"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و سوم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7

ارزیابی کارایی مدل‌های AMMI و BLUP و تلفیق آنها برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) سازگار با مناطق دیم نیمه‌گرمسیری ایران

Evaluating of the efficiency of AMMI and BLUP models and their integration for identifying high-yielding durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes adapted to warm rainfed regions of Iran

رحمت‌الله کریمی‌زاده[۱]، حسن قوجق[۲]، طهماسب حسین‌پور[۳]، محمد آرمیون[۴]، کمال شهبازی[۵] و پیمان شریفی[۶]

چکیده

کریمی‌زاده، ر.، ح. قوجق، ط. حسین‌پور، م. آرمیون، ک. شهبازی و پ. شریفی. ۱۴۰۰. ارزیابی کارایی مدل‌های AMMI و BLUP و تلفیق آنها برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) سازگار با مناطق دیم نیمه‌گرمسیری ایران. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۳ (۱): ۴۸-۳۰.**

هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی مدل‌های تجزیه پایداری عملکرد برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول گندم دوروم و ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه و تعیین سازگاری و پایداری عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم با استفاده از مدل‌های امی (AMMI) و بلاپ (BLUP) بود که طی چهار سال زراعی (۹۲-۱۳۸۸) در مناطق دیم نیمه گرمسیری اجرا شد. نتایج آزمون نسبت درست‌نمایی (Likelihood ratio test, LRT) نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. بنابراین، تجزیه بهترین پیش‌بینی‌های خطی ناأریب (Best linear unbiased predictors, BLUPs) برای این داده‌ها مناسب تشخیص داده شد. براساس شاخص ارزش پایداری امی (ASV)، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸، ۱۴، ۱۹ و ۱۶، دارای عملکرد پایدارتر بودند. شاخص انتخاب همزمان (ssiASV) بر اساس ASV، ژنوتیپ‌های ۸، ۱۱، ۴ و ۱۰ را از نظر عملکرد دانه و پایداری عملکرد، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی کرد. با توجه به اینکه با استفاده از این شاخص‌های انتخاب همزمان، ژنوتیپ‌هایی با الگوهای متفاوت برای آزمایش‌های چندمحیطی، می‌توانند مشابه در نظر گرفته شوند، نتایج حاصل از آن‌ها می‌تواند گمراه‌کننده باشد. نمودار بای‌پلات AMMI2 بر مبنای دو مؤلفه اصلی اول، ژنوتیپ‌های ۱۹، ۳، ۱۴ و ۱۱ را بعنوان ژنوتیپ‌های دارای پایداری عملکرد شناسایی کرد. نتایج نمودار موزاییکی نشان داد که سهم ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌ترتیب ۱۴/۹۴ درصد و ۸۵/۰۶ درصد از تنوع کل بود. بر اساس شاخص WAASBY مبتنی بر تجزیه BLUP، ژنوتیپ‌های ۴، ۸، ۱۱ و ۱۰ و ۷ پرمحصول با عملکرد پایدار شناخته شدند. در مجموع، با توجه به استفاده از مدل مختلط و همچنین تمام مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص WAASBY، به‌نظر می‌رسد که این شاخص برتر از سایر شاخص‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه مقادیر منفرد، گزینش همزمان، گندم دوروم و میانگین وزنی نمرات مطلق

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۷ /۱۰/۱۳۹۹ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۸۸۰۳۱-۱۵-۵۶-۰ مصوب موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور می‌باشد.

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: r.karimizadeh@areeo.ac.ir و Karimizadeh_ra@yahoo.com)
۲- محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران
۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
۵- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
۶- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت، ایران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) یک گیاه زراعی مهم برای ماکارونی سازی محسوب می‌شود (Karimizadeh *et al.*, 2011). مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشت گندم دوروم در دنیا خشکی، سرما و گرمای انتهای فصل رشد هستند (Mohammadi *et al.*, 2017) که معمولاً عملیات زراعی به‌تنهایی باعث کاهش اثرات منفی این تنش‌ها نمی‌شوند و به‌نژادی یکی از روش‌های غلبه بر آنها و افزایش عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نامساعد است (Karimizadeh *et al.*, 2013).

سرعت فرآیندهای به‌نژادی برای صفات کمی در گیاهان زراعی، وابسته به وجود برهمکنش‌های ژنوتیپ در محیط است و هرچه این واکنش‌ها بیشتر باشند، گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس فنوتیپ مشکل‌تر خواهد بود. این برهمکنش‌های ژنوتیپ در محیط به‌ویژه برای عملکرد دانه، به‌عنوان یک صفت کمّی پیچیده از اهمیت بیشتری برخوردار است (Sharifi, 2020).

روش‌های زیادی برای تجزیه پایداری عملکرد ارائه شده است که شامل روش‌های پارامتری (تک‌متغیره یا چندمتغیره) و ناپارامتری هستند. روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش‌های ضرب‌پذیر (Additive Main effect and Multiplicative Interaction; AMMI) (Gauch and Zobel, 1997) و GGE بای‌پلات (Genotype + Genotype × Environment) (Yan *et al.*, 2000) از روش‌های پارامتری چندمتغیره هستند. علاوه بر روش‌های یاد شده، بهترین پیش‌بینی‌های خطی ناأریب (Best linear unbiased predictors, BLUPs) نیز برای ارزیابی داده‌های آزمایش‌های چندمحیطی (Multi-environment trials, MET) پیشنهاد شده است که میانگین اثرات تصادفی را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط همچون اثر مختلط خطی (linear mixed-effects models, LMM) تخمین می‌زند (Smith *et al.*, 2005). شاخص‌های پارامتری زیادی مبتنی بر تجزیه AMMI به‌وسیله پژوهشگران ارائه شده‌اند که مهم‌ترین آنها (Purchase *et al.*, 2000) ASV، ASI (Jambhulkar *et al.*, 2014)، ASTAB (Rao and Prabhakaran 2005)، AMGE و SIPC (Sneller *et al.*, 1997)، FA، AVAMGE، MASV و Za (Zali *et al.*, 2012)، DA (Annicchiarico, 1997)، DZ (Zhang *et al.*, 1998)، MASI (Ajay *et al.*, 2018) و EV (Zobel *et al.*, 1988) هستند. مدل‌سازی الگوهای برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) با تجزیه AMMI در گندم دوروم به‌وسیله پژوهشگران زیادی انجام شده است (Sabaghnia *et al.*, 2012a; Sabaghnia *et al.*, 2012b; Mohammadi *et al.*, 2015; Karimizadeh *et al.*, 2016; Karimizadeh *et al.*, 2017; Esmaeilzadeh Moghaddam *et al.*, 2018; Najafi Mirak *et al.*, 2018). در سال‌های اخیر از مزایای دو روش AMMI و BLUP به‌صورت همزمان و تلفیقی استفاده شده است که در آن، یک ماتریس برهمکنش ژنوتیپ در محیط با مدل مختلط خطی مبتنی بر BLUP بدست می‌آید و از تجزیه این ماتریس با یک روش شبه-AMMI با تجزیه ارزش منفرد (Singular value decomposition; SV)، یک معیار پایداری ژنوتیپی به‌نام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (Weighted average of absolute scores; WAASB) محاسبه می‌شود که در حقیقت حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP است و قادر به وزن‌دهی بین صفت وابسته (عملکرد دانه) و پایداری عملکرد است (Olivoto *et al.*, 2019 a, b). علاوه بر این شاخص، شاخص دیگری به‌نام WAASBY نیز معرفی شده است که در آن، هر دو معیار عملکرد و پایداری عملکرد همزمان در نظر گرفته می‌شوند تا علاوه بر کاهش برهمکنش ژنوتیپ در محیط، گزینش‌ها دقیق‌تر و قابل ارزیابی باشند (Olivoto *et al.*, 2019 a). در این شاخص به‌نژادگر بسته به هدف اصلاحی خود، وزن‌های متفاوتی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

به هرکدام از دو معیار میانگین عملکرد یا پایداری عملکرد داده و ارزیابی ژنوتیپ‌ها را بر اساس آن انجام می‌دهد.

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی کارایی مدل‌های استفاده شده در تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول گندم دوروم سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم نیمه‌گرمسیری کشور با بهره‌گیری از شاخص‌های مختلف AMMI و ترکیب دو روش AMMI و BLUP، با شاخص‌های WAASB و WAASBY و همچنین ترسیم نمودارهای مختلف برای درک بهتر اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قطعه زمینی که سال پیش آیش بود، اجرا شد. پس از آماده سازی زمین، عناصر فسفر (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و نیتروژن (۳۵ کیلوگرم در هکتار) (به‌ترتیب از منبع کودهای فسفات آمونیوم و اوره) در هنگام تهیه زمین پخش و با خاک مخلوط شدند. تعداد ۱۸ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم گزینش‌شده از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد، از مرکز بین المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT) همراه با ارقام گندم سیمره و دهدشت (شاهد) (جدول ۱)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در گچساران (با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی)، گنبد (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی)، مغان (با عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۸۸ دقیقه شرقی)، خرم‌آباد (با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی) و ایلام (با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی) به‌مدت چهار سال زراعی (۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲) در کرت‌هایی به طول ۷/۰۳ متر و عرض ۱/۰۵ متر کشت شدند. تعداد ردیف‌های کاشت برای هر لاین شش ردیف با فاصله ۱۷/۵ سانتی‌متر بود. تراکم ۳۰۰ دانه در مترمربع برای هر لاین در نظر گرفته شد. پس از برداشت محصول، عملکرد دانه در هر کرت اندازه‌گیری و برای تجزیه‌ها استفاده شد.

تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی (Multi Environment Metan Trial Analysis) (Olivoto, 2019) و (Wright and gge Laffont 2018) در نرم‌افزار R انجام شد. از پارامترهای تجزیه AMMI و همچنین پارامترهای مبتنی بر تجزیه AMMI روی ماتریس GEI حاصل از بهترین پیش‌بینی ناأریب خطی (BLUP) استفاده شد که روابط مربوطه در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

در رابطه ۱ (ASV)، نسبت *SSIPC*1/*SSIPC*2 وزن اختصاص داده شده به نخستین محور مؤلفه اصلی (IPC1) است که با تقسیم مجموع مربعات IPC1 بر مجموع مربعات IPC2 (دومین محور مؤلفه اصلی) بدست می‌آید. در رابطه ۲، λ_n، ریشه مشخصه IPC در محور n است. در این رابطه، N = 1 برای SIPC1 و در SIPCF، N تعداد IPCهایی است که در مدل باقی می‌مانند. در رابطه‌های ۳ و ۴، γ_{in}، ریشه مشخصه برای محور n، و N (و N′ در رابطه ۴)، تعداد مؤلفه‌های اصلی است که در تجزیه واریانس AMMI با آزمون F معنی‌دار شده است. در رابطه ۴، θn، درصد مجموع مربعات توجیه شده به‌وسیله nاُمین محور IPC است. در تمام این رابطه‌ها، ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین این شاخص‌ها، پایدارترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند. در رابطه ۵، R(AMMI stability Indices)، رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه هرکدام از شاخص‌های پایداری AMMI نام برده شده در بالا و RY، رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

جدول ۱- اسامی و شجره ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد ارزیابی

Table 1. Name and pedigree of durum wheat genotypes

کد Code	اسم/شجره Name/Pedigree	کد Code	اسم/شجره Name/Pedigree
G1	ACUATICO_1/RASCON_33//ACUATICO_1/3/AJAIA_12/F3LOCAL	G11	STOT//ALTAR 84/ALD/3/GREEN_18/ FOCHA_1 //AIRON_1
G2	GAUNT_10/SNITAN	G12	RASCON_21/3/MQUE/ALO//FOJA/4/GREEN_38/BUSHEN_4/5/CADO/BOOMER_33
G3	SOMO/CROC_4//LOTUS_1/3/KITTI/4/STOT//ALTAR 84/ALD	G13	STOT//ALTAR84/ALD2/3/AUK/GUIL//GREEN
G4	CMH82A.1062/3/GGOVZ394//SBA81/PLC/4/AAZ_1/CREX/5/HUI//CIT71/CII/6/STOT//ALTAR84/ ALD	G14	SRN_1/6/FGO/DOM//NACH/5/ALTAR84/4/GARZA/AFN//CRA/3/GGOVZ394/7/GEDIZ/FGO//GTA/3/CNDO/8/GREEN
G5	SRN_1/6/FGO/DOM//NACH/5/ALTAR 84/4/ GARZA/AFN// CRA/3/GGOVZ394/7/GEDIZ/FGO//GTA/3/ CNDO/8/ GREEN_38/9/2*STOT//ALTAR 84/ALD	G15	AINZEN-1/SORD_3CD
G6	LLARETA INIA/YEBAS_8/3/MINIMUS_6 /PLATA _16//IMMER	G16	PLATA_8/4/GARZA/AFN//CRA/3/GTA/5/RASCON/6/CADO/BOOMER_33/7/ STOT//ALTAR 84/ALD
G7	RASCON_21/3/MQUE/ALO//FOJACD	G17	ALTAR 84/STINT//SILVER_45/3/CBC 503 CHILE/4/AUK /GUIL//GREEN
G8	GEDIZ/FGO//GTA/3/SRN_1/4/TOTUS/5/ENTE/MEXI_2//HUI/3/YAV_1/GEDIZ/6/SOMBRA_20/7/ STOT//ALTAR 84/ALD	G18	ALTAR 84/BINTEPE 85/3/ALTAR 84/STINT// SILVER_45/4/ LHNKE/RASCON//CONA-DCD
G9	STOT//ALTAR 84/ALD/3/THB/CEP7780// 2*MUSK	G19	Saimareh (Check)
G10	ALTAR 84/STINT//SILVER_ 45/3/STOT// ALTAR 84/ALD	G20	Dehdasht (Check)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

جدول ۲- شاخص‌های تجزیه پایداری

Table 2. Stability analysis indices

شماره Code	Index	شاخص	فرمول Furmula	رفرنس References
1	AMMI stability value (ASV)	ارزش پایداری امی	$ASV = \sqrt{\left[\frac{SSIPC1}{SSIPC2}(IPC1)\right]^2 + (IPC2)^2}$	Purchase *et al.*, 2000
2	Sum of IPCs scores (SIPC)	مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها	$SIPC = \sum_{n=1}^{N} \lambda_n^{0.5} \gamma_{in}$	Sneller *et al.*, 1997
3	Eigenvalue (EV) stability parameter of AMMI	مقدار ویژه پارامتر پایداریAMMI	$EV = \sum_{n=1}^{N} \gamma_{in}^2 / n$	Zobel *et al.*, 1988
4	Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction (Za)	قدرمطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش	$Za_i = \sum_{n=1}^{N} \lvert\theta_n \gamma_{in}\rvert$	Zali *et al.*, 2012
5	Simultaneous selection index (SSI)	شاخص انتخاب همزمان	SSI = R(AMMI stability Indices) + RY	Farshadfar, 2008
6	Weighted average of absolute scores of best linear Unbiased predictions	میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های خطی	$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^{p} \lvert IPCA_{ik} \times EP_k \rvert}{\sum_{k=1}^{p} EP_k}$	Olivoto *et al.*, 2019a
7	Weighted average of WAASB and response variable	میانگین وزنی شاخصWAASB و متغیر وابسته	$WAASBY_i = \frac{\left\{W_Y \times \left[\left(\frac{GY_i}{GY_{\max}}\right) \times 100\right]\right\} + \left[W_S \times \left(100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{\min}}\right)\right]}{W_Y + W_S}$	Olivoto *et al.*, 2019a

شماره Code	1	2	3	4	5	6	7
شاخص	ارزش پایداری امی	مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها	مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI	قدرمطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش	شاخص انتخاب همزمان	میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های خطی	میانگین وزنی شاخصWAASB و متغیر وابسته
Index	AMMI stability value (ASV)	Sum of IPCs scores (SIPC)	Eigenvalue (EV) stability parameter of AMMI	Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction (Za)	Simultaneous selection index (SSI)	Weighted average of absolute scores of best linear Unbiased predictions	Weighted average of WAASB and response variable
فرمول Furmula	$ASV = \sqrt{[\frac{SSIPC1}{SSIPC2}(IPC1)]^2 + (IPC2)^2}$	$SIPC = \sum_{n=1}^{N} \lambda_n^{0.5} \gamma_{in}$	$EV = \sum_{n=1}^{N} \gamma_{in}^2 / n$	$Za_i = \sum_{n=1}^{N} \lvert\theta_n \gamma_{in}\rvert$	SSI = R(AMMI stability Indices) + RY	$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^{p} \lvert IPCA_{ik} \times EP_k \rvert}{\sum_{k=1}^{p} EP_k}$	$WAASBY_i = \frac{\left\{W_Y \times \left[\left(\frac{GY_i}{GY_{\max}}\right) \times 100\right]\right\} + \left[W_S \times \left(100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{\min}}\right)\right]}{W_Y + W_S}$
رفرنس References	Purchase *et al.*, 2000	Sneller *et al.*, 1997	Zobel *et al.*, 1988	Zali *et al.*, 2012	Farshadfar, 2008	Olivoto *et al.*, 2019a	Olivoto *et al.*, 2019a

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

در رابطه ۷، $WAASB_i$، 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 (Olivoto *et al.*, 2019b). انتخاب همزمان برای میانگین عملکرد و پایداری (Mean performance and stability, MPE) با شاخص WAASBY انجام شد، که در آن $WAASBY_i$، میانگین وزنی WAASB و GY برای ژنوتیپ iاُم؛ WY، وزن داده شده به متغیر پاسخ (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 (شاخص WAASB)؛ $WAASB_i$، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ iاُم؛ و $WAASB_{min}$، کمترین مقدار WAASB مشاهده شده در بین ژنوتیپ‌ها هستند.

جنبه دیگری از تلفیق دو روش AMMI و BLUP بهره‌گیری از ابزارهای گرافیکی تجزیه AMMI در شاخص‌های برآوردشده است. به‌طوری‌که برای کمک به تفسیر چشمی، گرافیک‌هایی برای نشان دادن میانگین متغیر پاسخ در برابر WAASB ایجاد شدند (Olivoto *et al.*, 2019a). این ابزارهای گرافیکی که در پدیدآوری آنها از ابزارهای AMMI و بای‌پلات‌های GGE بهره گرفته می‌شوند، برای نشان دادن چشمی جایگاه ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری و میزان عملکرد بسیار کاربردی هستند. اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده (REML, restricted maximum likelihood) برآورد شده و برای ارزیابی معنی‌داری اثرهای تصادفی از آزمون نسبت درست‌نمایی (Likelihood Ratio Tests (LRT)) استفاده شد (Olivoto *et al.*, 2019a).

نتایج و بحث

تجزیه واریانس جداگانه در هر کدام از محیط‌ها نشان دهنده اثر معنی‌دار ژنوتیپ در تمام محیط‌ها، به جز محیط‌های ۱۳، ۱۵ و ۱۸ بود (نتایج ارائه نشده‌اند). نتایج آزمون بارتلت برای ارزیابی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در محیط‌های مورد مطالعه انجام شد که نشان دهنده همگنی واریانس خطاهای آزمایشی و روا بودن تجزیه‌های بعدی همچون تجزیه مرکب و تجزیه‌های پایداری بود. متوسط عملکرد دانه ۳۱۹۲/۱ کیلوگرم در هکتار بود که کمترین و بیشترین میزان به‌ترتیب از ژنوتیپ ۱۶ در محیط ۱۴ (۱۰۶۵/۲ کیلوگرم در هکتار) و ژنوتیپ ۱۴ در محیط ۳ (۶۵۹۸/۲ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. در بین محیط‌ها نیز محیط ۱۴ (۱۱۶۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار) و محیط ۳ (۵۳۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار)، به‌ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد دانه را داشتند. کمترین و بیشترین میزان عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نیز به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۳ (۲۹۹۴/۶ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰ (۳۴۷۰/۲ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های گندم دوروم را در محیط‌های مختلف گزارش کرده‌اند (Karimizadeh *et al.*, 2013; Mohammadi *et al.*, 2017; Najafi Mirak *et al.*, 2018).

