

بررسی پایداری عملکرد علوفه لاین‌های امیدبخش ارزن معمولی با استفاده از روش تجزیه گرافیکی

رضا عطایی^{۱*}، مجید غلامحسینی^۲، محمدرضا شیری^۳

۱ و ۲ - ۳ - استادیاران، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۱۳)

چکیده

به منظور بررسی پایداری عملکرد علوفه ارزن معمولی، پنج لاین ارزن معمولی به همراه شاهد (رقم پیشاهنگ)، در شش منطقه (کرج، بیرجند، گنبد، یزد، ایرانشهر و ساری) طی دو سال و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار کشت شدند. نتایج تجزیه مرکب صفات مورد بررسی (تعداد پنجه، تعداد برگ، تعداد روز تا گل‌دهی، ارتفاع، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه) نشان داد که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند و اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط از لحاظ آماری معنی‌دار بود. میانگین عملکرد کل آزمایش، ۲۹/۷۴ تن در هکتار بود و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها به جز سه ژنوتیپ KCM92/3، KCM92/4 و پیشاهنگ، کمتر از میانگین کل بود. بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از GGE بای‌پلات، کلیه محیط‌ها را به دو محیط بزرگ با برتری ژنوتیپ‌های KCM92/4 و پیشاهنگ تقسیم کرد. بررسی روابط بین محیط‌های آزمایش نشان داد که محیط‌های شماره ۵ و ۶ از قدرت تمایز بیشتری نسبت به دیگر محیط‌ها برخوردار بودند. همچنین نتایج نشان داد که این دو محیط، معرف خوبی برای کلیه محیط‌های مورد بررسی بودند. به‌طور کلی، نتایج این بررسی نشان داد که ژنوتیپ KCM92/4 علاوه بر عملکرد بالا، از سازگاری خوبی به کلیه محیط‌های آزمایش برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: ارزن معمولی، بای‌پلات، تجزیه پایداری، عملکرد علوفه.

Stability analysis of forage yield of common millet promising lines using graphical method

Reza Ataei^{1*}, Majid Gholamhosseini¹, Mohammad Reza Shiri¹

1. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received: July 3, 2018- Accepted: October 15, 2019)

ABSTRACT

To investigate the stability of common millet, five new common millet promising lines with a control (Pishahang) were cultivated in six locations (Karaj, Birjand, Gonbad, Yazd, Iranshahr and Sari) across two years in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The results of combined analysis for studied traits (number of tillers, number of leaves, days to flowering, height, fresh forage yield, dry forage yield and seed yield) showed that the cultivars and environments main effect and interaction between cultivars and environments were statistically significant. Total mean of fresh forage yield was 29.74 t/ha and the average yield of all the cultivars except KCM92/3 and KCM92/4 was lower than total mean. The results of the stability analysis by GGE biplot partitioned the testing environments into two mega-environments with KCM92/4 and Pishahang as superior genotypes. According to discriminate ability and representativeness, the E5 and E6 environments were perfect. Overall, the results of this study indicated that KCM92/4 is high-yielding genotyp and has good stability across the studied environments.

Keywords: Biplot, common millet, forage yield, stability analysis.

مقدمه

محیط‌های مختلف و بهبود ارزش غذایی و کیفیت محصولات کشاورزی، تا حد زیادی می‌تواند به تأمین غذا در این مناطق کمک کند (Wheeler & Von Braun, 2013). امروزه تولید علوفه، به دلیل ارتباط مستقیم با بخش دامپروری و تولید محصولات

تأمین امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل رشد سریع جمعیت و تغییرات شدید آب و هوایی، همواره یکی از چالش‌های بزرگ بخش کشاورزی است (Lobell *et al.*, 2008). افزایش عملکرد گیاهان زراعی، افزایش پایداری عملکرد در

* Corresponding author E-mail: reza_ataei@ut.ac.ir

پروتئینی، یکی از مهم‌ترین بخش‌های کشاورزی است. مصرف جهانی گوشت و شیر (به عنوان دو فرآورده پروتئینی اصلی) تا سال ۲۰۳۰ در کشورهای در حال توسعه بیش از دو برابر خواهد شد (Bosire et al., 2016) و به تبع آن، نیاز به تولید علوفه نیز افزایش خواهد داشت. هرچند امروزه ایران با تولید بیش از ۲۰ میلیون تن علوفه (یونجه، شبدر، ذرت علوفه‌ای و سایر نباتات علوفه‌ای) در وضعیت نسبتاً خوبی قرار دارد، با این حال و بر اساس گزارش فائو در سال ۱۳۹۵، واردات علوفه ۱۵۰۰۰ تن به ارزش بیش از ۳/۵ میلیون دلار بوده است و پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آینده، واردات علوفه افزایش چشمگیری داشته باشد. از طرفی، به دلیل خشکسالی و بحران آب در سال‌های اخیر، انتظار می‌رود که تولید علوفه از گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی (مانند ارزن و سورگوم)، بخش بزرگی از تأمین نیاز علوفه کشور را به خود اختصاص دهند.

ارزن معمولی با نام علمی *Panicum miliaceum* L. یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که در حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش در مناطق نیمه‌خشک چین اهلی شده است (Lu et al., 2009). این گیاه به دلیل مقاومت زیاد به تنش خشکی، تحمل مناسب به خاک‌های فقیر و ارزش غذایی خوب، امروزه به‌طور وسیعی در آسیا، استرالیا، آمریکای شمالی، آفریقا و مناطقی از اروپا تحت شرایط آب و هوایی متفاوت کشت و کار می‌شود (Zhang et al., 2016). دانه ارزن معمولی نیز مانند دیگر گونه‌های ارزن، حاوی ترکیباتی غنی از نشاسته، پروتئین، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی و فاقد گلوتن است و به دلیل ارزش غذایی بالا در برخی کشورهای در حال توسعه مانند هند و چین، به‌عنوان غذای انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bai et al., 2008; Taylor & Emmambux, 2008). علاوه بر این، به دلیل کیفیت بالای علوفه، این گیاه به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران مطرح می‌باشد. بر اساس گزارش فائو، تولید ارزن (شامل تمامی گونه‌های ارزن) در سال ۲۰۱۷، بیش از ۲۸ میلیون تن (با سطح زیر کشت

