Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 16, Issue 2, 2024 p: 14-28

OPEN ACCESS

**Research Paper**

# Determining the Stability of New Maize Hybrids with WAASBY and MTSI Indices

**Mohammadreza Shiri[1], Sajjad Moharramnejad[2], Afshar Estakhr[3], Sharareh Fareghi[4], Hamid Najafinezhad[5], Saeed Khavari Khorasani[6], Aziz Afarinesh[7], Kamran Anvari[8], Morteza Eshraghi-Nejad[9] and Masoud Mohseni[10]**

1- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO): Karj, Iran, (Corresponding author: mohammadrezashiri52@gmail.com)
2- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, Iran
3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
4- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran
5- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran
6- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
7- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Dezful, Iran
8- Researcher, Crop and Horticultural Science Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran
9- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran
10- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran

Received: 17 April, 2023 Revised: 31 December, 2023 Accepted: 7 January, 2024 Available Online: 6 May, 2024

## Extended Abstract

**Background:** Maize is an important crop that is cultivated in many parts of the world. The evaluation of genotypes in breeding programs often faces two important challenges, the genotype × environment interaction effect for the target trait and unfavorable relationships between the target traits. Even though many methods have been offered for stability analysis, especially graphical tools and their relatively good efficiency in interpreting the results, it seems that the best linear unbiased predictions (BLUP) method estimates the means with high accuracy, especially in mixed models, in multi-environmental trails (MET). Therefore, the stability index of weighted average absolute scores (WAASB), which is estimated from the integration of the two stability methods of additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) and best linear unbiased predictions, can be used in METs to estimate more accurately the stability of genotypes. Maize breeding programs prioritize high grain yields and earliness as important traits. The multi-trait stability index (MTSI) is a valuable tool for the simultaneous selection of multiple traits. It is estimated based on the average performance and simultaneous stability of genotypes in different traits and environments. Therefore, the current research aimed to identify stable and high grain yield maize hybrids along with the optimal level of grain moisture percentage at harvest time and days to physiological maturity using the integration of AMMI and BLUP methods with WAASB, WAASBY, and MTSI indices.

**Methods**: This study involved the evaluation of seven promising maize hybrids along with four commercial check varieties, including SC647, TWC647, SC704, and SC715, in maize METs based on a randomized complete block design with four replications across 10 regions (Karaj, Moghan, Shiraz, Kermanshah, Kerman, Mashhad, Dezful, Miyandoab, Jiroft, and Mazandaran) during two cropping seasons of 2019-2020. The recorded traits were grain yield adjusted at 14% moisture content, grain moisture percentage at harvest time, and days to physiological maturity. The WAASB was used to estimate genotypic stability for each genotype. It was computed from the singular value decomposition (SVD) of the matrix of best linear unbiased predictions of genotype vs. environment interaction effects generated by a linear mixed-effect model. The WAASBY index for simultaneous selection based on grain yield (Y) and stability (WAASB) was

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

Copyright ©2024 Shiri et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

estimated by assigning different weights to grain yield and stability. The simultaneous selection for grain yield and stability based on several traits was conducted using the scores obtained from an exploratory factor analysis (MTSI).

**Results**: Based on the grain yield across 10 environments over two years, promising hybrid NO. 3 had the highest grain yield with 12.80 tons per hectare. According to the likelihood ratio test (LRT), the genotype-by-environment interaction was significant for the traits of grain yield, grain moisture percent at harvest time, and the days to physiological maturity. Therefore, BLUP analysis can be performed on these data due to the significant genotype by environment interaction. The BLUPs performed for hybrids were followed by stability analysis using the AMMI method on these BLUPs. The results indicated that the first and second components justified 27.7% and 24.6% of the hybrid by environment interaction variances, respectively. The highest predicted grain yield by the BLUP method belonged to hybrids No. 3, 2, 4, and 1, with higher than average predicted grain yields. Based on the biplot for the first principal component of the environments against the nominal grain yield, hybrids 2, 6, 3, and 1, having the lowest scores of the first principal component (coefficient b or line slope), had a negligible contribution to the hybrid by environment interaction and were distinguished stable. To enable simultaneous selection based on both grain yield and stability, the WAASBY index was estimated by integrating grain yield (Y) and the WAASB stability index. Considering the 50% contribution of each of the two grain yield and yield stability components, five hybrids (1, 2, 3, 6, and 4) showed above-average WAASBY. Among these, hybrids 1, 2, and 3 had significantly higher WAASBY than the other hybrids. All four control cultivars SC647, TWC647, SC704, and SC715 had lower-than-average WAASBY. Based on the MTSI, hybrid 3 was selected as the best hybrid. In addition, the estimated variance components by restricted maximum likelihood (REML) for grain yield indicated that 75.72% and 7.57% of the phenotypic variance were explained by the environment and GEI variances, respectively, whereas the contribution of residual variance to the phenotypic variance was 16.77%.

**Conclusion**: Based on the results, hybrid 3 (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) was identified as a high-yielding hybrid, which can be introduced to farmers as a new superior maize hybrid. It seems that the use of the ratio of the WAASB stability index to grain yield (WAASB/Y) and the selection of superior genotypes based on the MTSI could identify hybrids with high grain yields, stability, and desirable levels of important agronomic traits.

**Keywords:** Adaptability, Grain yield, Multi-traits stability, Prediction, Simultaneous selection

**How to Cite This Article:** Shiri, M., Moharramnejad, S., Estakhr, A., Fareghi, Sh., Najafinezhad, H., Khavari Khorasani, S., Afarinesh, A., Anvari, K., Eshraghi-Nejad, M. (2024). Determining the Stability of New Maize Hybrids with WAASBY and MTSI Indices. *J Crop Breed,* 16(2), 14-28. DOI: 10.61186/ jcb.16.2.14

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

مقاله پژوهشی

# تعیین پایداری هیبریدهای جدید ذرت با شاخص‌های WAASBY و MTSI

محمدرضا شیری [۱]، سجاد محرم‌نژاد[۲]، افشاراستخر[۳]، شراره فارغی[۴]، حمید نجفی‌نژاد[۵]، سعید خاوری خراسانی[۶]، عزیز آفرینش[۷]، کامران انوری[۸]، مرتضی اشراقی نژاد[۹] و مسعود محسنی[۱۰]

۱- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: mohammadrezashiri52@gmail.com)
۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
۵- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
۶- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۷- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران
۸- محقق، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
۹- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران
۱۰- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

صفحه ۱۴ تا ۲۸

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** ذرت یکی از مهمترین گیاهان زراعی است که در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های به‌نژادی اغلب با دو چالش مهم، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای صفت هدف و روابط نامطلوب بین صفات هدف، روبرو است. علی‌رغم اینکه روش‌های زیادی برای تجزیه پایداری، به‌ویژه ابزارهای گرافیکی و کارایی نسبتاً خوب آنها در تفسیر نتایج، ارایه شده است. در این میان، به‌نظر می‌رسد روش بهترین پیش‌بینی‌های ناأریب خطی (BLUP) که میانگین‌ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط تخمین می‌زند، برای ارزیابی داده‌های آزمایش‌های چندمحیطی (MET) از کارایی بالاتری برخوردار باشند. لذا با شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB) که از ادغام دو روش پایداری اثرات اصلی جمع پذیر و برهمکنش‌های ضرب‌پذیر (AMMI) و بهترین پیش‌بینی‌های ناأریب خطی برآورد می‌گردد، می‌توان در آزمایش‌های چند محیطی پایداری ژنوتیپ‌ها را دقیق‌تر تخمین زد. در برنامه‌های به‌نژادی ذرت در کنار عملکرد دانه بالا، زودرسی دارای جایگاه ویژه‌ای است. برای انتخاب همزمان چند صفت یکی از کارآمدترین و جدیدترین روش‌ها، شاخص پایداری چندصفتی (MTSI) بوده که بر اساس میانگین عملکرد و پایداری همزمان ژنوتیپ‌ها در صفات و محیط‌های مختلف برآورد می‌گردد. لذا پژوهش حاضر با هدف تعیین هیبرید پایدار با عملکرد بالا به‌همراه سطح مطلوب صفات درصد رطوبت دانه هنگام برداشت، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی با بهره‌گیری از ترکیب دو روش AMMI و BLUP با شاخص‌های WAASB، WAASBY و MTSI انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش به‌منظور بررسی پایداری هفت هیبرید امیدبخش ذرت به‌همراه چهار رقم تجاری شامل SC647، TWC647، SC704 و SC715 در آزمایش چند محیطی ذرت در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در ۱۰ منطقه (کرج، مغان، شیراز، کرمانشاه، کرمان، مشهد، دزفول، میاندوآب، جیرفت و ساری) به‌مدت دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام گرفت. در این بررسی صفات عملکرد دانه با رطوبت دانه ۱۴ درصد، درصد رطوبت دانه هنگام برداشت و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی اندازه گیری شدند. پایداری ژنوتیپی برای هر ژنوتیپ با میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB)، که از تجزیه مقادیر منفرد (SVD) ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های ناأریب خطی (BLUP) از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط که با یک مدل اثر مختلط خطی ایجاد شده بود، برآورد گردید. همچنین انتخاب همزمان برای عملکرد و پایداری با شاخص WAASBY با دادن وزن‌های مختلف به میانگین عملکرد (Y) و شاخص پایداری (WAASB) انجام شد. علاوه بر این‌ها، انتخاب همزمان برای میانگین عملکرد و پایداری بر اساس چند صفت با استفاده از نمرات به‌دست آمده از یک تجزیه عاملی اکتشافی (شاخص پایداری چندصفتی) انجام گرفت.