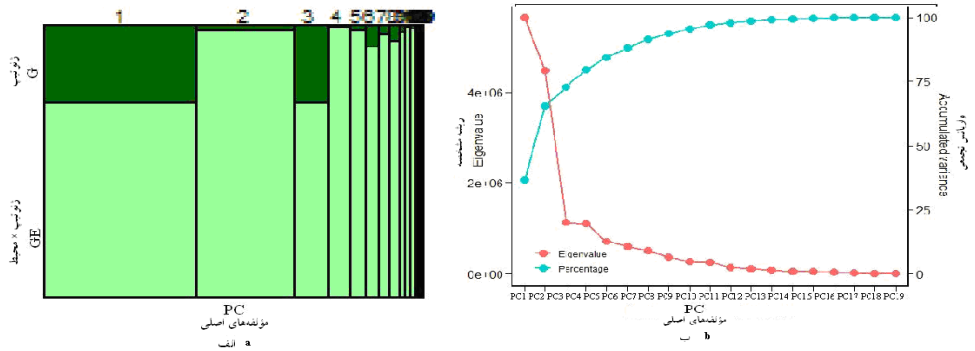
پیش از تجزیه پایداری، مجموع مربعات کل (TSS) به دو جزء مجموع مربعات ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GE) با بهره‌گیری از نمودار موزاییکی شکسته شد. در این نمودار که به‌وسیله لافونت و همکاران (Laffont *et al.*, 2007) پیشنهاد شده است، کل مربع نمودار ۱۰۰ درصد مجموع مربعات کل است و نواحی با رنگ تیره تنوع کل ناشی از اثر ژنوتیپی یا اختلاف بین میانگین ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد که در این تحقیق ۱۴/۹۴ درصد از تنوع کل است و نواحی با رنگ روشن، تنوع ناشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را نشان می‌دهد که ۸۵/۰۶ درصد از تنوع کل را دربر می‌گیرد (شکل ۱-الف). ستون‌های این نمودار وابسته به محورهای مؤلفه اصلی است،

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

به‌گونه‌ای که ستون اول دربرگیرنده ۳۶/۳ درصد از کل مساحت مربع است و اولین مولفه اصلی از TSS را تشکیل می‌دهد. ستون (مؤلفه اصلی) دوم ۲۹/۳ درصد از TSS را در بر می‌گیرد. این دو مؤلفه اصلی، با یکدیگر ۶۵/۶ درصد از TSS، ۷۸/۸۹ درصد (۷۶/۴۱ درصد+۲/۴۸ درصد) از مجموع مربعات ژنوتیپ (SSG) و ۶۳/۸۴ درصد (۳۳/۹۷ درصد +۲۹/۸۷ درصد) از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ در محیط (SSGE) را تشکیل می‌دهند. در هر ستون، ردیف‌های نمودار موزاییکی، آن ستون (یا محور مؤلفه اصلی) را به بخش برآمده از SSG و بخش برآمده از SSGE تقسیم می‌کند. با توجه به اینکه سهم G (۲۸/۳۲ درصد) در نخستین محور مؤلفه اصلی حدود یک سوم اثر GE (۷۱/۶۷ درصد) است، نمی‌توان این محور را محور ژنوتیپ نامید و بر اساس آن تفاوت میانگین ژنوتیپ‌ها را از نظر عملکرد دانه با یکدیگر سنجید. بنابراین توجه به سایر مؤلفه‌ها نیز در بررسی اثر اصلی ژنوتیپ ضروری است. مجموع مربعات محور مؤلفه اصلی دوم، سهم بسیار بیشتری از اثرهای GE (۹۸/۵۶ درصد) را نسبت به اثرهای G (۱/۴۳ درصد) دارد، بنابراین می‌توان این ستون را به‌عنوان محور برهمکنش ژنوتیپ در محیط نام نهاد، هرچند تقش مؤلفه‌های بعدی (به‌ویژه سوم و چهارم به‌ترتیب با سهم ۸/۷۰ درصد و ۸/۳۰ درصد) را نمی‌توان در این برهمکنش نادیده گرفت و باید از آنها برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بهره گرفت، بنابراین ارزیابی ژنوتیپ‌ها در رابطه با عملکرد و پایداری باید بر اساس مجموعه مؤلفه‌ها باشد.

از آزمون اسکریت (Screet test) برای شناسایی بهترین شمار مؤلفه‌های توجیه‌کننده برهمکنش ژنوتیپ در محیط استفاده شد. نتایج نشان داد که تا مؤلفه اصلی پنجم هرکدام از مؤلفه‌ها سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ماتریس GEI حاصل از BLUP داشتند (شکل ۱-ب)، به‌طوری‌که مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۳۶/۳ درصد و ۲۹/۳ درصد از تغییرات را توجیه کردند، بنابراین تفسیر نتایج تجزیه پایداری فقط بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ممکن است نتایج اشتباهی در پی داشته باشد.



شکل ۱- نمودار موزاییکی برای نمایش سهم مولفه‌ها از واریانس G+GE (الف)، نمودار ریشه مشخصه ماتریس GEI (ب) در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Fig. 1. Mosaeic plot for indication of PCs contribution in G+GE (a), Eigen values plot of the BLUP_GEI matrix (b) in durum wheat genotypes

با توجه به بهره‌گیری از مدل مختلط (Mixed linear model) در تجزیه داده‌ها، از آزمون نسبت درست‌نمایی (likelihood ratio test, LRT) برای ارزیابی معنی‌داری عوامل آزمایشی استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط نشان داد که عملکرد دانه یک ژنوتیپ ممکن است در یک محیط بیشتر و در محیطی دیگر کمتر باشد، بنابراین تجزیه BLUP برای تجزیه چنین داده‌هایی مناسب است (Olivoto *et al.*, 2019a) و از این‌رو اقدام به برآورد بهترین پیش‌بینی‌های ناأریب خطی (BLUPها) گردید و تجزیه پایداری به روش AMMI روی این BLUPها انجام شد. ارزیابی نسبت اجزای واریانس برآورد شده به روش درست‌نمایی محدود شده (REML) شامل واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ در محیط و باقیمانده به واریانس فنوتیپی نشان داد که این سه جزء به‌ترتیب ۵/۸۲ درصد، ۳۵/۰۱ درصد و ۵۹/۱۶ درصد از واریانس فنوتیپی را توجیه کردند (جدول ۳). پژوهشگران دیگری نیز برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط را بر عملکرد دانه گندم دوروم با تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات گزارش کرده‌اند (Karimizadeh *et al.*, 2011; Sabaghnia *et al.*, 2012a; Sabaghnia *et al.*, 2012b; Mohammadi *et al.*, 2015; Karimizadeh *et al.*, 2016; Karimizadeh *et al.*, 2017; Esmaeilzadeh Moghaddam *et al.*, 2018; Najafi Mirak *et al.*, 2018;).

جدول ۳- ارزیابی معنی‌داری فاکتورها در مدل مختلط و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 3. Evaluation of significance of factors by LRT ($\chi 2$) and estimation of variance components by REML in durum wheat genotypes

آماره Statistics		آزمون نسبت درست‌نمایی Likelihood ratio test	
		ژنوتیپ × محیط G × E	ژنوتیپ G
کای‌اسکوئر χ^2		238.1	19.11
مقدار احتمال *p*-value		1.008e-53	1.231e-5
پارامترهای برآورد شده به روش درست‌نمایی محدود شده REML		اجزای واریانس Variance components	
		برآوردها Estimates (%)	
σ^2_g	واریانس ژنوتیپی	9982 (5.82) §	
σ^2_i	واریانس ژنوتیپ × محیط	60019 (35.01)	
σ^2_e	واریانس مقادیر باقیمانده	101421 (59.16)	
σ^2_P	واریانس فنوتیپی	171422	

ns، * و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, *, **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

§ مقادیر داخل پرانتز، درصد واریانس مشاهده شده نسبت به واریانس فنوتیپی هستند

Values in parentheses indicate the percentage of the observed phenotypic variance (σ^2_P)

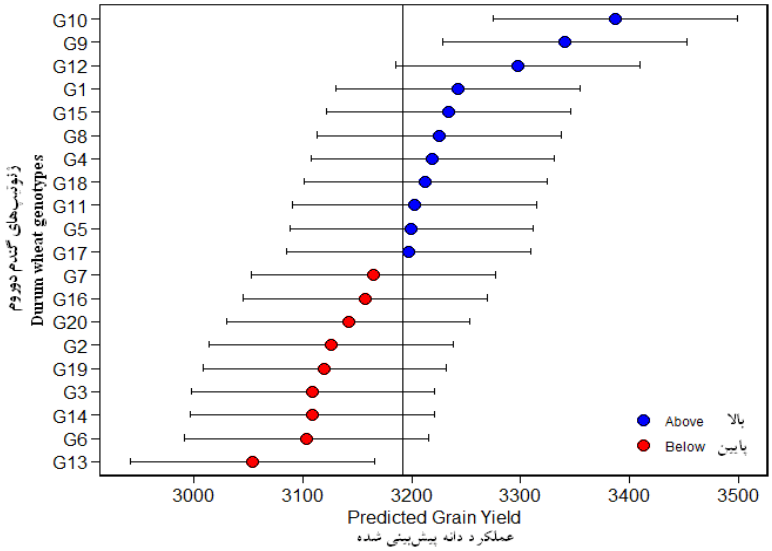
با توجه به استوار بودن بسیاری از تلاش‌ها در گام‌های نهایی برنامه‌های به‌نژادی بر آزمایش‌های چندمحیطی، دقت پیش‌بینی، برای گزینش درست ژنوتیپ‌ها، توصیه ژنوتیپ‌ها و شناسایی محیط‌های کلان (Mega-environment) بسیار مهم است (Olivoto *et al.*, 2019a). میزان وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد دانه در این تحقیق پایین و حدود ۰/۰۶ بود. ضریب تبیین برهمکنش ژنوتیپ در محیط و میزان وراثت‌پذیری بر میانگین به‌ترتیب برابر با ۰/۳۵ و ۰/۷۰ درصد بود. دقت گزینش ژنوتیپ و همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی در سراسر محیط‌ها نیز به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۳۷ بود. ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات باقیمانده و همچنین نسبت این دو ضریب تغییرات به‌ترتیب برابر با ۳/۱۳ درصد، ۹/۹۷ درصد و ۰/۳۱ بود. نسبت برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر اثر ژنوتیپی شش برابر بود.

