹۱۳/۷۲۶ ^{**}	۹۷۱/۶۰۲ ^{**}	۱۷	هیبرید
۲/۰۴۹ ^{**}	۵/۹۴۵ ^{**}	۰/۰۲۷ ^{**}	۲۶۵/۲۹۹ ^{**}	۶۰/۰۳۶ ^{**}	۱۷	سال × هیبرید
۲/۴۴۶ ^{ns}	۳/۵۲۰ ^{ns}	۰/۰۲۹ ^{ns}	۱۲۲۰/۸۵۴ [*]	۳۳۲/۰۱۸ ^{**}	۱۷	آبیاری × هیبرید
۰/۳۳۸ ^{ns}	۱/۵۶۶ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۴۲۵/۰۴۹ ^{ns}	۳۲/۸۴۷ ^{ns}	۱۷	سال × آبیاری × هیبرید
۳/۲۴۷	۲/۶۶۵	۰/۰۳۰	۴۷۵/۲۸۱	۲۱۳/۸۳۶	۱۳۶	خطا
۹/۷۷	۹/۶۸	۹/۴۳	۹/۲۹	۷/۶۶		ضریب تغییرات (%)

^{ns} و ^{**} به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد میباشد.

ادامه جدول ۲

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد دانه	وزن ۳۰۰ دانه	عمق دانه	دانه در ردیف بلال	قطر بلال		
۱۸/۳۵۸ ^{ns}	۴۵۳/۸۲۱ ^{ns}	۰/۳۸۳ ^{ns}	۱/۰۶۱ ^{ns}	۰/۱۹۰ ^{ns}	۱	سال
۱۱/۷۳۲	۲۰۴/۲۴۱	۰/۰۲۶	۱۳/۹۸۱	۰/۲۸۸	۴	تکرار/سال
۹۹۶/۰۹۶ ^{**}	۱۱۶۰۸/۵۲۲ ^{**}	۳/۰۱۰ ^{**}	۴۱۳۷/۷۰۱ ^{**}	۴۶/۷۳۳ ^{**}	۱	آبیاری
۲/۸۶۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۳۵ ^{ns}	۰/۶۷۱ ^{ns}	۰/۰۶۴ ^{ns}	۱	سال × آبیاری
۳/۳۸۹	۳۲/۹۴۸	۰/۰۰۶	۳/۱۹۵	۱/۳۲۸	۴	تکرار × آبیاری / سال
۶۳/۲۷۶ ^{**}	۲۲۴/۶۵۵ ^{**}	۰/۰۲۹ ^{**}	۲۱۵/۸۶۳ ^{**}	۰/۴۸۲ ^{**}	۱۷	هیبرید
۸/۸۸۲ ^{**}	۱۰۵/۴۶۸ ^{**}	۰/۰۱۸ ^{**}	۱۰/۷۷۳ ^{ns}	۰/۰۸۱ ^{**}	۱۷	سال × هیبرید
۵/۵۸۷ ^{**}	۴۵/۸۰۱ [*]	۰/۰۱۳ ^{ns}	۱۹/۸۶۵ ^{**}	۰/۰۷۶ ^{ns}	۱۷	آبیاری × هیبرید
۰/۵۳۹ ^{ns}	۱۶/۰۹۳ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۱/۹۱۲ ^{ns}	۰/۰۲۰ ^{ns}	۱۷	سال × آبیاری × هیبرید
۳/۶۴۸	۳۷/۷۰۲	۰/۰۱۰	۱۲/۵۱۷	۰/۱۷۰	۱۳۶	خطا
۱۴/۷	۸/۴۶	۱۰/۹۴	۸/۸۳	۹/۱۱		ضریب تغییرات (%)

^{ns} و ^{**} به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد میباشد.

صفات ارتفاع بوته و مساحت برگ پرچم در شرایط عادی داشت. بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین قطر بلال و طول بلال مشاهده شد (جدول ۳). طول بلال به طور غیرمستقیم بر عملکرد دانه تاثیر دارد، زیرا موجب افزایش تعداد دانه در بوته نرت شده و عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (امام و ثقه‌الاسلامی ۲۰۰۵).