۳۱/۲۵ میلیون هکتار) بوده است و در مقایسه با ذرت با تولید بیش از هزار میلیون تن (با سطح زیر کشت بیش از ۱۹۷ میلیون هکتار)، سهم بسیار کمی در اقتصاد کشاورزی دنیا دارد (http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC). طبق آمار فائو، سطح زیرکشت ارزن در ایران در سال ۱۳۹۶ کمتر از نه هزار هکتار (با عملکرد دانه دو تن در هکتار) بود. در سال‌های اخیر، بخشی از سطح زیرکشت ارزن به تولید علوفه (با عملکرد علوفه ۳۵-۳۰ تن در هکتار) اختصاص داده شده است (http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC). مهم‌ترین مراکز تولید ارزن در کشور استان‌های اصفهان، خراسان جنوبی، یزد، سیستان و بلوچستان، مازندران و گلستان است.

افزایش عملکرد به‌ویژه در گیاهان فراموش‌شده^۱ مانند ارزن، همواره یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های اصلاحی است. با وجود تلاش اصلاحگران برای معرفی ارقام پر عملکرد، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، باعث تغییر عملکرد در محیط‌های مختلف می‌شود (Mohammadi & Nader Mahmoodi, 2008). اگرچه اثر متقابل ژنوتیپ-محیط، از دیدگاه تکاملی برای سازگاری به محیط‌های مختلف، مفید و ضروری است، اما از دیدگاه به‌نژادگران گیاهی، وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، به عنوان یک عنصر مداخله‌گر در روند اصلاح و معرفی ارقام مطرح است. در اصلاح نباتات، اثر متقابل متقاطع^۲ به دلیل ایجاد پیچیدگی و دشواری‌های زیاد در فرآیند گزینش و اصلاح رقم سازگار به محیط‌های مختلف، مهم‌تر از اثر متقابل غیر متقاطع^۳ است (Baker, 1990). وجود اثر متقابل متقاطع، باعث تغییر در رتبه‌بندی ارقام شده است و به‌طور غیرمستقیم، تمامی جنبه‌های تصمیم‌گیری در اصلاح نباتات شامل اختصاص منابع و بودجه به برنامه‌های اصلاحی، انتخاب ژرمپلاس، نحوه ارزیابی ارقام و ژرمپلاسم و استراتژی اصلاحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (de Leon et al., 2016).

^۱ -Orphan crops

^۲ - Crossover interaction

^۳ - Non-crossover interaction

آزمایش‌های سال‌های قبل به همراه رقم شاهد (رقم پیشاهنگ)، در شش منطقه (کرج، بیرجند، گنبد، یزد، ایرانشهر و ساری) به مدت دو سال (۹۵-۱۳۹۴) مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱ و ۲). آزمایش در تمامی محیط‌ها به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد و بر اساس شرایط هر محیط (آزمون خاک انجام شده در هر محیط)، میزان مصرف کود تعیین شد (جدول ۳).

هر واحد آزمایشی شامل شش ردیف شش متری با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. بذر لاین‌ها با توجه به دمای مطلوب رشد ارزن (۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد دمای خاک) و شرایط آب و هوایی مناطق تحت آزمایش، کشت شد (Hills & Penny, 2005).

در طی دوره رشد، تمام عملیات زراعی بر اساس عرف منطقه انجام گرفت و صفات تعداد پنجه، تعداد برگ، تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع گیاه، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه با در نظر گرفتن دو ردیف انتهایی به‌عنوان حاشیه اندازه‌گیری شد. نرمال بودن داده‌های جمع‌آوری شده، با استفاده از دو آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک و با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و به دلیل این‌که تعداد ژنوتیپ‌ها کمتر از ۵۰ بود، آزمون شاپیرو-ویلک (برای نمونه‌های کوچک) به عنوان آزمون اصلی در نظر گرفته شد. تمامی تجزیه‌های بعدی با داده‌های نرمال انجام شد.

تجزیه مرکب داده‌های آزمایش بر اساس اطلاعات حاصل از ۱۲ محیط (شش منطقه و دو سال) و مقایسات میانگین ارقام با استفاده از روش دانکن و نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام شد. به دلیل این‌که ارقام مورد مطالعه با هدف تولید علوفه بیشتر در برنامه‌های اصلاحی گزینش شده‌اند و اغلب، ارزن تولید شده در ایران به عنوان علوفه مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین صفت عملکرد علوفه تر، به عنوان محصول نهایی در نظر گرفته شد و به روش GGE بای پلات از لحاظ پایداری عملکرد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

به‌منظور برآورد اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط در برنامه‌های اصلاحی و تفکیک عملکرد بالا از پایداری عملکرد، روش‌های آماری مختلفی پیشنهاد شده است که برخی از پرکاربردترین آن‌ها برای بررسی کمی اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط شامل اکووالانس ریک (Wricke, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، ضریب رگرسیون ابره‌ارت و راسل (Eberhart & Russell, 1966)، واریانس درون مکانی (Lin & Binns, 1991)، روش امی^۱ (Gauch & Zobel, 1988) و GGE بای پلات (Yan & Kang, 2002) است.

روش GGE بای پلات، با ادغام اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط (GE) و در نظر گرفتن هم‌زمان این دو اثر، از کارایی بالایی در تشخیص ژنوتیپ‌های پایدار در محیط‌های چندگانه برخوردار است. علاوه بر این، روش GGE بای پلات بر خلاف روش‌های دیگر، به تعداد ژنوتیپ‌ها حساس نیست و از قابلیت اعتماد بالایی در تجزیه پایداری تعداد معدود ژنوتیپ برخوردار است (Rose et al., 2008). این روش، به دلیل خروجی گرافیکی و سادگی تجزیه و تحلیل، یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای تجزیه پایداری در دهه اخیر بوده است و در گیاهان مختلفی مانند ذرت (Fan et al., 2007)، گندم (Roozeboom et al., 2008)، پنبه (Xu, N. et al., 2014)، برنج (Samonte et al., 2005)، سویا (Yan & Rajcan, 2002)، یولاف (Yan et al., 2010)، سورگوم (Rao et al., 2011) و ارزن معمولی (Zhang et al., 2016) و ارزن مرواریدی (Lubadde et al., 2017) به کار گرفته شده است.