برای افزایش دقت پیش‌بینی، استفاده از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر همچون

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

بهترین پیش‌بینی‌های ناأریب خطی (BLUP)، یکی از گزینه‌های پیش روی به‌نژادگران است که تجزیه پایداری به روش AMMI می‌تواند بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام شود (Olivoto *et al.*, 2019a). مقایسه میانگین‌های پیش‌بینی شده عملکرد دانه با روش BLUP نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۰، ۹، ۱۲، ۱، ۱۵، ۸، ۴، ۱۸، ۱۱، ۵ و ۱۷ دارای عملکرد پیش‌بینی شده بیشتر از میانگین بودند. ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۹ تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ‌های ۱۹، ۳، ۱۴، ۶ و ۱۳ داشتند (شکل ۲).



شکل ۲- عملکرد دانه پیش‌بینی شده (بهترین پیش‌بینی ناأریب خطی، BLUP) برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم
دایره‌های آبی و قرمز به‌ترتیب ژنوتیپ‌هایی دارای BLUP بالاتر و پایین‌تر از میانگین BLUP هستند
میله‌های خطای افقی نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵ درصد از پیش‌بینی بر اساس آزمون t دو طرفه هستند

Fig. 2. Predicted grain yield (best linear unbiased prediction, BLUP) plot for durum wheat genotypes
Blue and red circles represent the genotypes 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

بر اساس نتایج تجزیه واریانس AMMI، اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط معنی‌دار بود (نتایج ارائه نشده‌اند). با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. نتایج نشان داد که پنج مؤلفه اصلی اول معنی‌دار بوده و نقش مهمی در توجیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند. این مؤلفه‌های اصلی در مجموع ۸۸/۴ درصد از تغییرات GEI را توجیه می‌کردند. اثر معنی‌دار محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط و سه مؤلفه اصلی اول (IPC) نشان دهنده پیش‌زمینه ژنتیکی گسترده مواد آزمایشی و تنوع مکان‌های آزمایشی و سال‌های زراعی است. نتایج تحقیقات پیشین نیز اثر ژنتیکی و برهمکنش ژنوتیپ در محیط معنی‌دار را برای عملکرد دانه گندم دوروم گزارش داده‌اند (Karimizadeh *et al.*, 2011; Karimizadeh *et al.*, 2016; Mohammadi *et al.*, 2015; Karimizadeh *et al.*, 2017). وجود GEI معنی‌دار، نیاز به تشخیص سازگاری عملکرد ژنوتیپ‌ها را بر اساس ارزیابی‌ها در چند مکان و سال نشان می‌دهد. کاهش GEI متضمن گزینش ژنوتیپ‌هایی با بالاترین پایداری

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

عملکرد در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها است. تجزیه‌های AMMI و BLUP ابزارهای مهمی برای به دست آوردن درک درستی از عوامل دخیل در پدیدآوری GEI هستند. از این‌رو، نخست پایداری ژنوتیپ‌ها با شاخص‌های مختلف AMMI سنجیده شده و سپس با ابزارهای گرافیکی مختلف و تلفیق روش‌های AMMI و BLUP، ژنوتیپ‌های با پایداری عملکرد شناسایی شدند.

از شاخص‌های مختلف AMMI، همچون ASV برای کمّی‌سازی و طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها، بر اساس پایداری عملکرد دانه آنها، استفاده شد. براساس شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸، ۱۴، ۱۹ و ۱۶ با نمره‌های پایین، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. شاخص انتخاب همزمان (ssiASV) بر اساس ASV، ژنوتیپ‌های ۸، ۱۱، ۴ و ۱۰ را ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه شناسایی کرد. بر اساس شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۷، ۴، ۱۹ و ۱۶ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. انتخاب همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های ۱۰، ۴، ۱۷، ۸ و ۱۸ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی کرد. ژنوتیپ‌های ۱۷، ۴، ۱۴، ۱۶ و ۱۰ از نظر شاخص EV و ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۱، ۱۹، ۸ و ۱۷ از نظر شاخص ZA پایدار بودند، حال آنکه انتخاب همزمان این شاخص‌ها و عملکرد دانه برای ssiEV، ژنوتیپ‌های ۱۰، ۴، ۱۲، ۱۷ و ۱۸ و برای ssiZA، ژنوتیپ‌های ۸، ۱۱، ۱۰، ۱۷ و ۱۸ را برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی کرد (جدول ۴). از ASV به عنوان یک شاخص مفید برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در گندم دوروم استفاده شده است (Karimizadeh *et al.*, 2011; Sabaghnia *et al.*, 2012b; Mohammadi *et al.*, 2015; Karimizadeh *et al.*, 2016; Karimizadeh *et al.*, 2017; Esmaeilzadeh Moghad *et al.*, 2018; Najafi Mirak *et al.*, 2018). آماره‌های ssi، که ترکیبی از دو معیار پایداری و عملکرد یک ژنوتیپ در یک شاخص واحد است، مشکلات و محدودیت‌های مربوط به انتخاب ژنوتیپ بر اساس تنها شاخص پایداری را کاهش می‌دهد و استفاده از این شاخص‌ها وابسته به این واقعیت است که پایدارترین ژنوتیپ‌ها، همواره بالاترین عملکرد را ندارند (Farshadfar, 2008).

با در نظر گرفتن این موضوع که اگر درصد دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۵۰ درصد از کل تغییرات ژنوتیپ در محیط را توجیه کند، بای‌پلات می‌تواند ابزار مناسبی برای ارزیابی GEI باشد (Crossa, 1990)، اما در این تحقیق با آنکه دو مؤلفه اصلی اول ۶۵/۷ درصد از GEI را توجیه کردند، اما دیده می‌شود که گزینش ژنوتیپ‌ها فقط بر پایه این دو مؤلفه و صرف‌نظر از سایر مؤلفه‌ها و همچنین عملکرد دانه می‌تواند به نتیجه‌گیری نادرستی منجر شود. برای نمونه ژنوتیپ ۱۴ که در هر چهار شاخص AMMI پایدار بود، زمانی‌که از ssi برای هر یک از شاخص‌ها استفاده شد، یکی از ژنوتیپ‌های منتخب شناخته نشد. در مقابل، ژنوتیپ ۱۰ که بر اساس پارامترهای AMMI پایدار نبود، به‌عنوان ژنوتیپ برتر با توجه به شاخص‌های ssi آنها شناخته شد. در این راستا اظهار شده است که زمانی‌که توجیه الگوی GEI با دو IPCA اول کم تا متوسط باشد (برای نمونه در محاسبه شاخص ASV)، لازم است در تفسیر نتایج احتیاط شود. با افزایش برهمکنش ژنوتیپ در محیط، الگوی GEI در تعداد بیشتری از محورها باقی می‌ماند، به‌طوری که حتی مؤلفه‌های اصلی آخر نیز سهمی در این برهمکنش‌ها دارند (Olivoto *et al.*, 2019a). بنابراین در ادامه برای تجزیه پایداری داده‌ها از مدل‌هایی استفاده شد که در آنها تمام مؤلفه‌ها در ارزیابی‌ها نقش داشتند.

در بای‌پلات نوع اول AMMI (عملکرد دانه در برابر مؤلفه‌اصلی اول) که تعدادی از پژوهشگران از آن برای تجزیه پایداری در گندم دوروم استفاده کرده‌اند (Esmaeilzadeh Moghad *et al.*, 2018; Najafi Mirak *et al.*, 2018)، در محور افقی، عملکرد دانه به‌عنوان نمود یا بیان فنوتیی یک ژنوتیپ و در محور عمودی،

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

جدول ۴- شاخص‌های پایداری، رتبه ژنوتیپ‌ها و شاخص انتخاب همزمان (SSI) برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 4. Stability indices, rank of genotypes and simultaneous selection index (SSI) for durum wheat genotypes

کد Code	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	ASV	SIPC	EV	ZA	WAASB	rGY	rASV	rSIPC	rEV	rZA	rWAASB	ssi ASV	ssi SIPC	ssi EV	ssi ZA
G1	3264	31.90	58.60	0.05	0.23	11.01	4	20	13	12	15	16	24	17	16	19
G2	3098	17.60	60.40	0.10	0.15	6.533	15	12	14	20	10	8	27	29	35	25
G3	3074	19.00	71.40	0.08	0.19	8.026	17	14	19	18	14	14	31	36	35	31
G4	3231	12.60	41.20	0.02	0.13	5.758	7	5	3	2	6	6	12	10	9	13
G5	3203	13.00	50.60	0.05	0.13	5.667	10	6	10	11	7	5	16	20	21	17
G6	3066	15.30	60.40	0.06	0.17	7.261	19	8	15	15	13	11	27	34	34	32
G7	3153	15.70	51.60	0.04	0.15	6.709	12	9	11	8	9	10	21	23	20	21
G8	3239	10.00	46.70	0.05	0.13	5.275	6	2	8	10	4	4	8	14	16	10
G9	3404	28.60	62.70	0.05	0.25	11.48	2	18	16	14	17	19	20	18	16	19
G10	3470	17.10	44.60	0.03	0.16	7.757	1	11	6	5	11	12	12	7	6	12
G11	3207	7.47	48.00	0.05	0.10	4.141	9	1	9	13	2	1	10	18	22	11
G12	3343	28.00	57.90	0.05	0.23	10.8	3	16	12	9	16	15	19	15	12	19
G13	2995	31.80	64.80	0.06	0.25	11.29	20	19	17	16	18	17	39	37	36	38
G14	3073	10.40	34.00	0.03	0.09	4.502	18	3	1	3	1	2	21	19	21	19
G15	3252	28.50	68.20	0.07	0.25	11.39	5	17	18	17	19	18	22	23	22	24
G16	3143	18.50	43.00	0.03	0.17	7.762	13	13	5	4	12	13	26	18	17	25
G17	3200	13.50	37.30	0.02	0.13	5.893	11	7	2	1	5	7	18	13	12	16
G18	3222	15.90	44.70	0.04	0.14	6.698	8	10	7	7	8	9	18	15	15	16
G19	3089	11.60	42.60	0.04	0.11	4.849	16	4	4	6	3	3	20	20	22	19
G20	3120	27.30	76.10	0.09	0.26	11.55	14	15	20	19	20	20	29	34	33	34