محاسبه ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه نشان داد که عملکرد دانه در شرایط عادی، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با صفات مساحت برگ پرچم، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن ۳۰۰ دانه دارد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات رشدی و صفات مرتبط با عملکرد دانه مشاهده شد. به عنوان مثال تعداد دانه در ردیف همبستگی معنی‌داری با

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در هیبریدهای نرت تحت شرایط عادی و تنش کمبود آب

وزن ۳۰۰ دانه	عمق دانه	قطر ساقه	تعداد دانه در ردیف	تعداد ردیف	قطر بلال	طول بلال	مساحت برگ پرچم	ارتفاع	عملکرد دانه	صفت
۰/۸۱**	۰/۸۵**	۰/۷۷**	۰/۸۲**	۰/۸۶**	۰/۶۸**	۰/۷۵**	۰/۷۹**	۰/۵۹**	۱	عملکرد دانه
۰/۵۸*	۰/۶۲**	۰/۵۹**	۰/۷۴**	۰/۵۳*	۰/۳۹ ^{NS}	۰/۴۶ ^{NS}	۰/۴۷*	۱	۰/۴۲ ^{NS}	ارتفاع بوته
۰/۶۷**	۰/۹۱**	۰/۸۵**	۰/۸۱**	۰/۵۵*	۰/۷۸**	۰/۸۳**	۱	۰/۲۳ ^{NS}	۰/۷۱**	مساحت برگ پرچم
۰/۶۹**	۰/۸۵**	۰/۸۸**	۰/۶۸**	۰/۴۷*	۰/۷۹**	۱	۰/۳۷ ^{NS}	۰/۶۷**	۰/۵۸*	طول بلال
۰/۷۲**	۰/۷۸**	۰/۷۷**	۰/۷۶*	۰/۳۶ ^{NS}	۱	۰/۸۴**	۰/۴۶ ^{NS}	۰/۴۷*	۰/۵۸*	قطر بلال
۰/۵۵*	۰/۶۷**	۰/۶۲**	۰/۶۱**	۱	۰/۴۲ ^{NS}	۰/۳۱ ^{NS}	۰/۵۱*	۰/۱۹ ^{NS}	۰/۷۷**	تعداد ردیف
۰/۷۴**	۰/۸۳**	۰/۸۰**	۱	۰/۶۴**	۰/۵۵*	۰/۵۵*	۰/۷۶**	۰/۶۰**	۰/۸۱**	تعداد دانه در ردیف
۰/۶۱**	۰/۸۴**	۱	۰/۶۴**	۰/۴۳ ^{NS}	۰/۷۰**	۰/۷۸**	۰/۵۱*	۰/۶۷**	۰/۴۹*	قطر ساقه
۰/۷۶**	۱	۰/۴۸*	۰/۵۸*	۰/۲۳ ^{NS}	۰/۶۲**	۰/۷۰**	۰/۳۹ ^{NS}	۰/۵۹**	۰/۵۱*	عمق دانه
۱	۰/۲۳ ^{NS}	۰/۴۰ ^{NS}	۰/۲۸ ^{NS}	۰/۳۱ ^{NS}	۰/۵۶*	۰/۵۷*	۰/۴۲ ^{NS}	۰/۱۴ ^{NS}	۰/۶۱**	وزن ۳۰۰ دانه

^{NS}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

** : اعداد پایین قطر ظرایب همبستگی صفات در شرایط عادی و اعداد بالای قطر ظرایب همبستگی صفات در شرایط تنش کمبود آب میباشد.

$$Y = -25/384 + 0/281X_1 + 0/212X_2 + 0/584X_3$$

$$R^2 = 0/88 \quad \text{Durbin-Watson} = 1/90$$

نتایج تجزیه علیت در شرایط عادی نشان داد که تعداد دانه در ردیف بلال دارای بیشترین اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه است. اثر غیرمستقیم آن نیز از طریق تعداد ردیف در بلال بیشتر و مثبت بود (جدول ۴). صفات وارد شده در مدل رگرسیون گام به گام در شرایط تنش کمبود آب، تعداد ردیف بلال (X_1) و وزن ۳۰۰ دانه (X_2) بودند که در مجموع توانستند ۸۳/۱ درصد تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه کنند. مقدار دوربین-واتسون نیز حاکی از نبود همبستگی سری بین خطاهای آزمایشی بود.

در شرایط تنش کمبود آب عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با صفات مساحت برگ پرچم، تعداد ردیف در بلال، عمق دانه و وزن ۳۰۰ دانه داشت. همبستگی بین صفات رشدی و صفات مرتبط با عملکرد نیز بالا و معنی‌دار به دست آمد. به طوری که مساحت برگ پرچم بیشترین همبستگی را با عمق دانه، قطر ساقه و طول بلال در شرایط تنش کمبود آب داشت. در تجزیه رگرسیون گام به گام در شرایط عادی، تعداد دانه در ردیف (X_1)، وزن ۳۰۰ دانه (X_2) و تعداد ردیف در بلال (X_3) وارد مدل شدند و در مجموع ۸۷/۶ درصد تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه کردند. مقدار دوربین-واتسون نیز نشان از عدم وجود همبستگی سری بین خطاهای آزمایشی بود.