این بررسی با هدف شناسایی لاین‌های برتر ارزن معمولی، با تأکید بر عملکرد بالای علوفه و پایداری عملکرد در مناطق مختلف کشور اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش ارزن معمولی، پنج لاین برتر گزینش شده از

¹ - Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI)

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1. Genotypes used in this study.

No.	Name	Pedigree	Origin	Code
1	KCM92/1	P53/6/2/11	Iran	G1
2	KCM92/2	P53/6/7/14	Iran	G2
3	KCM92/3	P32/79/7/128	Iran	G3
4	KCM92/4	TN/15/135/89/6/134	Iran	G4
5	KCM92/5	TN/15/149/97/6/139	Iran	G5
6	Pishahang (Control)	-----	Iran	G6

جدول ۲- مشخصات اقلیمی محیط‌های مورد استفاده در این پژوهش.

Table 2. Climatic characteristics of experimental sites in this study.

Locations	Years	Environment Code	Latitude	Longitude	Altitude	Average Temperature (°C)	Average Rainfall (mm)
Karaj	1394	E1	35° 48' N	51° 00' E	1312.5	14.2	256
	1395	E2					
Birjand	1394	E3	32° 53' N	59° 13' E	1462	17	129
	1395	E4					
Gonbad-e-kavous	1394	E5	37° 20' N	55° 25' E	38	17.8	363
	1395	E6					
Yazd	1394	E7	32° 00' N	55° 00' E	1216	18.9	55
	1395	E8					
Iranshahr	1394	E9	60° 42' N	27° 12' E	591	26.8	111.9
	1395	E10					
Sari	1394	E11	36° 00' N	53° 40'	43	16.7	690

جدول ۳- نتایج آزمون خاک مناطق مورد استفاده در این پژوهش.

Table 3. Soil analysis results of experimental locations in this study.

	Depth (cm)					
	0-30					
	Karaj	Sari	Gonbad	Birjand	Iranshahr	Yazd
Organic Matter (%)	0.4	0.6	0.8	0.4	0.2	0.3
pH	6.7	7.2	6.6	6.8	7.8	7.3
N (%)	0.04	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06
P (mg.kg ⁻¹)	11.5	15	14.8	12.3	11.5	15.5
K (mg.kg ⁻¹)	280	305	148	201	133	220
Fe (mg.kg ⁻¹)	6.2	7	n.d	n.d	n.d	n.d
Zn (mg.kg ⁻¹)	1.2	0.7	n.d	n.d	n.d	n.d

n.d: Not defined

n.d: تعیین نشده

نتایج و بحث

ژنوتیپ‌ها از واریانس اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط به عنوان واریانس خطا استفاده شد. همچنین نتایج نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ برای تمامی صفات به جز صفات ارتفاع، عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک معنی‌دار نبود. درصد تنوع ایجاد شده توسط محیط، از ۹۶/۵۴ تا ۵۶/۶۴ درصد برای صفت عملکرد علوفه تر تا ۹۶/۵۴ درصد برای صفت تعداد روز تا گلدهی متغیر بود و واریانس ایجاد شده توسط محیط، بخش بزرگی از تنوع موجود را توجیه کرد (جدول ۴). این نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ عملکرد علوفه (علوفه تر و خشک)، از تنوع خوبی برخوردار بودند و پاسخ ژنوتیپ‌ها در محیط‌های

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در ۱۲ محیط مختلف نشان داد اثر اصلی محیط برای تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بررسی واریانس اثرات متقابل نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای صفات تعداد پنجه، تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و برای صفت تعداد برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار بودن واریانس اثر متقابل، برای آزمون اثر اصلی ژنوتیپ در جدول تجزیه واریانس و مقایسات میانگین

حرارت) بود (Kang, 1997). نتایج مطالعات قبلی نشان داد که بخش بزرگی از واریانس ایجاد شده، توسط محیط توجیه می‌شود. در مطالعات انجام شده بر روی ژنوتیپ‌های ارزن معمولی و لوبیا نشان داد که به ترتیب بیش از ۸۶ و ۸۹ درصد از واریانس کل، توسط محیط ایجاد می‌شود (Temesgen *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016).

مختلف، به‌طور یکسانی تغییر نمی‌کند و تحت تأثیر شرایط خاص آن محیط قرار دارد (Bavandpori *et al.*, 2015). معنی‌داری اثر اصلی محیط و بزرگی واریانس ایجاد شده توسط محیط‌های آزمایش، نشان‌دهنده تفاوت بین محیط‌ها از لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی (مانند ارتفاع از سطح دریا) و شرایط آب و هوایی (مانند میزان بارندگی، پراکنش بارندگی و درجه

جدول ۴- تجزیه مرکب صفات مورد بررسی بر اساس شش منطقه در دو سال آزمایش (۹۵-۱۳۹۴).

Table 4. Combined analysis of evaluated traits based on six locations in two years (2015-2016).

S.O.V	d.f	MS						
		Tiller No.	Leaves No.	Days to flowering	Height (cm)	Fresh forage yield (t/ha)	Dry forage yield (t/ha)	Seed yield (t/ha)
Environments	11	79.57**	8.50**	2348.56**	9718.43**	1014.59**	93.27**	15.05**
Replications	24	0.59	1.50	3.86	74.42	42.55	1.37	0.13
within environment								
Genotypes	5	3.22 ^{ns}	0.974 ^{ns}	40.78 ^{ns}	233.60*	701.37**	12.08**	0.22 ^{ns}
Genotypes × Environment	55	1.91**	1.12*	37.41**	87.61**	24.71**	2.81**	0.19**
Error	120	0.38	0.71	2.01	21.34	8.54	1.49	0.72
Variance component by environment (%)		92.87	66.40	96.54	95.88	56.64	84.01	92.27
Variance component by genotypes (%)		3.75	7.57	1.67	2.29	39.18	11.52	1.34
Variance component by interaction (%)		2.22	8.75	1.53	0.01	1.38	2.53	1.16

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

شماره یک، دو و پنج، بیشتر از میانگین کل آزمایش بود.