عنوان کامل شاخص‌ها در جدول ۲ ارائه شده است

The full title of the indics are presented in Table 2

اولین مؤلفه اصلی برای برهمکنش ژنوتپ در محیط قرار داده می‌شوند و بر پایه مقادیر بزرگی (مثبت یا منفی) و کوچکی (نزدیک به صفر و مبدأ مختصات) اولین مولفه اصلی، به‌ترتیب ژنوتیپ‌ها یا محیط‌ها دارای برهمکنش بالا و یا پایین در نظر گرفته می‌شوند، اما با توجه به نتایج نمودار موزاییکی (شکل ۱) که در نخستین محور مؤلفه اصلی آن، مجموع مربعات ژنوتیپ در محیط (SSGE) سهم بالایی از تنوع کل را داشت، به‌نظر می‌رسد که ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها با این محور مؤلفه اصلی می‌تواند همراه با چالش باشد و چندان نمی‌توان به نتایج آن اطمینان داشت. با این‌وجود، برای مقایسه نتایج نمودارهای بعدی با این نمودار، به چگونگی قرار گرفتن ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در این نمودار اشاره شده است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۷، ۸ و ۱۱ نزدیکترین ژنوتیپ‌ها به مبدأ بای‌پلات بودند. البته بیشتر ژنوتیپ‌ها در اطراف محور عمودی پراکنده بودند و کمترین فاصله را از این محور داشتند. اگر بنا بر تصمیم‌گیری درباره پایداری ژنوتیپ‌ها بر پایه نخسین محور مؤلفه اصلی می‌بود، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۶، ۴، ۹ و ۱۰ (با علامت منفی) و ژنوتیپ‌های ۱۳، ۲۰، ۳، ۱۶، ۱۹، ۱۴ و ۱۷ (با علامت مثبت) را باید ناپایدار و ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۷، ۸ و ۱۱ را پایدار در نظر گرفته می‌شدند (شکل ۳-الف) که البته در بخش‌های بعدی و با تجزیه‌های بیشتر، نادرستی بخش‌هایی از این نتایج نشان داده شده است.

به‌نظر می‌رسد که ارزیابی ژنوتیپ‌ها با بای‌پلات نوع دوم AMMI، که در آن پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها برپایه جایگاه آنها در محورهای مختصات برآمده از دو مؤلفه اصلی اول سنجیده می‌شود، با توجه به سهم بالای این دو مؤلفه در برهمکنش ژنوتیپ در محیط (۶۵/۷ درصد)، نسبت به بای‌پلات نوع اول به واقعیت نزدیک‌تر باشد. ژنوتیپ‌های ۱، ۱۲، ۲، ۱۳، ۲۰، ۹ و ۱۵ با بیشترین فاصله از مبدأ بای‌پلات، سهم بالایی در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند و از نظر عملکرد دانه ناپایدار بودند، اما این ژنوتیپ‌ها بهترین یا ضعیف‌ترین در برخی یا تمام محیط‌ها و دارای سازگاری به برخی از محیط‌ها بودند، به‌طوری‌که در هر بخش بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپ قرار گرفته

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

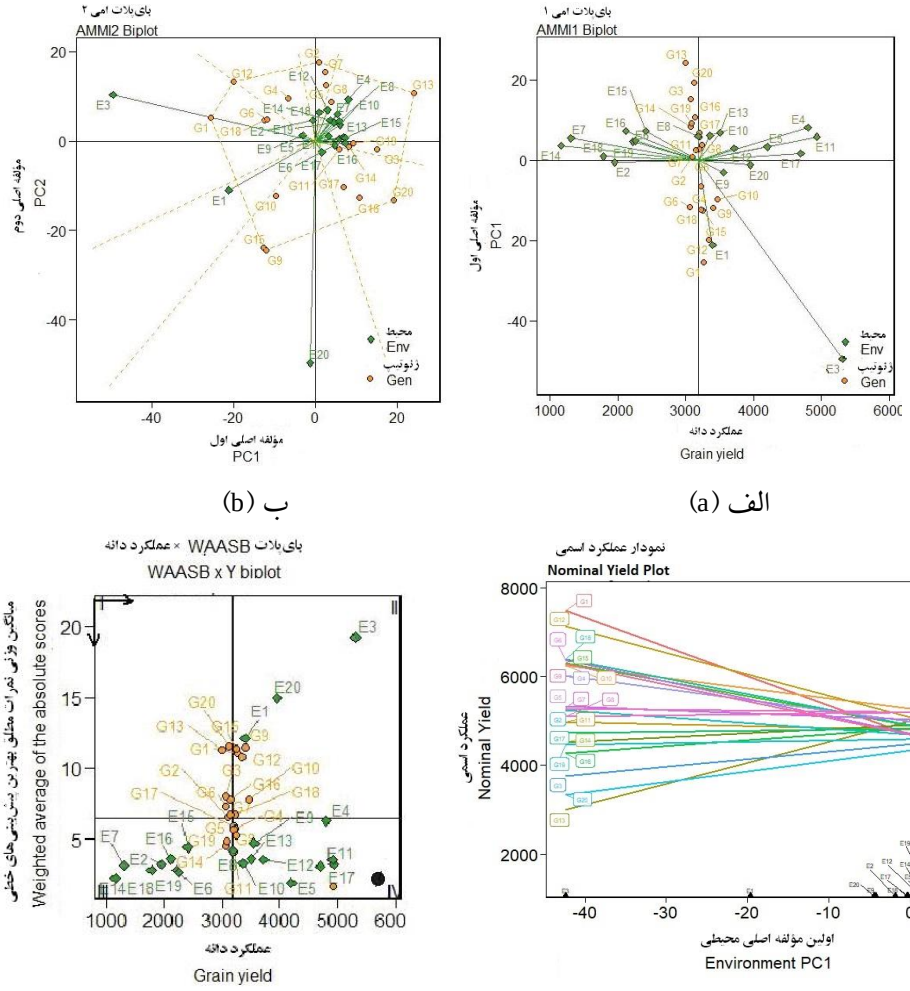
در رأس آن بخش برای محیط‌های واقع در آن است (Yan *et al.*, 2000). در هرکدام از بخش‌های این نمودار چندضلعی، ژنوتیپ‌های سازگار با برخی از محیط‌ها قابل شناسایی است، برای نمونه، ژنوتیپ‌های پرمحصول ۹ و ۱۰، برای محیط‌های ۶ و ۱۷ مناسب بودند، بنابراین ژنوتیپ‌های ۱۹، ۳، ۱۴ و ۱۱ علاوه بر عملکرد بالا (با بیشترین مقادیر در PC1) از پایداری بالایی (با کمترین مقادیر در PC2) نیز برخوردار بودند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های بهینه در نظر گرفته شوند. سایر ژنوتیپ‌ها شامل ژنوتیپ‌های ۴، ۶، ۱۸، ۵، ۸، ۱۰، ۱۷ و ۱۶ بودند (شکل ۳-ب). مشابه نتایج این تحقیق، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش بای‌پلات نوع دوم، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را شناسایی کرده‌اند (Mohammadi *et al.*, 2015; Mohammadi *et al.*, 2017; Letta *et al.*, 2008; Kaya and Turkoz, 2016; Heidari *et al.*, 2017; Kendal, 2019).

شکل دیگر بای‌پلات چندضلعی یا "کدام-برنده-کجا" (which-won-where)، نمودار عملکرد اسمی (Nominal yield) است (Olivoto *et al.*, 2019b) که محور X و Y آن به‌ترتیب، مربوط به امتیاز اولین مؤلفه اصلی محیط و عملکرد ژنوتیپ‌ها است (شکل ۳-ج). در این نمودار، برای هر کدام از ژنوتیپ‌ها یک خط با معادله y=a+bx نوشته می‌شود که در آن x، نمره محور مؤلفه اصلی اول (IPCA1) محیطی؛ a، میانگین کل هر ژنوتیپ و b، اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) هر ژنوتیپ است (Olivoto *et al.*, 2019b). ژنوتیپ‌های ۵، ۷، ۸، ۲، ۱۱، ۱۷، ۱۴، ۱۶ و ۹ با توجه به کمترین امتیاز مؤلفه اصلی اول (ضرایب b یا شیب خط)، سهم ناچیزی در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشته و از پایداری بیشتری برخوردار بودند، حال آنکه ژنوتیپ‌های دیگر در محیط‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشته و ناپایدار بودند. ژنوتیپ‌های ۱ و ۱۲ که در برخی از محیط‌ها و بر اساس پیش‌بینی با BLUP دارای عملکرد بالایی بودند (شکل ۲)، به‌دلیل شیب خط بالا، ژنوتیپ‌های ناپایداری بودند. بررسی همزمان این نمودار با شکل ۲ (پیش‌بینی عملکرد با BLUP) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۱ و ۸ با آنکه میانگین پیش‌بینی شده مشابهی داشتند (شکل ۲)، اما الگوی خط آنها (شکل ۳-ج) کاملاً متفاوت بود، دلیل این موضوع این است که قدرمطلق نمره IPCA1 ژنوتیپ ۱ نسبت به ژنوتیپ ۸ بسیار بیشتر بود (شکل ۳-الف) که نشان‌دهنده ناپایداری ژنوتیپ ۱ و پایداری ژنوتیپ ۸ است. در ادامه رتبه‌های کاملاً متفاوت این دو ژنوتیپ از نظر شاخص پایداری و عملکرد دانه دیده خواهد شد. از مقایسه این دو شکل ملاحظه شد که ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۰ با آنکه بیشترین میانگین پیش‌بینی شده را داشتند، (شکل ۲)، اما معادله خط آن‌ها دارای شیب نزولی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های پایدار بود. باید توجه شود که رسم این نمودار بر اساس اولین مؤلفه اصلی است که ۳۶/۳ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کند. از این‌رو، تجزیه‌های تکمیلی بر اساس سایر شاخص‌ها ارائه شده است که در برآورد آن از امتیازهای تمام مؤلفه‌ها بهره گرفته شده است.