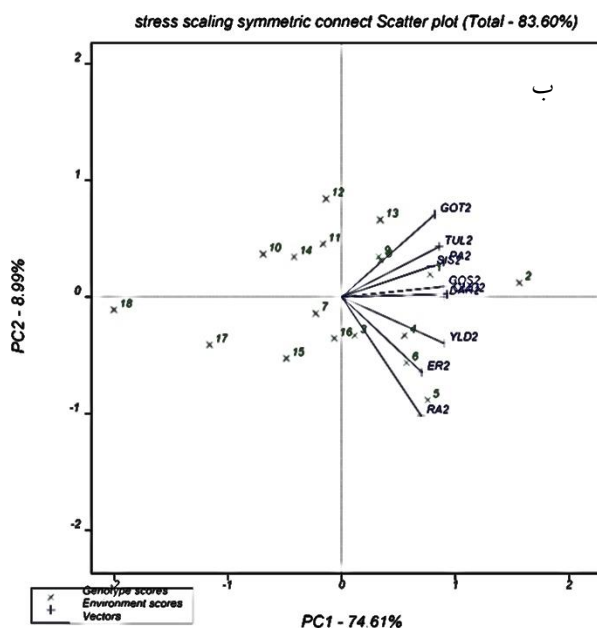
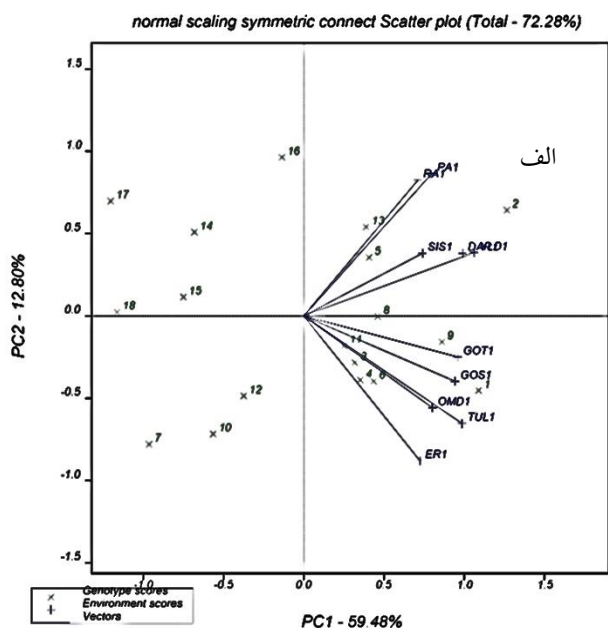
$$1/97 \text{Durbin-Watson} = 0/83 R^2 = \sqrt{X} \cdot 0/230 + \sqrt{X} \cdot 0/826 + 16/330 \cdot Y = -$$

جدول ۴- تجزیه علیت عملکرد دانه با سایر صفات مورد مطالعه در هیبریدهای ذرت در شرایط عادی

صفات موثر روی عملکرد	اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم از طریق			همبستگی با عملکرد دانه
		۱	۲	۳	
تعداد دانه در ردیف	۰/۴۹۴	-	۰/۱۴۲	۰/۳۱۷	۰/۸۱۸
وزن ۳۰۰ دانه	۰/۳۷۲	۰/۱۰۵	-	۰/۱۱۵	۰/۶۱۸
تعداد ردیف در بلال	۰/۳۴۱	۰/۲۱۸	۰/۱۰۵	-	۰/۷۷۳

شود (دویر و همکاران ۱۹۹۴). رفیق و همکاران (۲۰۱۰) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول بلال، وزن هزار دانه و وزن دانه در بوته از یک طرف و عملکرد دانه از سوی دیگر به دست آوردند. شیوا و جاگانت (۱۹۹۱) نتیجه گرفتند وزن دانه در بلال همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن هزار دانه و تعداد دانه در بلال دارد. اهمیت اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بلال و وزن هزار دانه روی عملکرد دانه در ذرت در بیشتر بررسی‌های تجزیه علیت از سوی سایر پژوهشگران گزارش شده است (سینگ و سینگ ۱۹۹۳، رفیق و همکاران ۲۰۱۰ و پنگ و همکاران ۲۰۱۱).