**یافته‌ها:** بر اساس میانگین ۱۰ محیط در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، هیبرید امیدبخش شماره ۳ با ۱۲/۸۰ تن در هکتار بالاترین عملکرد دانه را داشت. بر اساس آزمون درست نمایی نسبی (LRT) برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای صفات عملکرد دانه، درصد رطوبت دانه موقع برداشت و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک معنی‌دار بود. لذا برآورد آماره‌های پایداری با روشBLUP امکان‌پذیر بود. بر همین اساس برآورد BLUPها برای هیبریدها انجام و سپس تجزیه پایداری به‌روش AMMI بر روی این BLUPها صورت گرفت. نتایج نشان داد دو مولفه اول و دوم به‌ترتیب ۲۷/۷ و ۲۴/۶ درصد از تغییرات برهمکنش هیبرید در محیط را توجیه کردند. بالاترین عملکرد دانه پیش‌بینی شده با روشBLUP مربوط به هیبریدهای شماره ۳، ۲، ۴ و ۱ بودند که عملکرد دانه پیش‌بینی شده بالاتر از میانگین کل داشتند. بر اساس بای‌پلات اولین مؤلفه اصلی محیط در برابر عملکرد اسمی، هیبریدهای شماره ۲، ۶، ۳ و ۱با داشتن کمترین نمره‌های مؤلفه اصلی اول (ضریب b یا شیب خط)، سهم ناچیزی در برهمکنش هیبرید در محیط داشتند و پایدار تشخیص داده شدند. به‌منظور گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری، شاخص WAASBY با تلفیق دو شاخص عملکرد (Y) و آماره پایداری WAASB برآورد گردید. با لحاظ سهم ۵۰ درصد برای هر یک از دو جزء عملکرد و پایداری، پنج هیبرید شماره ۱، ۲، ۳، ۶ و ۴ دارایWAASBY بالاتر از میانگین هیبریدها بودند. در این میان هیبریدهای شماره‌ی ۱، ۲ و ۳ به‌طور قابل توجهی میزان آمارهWAASBY بالاتر از سایر هیبریدها داشتند. هر چهار رقم شاهد SC647، TWC647، SC704 و SC715 میزان آماره WAASBY کمتر از میانگین را داشتند. همچنین بر اساس شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) نیز هیبرید شماره ۳ به‌عنوان برترین هیبرید انتخاب شد. علاوه بر اینها برآورد اجزای واریانس با روش درست‌نمایی محدود شده (REML) نشان داد برای عملکرد دانه، ۷۵/۷۲ و ۷/۵۷ درصد از واریانس فنوتیپی به‌ترتیب توسط واریانس محیطی و واریانس برهمکنش هیبرید در محیط توجیه شدند. در صورتی‌که سهم واریانس باقیمانده از واریانس فنوتیپی ۱۶/۷۷ درصد بود.

**نتیجه‌گیری کلی:** براساس نتایج حاصل هیبرید شماره ۳ (K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17) به‌عنوان هیبرید پر محصول و پایدار بود که می‌توان آن‌را جزء هیبرید برتر با عملکرد بالا به بهره‌برداران معرفی نمود. به‌نظر می‌رسد استفاده از نمودار نسبت شاخص پایداری WAASB به عملکرد دانه (WAASBY) و گزینش هیبرید برتر بر اساس شاخص MTSI با بهره‌گیری از تجزیه‌هایی همچون تجزیه عاملی، BLUP و AMMI توانایی شناسایی هیبریدهای با عملکرد دانه بالا، پایدار با سطح مطلوب صفات زراعی مهم دارا می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پایداری چندصفتی، پیش‌بینی، سازگاری، عملکرد دانه، گزینش همزمان

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

## مقدمه

عملکرد ذرت با اصلاح ارقام و روش‌های به‌زراعی به‌تدریج افزایش یافته است ولی این گیاه هنوز دارای استعداد و ظرفیت لازم برای جوابگویی به عملیات به‌زراعی و به‌نژادی در جهت افزایش عملکرد است. انتخاب ژنوتیپ برتر براساس توانایی تولید و دامنه پایداری عملکرد آن در شرایط آب و هوایی مختلف صورت می‌گیرد. انتخاب هیبرید ذرت جهت کشت از مهم‌ترین تصمیماتی است که هر ساله یک ذرت کار بایستی بگیرد. تعادل صفاتی نظیر پتانسیل عملکرد، مقاومت در برابر بیماری، آفات و سایر شرایط محیطی در یک هیبرید از جمله عامل‌های مهمی هستند که باید مورد توجه قرار گیرد. عامل مهم دیگر گروه نسبی رسیدگی است. در صورت یکسان بودن سایر شرایط زراعی، یک هیبرید تمام فصل می‌تواند از واحدهای گرمایشی موجود بیشتر بهره برده و عملکرد بالاتری را تولید نماید. با این‌حال تولیدکنندگان ممکن است به‌دلایل مختلف (از جمله خشکی، میزان آب در دسترس، آفات و بیماری) ترکیبی از هیبریدها در گروه متفاوت رسیدگی جهت کشت در یک منطقه استفاده نمایند. از جمله محدودیت‌های موجود برای کشت ذرت در مناطق مختلف، ضرورت انتخاب رقمی است که حدود یک تا دو هفته قبل از فرارسیدن دوره سرما به مرحله رسیدن فیزیولوژیک و قابلیت برداشت با رطوبت مناسب برسد. عملکرد دانه ذرت عموماً با افزایش طول دوره رشد بیشتر می‌شود. گرچه اثر رسیدن روی عملکرد دانه با توجه به منطقه مورد کاشت می‌تواند متفاوت باشد، اما اختلاف عملکرد بین گروه‌های مختلف رسیدگی معمولاً در کلیه مناطق ثابت است (Nardino *et al.*, 2016; Piran *et al.*, 2021). به‌طور کلی بررسی‌ها نشان داده است به‌ازای هر درجه افزایش در واحد رسیدگی نسبی حدود ۶۳ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد دانه افزوده می‌شود. بنابراین در انتخاب هیبرید ذرت جهت کشت، هزینه اضافی جهت خشک کردن نیز باید لحاظ کرد. لذا در انتخاب هیبرید ترکیبی از عوامل اقلیمی و گیاهی را در نظر گرفت تا حداکثر بهروری در تولید به‌دست آید (Balestre *et al.*, 2009; Moharramnejad *et al.*, 2020).

ارزیابی ژنوتیپ‌ها در یک کار اصلاحی دو چالش مهم پیش روی دارد، اول، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای صفت هدف و دوم، روابط نامطلوب بین صفات هدف. پژوهشگران روش‌های زیادی برای تجزیه پایداری ارائه داده‌اند که به دو دسته کلی پارامتری (تک متغیره یا چندمتغیره) و غیرپارامتری تقسیم می‌شوند (Sharifi, 2020b). در بین روش‌های چندمتغیره می‌توان روش اثرات اصلی جمع پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (Gauch and Zobel, 1997) و GGE بای‌پلات را نام برد. در تجزیه AMMI که حاصل تجزیه ارزش منفرد (SVD) بخش غیرافزایشی برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) است، ممکن است بخشی از تنوع در مؤلفه‌های اصلی آخر به‌عنوان نویز باقی بماند که در تجزیه‌ها به‌کار گرفته نمی‌شود (Sharifi, 2020a; Sharifi, 2020b). دلایل کاربرد گسترده روش AMMI، علاوه‌بر ارائه ابزارهای گرافیکی مناسب برای تفسیر آسان GEI، تخمین‌های دقیق‌تری است که از ارزش‌های ژنوتیپی در مقایسه با ANOVA معمولی ارائه می‌دهد (Shiri, 2013). اخیراً، روش بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی(BLUP)که میانگین‌ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط تخمین می‌زند، نیز برای ارزیابی داده‌های آزمایش‌های چند محیطی (MET) به‌کار گرفته شده است (Donoso-Ñanculao *et al.*, 2016; Gauch, 1988; Gauch and Zobel, 1997; Nardino *et al.*, 2016). در حال حاضر، پژوهش‌های اندکی در رابطه با تخمین ارزش‌های ژنوتیپی در آزمایش‌های چندمحیطی با BLUP گزارش شده است (Donoso-Ñanculao *et al.*,2016; Liu *et al.*, 2022; Mohaddesi *et al.*, 2017). اما مدل سازی الگوهای برهمکنش ژنوتیپ در محیط بیشتر با روش‌های تجزیه GGE بای پلات و AMMI انجام شده است (Akter *et al.*, 2014; Bose *et al.*, 2014a; Smith *et al.*, 2005). در روش ارائه شده توسط اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al.*, 2019b) برای بهره‌گیری از مزایای دو روش AMMI و BLUP، با مدل اثرهای مختلط خطی، یک ماتریس برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌دست می‌آید و از تجزیه این ماتریس با روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی یا تجزیه ارزش منفرد، یک معیار پایداری ژنوتیپی به‌نام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی (WAASB) معرفی شد که حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP است (Mohaddesi *et al.*, 2017; Nardino *et al.*, 2016). از طرفی، آنچه امروزه پژوهشگران در به‌نژادی گیاهان زراعی به‌دنبال آن هستند، تلفیق پایداری با عملکرد برای دستیابی به ژنوتیپ‌های پایدار و دارای عملکرد بالا است که در آن تلاش می‌شود، هر دو صفت عملکرد و پایداری هم زمان در نظر گرفته شوند تا علاوه بر کاهش برهمکنش ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا انتخاب شوند. اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al.*, 2019b)، معیار میانگین وزنی شاخص پایداری WAASB و متغیر وابسته (WAASBY) را معرفی کردند که گزینش ژنوتیپ‌ها را برای میانگین عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه، به‌طور هم‌زمان انجام می‌دهد و در آن، بسته به‌هدف به نژادگر می‌توان وزن‌های متفاوتی به هرکدام از دو شاخص میانگین عملکرد یا پایداری داد.

روابط نامطلوب بین صفات کلیدی نشأت گرفته از این واقعیت است که معمولاً صفات هدف همبستگی معکوس با یکدیگر دارند، به‌طوری که بهبود در یک صفت اغلب به کاهش در یک یا بیش از یک صفت منجر می‌شود (Smith *et al.*, 2005). عملکرد مهم‌ترین صفت است و دیگر صفات تنها زمانی اهمیت دارند که با عملکرد دانه بالا همراه باشند. در صورتی ارزش اقتصادی یک صفت بالاتر است که با عملکرد بیشتر همراه باشد. در واقع، هدف به‌نژادی ترکیب عملکرد بالا و قابل قبول با سطوح مطلوب دیگر صفات در ژنوتیپ می‌باشد (Smith *et al.*, 2005; Bornhofen *et al.*, 2017). برای استفاده از چنین ویژگی‌هایی، اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al.*, 2019b)، شاخصی با نام شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) را بر مبنای تجزیه عاملی معرفی کردند که در آن

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]
[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

عملکرد دانه و همه صفات اندازه‌گیری شده‌ی دیگر و پایداری هرکدام از آنها به‌طور هم‌زمان ارزیابی می‌شوند.