بای‌پلات نوع سوم (عملکرد دانه در برابر میانگین وزنی نمرات مطلق یا WAASB)، به چهار بخش یا چارک تقسیم شد (شکل ۳-د) که در آن ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری با شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه به‌طور همزمان ارزیابی می‌شوند. در چارک اول (ربع I)، ژنوتیپ‌های ۶، ۳، ۱۶، ۲، ۷، ۲۰ و ۱۳ با توجه به سهم زیاد در برهمکنش ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ‌های ناپایدار و دارای عملکرد کمتر از متوسط کل بودند (Olivoto *et al.*, 2019b)، بنابراین این ژنوتیپ‌ها علاوه بر ناپایداری بالا، با توجه به اینکه در این چارک هیچ محیطی قرار نداشت، به محیط‌های ویژه‌ای نیز سازگار نیستند و ژنوتیپ‌های مطلوبی محسوب نمی‌شوند. در چارک دوم (ربع II)، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۲، ۹، ۱۰ و ۱۸، با وجود داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل، به‌دلیل مقدار بالای WAASB، ناپایدار هستند.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]



الف (a)　　ب (b)

ج (c)　　د (d)

شکل ۳- دیاگرام‌های ارزیابی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم در ۲۰ محیط (ترکیب چهار سال در پنج مکان). بای‌پلات AMMI1 (الف)، بای‌پلات AMMI2 (ب)، نمودار عملکرد دانه اسمی در برابر نمرات اولین محور مؤلفه اصلی محیطی برهمکنش (IPCA1) (ج) و بای‌پلات عملکرد دانه در مقابل میانگین وزنی نمرات مطلق برای بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی از برهمکنش ژنوتیپ‌ها با محیط (WAASB) (د). یک ژنوتیپ فرضی بسیار پرمحصول و کاملاً پایدار با یک دایره سیاه نشان داده شده است. پیکان‌های افقی و عمودی سیاه به ترتیب جهت افزایش عملکرد و پایداری را نشان می‌دهند

Fig. 3. Diagrams for analysis the grain yield of durum wheat genotypes evaluated in 20 environments (combinations of four years in five locations). AMMI1 biplot (a), AMMI2 biplot (b), Nominal grain yield *vs* the first environmental interaction principal component axis (IPCA1) plot (c) and Biplot of the grain yield *vs* weighted average of absolute scores for the best linear unbiased predictions of the genotypevs-environment interaction (WAASB) (d). A hypothetical highly productive and broadly adapted genotype is depicted by a black circle and horizontal and vertical black arrows indicate the direction of the increase in yielding and stability, respectively

محیط‌های واقع در این ناحیه (به‌ویژه E3)، به‌دلیل داشتن مقادیر بالای متغیر پاسخ و همچنین توانایی تشخیص خوب می‌توانند به‌صورت ویژه مورد توجه واقع شوند. ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۱۴ در چارک سوم (ربع III)، با آنکه عملکرد کمتر از میانگین کل داشتند، اما به‌دلیل پایین بودن مقادیر WAASB (هر قدر این شاخص پایین‌تر باشد، عملکرد ژنوتیپ پایدارتر خواهد بود)، دارای عملکرد پایدار شناخته شدند که در بای‌پلات‌نوع دوم نیز پایدار بودند. محیط‌های این ناحیه، محیط‌های با قابلیت تشخیص پایین و دارای عملکرد پایین بودند. ژنوتیپ‌های واقع در چارک چهارم (ربع IV) به‌دلیل بزرگی متغیر پاسخ (دارا بودن عملکرد بالا) و پایداری عملکرد بالا

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

(مقادیر پایین WAASB)، بسیار پرمحصول و دارای پایداری عملکرد بیشتری هستند که شامل ژنوتیپ‌های ۱۷، ۴، ۵، ۸ و ۱۱ بودند. در شکل ۳-ج، ژنوتیپ ۱۷ و ۴، در مقایسه با سه ژنوتیپ دیگر، به‌ترتیب دارای شیب خط رو به بالا و رو به پایین بودند و از پایداری عملکرد کمتری برخوردار بودند، حال آنکه برپایه شاخص WAASB پایدار بودند. با توجه به اینکه در محاسبه شاخص WAASB، کلیه مؤلفه‌های اصلی به‌کار گرفته شدند، پایداری عملکرد را به شکل بهتری نشان می‌دهند و ژنوتیپ‌های برگزیده با این شاخص از پایداری مطمئن‌تری برخوردار هستند. بای‌پلات WAASB×GY (شکل ۳-د) که تفسیر همزمان پایداری و عملکرد را انجام می‌دهد، می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار برای همه محیط‌ها به‌کار رود، حال آنکه نمودارهای بای‌پلات AMMI1 (شکل ۳-الف) و AMMI2 (شکل ۳-ب) برای شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار برای محیط‌های ویژه کاربرد بیشتری دارد. مهم‌ترین مزیت این بای‌پلات نسبت به دو بای‌پلات AMMI، بهره‌گیری از همه محورهای IPCA در محاسبه آن است که از آن بخشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط که در IPCA1 و IPCA2 بروز پیدا نکرده است را نیز در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها به‌کار می‌برد (Olivoto *et al.*, 2019a). بعلاوه در رسم این نمودار بای‌پلات، رویکرد مدل مختلط به‌کار برده می‌شود که امکان تخمین پارامترهای مهم در ژنتیک کمّی همچون واریانس‌های ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ در محیط، وراثت‌پذیری عمومی، وراثت‌پذیری بر اساس میانگین و همبستگی‌های ژنتیکی واریانس را هم فراهم می‌کند (Olivoto *et al.*, 2019b).

در شکل ۴ رتبه‌های ژنوتیپ‌ها بسته به وزن‌های داده شده به هرکدام از دو شاخص متغیر وابسته (GY) و پایداری (WAASB) نشان داده شده است. در مستطیل سیاه‌رنگ، شناسایی ژنوتیپ‌ها با معیار گزینش همزمان بر اساس میانگین عملکرد دانه (Y) و شاخص پایداری (WAASB)، یعنی مقادیر WAASBY انجام شده است که در آن وزن‌دهی ۵۰:۵۰ برای هر دو شاخص عملکرد دانه و WAASB استفاده شد که بیانگر اهمیت یکسان ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری و عملکرد دانه است، یعنی در گزینش یک ژنوتیپ این دو شاخص هر دو به یک اندازه اهمیت داده شده‌اند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۱، ۸، ۴، ۵، ۱۷ و ۱۸، ۱۴ و ۱۹ با داشتن بیشترین مقدار WAASBY بر اساس وزن‌دهی ۵۰:۵۰ (مستطیل سیاه‌رنگ شکل ۴)، ژنوتیپ‌های پایدار دارای عملکرد دانه بالا بودند. در شکل ۳-د، این ژنوتیپ‌ها در چارک‌های دوم (۱۰ و ۱۸، با عملکرد بالا، اما ناپایدار)، سوم (۱۴ و ۱۹، با عملکرد کمتر از میانگین کل، اما ناپایدار) و چهارم (۱۱، ۸، ۴، ۵ و ۱۷، پرمحصول و پایدار) قرار داشتند، بنابراین به‌نظر می‌رسد که بسته به وزن دو شاخص پایداری و میانگین عملکرد، می‌توان با مقایسه این دو نمودار به یک ارزیابی فراگیر از پایداری ژنوتیپ‌ها دست یافت. با توجه به اینکه امتیازهای برخی از ژنوتیپ‌ها (مانند ۱۰، ۱۱ و ۱۴) در دو IPCA اول، بسیار پایین بود، گزینش یا حذف این ژنوتیپ‌ها بر اساس آماره‌های مبتنی بر دو مؤلفه اصلی اول یا نمودارهای بای‌پلات مربوطه ممکن است به نتایج اشتباهی بینجامد، شاخص WAASB مبتنی بر ماتریس BLUP قابل توصیه است و نتایج بدست آمده از آن قابلیت اعتماد بیشتری دارد. در صورت سهم پایین دو مؤلفه اصلی اول در برهمکنش ژنوتیپ در محیط، باید تفسیر نتایج با شاخص ASV با احتیاط انجام شود، زیرا تنها بخش ساده GEI را می‌توان در اولین مؤلفه‌های اصلی نشان داد و ممکن است بخش پیچیده GEI در این شاخص و بای‌پلات‌های مربوطه حذف شده باشد (Olivoto *et al.*, 2019b). در این شرایط، برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار، بای‌پلات WAASB×GY (شکل ۳-د) یا نمودار WAASBY (شکل ۴) می‌تواند مناسب‌تر باشد.