نتایج تجزیه علیت در شرایط تنش کمبود آب، نشان داد که تعداد ردیف بلال در ذرت دارای بیشترین اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه است و وزن ۳۰۰ دانه نیز با فاصله نزدیک به تعداد ردیف بلال در مرتبه بعدی قرار داشت (جدول ۵). بنابراین، در شرایط عادی صفات تعداد ردیف در بلال، وزن ۳۰۰ دانه و تعداد دانه در ردیف در شرایط تنش کمبود تعداد ردیف در بلال و وزن ۳۰۰ دانه از اهمیت خاصی در گزینش برای عملکرد دانه برخوردار هستند پیشرفت کم در گزینش مستقیم برای عملکرد دانه باعث شده است که توجه به نژادگران به گزینش غیر مستقیم عملکرد از طریق صفات ثانویه جلب



شکل ۱- بای پلات ارتباط بین برخی صفات هیبریدهای ذرت دانه‌ای در شرایط عادی و تنش کمبود آب.

X1 تا X18: شماره هیبریدها؛ DAR: تعداد دانه در ردیف؛ ER: ارتفاع بوته؛ GOS: قطر ساقه؛ GOT: قطر بلال؛ PA: مساحت برگ پرچم؛ RA: تعداد ردیف در بلال؛ OMD: عمق دانه؛ TUL: طول بلال؛ SIS: وزن ۳۰۰ دانه.

جدول ۵- تجزیه علیت عملکرد دانه با سایر صفات مورد مطالعه در هیبریدهای ذرت در شرایط تنش کمبود آب

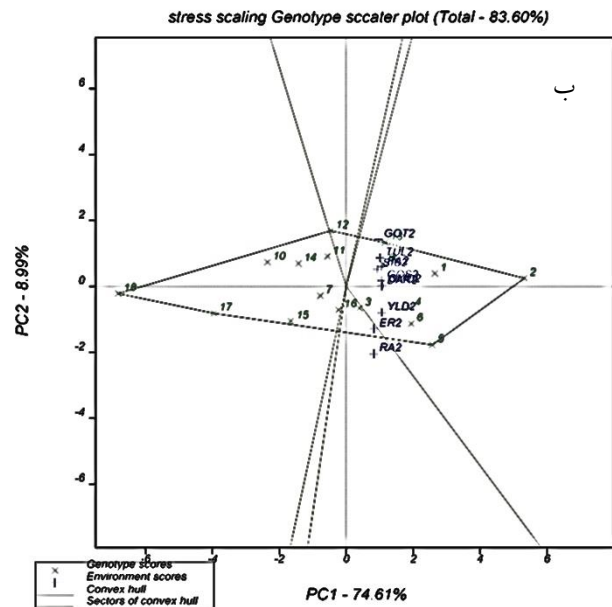
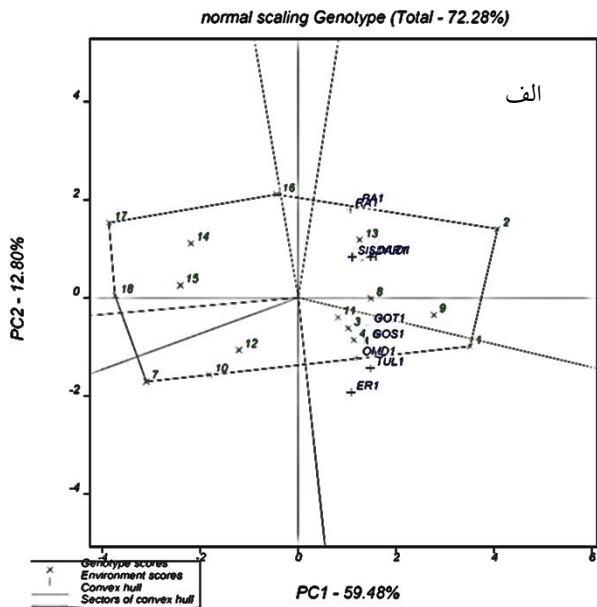
صفات موثر روی عملکرد	اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم از طریق		همبستگی با عملکرد دانه
		۱	۲	
تعداد ردیف در بلال	۰/۵۸۴	-	۰/۲۷۵	۰/۸۶۰
وزن ۳۰۰ دانه	۰/۴۹۲	۰/۳۲۶	-	۰/۸۱۹

ضلعی را در شرایط عادی تشکیل دادند، هیبریدهای ۲ (SC704)، ۱ (SC700)، ۷ (SC647)، ۱۸ (K3651/2×K19)، ۱۷ (SC701) و ۱۶ (AR66) بودند. در شرایط عادی، هیبرید ۱ بیشترین ارتفاع بوته (۲۳۲/۲ سانتیمتر)، طول بلال (۲۲/۵۷ سانتیمتر)، قطر بلال (۵/۱۹۲ سانتیمتر)، عمق دانه (۱/۰۹۸ سانتیمتر) و قطر ساقه (۲/۱۸۸ سانتیمتر) را داشت و هیبرید ۲ از بیشترین مساحت برگ پرچم (۳۰۲/۴ سانتیمترمربع)، تعداد ردیف در بلال (۲۰/۹۷)، تعداد دانه در ردیف بلال (۴۹/۷۳)، وزن ۳۰۰ دانه (۸۷/۷۳ گرم) و عملکرد دانه (۱۸/۲۴ تن در هکتار) بود (شکل ۲).