در تحقیقات ذرت کشور در کنار عملکرد دانه بالا زودرسی دارای جایگاه ویژه‌ای است. در مرحله رسیدن فیزیولوژیک دانه ذرت به حداکثر رشد و وزن خود می‌رسد اما نمی‌توان در این مرحله دانه ذرت را برداشت کرد چرا که هزینه برداشت و هزینه خشک کردن بسیار بالا خواهد بود (Ahmadi *et al.*, 2019). لذا به‌علت هزینه‌های خشک کنی، تقاضا برای ذرت‌هایی که سریع‌تر خشک می‌شوند، رو به افزایش است. سرعت خشک شدن بعد از رسیدن فیزیولوزیک تا حد زیادی به ژنوتیپ و رقم بستگی دارد. همچنین از نطقه نظر زارعی نیز زمان برداشت دانه در مقایسه زمان رسیدن دانه اهمیت بیشتری دارد. لذا برای افزایش عملکرد دانه در واحد سطح و افزایش تولید و بهره‌وری تولید ذرت، بایستی انتخاب همزمان برای عملکرد، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و تعداد روز لازم تا رسیدن به رطوبت دانه قابل برداشت صورت گیرد. هدف از پژوهش حاضر، تعیین هیبرید پایدار با عملکرد بالا و مطلوب به‌همراه صفات رطوبت دانه هنگام برداشت، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی حائز اهمیت در هیبریدهای امیدبخش ذرت، با بهره‌گیری از ترکیب دو روش AMMI و BLUP با شاخص‌های WAASB، WAASBY و MTSI بود.

## مواد و روش‌ها

در این آزمایش، تعداد هفت هیبرید جدید دیررس و میان‌رس به‌همراه چهار رقم شامل SC647، TWC647، SC704 و SC715 (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ۱۰ منطقه مختلف کشور ایران شامل کرج، شیراز، کرمانشاه، کرمان، مغان، مشهد، میاندوآب، دزفول، جیرفت و مازندران طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفتند. هر کرت با یک هیبرید در چهار ردیف به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و ۱۶ کپه به فاصله ۳۵ سانتی‌متر کشت شد که با احتساب دو بوته در هر کپه، تراکم ۷۶ هزار بوته در هکتار رعایت شد. در هر کپه جهت اطمینان از تراکم مورد نظر چهار بذر کشت شد که پس از تنک کردن در مرحله چهار الی پنج برگی، دو بوته در هر کپه نگهداری شد. در مرحله رسیدگی ۱۰ بلال تصادفی در هر کرت برداشت و درصد چوب بلال و درصد رطوبت دانه اندازه‌گیری شدند. سپس عملکرد دانه دو خط وسط هر کرت براساس درصد چوب بلال و رطوبت دانه ۱۴ درصد تصحیح و به تن در هکتار تبدیل و در تجزیه‌های آماری استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of studied maize hybrids

| شماره .No | کد Code | شجره Pedigree |
|---|---|---|
| 1 | H1 | K47/2-2-1-2-2-1-1-1× MO17 |
| 2 | H2 | K47/2-2-1-4-1-1-1× MO17 |
| 3 | H3 | K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17 |
| 4 | H4 | K47/2-2-1-4-1-1-1-1 × K3640/3 |
| 5 | H5 | KLM82010/1 × K3640/3 |
| 6 | H6 | KLM82010/2 × K3640/3 |
| 7 | H7 | KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3 |
| 8 | H8 | SC715 |
| 9 | H9 | SC647 |
| 10 | H10 | TWC647 |
| 11 | H11 | SC704 |

پایداری ژنوتیپی برای هر ژنوتیپ با میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB)، از تجزیه مقادیر منفرد (SVD) ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی (BLUP) از اثرات (GEI) که با یک مدل اثر مختلط خطی ایجاد شده بود، با رابطه (۱) کمی شد (Olivoto *et al.*, 2019b; Sharifi *et al.*, 2017).

رابطه (۱)
$$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^{p} |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^{p} EP_k}$$

که در آن، $WAASB_i$ میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ iاُم $IPCA_{ik}$، نمره ژنوتیپ iاُم در kاُمین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA) و $EP_k$، مقدار واریانس توجیه شده توسط kاُمین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB، پایدار در نظر گرفته می‌شود (Mohaddesi *et al.*, 2017; Nardino *et al.*, 2016; Olivoto *et al.*, 2019a).

انتخاب همزمان برای عملکرد و پایداری (MPS) با شاخص WAASBY انجام شد که در آن به میانگین عملکرد (Y) و شاخص پایداری (WAASB) با رابطه (۲) وزن داده می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019b).

رابطه (۲)
$$WAASBY_i = \frac{\left\{W_Y \times \left[\left(\frac{GY_i}{GY_{max}}\right) \times 100\right]\right\} + \left[W_S \times \left(100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{min}}\right)\right]}{W_Y + W_S}$$

که در آن، $WAASBY_i$، میانگین وزنی پایداری (WAASB) و عملکرد دانه (GY) برای ژنوتیپ iاُم WY، وزن داده شده به متغیر پاسخ (در این مورد، عملکرد دانه) $GY_i$، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ iاُم با توجه به تمام محیطها $GY_{max}$، بالاترین متوسط عملکرد دانه مشاهده شده $W_s$، وزن نسبت داده شده به شاخص پایداری (در این مورد، شاخص WAASB) $WAASB_i$، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ iاُم و $WAASB_{min}$، کمترین مقدار WAASB مشاهده شده در بین ژنوتیپ‌ها است.

انتخاب همزمان برای میانگین عملکرد و پایداری بر اساس چند صفت با استفاده از نمرات به‌دست آمده از یک تجزیه عاملی اکتشافی انجام شد. تخمین شاخص پایداری چندصفتی

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]
[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

(MTSI)، بر طبق معادله (۳) انجام شد (Olivoto *et al.*, 2019b; Olivoto *et al.*, 2017).

$$MTSI_i = \left[\sum_{j=1}^{f} \left(F_{ij} - F_j\right)^2\right]^{0.5} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، MTSI، شاخص پایداری چندصفتی برای ژنوتیپ iاُم، $F_{ij}$، نمره jاُم ژنوتیپ iاُم و $F_j$، نمره jاُم ژنوتیپ ایده‌آل است. ژنوتیپ با کمترین مقدار MTSI، به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیکتر است و بنابراین میانگین عملکرد و پایداری (MPS) بالایی را برای همه متغیرهای بررسی شده ارائه می‌دهد. دیفرانسیل یا تفاوت انتخاب برای میانگین عملکرد و WAASB (شاخص WAASBY) برای هر صفت با شدت انتخاب ۱۵ درصد محاسبه شد (Mohaddesi *et al.*, 2017; Nardino *et al.*, 2016; Olivoto *et al.*, 2019a). جنبه دیگری از تلفیق دو روش AMMI وBLUP، بهره‌گیری از ابزارهای گرافیکی تجزیه AMMI در شاخص‌های برآورد شده است به‌طوری‌که برای کمک به تفسیر چشمی، گراف‌هایی جهت نشان دادن میانگین متغیر پاسخ در برابر WAASB ایجاد شدند. همچنین نموداری برای سنجش و گزینش ژنوتیپ‌ها براساس شاخص MTSI فراهم شد (Olivoto *et al.*, 2019b). تمام تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی با نام Multi metan Ver. 1.9.0 (environment trial analysis) (Olivoto *et al.*, 2017) در محیط نرم‌افزار R انجام شد.

## نتایج و بحث

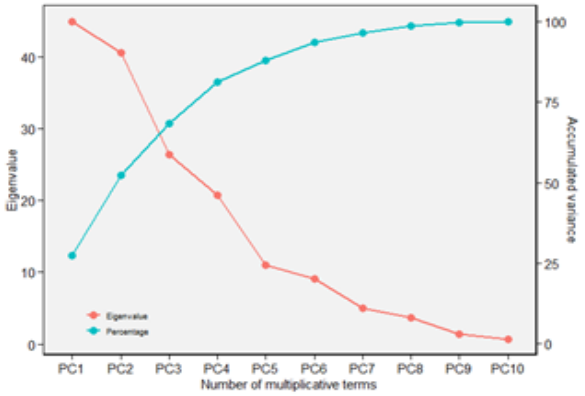
به‌منظور تعیین تعداد مؤلفه‌های توجیه کننده برهمکنش‌ها از آزمون اسکریت استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان داد چهار مؤلفه اصلی اول سهم قابل‌توجهی در توجیه برهمکنش هیبرید در محیط حاصل از BLUP را برای عملکرد دانه داشتند (شکل ۱) و براساس آزمونF اثر آنها معنی‌دار بود. با این‌حال سهم دو مولفه اصلی پنجم و ششم نیز در توجیه برهمکنش تا حدودی بالا بود ولی از نظر آزمونF اثر آنها غیر معنی‌دار بود. در این میان دو مولفه اول و دوم به‌ترتیب ۲۷/۷ و ۲۴/۶ درصد از تغییرات برهمکنش هیبرید در محیط را توجیه کردند. اثر محیط و همچنین برهمکنش هیبرید در محیط برای عملکرد دانه، درصد رطوبت دانه موقع برداشت و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک براساس آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT) معنی‌دار بود (جدول ۲). برآورد نسبت اجزای واریانس برآورد شده با روش درست‌نمایی محدود شده (REML) به واریانس فنوتیپی نشان داد برای عملکرد دانه، ۷۵/۷۲ درصد از واریانس فنوتیپی توسط واریانس محیطی توجیه گردید، در حالی‌که واریانس برهمکنش هیبرید در محیط، فقط ۷/۵۷ درصد از واریانس فنوتیپی را توجیه نمود. در صورتی‌که سهم واریانس باقیمانده ۱۶/۷۷ درصد بود (جدول ۲).