از نظر تولید علوفه، ژنوتیپ شماره چهار، پرتولیدترین ژنوتیپ بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش بود. میانگین عملکرد علوفه رقم شاهد در کلیه محیط‌های مورد آزمایش، ۳۱/۰۶ تن در هکتار بود و ژنوتیپ‌های شماره سه و چهار، به ترتیب با عملکرد ۳۳/۹۸ و ۳۵/۵۱ تن در هکتار، بالاتر از رقم شاهد قرار داشتند. مقایسه میانگین به روش دانکن نشان داد که ژنوتیپ شماره چهار با ۳۵/۵۱ تن تولید علوفه سبز در هکتار، تفاوت فراوانی با دیگر ژنوتیپ‌ها داشت و بعد از آن، ژنوتیپ شماره سه قرار داشت. در ۱۲ محیط مورد آزمایش، عملکرد علوفه از ۱۸/۲۶ تن در هکتار در محیط شماره نه تا ۳۷/۵۷ تن در هکتار در محیط شماره ۱۲ متغیر بود. ژنوتیپ شماره سه در محیط شماره پنج، ژنوتیپ شماره شش در محیط‌های شماره یک و سه و ژنوتیپ

معنی‌داری اثرات متقابل ژنوتیپ‌های ارزن معمولی با محیط‌های چندگانه، منجر به ایجاد تفاوت پاسخ‌های ژنوتیپی در محیط‌های مختلف می‌شود و نشان‌دهنده تفاوت عملکرد و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است (Fikere *et al.*, 2008). نوسان عملکرد در محیط‌های مختلف و وجود اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط، بر روی انتخاب و توصیه ارقام برای مجموعه محیط‌ها تأثیرگذار است (Dawson *et al.*, 2011; Mikó *et al.*, 2014) بنابراین تعیین سازگاری و پایداری ارقام، به‌منظور افزایش کارایی تولید و تعیین ارزش زراعی ارقام، از اهمیت خاصی برخوردار است.

مقایسه میانگین (به روش دانکن) و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای عملکرد علوفه (به عنوان محصول نهایی) در جدول ۵ نمایش داده شده است. میانگین کل آزمایش، ۲۹/۷۴ تن در هکتار بود و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها به‌جز سه ژنوتیپ

شماره چهار در بقیه محیط‌ها (نه محیط از ۱۲ محیط) اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط وجود دارد و تأثیر آن بر عملکرد بالاتری از بقیه ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۵). روی ژنوتیپ‌ها از نوع اثرات متقابل متقاطع است تغییر رتبه ارقام در محیط‌های مختلف نشان داد که (Yan & Hunt, 2001).

جدول ۵- مقایسه میانگین و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در محیط‌های مختلف*.

Table 5. Means comparison and ranking of studied genotypes in different environments.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Means	Rank
E1	32.64	30.10	36.80	39.36	30.85	41.70	35.24	5
E2	33.69	32.56	39.46	41.86	33.21	41.10	36.97	3
E3	26.43	24.14	30.39	33.12	24.68	35.96	29.12	8
E4	28.91	38.63	41.63	45.06	36.35	32.01	37.10	2
E5	31.47	20.40	39.71	37.54	27.30	29.16	30.92	7
E6	34.23	31.31	41.93	42.90	33.68	37.60	36.93	4
E7	19.79	20.46	26.50	29.16	20.54	26.82	23.87	9
E8	17.91	16.76	25.55	27.18	18.18	22.41	21.32	10
E9	14.89	13.27	24.15	24.94	15.59	16.61	18.26	12
E10	15.26	12.99	24.74	25.21	15.74	16.27	18.38	11
E11	27.54	27.17	35.01	36.99	28.10	32.76	31.26	6
E12	35.76	30.90	41.91	42.82	33.68	40.36	37.57	1
Means	26.54 ^c	24.89 ^c	33.98 ^a	35.51 ^a	26.49 ^c	31.06 ^b	29.74	
Rank	4	6	2	1	5	3		

*ژنوتیپ‌های دارای حرف یا حروف مشترک، از لحاظ آماری تفاوتی با یکدیگر ندارند.

*Genotypes with similar letter(s) are not significantly different.