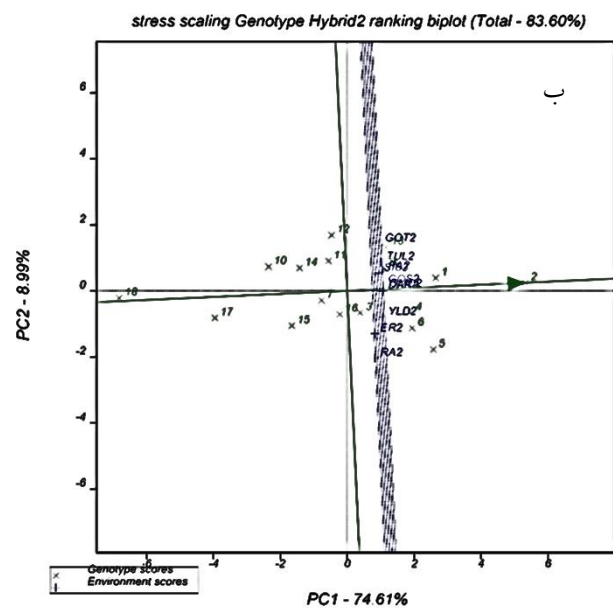
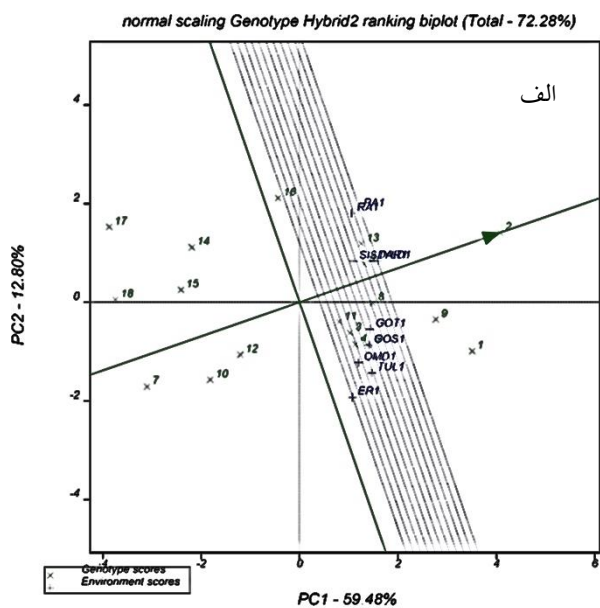
هیبریدهایی که رئوس چند ضلعی را در شرایط تنش کمبود آب تشکیل دادند، هیبریدهای ۲ (SC704)، ۵ (SC702)، ۱۸ (K3651/2×K19)، ۱۷ (SC701) و ۱۲ (SC500) بودند. در شرایط تنش کمبود آب هیبرید ۲ دارای بیشترین مقدار از نظر صفات مساحت برگ پرچم (۲۶۱/۶ سانتیمترمربع)، تعداد دانه در ردیف بلال (۴۶/۰۸)، قطر ساقه (۱/۸۰۲ سانتیمتر)، طول بلال (۱۸/۲۸ سانتیمتر)، قطر بلال (۴/۵۵۲ سانتیمتر)، عمق دانه (۰/۹۲۶ سانتیمتر)، وزن ۳۰۰ دانه (۸۰/۴۴ گرم) و عملکرد دانه (۱۶/۲۴ تن در هکتار) بود. همچنین هیبرید ۵ (SC702) بیشترین ارتفاع بوته (۱۸۶/۱ سانتیمتر) و تعداد ردیف در بلال (۱۷/۸۰) را دارا بود (شکل ۲).

در شرایط عادی هیبریدهای ۱۷ (SC701)، ۱۸ (K3651/2×K19) و ۷ (SC647) و در شرایط تنش کمبود آب، هیبریدهای ۱۵ (SC703)، ۱۷ (SC701) و ۱۸ (K3651/2×K19) راس‌هایی هستند که هیچ صفت شاخصی در بخش مربوط به آنها قرار ندارد که نشان‌دهنده این مطلب است که این هیبریدها از نظر هیچ کدام از صفات مورد بررسی بهترین نبوده‌اند (شکل ۲).