با توجه معنی‌دار شدن اثر برهمکنش هیبرید در محیط (GEI) می‌توان گفت نمود فنوتیپی یک هیبرید از یک محیط به محیطی دیگر دارای تغییرات می‌باشد، لذا با پیش‌بینی‌های نااُریب خطی به‌روش تجزیه BLUP (برآورد بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی) می‌توان برآورد دقیق‌تری از نمود فنوتیپی ژنوتیپ‌ها داشت (Olivoto *et al.*, 2019b). بر همین اساس برآورد BLUPها برای هیبریدها انجام و سپس تجزیه پایداری به‌روش AMMI بر روی این BLUPها انجام گرفت. پژوهشگران دیگری نیز برهمکنش معنی‌دار هیبرید در محیط را بر عملکرد دانه و اجزای آن در ذرت با تجزیه واریانس به‌روش کمترین مربعات گزارش کرده‌اند (Bose et al, 2014a; Katsenios *et al.*, 2021; Kempton, 1984; Samonte *et al.*, 2005; Shiri, 2013). آزمایش‌های چندمحیطی از مراحل پایانی و ضروری اغلب برنامه‌های به‌نژادی بوده در این آزمایش‌ها افزایش دقت پیش‌بینی (میزان نزدیکی مقدار پیش‌بینی شده با مقدار مشاهده شده)، برای گزینش موفقیت‌آمیز هیبریدها، توصیه ارقام و مشخص کردن ابر محیط‌ها بسیار مهم است (Olivoto *et al.*, 2019b). برای افزایش دقت پیش‌بینی در آزمایش‌های چندمحیطی سه رهیافت، استفاده از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر، بهبود تکنیک‌های آزمایشی (همچون بهره‌گیری از طرح‌هایی با اندازه و شکل ایده‌آل، اجرای دقیق طرح‌های آزمایش در مناطق اجرا با مدیریت زراعی یکنواخت) و افزایش تعداد تکرارها (با استفاده از طرح‌های مناسب همچون طرح‌های چندعاملی) پیشنهاد شده است (Gauch and Zobel, 1988; Olivoto *et al.*, 2019b).

به‌منظور بهره‌گیری از مزیت‌های مدل آماری BLUP (از جمله برآورد میانگین‌ها را با دقت بالا به‌ویژه در مدل‌های مختلط و پیش‌بینی دقیق اثرات تصادفی در صورت وجود اثر مختلط خطی) (Smith *et al.*, 2005)، پیش‌بینی مقادیر عملکرد دانه با این روش انجام گرفت. مقایسه میانگین‌های پیش‌بینی شده عملکرد دانه نشان داد که هیبریدهای شماره ۳، ۲، ۴ و ۱ بالاترین میانگین پیش‌بینی شده را داشتند (شکل ۲). این چهار هیبرید با توجه به عدم همپوشانی میله‌های خطای افقی آنها با هیبرید شماره ۱ اختلاف معنی‌دار با آنها داشتند، اما اختلاف معنی‌داری با دیگر هیبریدها از نظر میانگین‌های پیش‌بینی شده برای عملکرد دانه مشاهده نگردید.

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

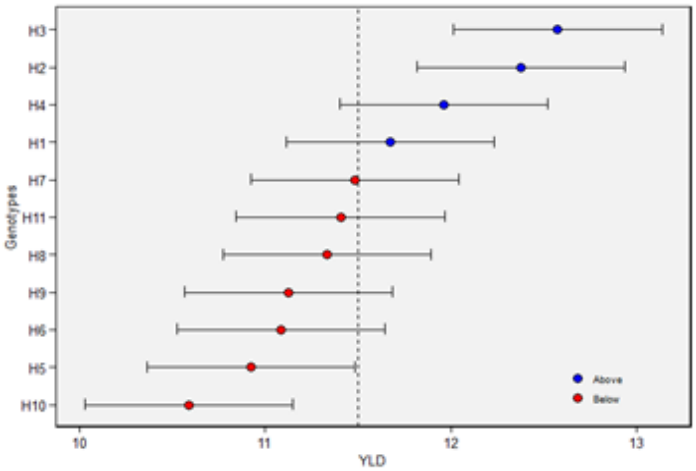



شکل ۱- مقادیر ویژه ماتریس GEI_BLUP برای عملکرد دانه
Figure 1. Eigen values of the BLUP_GEI matrix for grain yield

جدول ۲- ارزیابی معنی‌داری فاکتورها در مدل مختلط برای اثرهای تصادفی با آزمون نسبت درستنمایی و برای اثر ثابت هیبرید با تجزیه واریانس و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درستنمایی محدود شده برای صفات مطالعه شده
Table 2. Evaluation significance of factors for random effects by LRT ($\chi^2$) and for fixed effects by ANOVA and estimation of variance components by REML for studied traits

| آماره Statistics | آزمون نسبت درستنمایی Likelihood ratio test | | |
|---|---|---|---|
| | تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی DPM | درصد رطوبت دانه هنگام برداشت GMP | عملکرد دانه Grain yield |
| Genotype (G) | 179.6** | 5.7** | 7.3** |
| Model | LRT ($\chi^2$) | | |
| Environment (E) | 291.0** | 40.0** | 25.1** |
| G × E | 3.72** | 72.5** | 106.0** |
| Variance components estimates by REML | Variance components Estimates (%) | | |
| σ2e | 0.421(22.19%) | 12.8(74.13%) | 12.7 (75.72%) |
| σ2 E/block variance | 0.011(0.56%) | 0.518(3.00%) | 0.353(2.10%) |
| σ2i | 0.086(4.53%) | 1.10(6.37%) | 1.27(7.57%) |
| σ2Residual | 1.38(72.73%) | 2.85(16.50%) | 2.45(14.61%) |
| σ2P | 1.90 | 17.27 | 16.77 |

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns, *and **:Non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

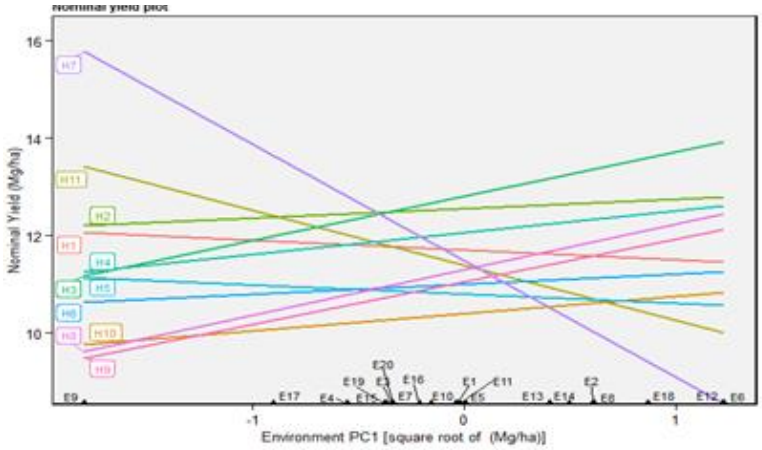



شکل ۲- عملکرد دانه پیش‌بینی شده (بهترین پیش‌بینی نااریب خطی، BLUP) برای ۱۱هیبرید ذرت (دایره‌های آبی و قرمز به‌ترتیب هیبریدهایی را نشان می‌دهند که دارای BLUP بالاتر و پایین‌تر از میانگین BLUP بودند. میله‌های خطای افقی نشانگر فاصله اطمینان ۹۵ درصد از پیش‌بینی با آزمون t دو طرفه است)
Figure 2. Predicted grain yield (best linear unbiased prediction, BLUP) for 11maize hybrids (Blue and red circles represent the hybrids that had BLUP above and below of BLUP means, respectively. Horizontal error bars represent the 95% confidence interval of prediction considering a two-tailed t test)

بای‌پلات اولین مؤلفه اصلی محیط در برابر عملکرد اسمی، شکل دیگری از بای پلات چندضلعی یا "کدام – برنده – کجا" (Olivoto *et al.*, 2019b) است که در محور X آن، نمره اولین مؤلفه اصلی محیط و در محور Y، عملکرد اسمی هیبریدها جای گرفته است (شکل ۳). در این نمودار، برای هرکدام از هیبریدها، می‌توان یک خط با معادله y=bx+a

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]
[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

نوشت که در آن x، نمره محور مؤلفه اصلی اول محیطی (IPCA1)؛ a، میانگین کل هر هیبرید و b، اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) هر هیبرید است. هیبریدهای شماره ۲، ۶، ۳ و ۱با توجه به کمترین نمره‌های مؤلفه اصلی اول (ضریب b یا شیب خط)، سهم ناچیزی در برهمکنش هیبرید در محیط داشتند و بنابراین از پایداری بیشتری برخوردار بودند، حال آنکه هیبریدهای ۷، ۸ و ۹ در محیط‌های مختلف، عملکرد متفاوتی داشتند و ناپایدار بودند. هیبریدهای ۱و ۲ با توجه به میانگین عملکرد دانه‌ی بالا در تمام محیط‌ها، عملکرد اسمی بیشتری نیز بر اساس پیش‌بینی با BLUP داشتند. با توجه به نمره هر هیبرید در اولین محور مؤلفه اصلی (IPCA1) یا همان ضریب b، هیبریدهای۲ و ۳ به‌دلیل داشتن شیب خط کمتر، جزء هیبریدهای پایدار و به‌دلیل داشتن عملکرد اسمی بیشتر، از برترین هیبریدها بودند. بررسی همزمان این نمودار با شکل ۲ (پیش‌بینی عملکرد با BLUP) نشان می‌دهد که این دو هیبرید بالاترین میانگین پیش‌بینی شده را داشتند. از طرف دیگر هیبریدهای شماره ۱۱ و ۸ با آنکه میانگین پیش‌بینی شده مشابهی داشتند (شکل ۲)، اما الگوی خط آنها (شکل ۳) کاملاً متفاوت بود. دلیل آن این است که نمره IPCA1 هیبرید شماره ۱۱ برابر با ۱/۱۳ — و هیبرید شماره ۸ برابر با ۰/۹۴ بود که نشان دهنده ناپایداری برای هیبرید ۱۱و پایداری هیبرید شماره ۸ است. از مقایسه این دو شکل همچنین دیده شد که هیبرید شماره‌ی ۱ با وجود آنکه، جزء هیبریدهای با میانگین پیش‌بینی شده بالا بود (شکل ۲)، اما معادله خط آن دارای شیب نزولی در مقایسه با دیگر هیبریدهای پایدار بود. از دیگر کاربردهای این نمودار، ارزیابی سازگاری خصوصی است که طی آن هیبریدهای مطلوب برای هرکدام از محیط‌ها معرفی می‌شوند که برای مثال هیبرید شماره ۷ و ۱۱ مناسب‌ترین هیبرید در محیط ۹ بودند. همچنین هیبرید پر محصول شماره ۳ در ۱۳ محیط از ۲۰ محیط بالاترین عملکرد دانه را داشت. باید به این نکته توجه شود که رسم این نمودار براساس اولین مؤلفه اصلی است که فقط ۲۷/۷ درصد از تغییرات برهمکنش هیبرید در محیط را توجیه می‌کند. از این‌رو، تجزیه‌های تکمیلی براساس سایر شاخص‌ها ارائه شده است که در برآورد آنها از نمره‌های تمام مؤلفه‌ها بهره گرفته شده است. پژوهشگران دیگری نیز از روش بای‌پلات "کدام – برنده – کجا" برای شناسایی هیبریدهای با پایداری عمومی و یا سازگار به محیط‌های ویژه، با روش GGE بای‌پلات (Donoso-Ñanculao *et al.*, 2016) یا بای‌پلات مبتنی بر دو مؤلفه اصلی اول در روش AMMI ( AMMI2 biplot) استفاده کردند ( Balestre *et al.*, 2009; Samonte *et al.*, 2005; Sharifi *et al.*, 2017). از نظر یک به‌نژادگر که علاقمند به بهره‌گیری از هیبریدهای مطلوب برای محیط‌های ویژه‌ای است، تفسیر نمودار عملکرد اسمی (شکل ۳) ممکن است توصیه هیبریدهای هدفمند را برای محیط‌های ویژه آسان کند. از این‌رو، این نمودار بای پلات می‌تواند برای سازگاری‌های خصوصی هیبریدها به محیط‌های ویژه به‌کار گرفته شود. این تفسیر از آنجا مهم است که در بیشتر موارد، هیچ هیبریدی در همه‌جا و همیشه برتر نیست و نیاز است هیبریدهایی با سازگاری خصوصی با هر محیط معرفی شوند (Olivoto *et al.*, 2019b).