در اولین ستون سمت چپ این نمودار (شکل ۴)، رتبه‌بندی فقط بر اساس شاخص پایداری WAASB انجام شد که در محور X آن، وزن شاخص پایداری (WAASB) و شاخص متغیر وابسته (GY) به‌ترتیب ۱۰۰ و صفر در نظر گرفته شده است و بر اساس آن پایدارترین

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

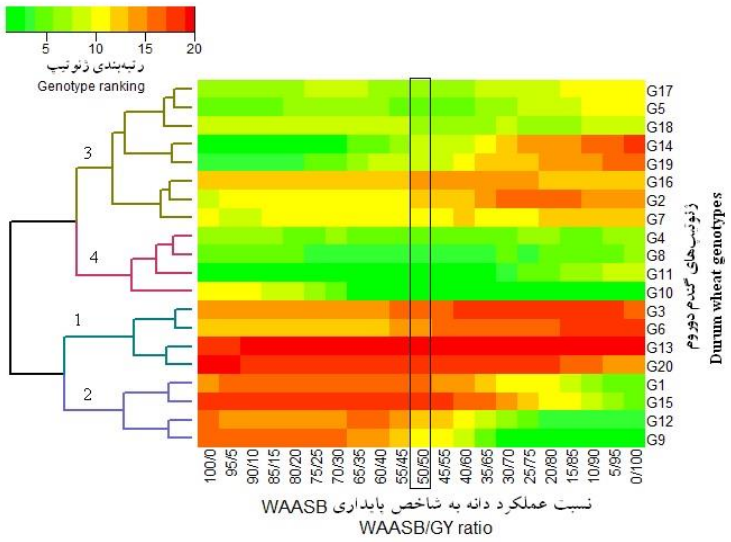
ژنوتیپ‌ها ۱۱، ۱۴، ۱۹، ۸، ۵ و ۴ بودند و ژنوتیپ‌های ۱، ۱۳، ۱۵، ۹ و ۲۰ کمترین پایداری را داشتند. روشن است که این رتبه‌بندی نمی‌تواند درست باشد، زیرا در آن هیچ‌گونه توجهی به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نشده است. در این نمودار از چپ به راست، در هر ستون به وزن متغیر پاسخ (عملکرد دانه) ۵ درصد افزوده و از وزن شاخص پایداری (WAASB)، ۵ درصد کاسته شد، به‌طوری‌که در آخرین ستون سمت راست، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها فقط بر اساس عملکرد دانه (با وزن ۱۰۰ درصد) انجام گرفت. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۱۰، ۹، ۱۲، ۱ بالاترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های ۱۳، ۶، ۱۴ و ۳ کمترین میزان عملکرد را داشتند. خوشه‌های سمت چپ این نمودار، برای شناسایی گروه‌های ژنوتیپی با نمود مشابه پایداری عملکرد و میانگین عملکرد دانه به‌کار برده می‌شود. ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۱۳ و ۲۰ در خوشه اول، ژنوتیپ‌هایی کم‌محصول و ناپایدار از نظر عملکرد دانه هستند. ژنوتیپ‌های ۱، ۱۵، ۱۲ و ۹ در خوشه دوم، ژنوتیپ‌های پرمحصول، اما ناپایدار از نظر عملکرد دانه هستند. در خوشه سوم، ژنوتیپ‌های با ۱۷، ۱۸،۵، ۱۴، ۱۹، ۱۶، ۲ و ۷ با عملکرد پایدار، اما کم‌محصول قرار دارند. در آخرین خوشه، ژنوتیپ‌های ۴، ۸، ۱۱ و ۱۰ قرار داشتند که پرمحصول و پایدار بودند که در مستطیل سیاه‌رنگ شکل ۴، بر اساس وزن ۵۰:۵۰ برای دو شاخص نیز در رتبه‌های اول تا چهارم گزینش همزمان با پایداری عملکرد و عملکرد دانه (WAASBY) قرار داشتند.

برای افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایداری عملکرد از شاخص انتخاب همزمان استفاده شد (جدول ۴) که حاصل جمع رتبه ژنوتیپ‌ها در هر کدام از شاخص‌های AMMI (در اینجا شامل ASV، SIPC، EV و ZA) و رتبه ژنوتیپ از نظر متغیر پاسخ (عملکرد دانه) است و مقادیر پایین‌تر مطلوب است (Bocianowski *et al.*, 2019). با وجود آسان بودن تفسیر پایداری و میانگین عملکرد دانه با این شاخص‌ها، وجود ابهام‌هایی در آن می‌تواند به درک نادرست در انتخاب یا توصیه یک ژنوتیپ بینجامد. برای مثال، مقدار شاخص ssiEV برای دو ژنوتیپ ۱۲ و ۱۷ برابر با ۱۲ بود، حال آنکه این عدد از جمع ۹+۳ برای ژنوتیپ ۱۲ و ۱+۱۱ برای ژنوتیپ ۱۷ حاصل شده است. با توجه به اینکه در ژنوتیپ ۱۲، رتبه عملکرد دانه (۳) بهتر است و در ژنوتیپ ۱۷، رتبه پایداری عملکرد دانه (۱) بهتر است، با استفاده از این شاخص انتخاب همزمان (ssiEV)، ژنوتیپ‌هایی با الگوهای متفاوت برای آزمایش‌های چندمحیطی، مشابه در نظر گرفته شده‌اند. باید در نظر داشت که توصیه یک ژنوتیپ با پایداری عملکرد دانه، اما با عملکرد پایین (مانند ژنوتیپ ۱۷) با توصیف ژنوتیپی که در یک محیط عملکرد خوبی دارد، اما در سایر موارد دارای عملکرد پایینی است (یعنی یک ژنوتیپ ناپایدار، مانند ژنوتیپ ۱۲) کاملاً متفاوت است و در حالت دوم، توصیه ژنوتیپ برای محیط‌های خاص باید بررسی شود (Olivoto *et al.*, 2019b)، حال آنکه شاخص SSI، هر دو ژنوتیپ را دارای ارزش یکسان فرض می‌کند. رتبه‌بندی چنین ژنوتیپ‌هایی با شاخص WAASBY با توجه به وزن‌دهی‌های متفاوت می‌تواند مشابه هم نباشد، چنانچه در شکل ۴ دیده می‌شود ژنوتیپ ۱۷ در خوشه سوم (ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار و کم‌محصول) و ژنوتیپ ۱۲ در خوشه دوم (ژنوتیپ‌های پرمحصول، اما دارای عملکرد ناپایدار) قرار گرفتند.

نکته دیگری که در هنگام استفاده از این شاخص‌ها باید به آن توجه کرد این است که استفاده از شاخص انتخاب همزمان غیرپارامتری (SSI) برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که میانگین و پایداری عملکرد دانه بالایی دارند، به شرطی قابل پذیرش است که رتبه برای پایداری با ASV یا هر کدام از شاخص‌های AMMI دیگر قابل اعتماد باشد. برای مثال دو مؤلفه اصلی که در محاسبه ASV استفاده شده‌اند، سهم بالایی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را داشته باشند. اگر توجیه الگوی GEI در دو IPCA پایین باشد، رتبه ASV ممکن است گمراه‌کننده باشد. بنابراین هنگام استفاده از این شاخص باید به این موضوع دقت شود.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]



شکل ۴- رتبه‌های ژنوتیپ‌های گندم دوروم با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای پایداری و عملکرد. اولین رتبه سمت چپ، صرفا بر اساس پایداری بدست آمده است. آخرین رتبه سمت راست نیز با در نظر گرفتن عملکرد دانه بدست آمده است. بین این دو انتها، رتبه‌ها از وزن‌های مختلف پایداری و عملکرد بدست آمده است. چهار خوشه، چهار گروه ژنوتیپی را نشان می‌دهد: (۱) ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر عملکرد و ناپایدار، (۲) ژنوتیپ‌های پرمحصول اما ناپایدار، (۳) ژنوتیپ‌های پایدار اما کم‌محصول و (۴) ژنوتیپ‌های بسیار پرمحصول و پایدار

Fig. 4. Ranks of durum wheat genotypes 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) Poorly productive and unstable genotypes; (2) productive but unstable genotypes; (3) stable but poorly productive genotypes; and (4), highly productive and stable genotypes

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از بدست آوردن اطمینان از اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ در محیط با روش‌های مختلف تجزیه پایداری عملکرد انجام شد و نتایج آنها با یکدیگر سنجیده شد. البته پیش از انجام این تجزیه‌ها با نمودار موزاییکی مشاهده شد که نخستین محور مؤلفه اصلی سهم بالایی از تنوع ژنوتیپی و محور مولفه اصلی دوم سهم بالایی از تنوع ژنوتیپ در محیط را داشتند. کارایی نمودار موزاییکی در این است که سهم هر یک از اجزای ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط را در هرکدام از مؤلفه‌ها به صورت چشمی نشان می‌دهد. بر پایه شاخص ASV، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸، ۱۴، ۱۹ و ۱۶؛ شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۷، ۴، ۱۹ و ۱۶؛ شاخص EV، ژنوتیپ‌های ۱۷، ۴، ۱۴، ۱۶ و ۱۰ و شاخص ZA، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۱، ۱۹، ۸ و ۱۷ پایدار بودند. هنگامی که از شاخص انتخاب همزمان (SSI) برای این شاخص‌ها استفاده شد، بر اساس معیار ssiASV، ژنوتیپ‌های ۸، ۱۱، ۴ و ۱۰؛ معیار ssiSIPC، ژنوتیپ‌های ۱۰، ۴، ۱۷، ۸ و ۱۸؛ معیار ssiEV، ژنوتیپ‌های ۱۰، ۴، ۱۲، ۱۷ و ۱۸ و معیار ssiZA، ژنوتیپ‌های ۸، ۱۱، ۱۰،، ۱۷ و ۱۸ برترین ژنوتیپ‌ها بودند. از بین شاخص‌های مختلف AMMI، روش‌های ssiEV، ssiZA وssiSIPC، که در محاسبه آن‌ها علاوه بر پایداری عملکرد دانه به میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نیز توجه شده است، بهتر از شاخص‌های دیگر، ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار را تشخیص دادند. با این وجود، با توجه به اینکه با استفاده از این شاخص‌های انتخاب همزمان، ژنوتیپ‌هایی با الگوهای متفاوت برای آزمایش‌های چندمحیطی، می‌توانند مشابه در نظر گرفته شوند، مانند مثال مربوط به یکسان

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

بودن رتبه ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۷ از نظر شاخص ssiEV، نتایج حاصل از این شاخص‌ها می‌تواند گمراه‌کننده باشد. نمودار بای‌پلات AMMI2 بر مبنای دو مؤلفه اصلی اول، ژنوتیپ‌های ۱۹، ۳، ۱۴ و ۱۱ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار شناسایی کردند. با توجه به اینکه در محاسبه بای‌پلات AMMI2، تمام مؤلفه‌های اصلی سهیم نیستند و فقط مؤلفه‌های اصلی اول و دوم با توجیه ۳۶/۳ و ۲۹/۳ درصد از برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌کار گرفته شده‌اند، از شاخص پایداری ژنوتیپی WAASBY استفاده شد که پتانسیل ارائه برآوردهای قابل اطمینان از پایداری عملکرد را دارد و امکان تفسیر همزمان بر پایه میانگین عملکرد و پایداری عملکرد را در یک نمودار دوبعدی فراهم می‌آورد. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۴، ۸، ۱۱ و ۱۰ و ۷ پرمحصول و پایدار بودند. در مجموع به نظر می‌رسد که برای یک نتیجه‌گیری با اطمینان بالا، استفاده از نمودار WAASBY با وزن‌دهی متغیر از صفر تا ۱۰۰ برای شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه می‌تواند به نتایج مطمئن‌تری از تجزیه پایداری با بهره‌گیری از تجزیه‌هایی مانند تجزیه عاملی، BLUP و AMMI در شناسایی ژنوتیپ‌های برگزیده بینجامد. با توجه به اینکه از مدل مختلط و همچنین تمام مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص WAASBY استفاده شد، به‌نظر می‌رسد که این شاخص برتر از سایر شاخص‌ها باشد.