اثرات متقابل است (یان ۲۰۰۲). در این پژوهش، در شرایط عادی، مولفه اول ۵۹/۴۸ درصد و مولفه دوم ۱۲/۸ درصد و در مجموع ۷۲/۲۸ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه کردند که نشان‌دهنده قابلیت بالای بای‌پلات در توجیه تغییرات GE+G در تحقیق حاضر است. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ × صفت در شرایط عادی، بین بردارهای صفات عملکرد دانه و تعداد دانه در ردیف بلال، زاویه کمی وجود دارد که نشان‌دهنده ارتباط بالای بین این دو صفت است (شکل ۱). در شرایط تنش کمبود آب، مولفه-های اول و دوم به ترتیب ۷۴/۶۱ درصد و ۸/۹۹ درصد و در مجموع ۸۳/۶۰ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه کردند. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ × صفت در شرایط تنش کمبود آب، بردار عملکرد دانه با ارتفاع بوته کمترین زاویه را داشت. بنابراین بیشترین ارتباط را با صفت ارتفاع بوته داشت. همچنین، صفات مساحت برگ پرچم و وزن ۳۰۰ دانه بردارهایی مناسب برهم داشتند و بر این اساس، این دو صفت دارای ارتباط بسیار بالایی با یکدیگر بودند (شکل ۱). به طور کلی بردار عملکرد دانه با بردارهای سایر صفات مورد ارزیابی در هر دو شرایط عادی و تنش کمبود آب دارای زاویه تند بود که حاکی از ارتباط مثبت این صفات با عملکرد دانه در این شرایط بود. چندضلعی شکل ۲ اطلاعات مربوط به ۱۸ هیبرید ذرت دانه‌ای را در شرایط فاقد و واجد تنش کمبود آب نشان می‌دهد. در این شکل ژنوتیپ‌هایی که بیشترین فاصله را از مبدا بای‌پلات دارند، توسط خطوط مستقیمی به هم متصل می‌شوند و بقیه هیبریدها در درون پلی‌گون قرار می‌گیرند. هیبریدهای هر راس چند ضلعی، بهترین هیبریدها از نظر مجموعه صفات مورد مطالعه هستند. این نمایش گرافیکی بای‌پلات به شناسایی ژنوتیپ‌هایی که بالاترین ارزش‌ها را برای یک یا چند صفت دارند کمک می‌کند (یان و راجان ۲۰۰۲). هیبریدهایی که رئوس چند



شکل ۲- نمودار چند ضلعی بای پلات بر اساس داده‌های برخی از صفات هیبریدهای ذرت در شرایط عادی و تنش کمبود آب



شکل ۳- بردار هیبرید شماره ۲ (SC704) در بای پلات هیبریدهای ذرت بر اساس مجموعه صفات مورد ارزیابی در شرایط عادی (الف) و تنش کمبود آب (ب)

و ۱۶ (AR66) بالاترین عملکرد را در شرایط عادی داشتند (شکل ۴- الف). همچنین هیبریدهای ۲ (SC704)، ۵ (SC702)، ۶ (SC670)، ۴ (SC706)، ۱ (SC700)، ۳ (KS705)، ۸ (SC604)، ۹ (K166×K18)، ۱۶ (AR66) و ۱۳ (K3647×K18) بیشترین مقدار عملکرد را در شرایط تنش کمبود آب نشان دادند (شکل ۴- ب).