شکل ۳- نمودار عملکرد اسمی دانه برای ۱۱هیبرید ذرت به‌عنوان تابعی از نمرات اولین محور مؤلفه اصلی محیطی (IPCA1) برهمکنش
Figure 3. Nominal grain yield plot for 11 maize hybrids as a function of the environment scores of the first interaction principal component axis (IPCA1)

بای‌پلات نوع سوم (عملکرد دانه در برابر میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB) به چهار ناحیه یا چارک تقسیم شد (شکل ۴) که در آن تفسیر هم زمان برای میانگین عملکرد دانه و پایداری با شاخص WAASB انجام می‌شود. هیبریدها یا محیط‌های واقع در چارک اول (ربعI) با توجه به سهم زیادشان در برهمکنش هیبرید در محیط، هیبریدهای ناپایدار یا محیط‌هایی با توانایی شناسایی بالا و دارای عملکرد کمتر از متوسط، هیبریدهای این ناحیه با وجود عملکرد نزدیک به متوسط (به‌ویژه هیبریدهای۷، ۸ و ۱۱)، به‌دلیل داشتن بالاترین مقادیر WAASB ناپایدار بودند، اما می‌توان سازگاری ویژه را برای هیبریدهای این ناحیه نسبت به برخی از محیط‌ها بررسی کرد. به‌طوریکه هیبریدهای ۹، ۷، ۸، ۱۱، ۵ و ۱۰ را می‌توان برای هرکدام از محیط‌های ۱۷، ۹ و ۳ سازگار دانست (شکل ۴). همچنین محیط‌های ۱۷ و ۹ به‌دلیل دارا بودن بیشترین شاخص پایداری WAASB، دارای توانایی شناسایی یا تشخیص بالایی بود. در چارک دوم (ربعII)، هیبریدهای شماره

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]
[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

۳، ۲ و ۴ با وجود داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل، به‌دلیل مقدار بالای WAASB، ناپایدار تشخیص داده شدند. محیط‌های موجود در این ناحیه (در اینجا E6)، از قابلیت تمایز و تشخیص بالایی برخوردار بودند. هیبریدهای موجود در چارک سوم (ربعIII)، دارای عملکرد کمتر از میانگین کل بودند، اما به‌دلیل پایین بودن مقادیر WAASB می‌توان آنها را پایدار در نظر گرفت. در این ناحیه، هیبرید شماره ۶ جای دارد. این هیبرید براساس شیب خط درشکل (۳) از بالاترین پایداری نیز برخوردار بود. هرچه مقدار WAASB پایین‌تر باشد، هیبرید پایدارتر خواهد بود. محیط‌های این ناحیه محیط‌های با قابلیت تشخیص پایین و دارای عملکردی ضعیف هستند. هیبریدهای واقع در چارک چهارم (ربعIV) به‌دلیل بزرگی متغیر پاسخ (داشتن عملکرد بالا) و پایداری بالا (مقادیر پایین WAASB) بسیار پرمحصول و دارای پایداری گسترده‌ای بودند. در این ناحیه هیبرید شماره‌ی ۱جای گرفت (شکل ۴). هیبرید شماره‌ی۱، علیرغم داشتن به شیب خط نسبتاً نزولی در شکل (۳)، بر اساس شاخص WAASB پایدارترین هیبرید تشخیص داده شد. چون در محاسبه شاخص WAASB، از تمامی مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار استفاده شده است، پایداری را به شکل بهتری نشان می‌دهد و هیبریدهای برگزیده با این شاخص از پایداری مطمئن‌تری برخوردار هستند (Olivoto *et al.*, 2019b; Samonte *et al.*, 2005; Sharifi *et al.*, 2021).

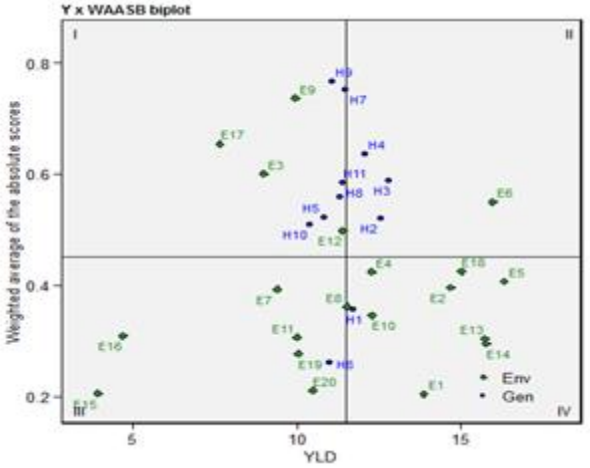
بای‌پلات AMMI1 و نمای "برتری هر هیبرید در کدام محیط" (شکل ۳) برای شناسایی هیبریدهای سازگار برای محیط‌های ویژه کاربرد دارد، اما بای‌پلات متغیر پاسخ WAASB×(GY) (شکل ۴) که تفسیر همزمان پایداری و عملکرد (یا هر متغیر پاسخ دیگری) را انجام می‌دهد، می‌تواند برای سازگاری‌های گسترده و شناسایی هیبریدهای پایدار برای تمام محیط‌ها به‌کار رود (Olivoto *et al.*, 2019b). مهمترین مزیت این بای‌پلات نسبت به بای‌پلات AMMI1 که توسط بسیاری از پژوهشگران برای تجزیه پایداری ذرت استفاده شده است (Olivoto *et al.*, 2019b; Samonte *et al.*, 2005; Sharifi *et al.*, 2021)، این است که در محاسبه آن از همه محورهای IPCA استفاده می‌شود، بنابراین اجازه می‌دهد تا آن بخشی از برهمکنش هیبرید در محیط که در IPCA1 بروز پیدا نکرده است، در رتبه‌بندی هیبریدها لحاظ شوند (Olivoto *et al.*, 2019b). از دیدگاه یک به‌نژادگر، فراتر از مزایای گفته شده درباره بای‌پلات WAASB×GY، رویکرد مدل مختلط امکان تخمین پارامترهای مهم در ژنتیک کمی همچون واریانس‌های هیبریدی، برهمکنش هیبرید در محیط، وراثت‌پذیری عمومی، وراثت‌پذیری براساس میانگین و همبستگی‌های ژنتیکی واریانس را هم فراهم می‌کند. این اطلاعات در یک برنامه به‌نژادی گیاهی ضروری است و باید در ارزیابی آزمایش‌های چندمحیطی نیز از آن بهره‌گیری شود (Olivoto *et al.*, 2019b; Olivoto *et al.*, 2017).

مطابق نتایج شکل (۵)، هیبریدها با معیار WAASBY گروه‌بندی شده‌اند که در آن، گزینش همزمان براساس میانگین عملکرد دانه (Y) و شاخص پایداری WAASB انجام می‌گیرد. در معیار WAASBY می‌توان وزن‌های متفاوتی به عملکرد دانه (GY) و شاخص WAASB داد. در این پژوهش، از وزن ۵۰:۵۰ برای هر دو شاخص استفاده شد که بیانگر آن است که پایداری و عملکرد دانه هردو به یک میزان دارای اهمیت هستند. بر این اساس، مقدار WAASBY هیبریدهای شماره ۲، ۱، ۳، ۶ و ۴ بیشتر از متوسط بود (شکل ۵) و هیبریدهای پایدار و با عملکرد دانه بالا بودند. نتایج این قسمت با نتایج شکل (۴) مطابقت خوبی نداشت به‌طوریکه فقط هیبرید شماره ۱ با جای گرفتن در چارک چهارم شکل (۴)، در میان هیبریدهای برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری بود. به‌نظر می‌رسد این آماره کارایی بالاتری در تفکیک هیبریدهای پایدار با عملکرد بالا نسبت به بای‌پلات WAASB×GY دارد، چرا که همه هیبریدهای مورد گزینش عملکرد بالاتر و پایداری خوبی در شکل (۳) نیز داشتند.

شاخص WAASB که توسط اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al.*, 2019b) ارائه شده است، همچون شاخص‌های پایداری AMMI (مانند ASV)، تابعی از اجزای الگوی برهمکنش هیبرید در محیط است (البته با این تفاوت که تجزیه AMMI بر روی بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی برهمکنش‌ها انجام شده است نه داده‌های اصلی)، اما نسبت به آنها مزایایی دارد (Olivoto *et al.*, 2019b). ازجمله اینکه با توجه به مبتنی بر مدل اثر مختلط بودن این شاخص، دقت پیش‌بینی آن بیشتر از مدل‌های اثر ثابت – یا حتی یک مدل تصادفی است. مزیت دوم شاخص WAASB، این است که به‌جای مربع انحرافات درASV، بر انحراف‌های مطلق استوار است، بنابراین، به‌دلیل حساسیت کمتر نسبت به داده‌های پرت، از قدرت بیشتری برخوردار است. سوم اینکه، شاخص WAASB در کمی کردن پایداری در ساختارهای پیچیده GEI واقع بینانه‌تر است، زیرا با توجه به همه محورهای مؤلفه‌های اصلی (IPCAها) معنی‌دار محاسبه می‌شود. چهارم اینکه، برخلاف SIPC (یکی دیگر از شاخص‌های پایداری AMMI) مجموع مقادیر مطلق نمرات IPCA را در نظر می‌گیرد، WAASB، میانگین وزنی نمرات IPCA را در نظر می‌گیرد و بنابراین نتایج قابل اطمینان تر خواهند بود، زیرا نمرات بالا در آخرین محورها سهم کمتری در تخمین دارند. سرانجام بای‌پلات WAASB×GY (شکل ۴) تفسیر همزمان پایداری و عملکرد را در یک شکل دوبعدی با در نظر گرفتن تمام IPCهای مدل امکانپذیر می‌کند (Olivoto *et al.*, 2019b).