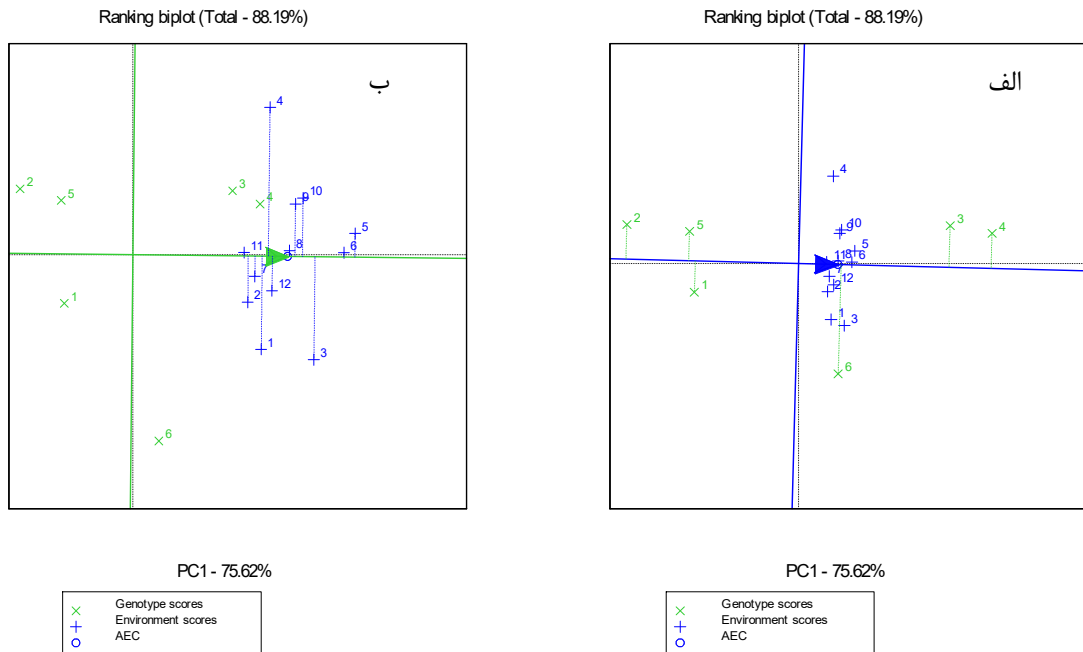
تجزیه گرافیکی و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس عملکرد علوفه و پایداری نشان داد که مؤلفه اول، ۷۷/۶۲ درصد و مؤلفه دوم، ۱۲/۵۸ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه کردند (شکل ۱- الف و ب). مؤلفه اول، نشان‌دهنده اثر اصلی ژنوتیپ و مؤلفه دوم، نشان‌دهنده اثرات متقابل است (Yan, 2002). در تجزیه پایداری به روش گرافیکی، در صورتی که دو مؤلفه اول بیشتر از ۶۰ درصد واریانس کل داده‌ها و سهم اثر اصلی ژنوتیپ و اثرات متقابل بیشتر از ۱۰ درصد باشد، مدل برازش داده شده برای تجزیه اثرات متقابل کفایت می‌کند (Yan *et al.*, 2010). در این مطالعه، مجموع دو مؤلفه بیش از ۸۸ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه کرد و واریانس مجموع اثر اصلی ژنوتیپ و اثرات متقابل، ۴۰/۵۶ درصد (جدول ۴) بود. بنابراین می‌توان با اطمینان بالا، از این روش برای تعیین تنوع موجود در داده‌های این آزمایش و تعیین ژنوتیپ(های) پایدار استفاده کرد. در روش GGE بای‌پلات، ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که در سمت راست AEC^۱ (به صورت دایره توخالی بر روی محور X نشان داده شده است) قرار دارند، از اثرات اصلی

ژنوتیپ بیشتری برخوردارند (Yan, 2002). بنابراین بای‌پلات ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ شماره چهار، از بیشترین اثر اصلی ژنوتیپ و ژنوتیپ دو، دارای کمترین اثر اصلی است. این نتایج با نتایج جدول ۵ که در آن، ژنوتیپ شماره چهار دارای بیشترین و ژنوتیپ دو دارای کمترین عملکرد بود، مطابقت داشت. علاوه بر این، به دلیل این که مؤلفه دوم، برآوردی از اثرات متقابل است، طول خطوط عمود شده از ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر محور Xها، نشان‌دهنده اثرات متقابل است (Yan, 2002). بنابراین و بر اساس شکل ۱- الف، ژنوتیپ پنج با وجود عملکرد پایین نسبت به ژنوتیپ چهار، از بیشترین پایداری (کمترین مقدار اثرات متقابل) و ژنوتیپ شش کمترین پایداری برخوردار بودند. عملکرد بالا و پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف، دو شاخصه مهم ارقام موفق در گیاهان زراعی است. با وجود این واقعیت که عملکرد بالا و پایداری خوب به کلیه محیط‌ها در یک ژنوتیپ خاص، از شناس کمی برخوردار است، اما در این مطالعه و بر اساس شکل ۱- الف، ژنوتیپ شماره چهار، تلفیق خوبی از عملکرد بالا و پایداری خوب بود (با وجود پایداری کمتر نسبت به ژنوتیپ شماره پنج). چنین نتایجی قبلاً در گیاهان زراعی دیگر مانند جو (Dehghani *et al.*

¹ - Average environment coordinate

بسیاری داشت. در جدول ۵، محیط شماره ۱۲، پرمعملکردترین و محیط شماره نه، کم‌عملکردترین محیطها بود، درحالی‌که در شکل ۱-ب، محیط شماره پنج، پرمعملکردترین و محیط شماره ۱۱، کم‌عملکردترین بودند. عدم توافق بین دو روش به این دلیل است که در روش میانگین حسابی (جدول ۵)، ارزش فنوتیپی ژنوتیپها (ارزش ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط) در محاسبات وارد شده است، درحالی‌که در روش GGE بای‌پلات، اثر محیط حذف شده است و این روش تنها نشان‌دهنده اثر اصلی ژنوتیپ و اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط است (Zhang *et al.*, 2010).

(*al.*, 2006)، گندم (Kaya *et al.*, 2006)، عدس (Dehghani *et al.*, 2008) و کلزا (Sabaghnia *et al.*, 2008) نیز گزارش شده است. همچنین شکل ۱-ب، رتبه‌بندی محیطها را بر اساس مقیاس بندی محیط نشان می‌دهد. محیطهای شماره پنج و شش، دارای بیشترین عملکرد بودند و بالاتر از AEC قرار گرفتند. همچنین محیطهای شش، هشت و ۱۱، دارای کمترین اثر متقابل (بیشترین پایداری) و دو محیط سه و چهار، از کمترین پایداری برخوردار بودند. توافق خوبی بین رتبه‌بندی ژنوتیپها به روش GGE بای-پلات (شکل ۱-الف) و روش میانگین حسابی (جدول ۵) مشاهده شد؛ با این حال رتبه‌بندی محیطها در جدول ۵ با رتبه‌بندی محیطها در شکل ۱-ب تفاوت



شکل ۱- رتبه‌بندی ژنوتیپها (الف) و محیطهای مورد بررسی (ب).
Figure 1. Ranking of studied genotypes biplot (a) and environments (b).