نتیجه‌گیری

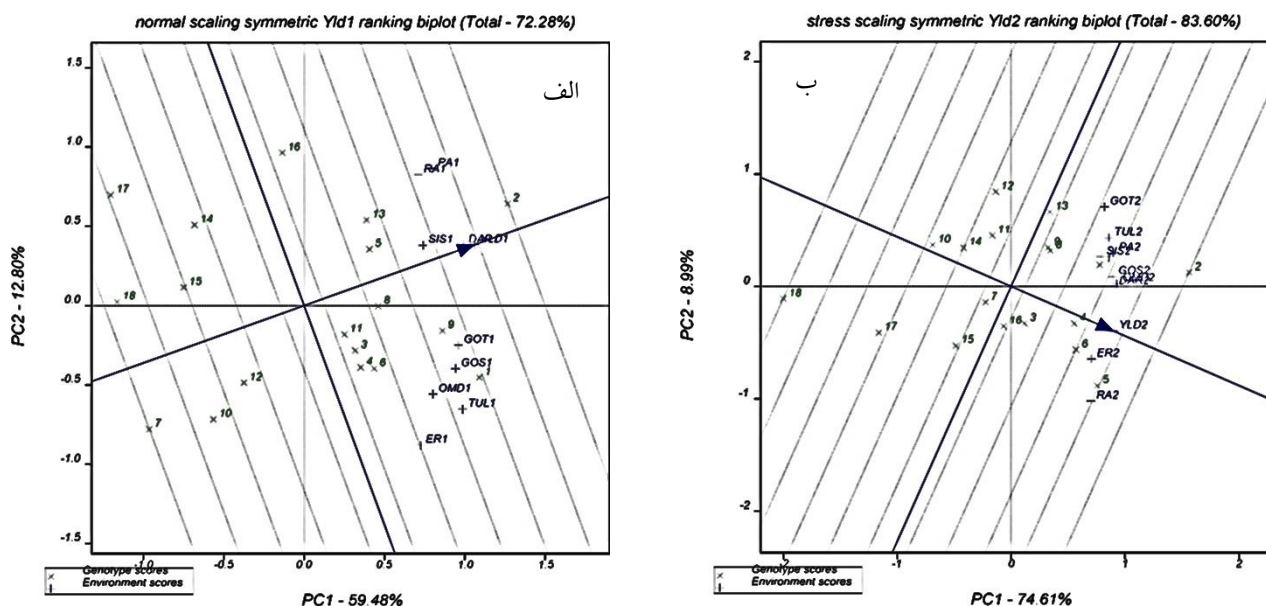
نتایج نشان دادند که در تجزیه رگرسیون چندگانه و تجزیه علیت عملکرد دانه با سایر صفات مورد بررسی، در شرایط عادی صفات تعداد ردیف در بلال، وزن ۳۰۰ دانه و تعداد دانه در ردیف و در شرایط تنش کمبود تعداد ردیف در بلال و وزن ۳۰۰ دانه دارای اثر مستقیم معنی دار روی عملکرد دانه هستند و از این صفات می‌توان در امر گزینش برای عملکرد دانه در نسل‌های در حال تفرق استفاده کرد. در نتایج حاصل از تجزیه بای پلات هیبرید SC704 به عنوان پرمحصول‌ترین هیبرید در شرایط عادی و تنش کمبود آب و نیز به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل شناخته شد و هیبرید SC700، به عنوان نزدیکترین هیبرید و هیبرید SC647، به عنوان دورترین هیبرید از نظر صفات مورد نظر نسبت به هیبرید ایده‌آل شناسایی شد. در عین حال پیشنهاد می‌شود آزمایشات بیشتری در مکان‌ها و سال‌های مختلف انجام پذیرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از زحمات همکاران گروه بهنژادی و بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی و مدیریت ساختمان تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در انجام پروژه و همچنین از آقای دکتر بهرام علیزاده عضو هیات علمی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر که در تهیه مواد گیاهی ما را یاری کردند، صمیمانه تشکر مینماییم.

فاصله بین مبدا بای پلات تا علامت یک رقم، بردار آن رقم نامیده می‌شود. طول بردار معیاری از میزان ارزش یک رقم از نظر مجموعه صفات است. شکل ۳ بردار هیبرید شماره ۲ (SC704) در شرایط عادی و تنش کمبود آب را نشان می‌دهد. خطی که از مبدا بای پلات و علامت هیبرید ۲ می‌گذرد، محور هیبرید ۲ نامیده می‌شود. ارزش نسبی هیبرید ۲ در ارتباط با صفات مختلف، به وسیله تصاویر صفات روی محور هیبرید ۲ برآورد می‌شود. خط ضخیمی که از مبدا بای پلات می‌گذرد و عمود بر محور هیبرید ۲ است، محیط بای پلات را به دو بخش جدا می‌کند. بخشی که هیبرید ۲ در آن از نظر صفات مورد ارزیابی، ارزش کمتر از میانگین را دارد و بخشی دیگر که هیبرید ۲ در آن، ارزش بالاتر از میانگین را دارد. بر اساس این شکل، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که هیبرید ۲ از نظر مجموعه صفات ارزیابی شده، ارزش بالاتر از میانگین را دارد. بنابراین می‌توان گفت هیبرید ۲ (SC704) نسبت به سایر هیبریدها وضعیت مناسبی از نظر صفات مختلف در شرایط عادی و تنش کمبود آب داشته است و می‌توان آن را به عنوان هیبرید ایده‌آل در این پژوهش در نظر گرفت (شکل ۳).