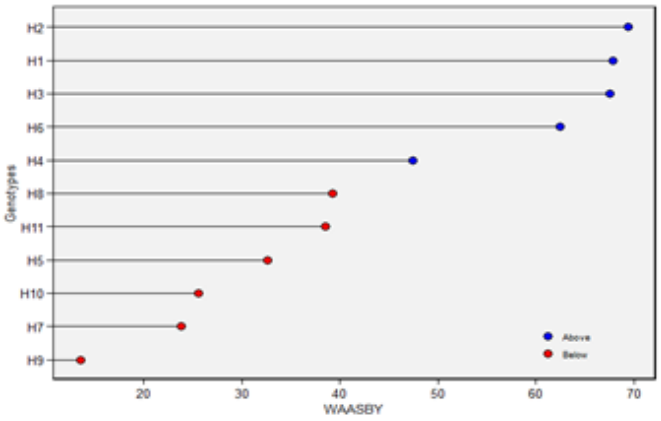
[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]




شکل ۴- بای‌پلات عملکرد دانه در مقابل میانگین وزنی نمرات مطلق برای بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی از برهمکنش هیبریدها با محیط (WAASB) از ۱۱ هیبرید ذرت در نه محیط ارزیابی شده با ترکیب دو سال زراعی با ۱۰ مکان (یک هیبرید فرضی بسیار پرمحصول و کاملاً پایدار با یک دایره سیاه در گوشه سمت راست نشان داده شده است. فلش‌های افقی و عمودی سیاه در گوشه سمت چپ به‌ترتیب جهت افزایش عملکرد و پایداری را نشان می‌دهد)

Figure 4. Biplot of the grain yield vs. weighted average of absolute scores for the best linear unbiased predictions of the genotype vs environment interaction (WAASB) of 11 maize hybrids evaluated in 10 environments with combinations of three cultivation years in three locations (A hypothetical highly productive and broadly adapted genotype in the right corner is depicted by a black circle. Horizontal and vertical black arrows in the left corner indicate the direction of the increase in yielding and stability, respectively)




شکل ۵- مقادیر برآورد شده از میانگین وزنی پایداری (WAASB) و میانگین عملکرد (Y) (WAASBY) برای ۱۱هیبرید ذرت با توجه به وزن در نظر گرفته شده ۵۰ و ۵۰ برای عملکرد و پایداری

Figure 5. Estimated values of weighted average of the stability (WAASB) and mean performance (Y) (WAASBY) for 11 maize hybrids considering the weights of 50 and 50 for yielding and stability, respectively

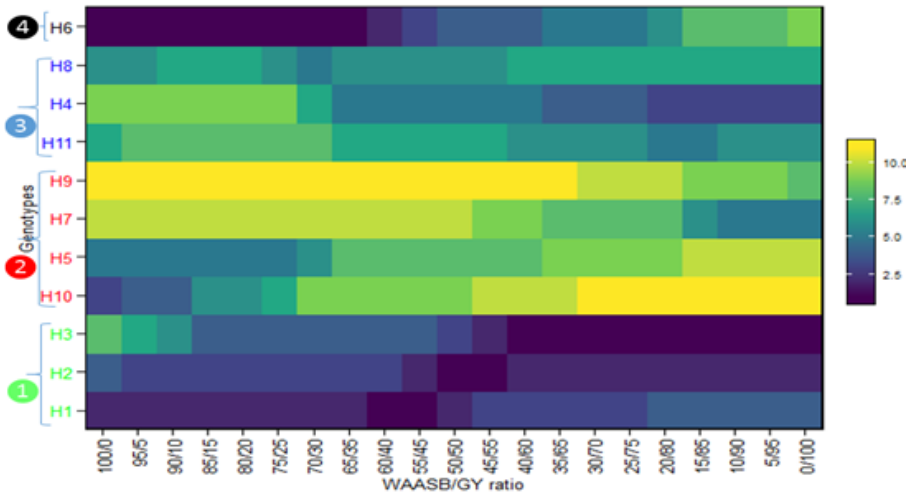
بای‌پلات AMMI1 و شاخص‌های پایداری مبتنی بر AMMI، مانندASV، در ذرت با موفقیت در کمّی‌سازی پایداری استفاده شده‌اند (Akter *et al.*, 2014; Bose *et al.*, 2014a; Bose *et al.*, 2014b; Rahayu, 2020; Sadimantara *et al.*, 2018; Samonte *et al.*, 2005; Sharifi *et al.*, 2017). در پژوهش حاضر، از آنجاکه نمرات برخی از هیبریدها در دو IPCA اول بسیار پایین هستند (همانند هیبریدهای شماره ۱ و ۱۱)، گزینش یا حذف این هیبریدها براساس آماره‌های مبتنی بر دو مؤلفه اصلی اول یا نمودارهای بای‌پلات مربوطه ممکن است نادرست باشد و نتیجه اشتباهی را در پی داشته باشد، بنابراین با توجه به اینکه هرکدام از مؤلفه‌ها چه میزان از تغییرات برهمکنش هیبرید در محیط را توجیه می‌کنند، نتایج روش‌هایی همچون AMMI و بای‌پلات‌های مربوطه و GGE بای‌پلات ممکن است با واقعیت فاصله داشته باشد و از این‌رو، هنگامی‌که درصد توجیه این مؤلفه‌ها پایین باشد، شاخص WAASB مبتنی بر ماتریس BLUP قابل توصیه است و نتایج به‌دست آمده از آن بیشتر قابل اعتماد و در نتیجه قابل استناد است. در زمینه مدل‌هایی با اثرهای افزایشی، بسیاری از پژوهشگران از ارزش پایداری AMMI (AVS) برای گزینش و توصیه هیبریدهای پایدار در ذرت استفاده کرده‌اند (Akter *et al.*, 2014; Bose *et al.*, 2014a; Bose *et al.*, 2014b; Rahayu, 2020; Sadimantara *et al.*, 2018; Samonte *et al.*, 2005; Sharifi *et al.*, 2017).

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]
[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

مطالعات زیادی با درصد نسبتاً کم توجیه IPCA1 در گیاهانی همچون کلزا (Bocianowski *et al.*, 2019)، ذرت (Balestre *et al.*, 2009)، گندم (Bornhofen *et al.*, 2017; Veenstra *et al.*, 2019) و برنج (Akter *et al.*, 2014; Rahayu, 2020) گزارش شده است، بنابراین، بای‌پلات‌های با سهم پایین مؤلفه‌ها در برهمکنش هیبرید در محیط باید با احتیاط تفسیر شوند، زیرا تنها بخش ساده GEI را می‌توان در اولین مؤلفه‌های اصلی نشان داد و ممکن است بخش پیچیده GEI در این بای‌پلات‌ها حذف شده باشد (Olivoto *et al.*, 2019b). در چنین مواقعی، بای‌پلات WAASB×GY (شکل ۵) برای شناسایی هیبریدهای بسیار پرمحصول و با پایداری گسترده می‌تواند امیدوارکننده باشد. برخلاف شکل (۵) که مقادیر WAASBY با در نظر گرفتن نسبت ثابت WAASB/GY (۵۰:۵۰) برآورد شده‌است، در شکل (۶)، چگونگی تغییر رتبه‌های هیبریدها بسته به وزن‌های داده شده به هرکدام از دو شاخص متغیر وابسته (GY) و پایداری (WAASB) نشان داده شده است. در اولین ستون سمت چپ این نمودار، رتبه‌بندی فقط براساس شاخص پایداری WAASB انجام شده است، زیرا در محور X این ستون، وزن شاخص پایداری (WAASB) برابر با ۱۰۰ و وزن شاخص متغیر وابسته (GY) برابر با صفر است. بر پایه این وزن‌دهی، هیبرید شماره ۶، ناپایدارترین و هیبرید شماره ۹ پایدارترین هیبریدها بود. از چپ به راست، وزن متغیر پاسخ (عملکرد دانه) در هر ستون، پنج درصد افزایش می‌یابد و از وزن شاخص پایداری (WAASB)، پنج درصد کاسته می‌شود. به‌عبارتی دیگر، در اولین ستون سمت چپ، وزن برای عملکرد دانه (GY و WAASB) (به‌ترتیب صفر و ۱۰۰ بود، اما در آخرین ستون سمت راست، این وزن کاملاً برعکس شد و رتبه‌بندی هیبریدها فقط براساس عملکرد دانه انجام پذیرفته است. ستون۵۰:۵۰، جایی است که وزن عملکرد دانه (GY) وWAASB به‌ترتیب ۵۰ و ۵۰ بود. حالت ۵۰ در ۵۰ برای عملکرد و پایداری در شکل (۶)، معادل شکل (۵) می‌باشد که بیانگر این است که هیبریدهای شماره ۳، ۲ و ۱به‌ترتیب بهترین هیبریدها از نظر وزن‌دهی یکسان برای عملکرد دانه و شاخص WAASB بودند (با توجه به رنگ و راهنمای نمودار). رتبه‌بندی نشان داده شده در سمت راست، کاملاً سازگار با رتبه هیبریدها برای عملکرد دانه است. همان‌گونه که دیده می‌شود، براساس عملکرد دانه، رتبه هیبریدها به‌صورت۱۰< ۵< ۶< ۹>۸>۱۱> ۷> ۱> ۴>۲> ۳ بود.