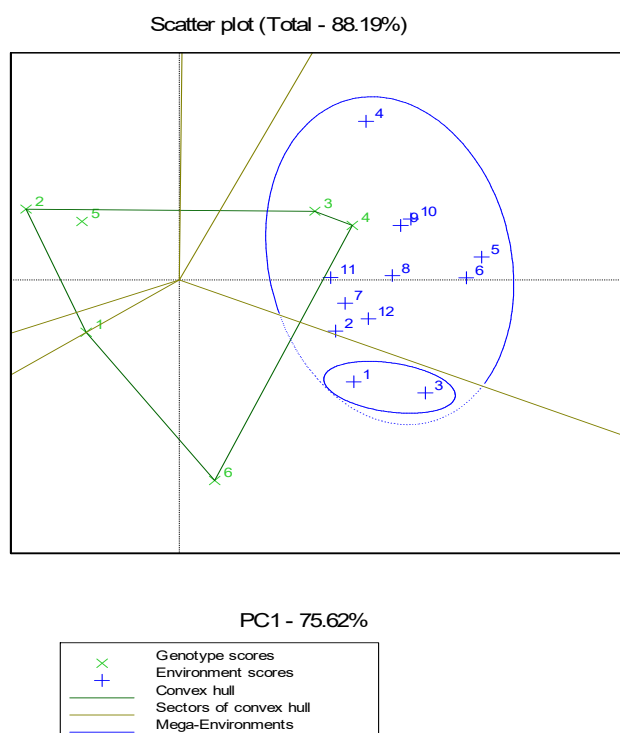
بزرگ^۱ تقسیم شدند. محیط بزرگ اول شامل محیطهای شماره دو، چهار، پنج، شش، هفت، هشت، نه، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ و محیط بزرگ دوم شامل محیطهای شماره یک و سه بود (شکل ۲). وجود محیطهای بزرگ در این آزمایش نشان داد که الگوی

به‌منظور شناسایی الگوی اثرات متقابل و نحوه تقسیم‌بندی ژنوتیپها در محیطها، چندضلعی بای-پلات به داده‌ها برآزش داده شد (شکل ۲). چندضلعی ژنوتیپهای ارزن معمولی، پنج بخش مجزا و فرضی شناسایی کرد. همچنین کلیه محیطها به دو محیط

¹ - Mega-Environment

قرار داشت، حساسیت قابل‌ملاحظه‌ای به تغییرات محیطی نداشت. این نتایج همسو با نتایج نشان داده در شکل ۱- الف بود که در آن، ژنوتیپ پنج از کمترین اثرات متقابل برخوردار بود. با وجود این که ژنوتیپ‌های شماره دو و یک، در رأس چندضلعی قرار گرفتند، در هیچ یک از محیط‌ها به عنوان ژنوتیپ برتر معرفی نشدند. این نتایج با نتایج توصیفی جدول ۵ مطابقت کامل داشت.

اثرات متقابل از نوع متقاطع است؛ هرچند به دلیل این که رتبه ژنوتیپ‌ها در برخی محیط‌ها بدون تغییر باقی مانده است (جدول ۵)، الگوی اثرات متقابل، ترکیبی از اثرات متقابل متقاطع و غیر متقاطع است (Tariku, 2017). برازش چندضلعی نشان داد که ژنوتیپ شماره چهار در محیط بزرگ اول و ژنوتیپ شماره شش در محیط بزرگ دوم، ژنوتیپ برتر بودند. علاوه بر این، ژنوتیپ شماره پنج که در نزدیکی مرکز چندضلعی



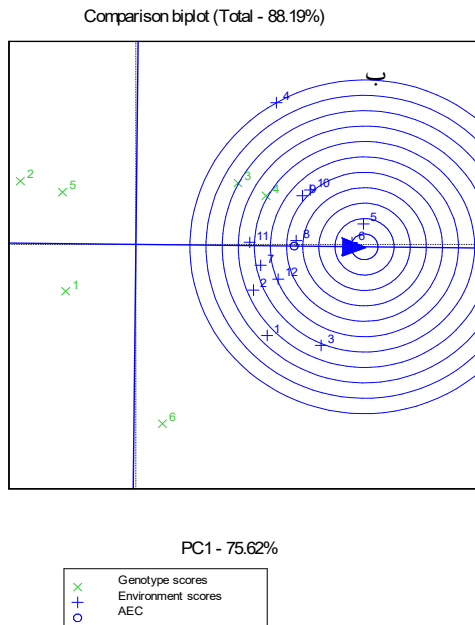
شکل ۲- الگوی اثرات متقابل و تقسیم‌بندی محیط‌ها به محیط‌های بزرگ.

Figure 2. Genotype-environment interaction (GEI) pattern and mega-environment segmentations.

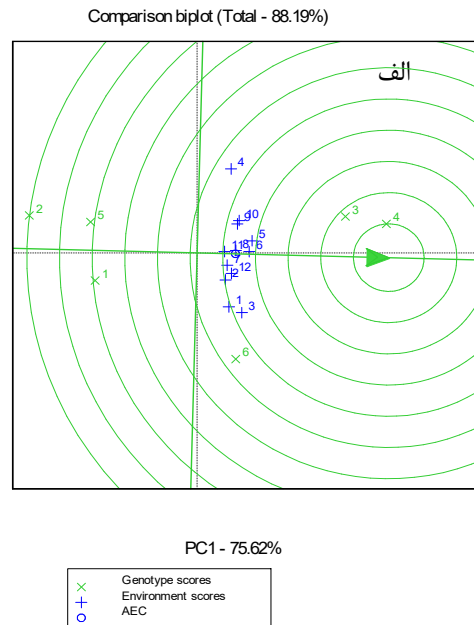
اعتبار سنجی شود. علاوه بر این، تکرارپذیری، شرط لازم و کافی برای تعریف و کاربرد چنین محیط‌های بزرگی است (Yan *et al.*, 2007; Putto *et al.*, 2008). یکی از مزیت‌های تجزیه گرافیکی، پایداری شناسایی ژنوتیپ‌ها و محیط‌های ایده‌آل است. در برنامه‌های اصلاحی، گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایداری زیاد طی سال‌ها و مناطق مختلف، از اهمیت زیادی برخوردار است. با این که یک ژنوتیپ ایده‌آل ممکن است هیچ‌گاه در واقعیت وجود نداشته باشد، اما در

برای ایجاد ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خاص برای مدیریت بهتر مناطقی با تنوع اقلیمی گسترده و همچنین برای کاهش هزینه‌های برنامه‌های اصلاحی، تلاش‌های زیادی برای تعیین محیط‌های بزرگ و تعیین ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی به این محیط‌ها صورت گرفته است (Blanche & Myers, 2006; Luo *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2015; Krishnamurthy *et al.*, 2017). با این حال، الگوی محیط‌های بزرگ باید در مناطق و سال‌های مختلف،

صورت یک دایره در مرکز نشان داده می‌شود و فاصله ژنوتیپ‌های دیگر با آن سنجیده می‌شود. با توجه به شکل ۳ الف، ژنوتیپ‌های شماره سه و چهار، ایده‌آل ترین ژنوتیپ بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند و بعد از آن‌ها، ژنوتیپ شماره شش قرار داشت.