عملکرد دانه به عنوان مهمترین صفت مورد توجه اصلاحگران نباتات است. در بای پلات شکل ۴ خطی که از مبدا بای پلات و عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش کمبود آب می‌گذرد، بردار عملکرد نامیده می‌شود و خط ضخیمی که از مبدا بای پلات می‌گذرد و عمود بر محور عملکرد دانه است، محیط بای پلات را به دو بخش جدا می‌کند. با توجه به این شکل می‌توان چنین نتیجه گرفت که هیبریدهای ۲ (SC704)، ۱ (SC700)، ۹ (K166×K18)، ۱۳ (K3647×K18)، ۵ (SC702)، ۸ (SC604)، ۶ (SC670)، ۳ (KS705)، ۴ (SC706)، ۱۱ (K48×K19)



شکل ۴- بای پلات مربوط به بردار عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در شرایط عادی (الف) و تنش کمبود آب (ب)

منابع مورد استفاده

- Ahuja I, de Vos RCH, Bones AM and Hall RD. 2010. Plant molecular stress responses face climate change. *Trends in Plant Science*, 15(12): 664-674.
- Boyer JS. 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571): 443-448.
- Boyer JS and Westgate ME. 2004. Grain yields with limited water. *Journal of Experimental Botany*, 55(407): 2385-2394.
- Campos H, Cooper M, Habben JE, Edmeades GO and Schussler JR. 2004. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field Crops Research*, 90(1): 19-34.
- Dwyer LM, Ma BL, Evenson L and Hamilton RI. 1994. Maize physiological traits related to grain yield and harvest moisture in mid- to short-season environments. *Crop Science*, 34(4): 985-992.
- Edmeades, GO. 2008. Drought tolerance in maize: an emerging reality. The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). www.isaaa.org.
- FAO. 2021. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Ingram, J. 2011. A food systems approach to researching food security and its interactions with global environmental change. *Food Security*, 3: 417-431.
- Jafarzadeh AA, Kassray R and Neyshabouri MR. 1997. Detailed studies of 18 hectares of lands and soils of Karakaj research station. *Journal of Agricultural Science*, 7: 187-213 (In Persian).
- Laskari M, Menexes G, Kalfas I, Gatzolis I and Dordas C. 2022. Water Stress Effects on the Morphological, Physiological Characteristics of Maize (*Zea mays* L.), and on Environmental Cost. *Agronomy*, 12(10): 2386.
- Oguz MC, Aycan M, Oguz E, Poyraz I and Yildiz M. 2022. Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. *Physiologia*, 2(4): 180-197.

- Mohamed NEM, Said AA and Amein KA. 2013. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and GGE-biplot analysis of genotype environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). African Journal of Agricultural Research, 8(42): 5197-5203.
- Payne, RW. 2009. GenStat. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 1(2): 255-258.
- Peng B, Li Y, Wang Y, Liu C, Liu Z, Tan W, Zhang Y, Wang D, Shi Y, Sun B, Song Y., Wang T and Li Y. 2011. QTL analysis for yield components and kernel-related traits in maize across multi-environments. Theoretical and Applied Genetics, 122(7): 1305-1320.
- Prasanna, BM. 2012. Diversity in global maize germplasm: characterization and utilization. Journal of Biosciences, 37(5): 843-855.
- Rafiq CM, Rafique M, Hussain A and Altaf M. 2010. Studies on heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Research, 48(1): 35-38.
- Samonte SOP, Tabien RE and Wilson LT. Parental selection in rice cultivar improvement. Rice Science, 20(1): 45-51.
- Sheoran, S, Kaur Y, Kumar S, Shukla S, Rakshit S and Kumar R. 2022. Recent advances for drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.): Present status and future prospects. Frontiers in Plant Science, 1580.
- Shiva S and Jagannath MK. 1991. Relationships of the growth and yield components with grain yield of maize through path analysis. Journal of Agricultural Research, 2: 223-225.
- Singh G and Singh M. 1993. Correlation and path analysis in maize under mid-hills of Sikkim. Crop Improvement (India). 20(2): 222-225.
- Yan W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. Agronomy Journal, 94(5): 990-996.
- Yan W, Hunt LA, Sheng Q and Szlavnic Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40(3): 597-605.
- Yan, W and Kang MS. 2002. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists.(CRC Press.
- Yan W and Rajcan I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop science, 42(1): 11-20.
- Yang S, Vanderbeld B, Wan J and Huang Y. 2010. Narrowing down the targets: towards successful genetic engineering of drought-tolerant crops. Molecular Plant, 3(3): 469-490.