هیبریدی با نمود مشابه پایداری و عملکرد گروه‌بندی و با رنگ یکسان مشخص و در سمت چپ شکل قرار داده است (شکل ۶) و در واقع هیبریدها بر این اساس گروه‌بندی شده است. بر این اساس گروه یک شامل هیبریدهای شماره ی۱، ۲ و ۳ است که براساس نمودارهای پیشین نیز هیبریدهایی با عملکرد بالا و پایدار بودند. هیبریدهای شماره ۱۰، ۵، ۷ و ۹ در دسته دوم که هیبریدهای پرمحصول اما ناپایدار بودند. این هیبریدها زمانی‌که گزینش براساس وزن برابر متغیر وابسته و پایداری انجام می‌شد (شکل ۵) و بای‌پلات WAASB در برابر GY (شکل ۴) هیبریدهای پایداری بودند، اما در این خوشه‌بندی با توجه به وزن‌های متفاوت برای دو شاخص پایداری و عملکرد دانه، در خوشه هیبریدهای با پایداری کم جای گرفته‌اند. در خوشه سوم، هیبرید پایدار، اما با عملکرد پایین ۱۱، ۴ و ۸ جای گرفته بود که در شکل (۴) نیز هیبریدی با عملکردی پایین‌تر از متوسط اما پایدار بود. در آخرین گروه، هیبرید شماره ۶ جای گرفت که پرمحصول و پایدار بودند که براساس شکل (۵) نیز به‌ترتیب در رتبه‌های اول و سوم گزینش همزمان با پایداری و عملکرد دانه (WAASBY) با وزن برابر برای دو شاخص قرار داشتند. براساس شکل (۶) که نموداری فراگیر برای ارزیابی همزمان براساس عملکرد دانه و شاخص پایداریWAASB است، هیبریدهای شماره ۶ و ۷ بهترین هیبریدها از نظر پایداری و عملکرد دانه بودند. این نتیجه با تجزیه GGE بای‌پلات بر روی این داده‌ها نیز دیده شده بود (Mohaddesi *et al.*, 2017)، اما هیبرید شماره ۲ در آن تجزیه پایدار بود، حال آنکه در تجزیه اخیر با وجود پایداری در خوشه‌ای با عملکرد پایین جای گرفته است. این موضوع، گویای قدرت تمایز بهتر هیبریدها براساس شاخص WAASBY در مقایسه با نمودار GGE بای‌پلات است. مقایسه نتایج این نمودار با شاخص‌های مختلف پایداری AMMI بر روی این داده‌ها (Sharifi *et al.*, 2017; Yan *et al.*, 2000) نیز نشان می‌دهد که بر پایه شاخص EV4 (محاسبه شده براساس چهار مؤلفه اصلی اول)، هیبرید شماره ۷ پایدارترین هیبرید بود، حال آنکه براساس پارامترهای EV1 (محاسبه شده بر اساس اولین مؤلفه اصلی) و EV2 (محاسبه شده بر اساس دو مؤلفه اصلی اول) هیبریدهای شماره ۱، ۶ و ۲ پایدار بودند. همچنین براساس شاخص ASV، هیبریدهای شماره ۶ و ۲ و با شاخص MASV، هیبریدهای شماره ۲، ۷، ۸ و ۶ پایدار شناسایی شدند. بنابراین دیده می‌شود که هرچقدر از مؤلفه‌های اصلی بیشتری استفاده شود، نتایج تجزیه‌ها به نتایج شاخص WAASBY نزدیکتر است که این کارایی بیشتر شاخص WAASBY را در شناسایی هیبریدهای برتر در مقایسه با پارامترهای پایداری AMMI می‌رساند. استفاده از شاخص‌های تک متغیره پارامتری ضریب رگرسیون، واریانس درون مکانی و متوسط عملکرد دانه بر روی این داده‌ها (Sharifi and Aminpanah, 2016)، هیبرید شماره ۲ را دارای تغییرات کم در محیط‌های متفاوت، هیبرید شماره ۷ را دارای پایداری کمتر از متوسط و با سازگاری خصوصی در محیط‌های مساعد و هیبرید شماره ۶ را پایدارترین هیبرید شناسایی کرده بود. از مقایسه این شاخص‌های پایداری تک متغیره با شاخص WAASBY، باز می‌توان به فراگیر بودن این شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها و برتری آن پی برد. البته نتیجه گزینش هیبرید با این آماره‌های پارامتری تک متغیره با نتیجه شاخص WAASBY بسیار نزدیک است و نیاز به مقایسه این شاخص‌ها را در مطالعه‌های آینده نشان می‌دهد.

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]
[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

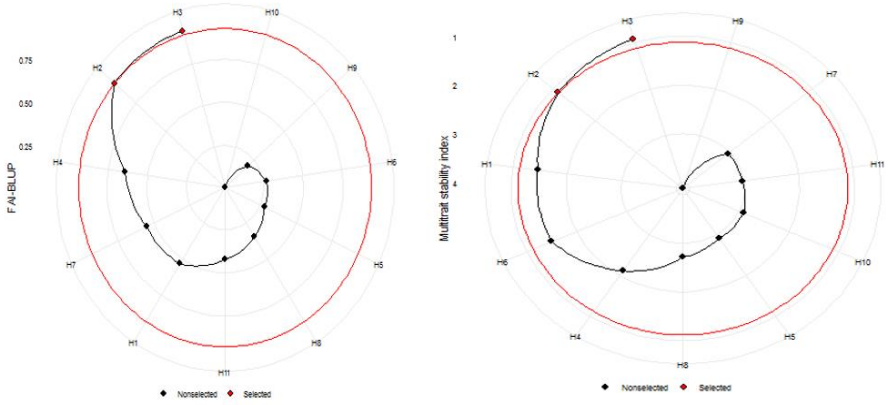



شکل ۶- رتبه‌های ۱۱ هیبرید ذرت با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای پایداری و عملکرد (اولین رتبه سمت چپ، فقط بر اساس پایداری به‌دست آمده است. آخرین رتبه سمت راست نیز با در نظر گرفتن عملکرد دانه به‌دست آمده است. بین این دو انتها، رتبه‌ها از وزن‌های مختلف پایداری و عملکرد به‌دست آمده است. چهار خوشه، چهار کلاس هیبریدی را نشان می‌دهد: (۱) هیبریدهای بسیار پرمحصول و پایدار؛ (۲) هیبریدهای پرمحصول اما ناپایدار؛ (۳) هیبریدهای پایدار اما کم محصول؛ (۴) هیبریدهای ضعیف از نظر عملکرد و ناپایدار. طیف رنگ نماد رتبه هیبریدها است، به‌طوری که سبزترین رنگ، بیانگر رتبه بالاتر (بهتر) یک هیبرید است و به‌سوی رنگ آبی، از رتبه هیبرید کاسته می‌شود).

Figure 6. Ranks of 11 maize hybrids considering different weights for stability and yielding (The most -left ranks were obtained considering the stability only. The most right -ranks were obtained considering the grain yield only. Between the extremes, the ranks were obtained different weights for stability and yielding. The four clusters represent four classes of genotypes: (1) highly productive and stable genotypes; (2) productive but unstable genotypes; (3) stable but poorly productive genotypes; and (4) Poorly productive and unstable genotypes).

در شکل (۷)، رتبه‌بندی هیبریدها براساس شاخص پایداری چندصفتی (MTSI) انجام شده است که در آن، هیبریدهای شماره ۳ و ۲ به‌ترتیب با MTSI برابر با ۰/۹۲ و ۱/۱۲به‌عنوان هیبرید برگزیده در شدت گزینش ۱۵ درصد بودند. دایره قرمز (MTSI=۱/۱۲) نقطه برش را نشان می‌دهد (شکل ۷-الف). انتخاب ارقام توسط MTSI با توجه به ارزش صفات در ارقام، یعنی صفاتی که نمود خوبی دارند، نیز مهم است (Olivoto *et al.*, 2019b). پایه تجزیه عاملی برای محاسبه شاخص MTSI این است که در یک چارچوب چندصفتی، مقادیرWAASBY صفت‌ها ممکن است به نوعی با توجه به یک ساختار همبستگی که از قبل ناشناخته است، با یکدیگر وابستگی داشته باشند؛ بنابراین، تجزیه عاملی اکتشافی (EFA)، برای پاسخ به این ساختار همبستگی استفاده می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019b; Van Eeuwijk *et al.*, 2016). با استفاده از EFA، شناسایی تعداد فاکتور، ارتباط بین عوامل و چگونگی ارتباط متغیرها با این عوامل امکان‌پذیر است (Ullman, 2006). سرانجام، برآورد نمرات فاکتور نهایی امکان جلوگیری از چندهم خطی، یک مسئله سیستمیک در تجزیه‌های چند متغیره (Olivoto *et al.*, 2017) را فراهم می‌آورد. شاخصMTSI، یک فرآیند انتخاب منحصر به فرد و آسان است که امکان انتخاب هم زمان براساس نمود عملکرد و پایداری را برای بسیاری از به‌نژادگران و متخصص‌های زراعت در هنگام داشتن داده‌های چندصفتی فراهم می‌آورد (Olivoto *et al.*, 2019b).

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]
[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]




شکل ۷- رتبه‌بندی هیبریدها و هیبریدهای انتخاب شده الف: بر پایه شاخص پایداری چندصفتی (MTSI)؛ ب: بر پایه شاخص FAI-BLUP با در نظر گرفتن شدت انتخاب ۱۵ درصد

Figure 7. Genotype ranking and selected genotypes based on (a) multi-trait stability index (MTSI); (b) FAI -BLUP index, considering a selection intensity of 15%

شاخص FAI-BLUP که توسط روچا و همکاران (Rocha *et al.*, 2018) پیشنهاد شده است، یک شاخص چندصفتی دیگر و مبتنی بر تجزیه عاملی است که براساس فاصله هر کدام از هیبریدها از هیبرید ایده‌آل برآورد می‌شود. براساس این شاخص نیز نموداری رسم گردید که همانند شاخص MTSI، پایدارترین هیبرید را شناسایی کرد (هیبرید شماره ۳). تفاوت‌هایی در رتبه‌بندی براساس این شاخص و شاخص MTSI در هیبریدها وجود داشت (شکل ۷-ب) تفاوت دو نمودار در این است که شاخص FAI-BLUP، یک شاخص چندصفتی است که فقط بر پایه نمود متغیر(های) اندازه‌گیری شده، گزینش هیبرید را انجام می‌دهد، حال آنکه در شاخص MTSI، علاوه بر نمود متغیر(های) اندازه‌گیری شده، به شاخص پایداری هر صفت نیز توجه می‌شود. البته اگر در شاخص MTSI، وزن ۱۰۰ درصد به صفت داده شود، گزینش هیبرید فقط براساس عملکرد دانه انجام می‌شود، ولی اگر وزن ۱۰۰ درصد به شاخص پایداری (در اینجا WAASB) داده شود، گزینش فقط براساس تجزیه عاملی مبتنی بر پایداری انجام می‌گیرد. هر وزنی بین صفر- ۱۰۰شاخص MTSI، یک معیار چندصفتی برای گزینش همزمان بر پایه متغیر وابسته و پایداری را پدید می‌آورد. در این پژوهش، از وزن‌دهی۵۰:۵۰ برای محاسبه شاخص MTSI استفاده شد؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد که با توجه به انعطاف‌پذیری شاخص MTSI نسبت به شاخص FAI-BLUP، بهتر است از شاخص MTSI و نمودار حاصل از آن استفاده شود.