منابع مورد استفاده

References

Ajay, B. C., J. Aravind, R. Abdul Fiyaz, S. K. Bera, K. Narendrakumar Gangadhar and P. Kona. 2018. Modified AMMI Stability Index (MASI) for stability analysis. Groundnut Newsl. 17: 1–8.

Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs. AMMI analysis of genotypes environment interactions for cereals in Italy. Euphytica, 94: 53-62.

Bocianowski, J., J. Niemann and K. Nowosad. 2019. Genotype-byenvironment interaction for seed quality traits in interspecific cross-derived *Brassica* lines using additive main effects and multiplicative interaction model. Euphytica, 215: 7. 1–13.

Crossa, J. 1990. Statistical analyses of multi-location trials. Adv. Agron. 44: 55–85.

Esmaeilzadeh Moghaddam, M., S. Tahmasebi, G. A. Lotf Ali Ayeneh, H. Akbari Moghadam, K. Mahmoudi, M. Sayyahfar, S. M. Tabib Ghaffari and H. Zali. 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. Cereal Res. 8(3): 333-344. (In Persian with English abstract).

Farshadfar, E. 2008. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. Pak. J. Biol. Sci. 11: 14. 1791–1796.

Gauch, H. G. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Sci. 37(1): 311–326.

Heidari, S., R. Azizinezhad and R. Haghparast. 2017. Determination of yield stability in durum wheat genotypes under rainfed and supplementary irrigation conditions. J. Agric. Sci. Technol. 19: 1355-1368.

Jambhulkar, N. N., L. K. Bose and O. N. Singh. 2014. AMMI stability index for stability analysis. *In:* Mohapatra, T. (Ed.) CRRI Newsletter, Jan–Mar 2014, 15. Central Rice Research Institute, Cuttack. http://www.crri.nic.in/CRRI_newsletter/crnl_jan_mar_14_web.pdf.

Karimizadeh, R, M. Mohammadi, N. Sabaghni, A. A. Mahmoodi, B. Roustami and F. Seyyedi. 2013. GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. Notulae Scientia Biologicae, 5(2): 256-262.

Karimizadeh, R., A. Asghari, R. Chinipardaz, O. Sofalian and A. Ghaffari. 2016. Determining yield stability and model selection by AMMI method in rain-fed durum wheat genotypes. Turk J. Field Crops. 21(2): 174-183.

Karimizadeh, R., H. Khanzadeh and M. Mohammadi. 2017. Graphic analysis of the genotype × environment interaction in durum wheat (*Tritium turgidum* L.) using AMMI model. Curr. Opinion Agric. 6(1): 7–13.

Karimizadeh, R., M. Mohammadi, M. M. Sheikh, V. Bavi, T. Hosseinpour, H. Khanzadeh, H. Ghojogh and M. Armioun. 2011. Application of multi-variate methods in determining grain yield stability of of durum wheat

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

genotypes in semi-warm dry land areas of Iran. Modern Genet. J. 6: 33-48. (In Persian with English abstract).

Kaya, Y. and M. Turkoz. 2016. Evaluation of genotype by environment interaction for grain yield in durum wheat using non-parametric stability statistics. Turk. J. Field Crop. 21(1): 51–59.

Kendal, E. 2019. Comparing durum wheat cultivars by genotype × yield × trait and genotype × trait biplot method. Chil. J. Agric. Res. 79(4): 512-522.

Laffont, J. L., M. Hanafi and K. Wright. 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. Crop Sci. 47:990–996.

Letta, T., M. G. D. Egidio and M. Abinasa. 2008. Analysis of multi-environment yield trials in durum wheat based on GGE-biplot electronic resource. J. Food Agric. Environ. 6(2): 217-221.

Mohammadi, M., P. Sharifi, R. Karimizadeh, J. Alt Jafarby, H. Khanzadeh, T. Hosseinpour, M. M. Pourslabidi, M. Roustaii, M. Hassanpour Hosni and P. Mohammadi . 2015. Stability of grain yield of durum wheat genotypes of durum wheat genotypes by AMMI model. Agric. Fores. 61(3): 181-193.

Mohammadi, M., R. Karimizadeh, T. Hosseinpour, H. Ghojogh, K. Shahbazi and P. Sharifi. 2017. Use of parametric and non-parametric methods for genotype × environment interaction analysis in bread wheat genotypes. Plant Genet. Res. 4(2): 75-88. (In Persian with English abstract).

Najafi Mirak, T., M. Dastfal, B. Andarzian, H. Farzadi, M. Bahari and H. Zali. 2018. Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). Iran. J. Crop Sci. 19(2): 126-138. (In Persian with English abstract).

Olivoto, T., A. D. C. Lúcio, J. A. G. da Silva, B. G. Sari and M. I. Diel. 2019a. Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. Agron. J. 111: 6. 2961–2969.

Olivoto, T., A. D. C. Lúcio, J. A. G. da Silva, V. S. Marchioro, V. Q. de Souza and E. Jost. 2019b. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. Agron. J. 111: 6. 2949–2960.

Purchase, J. L., H. Hatting and C. S. Van Deventer. 2000. Genotype× environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South Afric. J. Plant Soil 17(3): 101-107.

Rao, A. R. and V. T. Prabhakaran. 2005. Use of AMMI in simultaneous selection of genotypes for yield and stability. J. Indian Soc. Agric. Stat. 59: 76–82

Sabaghnia, N., M. Mohammadi and R. Karimizadeh. 2012b. The evaluation of genotype × environment interaction of durum wheat's yield using of the AMMI model. Agric. Forest. 55: 5-21.

Sabaghnia, N., R. Karimizadeh and M. Mohammadi. 2012a. Model selection in additive main effect and multiplicative interaction model in durum wheat. Genetika, 44(2): 325-339.

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

Smith, A. B., B. R. Cullis and R. Thompson. 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: An overview of current mixed model approaches. J. Agric. Sci. 143(1): 449–462.

Sneller, C. H., L. Kilgore-norquest and D. Dombek. 1997. Repeatability of yield stability statistics in soybean. Crop Sci. 7: 383–390.

Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnics, 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sci. 40(3): 597-605.

Zali, H., E. Farshadfar, S. H. Sabaghpour and R. Karimizadeh. 2012. Evaluation of genotype × environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. Ann. Biol. Res. 3: 3126–3136.

Zhang, Z., C. Lu and Z. H. Xiang. 1998. Analysis of variety stability based on AMMI model. Acta. Agron. Sin. 24: 304-309.

Zobel, R. W., A. J. Wright and H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agron. J. 80: 388-393.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]

Evaluating of the efficiency of AMMI and BLUP models and their integration for identifying high-yielding durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes adapted to warm rainfed regions of Iran

Karimizadeh, R.[1], H. Ghojogh[2], T. Hosseinpour[3], M. Armion[4], K. Shahbazi[5] and P. Sharifi[6]

ABSTRACT

Karimizadeh, R., H. Ghojogh, T. Hosseinpour, M. Armion, K. Shahbazi and P. Sharifi. Evaluating of the efficiency of AMMI and BLUP models and their integration for identifying high-yielding durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes adapted to warm rainfed regions of Iran**. Iranian Journal of Crop Sciences. 23(1): 30-48. (In Persian).**

The aim of this study was to evaluate the efficiency of yield stability analysis models and to assess genotype × environment interaction effect on grain yield of 20 durum wheat genotypes for identifying high yielding and adapted genotypes by BLU and AMMI models using experimental data of four cropping cycles (2009-2013) in five filed stations in warm rainfed regions of Iran. The results of Likelihood ratio test (LRT) showed that the effect of genotype and genotype × environment interaction on grain yield was significant. Therefore, the best linear unbiased predictors (BLUPs) analysis was considered appropriate for these data. According to AMMI stability value (ASV) index, genotypes 11, 8, 14, 19 and 16 had more yield stability. Simultaneous selection index (ssiASV) based on ASV identified genotypes 8, 11, 4 and 10 in terms of grain yield and yield stability as superior genotypes. Given that by using these simultaneous selection indices, genotypes with different patterns for multivariate trials can be considered similar, the results can be misleading. Based on the first two main components, AMMI2 biplot diagram identified genotypes 19, 3, 14 and 11 as genotypes with yield stability. The results of the mosaic diagram showed that the contribution of genotype and genotype × environment interaction were 14.94% and 85.06% of the total variation, respectively. Based on weighted average of absolute scores (WAASBY) index using BLUP analysis, genotypes 4, 8, 11, 10 and 7 were identified as high yielding with yield stability. In general, usin mixed model as well as all the components in calculating the WAASBY index, it can be concluded that this index is superior to other indices.

Key words: Biplot, Durum wheat, Singular value decomposition, Simultaneous selection index and Weighted average of absolute scores.

Received: July, 2020 Accepted: January, 2021

1. Assistant Prof., Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran (Corresponding author) (Email: r.karimizadeh@areeo.ac.ir and Karimizadeh_ra@yahoo.com)
2. Researcher, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran
3. Assistant Prof., Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran
4. Assistant Prof., Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran
5. Assistant Prof., Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
6. Associate Prof., Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7]