## نتیجه‌گیری کلی

مقایسه میانگین‌های پیش‌بینی شده عملکرد دانه با روشBLUP نشان داد که هیبریدهای شماره ۳، ۲، ۴ و ۱ بیشترین میانگین پیش‌بینی شده را داشتند. براساس بای‌پلات اولین مؤلفه اصلی محیط در برابر عملکرد اسمی، هیبریدهای شماره ۲، ۶، ۳ و ۱با داشتن کمترین نمره‌های مؤلفه اصلی اول (ضریب b یا شیب خط)، سهم ناچیزی در برهمکنش هیبرید در محیط داشتند و پایدار تشخیص داده شدند. همچنین، براساس شاخص WAASBY، با وزن ۵۰:۵۰ برای عملکرد دانه و پایداری، هیبریدهای شماره ۲، ۱، ۳، ۶ و ۴ هیبریدهای پایدار و با عملکرد دانه بالا بودند. با استفاده از شاخص انتخاب همزمان با وزن‌های متغیر برای عملکرد دانه (GY) و پایداری (WAASB) با نام WAASBY، هیبریدهای شماره ۱، ۲ و ۳ پرمحصول و پایدار بودند. بر اساس شاخص گزینش چند صفتی (MTSI) نیز هیبرید شماره ۳ به‌عنوان یک هیبرید برتر انتخاب شد. به‌نظر می‌رسد که برای یک نتیجه‌گیری با اطمینان بالا استفاده از نمودار نسبت شاخص پایداری WAASB به عملکرد دانه (WAASB/ GY) و نمودار گزینش هیبرید برتر بر اساس شاخص MTSI بتواند به نتایج مطلوبی از تجزیه پایداری با بهره‌گیری از تجزیه‌هایی همچون تجزیه عاملی، BLUP و AMMI در شناسایی هیبریدهای مطلوب منجر شود. در مجموع براساس تمام تجزیه‌ها، هیبرید شماره ۳ پایدارترین هیبرید بود که علاوه بر عملکرد دانه از نظر سایر صفات اندازه‌گیری شده نیز بر هیبریدهای دیگر برتری داشت.

## References

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Abdshah, H., & Kazemian, A. (2019). Agricultural Statistics of 2017-18 Growing Year. Volume One: Crop Products. Ministry of Jihad Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center, IR (In Persian).

Akter, A., Jamil Hassan, M., Umma Kulsum, M., Islam, M. R., Hossain, K., & Mamunur Rahman, M. (2014). AMMI biplot analysis for stability of grain yield in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Rice Research*, 2(2), 126-138. http://dx.doi.org/10.4172/jrr.1000126

Balestre, M., Von Pinho, R. G., Souza, J. C., & Oliveira, R. L. (2009). Genotypic stability and adaptability in tropical maize based on AMMI and GGE biplot analysis. *Genetic Moleular Research*, 8(4), 1311-1322. https://doi.org/10.4238/vol8-4gmr658

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

Bocianowski, J., Niemann, J., & Nowosad, K. (2019). Genotype by environment interaction for seed quality traits in interspecific cross-derived *Brassica* lines using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica*, 215(7), 1-13. https://doi.org/10.1007/s10681-018-2328-7

Bornhofen, E., Benin, G., Storck, L., Woyann, L. G., Duarte, T., Stoco, M. G., & Marchioro, S. V. (2017). Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. *Bragantia*, 76(1), 1-10. https://doi.org/10.1590/1678-4499.557

Bose, L. K., Jambhulkar, N. N., Pande, K., & Singh, O. N. (2014a). Use of AMMI and other stability statistics in the simultaneous selection of rice genotypes for yield and stability under direct-seeded conditions. Chilean *Journal of Agricultural Research*, 74(1), 1-7. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392014000100001

Bose, L. K., Jambhulkar, N. N., Pande, K., & Singh, O. N. (2014b). Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of grain yield stability in early duration rice. *Journal of Animal and Plant Science*, 24(6), 1885-1897.

Donoso-Ñanculao, G., Paredesm M., Becerram V., Arrepol, C., & Balzarini, M. (2016). GGE biplot analysis of multi -environment yield trials of rice produced in a temperate climate. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(2), 152-157. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392016000200003

Gauch, H. G. (1988). Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 44(3), 705-715. https://doi.org/10.2307/2531585

Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1988). Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theoretical and Applied Genetis*, 76(1), 1-10. https://doi.org/10.1007/BF00288824

Gauch, H. G. & Zobel, R. W. (1997). Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37(1), 311-326. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020002x

Katsenios, N., Sparangis, P., Leonidakis, D., Katsaros, G., Kakabouki, I., Vlachakis, D. & Efthimiadou, A. (2021). Effect of genotype× Environment interaction on yield of maize hybrids in Greece using AMMI analysis. *Agronomy*, 11(3), 479. https://doi.org/10.3390/agronomy11030479

Kempton, R. A. (1984). The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science*, 103(1), 123-135. https://doi.org/10.1017/S0021859600043392

Liu, C., Ma, C., Lü, J. & Ye, Z. (2022). Yield stability analysis in maize hybrids of southwest China under genotype by environment interaction using GGE biplot. *Agronomy*, 12(5), 1189. https://doi.org/10.3390/agronomy12051189

Mohaddesi, A., Erfani, R., Sharifi, P., Aminpanah, H., & Abbasian. A. (2017). Studying the relationships between yield and yield components and stability of some of rice genotypes using biplot method. *Cereal Research*, 6(4): 411-421 (In Persian).

Moharramnejad, S., Shiri M. (2020). Study of Genetic Diversity in Maize Genotypes by Ear Yield and Physiological Traits. *Journal of Crop Breeding*, 12(35), 30-40 (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.12.35.30

Nardino, M., D. Baretta, Carvalho, I. R., Olivoto, T., Follmann, D. N., Vincius, J. S., Ferrari, M., de Pelegrin, A. J., Konflanz, V.A., & de Souza, V.Q. (2016). Restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) for analyzing the agronomic performance of corn. *African Journal of Agricultural Research*, 11(48), 4864-4872. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11691

Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Sari, B. G., & Diel, M. I. (2019a). Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6), 2961-2969. https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221

Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., & Jost, E. (2019b). Mean performance and stability in multi -environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), 2949-2960. https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220

Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I. R., Follmann, D. N., Ferrari, M., Szareski, V. J., de Pelegrin, A. J. & de Souza, V. Q. (2017). REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits. *Genetics and Molecular Research*, 16(1), 1-19. https://doi.org/10.4238/gmr16019525

Piran, M., Asghari, A., Moharramnejad, S., & Mohammaddoust Chaman Abad H. (2021). Evaluation of diversity to selecting best maize hybrids. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 98-107 (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.13.39.98

Rahayu, S. (2020). Yield stability analysis of rice mutant lines using AMMI method. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conference Series, 1436(1): 1-9. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012019

Rocha, J. R., Machado, J. C., & Carneiro, P. C. S. (2018). Multi-trait index based on factor analysis and ideotype -design: Proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. *Global Change Biology and Bioenergy*, 10(1), 52-60. https://doi.org/10.1007/s12155-015-9709-8

Sadimantara, G. R., Kadidaa, B., Suaib, L., & Safuan, O. (2018). Growth performance and yield stability of selected local upland rice genotypes in Buton Utara of Southeast Sulawesi. IOP Conference Series: Earth and Environment Science, 122(1), 1-7. https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012094

Samonte, S. O. P., Wilson, L. T., McClung, A. M., & Medley, J. C. (2005). Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Science*, 45(6), 2414-2424. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0627

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]

Sharifi, P. (2020a). Application of Multivariate Analysis Methods in Agricultural Sciences. Rasht Branch, Islamic Azad University Press, IR (In Persian).

Sharifi, P. (2020b). Evolution, Domesicatin, Breeding Methods and the Latest Breeding Findings in Rice. Agricultural and Natural Resources Engineering Organization of IRAN, IR (In Persian).

Sharifi, P., Abbasian, A. & Mohaddesi, A. (2021). Evaluation the mean performance and stability of rice genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques and selection based on multiple traits. *Plant Genetic Researches*, 7(2), 163-180 (In Persian). https://doi.org/10.52547/pgr.7.2.13

Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., & Abbasian, A. (2017). Evaluation of genotype × environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Science*, 24(3), 173-180. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001

Sharifi, P., & Aminpanah, H. (2016). Evaluation of genotype × environment interactions, stability and a number of genetic parameters in rice genotypes. *Plant Genetic Researches*, 3(2), 25-42 (In Persian). https://doi.org/10.29252/pgr.3.2.25

Shiri, M. R. (2013). Grain yield stability analysis of maize (*Zea mays* L.) hybrids under different drought stress conditions using GGE biplot analysis. *Crop Breeding Journal*, 3(2), 107-112. http://dx.doi.org/10.22092/cbj.2012.100456

Smith, A. B., Cullis, B. R., & Thompson, R. (2005). The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: An overview of current mixed model approaches. *Journal of Agriculture Science*, 143(1), 449-462. https://doi.org/10.1017/S0021859605005587

Ullman, J. B. (2006). Structural equation modeling: Reviewing the basics and moving forward. *Journal of Personality Assessment*, 87, 35-50. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa8701_03

Van Eeuwijk, F. A., Bustos-Korts, D. V., & Malosetti, M. (2016). What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype × environment interactions? *Crop Science*, 56(5), 2119-2140. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.06.0375

Veenstra, L. D., Santantonio, N., Jannink, J. L., & Sorrells, M. E. (2019). Influence of genotype and environment on wheat grain fructan content. *Crop Science*, 59(5), 190-198. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.06.0363

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnics, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega -environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605. https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10 ]

[ DOI: 10.61186/jcb.16.2.14 ]