تجزیه گرافیکی، ژنوتیپ ایده‌آل به صورت ژنوتیپی با عملکرد و پایداری بالا تعریف می‌شود و یک مفهوم نظری است که به عنوان یک شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های مورد بررسی استفاده می‌شود (Yan & Tinker, 2006). در تجزیه گرافیکی، ژنوتیپ ایده‌آل به



شکل ۳- تعیین ژنوتیپ ایده‌آل (الف) و روابط بین محیط‌های مورد بررسی (ب).
Figure 3. Ideal genotype (a) and relationship among studied Environments (b).

ژنوتیپ‌ها دارند. معمولاً عوامل مربوط به خاک، پایداری هستند و می‌توان به عنوان پارامتر ثابت در نظر گرفت. از طرفی، عوامل مربوط به آب و هوا در درازمدت (اقلیم)، قابل پیش‌بینی است، در حالی که در کوتاه مدت (تغییرات آب و هوا به صورت سال به سال)، از اجزای غیر قابل پیش‌بینی تنوع محیطی هستند (Lin & Binns, 1988). علاوه بر این، فرآیند اصلاح و ایجاد رقم، معمولاً ۱۵-۱۰ سال طول می‌کشد و دو تا سه سال از این زمان، به بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها اختصاص داده می‌شود؛ بنابراین تصمیم‌گیری درباره حذف و یا حفظ یک محیط با استفاده از داده‌های GGE بای‌پلات، هنگامی مفید خواهد بود که ژنوتیپ‌های مشابه با توجه به اجزای قابل پیش‌بینی محیط (مانند عوامل مربوط به خاک و یا عوامل اقلیمی) مورد بررسی قرار گیرند. به‌طور کلی می‌توان گفت که این نتایج، هنگامی در روند اصلاح ارقام قابل

در آزمایشات پایداری، محیط‌های آزمایش بر اساس دو ویژگی قدرت تمایز^۱ ژنوتیپ‌ها و معرف کل محیط‌های آزمایش بودن^۲ تقسیم می‌شود (XU, N.-y. *et al.*, 2014). اگر دو محیط، سببه یکدیگر باشند، می‌توان بدون از دست دادن اطلاعات مربوط به گزینش ژنوتیپ‌ها، یکی از دو محیط را حذف کرد (Yan *et al.*, 2007). برخی از محققین، تأکید زیادی بر حذف محیط‌های مشابه بر اساس داده‌های GGE بای‌پلات دارند؛ با این حال تصمیم‌گیری برای حذف و یا حفظ یک محیط، بسیار پیچیده است (Rakshit *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2016; Tariku, 2012). تنوع محیطی شامل اجزای قابل پیش‌بینی و غیر قابل پیش‌بینی است. عوامل مربوط به خاک و آب و هوا، دو عامل اصلی محیطی هستند که تأثیر زیادی بر عملکرد

¹ -Discrimination ability

² - Representativeness

تحت تأثیر محیط و اثرات متقابل محیط و ژنوتیپ قرار دارد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی، هر دو نوع اثر متقابل متقاطع و غیرمتقاطع را نشان دادند. این امر نشان داد که گزینش بر اساس عملکرد نمی‌تواند پتانسیل واقعی ژنوتیپ‌ها را نشان دهد. وجود اثرات متقابل متقاطع باعث شد همه ۱۲ محیط مورد بررسی، به دو محیط بزرگ با برتری ژنوتیپ‌های شماره چهار و شش تقسیم شود. بر اساس نتایج این آزمایش، ژنوتیپ‌های شماره سه و چهار، به ترتیب با میانگین عملکرد ۳۳/۹۸ و ۳۵/۵۱ تن در هکتار، بهترین ژنوتیپ در بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش بودند و به‌طور معنی‌داری با دیگر ژنوتیپ‌ها و میانگین کل آزمایش (۲۹/۷۴) تن در هکتار) اختلاف داشتند. ژنوتیپ شماره چهار، ژنوتیپ برتر در اغلب محیط‌های مورد بررسی و محیط بزرگ اول بود. بررسی‌های مزرعه‌ای نشان داد که هر دو ژنوتیپ، از یکنواختی خوبی برخوردار بودند و علاوه بر این، ژنوتیپ‌های اشاره شده از نظر سبزیگی و پربریگی، در شرایط خوبی قرار داشتند. با این حال، رقم شماره چهار، به دلیل عدم تفاوت عملکرد با ژنوتیپ شماره سه و پایداری بیشتر با آن، به‌عنوان رقم ایده‌آل معرفی شد و ترکیب خوبی از عملکرد بالا و پایداری خوب بود.

کاربرد است که ژنوتیپ‌های مشابه به مدت طولانی در محیط‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرند. به دلیل این‌که داده‌های مورد استفاده در GGE بای‌پلات، بدون مقیاس‌بندی ($\text{scaling}=0$) بودند، طول بردار محیطی و زاویه آن با AEC در شکل ۳-ب، به ترتیب نشان‌دهنده قدرت تمایز محیط و معرف بودن آن برای تمامی محیط‌هاست. محیط‌های شماره پنج و شش، بیشترین طول بردار محیطی را داشتند (شکل ۳ ب)؛ بنابراین این دو محیط از قدرت تمایز بیشتری برای ژنوتیپ‌های ارزن معمولی برخوردار بودند. علاوه بر این، زاویه بین بردار محیطی و AEC محیط‌های شماره هشت و ۱۱، کمترین مقدار ممکن را داشت، درحالی‌که محیط‌های سه و چهار، از بیشترین زاویه برخوردار بودند. بنابراین محیط‌های شماره هشت و ۱۱، معرف خوبی برای کلیه محیط‌های آزمایش بودند. بنا به تعریف محیط ایده‌آل (محیطی با قدرت تمایز بالا و معرف بودن کلیه محیط‌ها) و با توجه به شکل ۳-ب می‌توان گفت که محیط‌های پنج و شش، از این دو ویژگی در حد مطلوبی برخوردارند.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که عملکرد علوفه ژنوتیپ‌های ارزن معمولی، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای

REFERENCES

- Bai, Q., Fan, G., Gu, Z., Cao, X. & Gu, F. (2008). Effects of culture conditions on γ -aminobutyric acid accumulation during germination of foxtail millet (*Setaria italica* L.). *European Food Research and Technology*, 228(2), 169-175.
- Baker, R. (1990). Crossover genotype-environment interaction in spring wheat, In: M. S. Kang (Ed.), *Genotype-by-environment interaction and plant breeding*. (pp. 42-51). Louisiana, USA: Louisiana State University.
- Bavandpori, F., Ahmadi, J. & Hossaini, S. M. (2015). Yield stability analysis of bread wheat lines using AMMI model. *Agricultural Communications*, 3(1), 8-15.
- Blanche, S. B. & Myers, G. O. (2006). Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*, 46(2), 946-949.
- Bosire, C. K., Krol, M. S., Mekonnen, M. M., Ogotu, J. O., de Leeuw, J., Lannerstad, M. & Hoekstra, A. Y. (2016). Meat and milk production scenarios and the associated land footprint in Kenya. *Agricultural Systems*, 145, 64-75.
- Dawson, J. C., Rivière, P., Berthelot, J. F., Mercier, F., Kochko, P. D., Galic, N., Pin, S., Serpolay, E., Thomas, M. & Giuliano, S. (2011). Collaborative plant breeding for organic agricultural systems in developed countries. *Sustainability*, 3(8), 1206-1223.
- de Leon, N., Jannink, J. L., Edwards, J. W. & Kaeppler, S. M. (2016). Introduction to a special issue on genotype by environment interaction. *Crop Science*, 56(5), 2081-2089.
- Dehghani, H., Ebadi, A. & Yousefi, A. (2006). Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. *Agronomy Journal*, 98(2), 388-393.

9. Dehghani, H., Omid, H. & Sabaghnia, N. (2008). Graphic analysis of trait relations of rapeseed using the biplot method. *Agronomy Journal*, 100(5), 1443-1449.
10. Eberhart, S. T. & Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40.
11. Fan, X. M., Kang, M. S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J. & Xu, C. (2007). Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99(1), 220-228.
12. Fikere, M., Tadesse, T. & Letta, T. (2008). Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 3(6), 80-87.
13. Gauch, H. G. & Zobel, R. W. (1988). Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(1), 1-10.
14. Hills, A. & Penny, S. A. (2005). *Guide to growing summer grain & forages in the south coast region*. Retrieved from Western Australia. https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/misc_pbns/34/
15. Kang, M. S. (1997). Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy*, 62, 199-252.
16. Kaya, Y., Akçura, M. & Taner, S. (2006). GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(5), 325-337.
17. Krishnamurthy, S., Sharma, P., Sharma, D., Ravikiran, K., Singh, Y., Mishra, V., Burman, D., Maji, B., Mandal, S. & Sarangi, S. (2017). Identification of mega-environments and rice genotypes for general and specific adaptation to saline and alkaline stresses in India. *Scientific Reports*, 7(1), 7968.
18. Lin, C. & Binns, M. (1988). A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(3), 425-430.
19. Lin, C. & Binns, M. (1991). Genetic properties of four types of stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics*, 82(4), 505-509.
20. Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P. & Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607-610.
21. Lu, H., Zhang, J., Liu, K. b., Wu, N., Li, Y., Zhou, K., Ye, M., Zhang, T., Zhang, H. & Yang, X. (2009). Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(18), 7367-7372.
22. Lubadde, G., Tongoona, P., Derera, J. & Sibiyi, J. (2017). Analysis of genotype by environment interaction of improved pearl millet for grain yield and rust resistance. *Journal of Agricultural Science*, 9(2), 188.
23. Luo, J., Pan, Y. B., Que, Y., Zhang, H., Grisham, M. P. & Xu, L. (2015). Biplot evaluation of test environments and identification of mega-environment for sugarcane cultivars in China. *Scientific Reports*, 5, 15505.
24. Mikó, P., Löschenberger, F., Hiltbrunner, J., Aebi, R., Megyeri, M., Kovács, G., Molnár-Láng, M., Vida, G. & Rakszegi, M. (2014). Comparison of bread wheat varieties with different breeding origin under organic and low input management. *Euphytica*, 199(1-2), 69-80.
25. Mohammadi, R. & Nader Mahmoodi, K. (2008). Stability analysis of grain yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Plant Breeding*, 2(2), 74-78.
26. Putto, W., Patanothai, A., Jogloy, S. & Hoogenboom, G. (2008). Determination of mega-environments for peanut breeding using the CSM-CROPGRO-peanut model. *Crop Science*, 48(3), 973-982.
27. Rakshit, S., Ganapathy, K., Gomash, S., Rathore, A., Ghorade, R., Kumar, M. N., Ganesmurthy, K., Jain, S., Kamtar, M. & Sachan, J. (2012). GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. *Euphytica*, 185(3), 465-479.
28. Rao, P. S., Reddy, P. S., Rathore, A., Reddy, B. V. & Panwar, S. (2011). Application GGE biplot and AMMI model to evaluate sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) hybrids for genotype× environment interaction and seasonal adaptation. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(5), 438-444.
29. Roozeboom, K. L., Schapaugh, W. T., Tuinstra, M. R., Vanderlip, R. L. & Milliken, G. A. (2008). Testing wheat in variable environments: genotype, environment, interaction effects, and grouping test locations. *Crop Science*, 48(1), 317-330.
30. Rose, L. W., Das, M. K. & Taliaferro, C. M. (2008). A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. *Euphytica*, 164(1), 19-25.
31. Sabaghnia, N., Dehghani, H. & Sabaghpour, S. H. (2008). Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. *Agronomy Journal*, 100(3), 760-764.
32. 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.

33. Shukla, G. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. *Heredity*, 29(2), 237-245.
34. Tariku, S. (2017). Evaluation of upland rice genotypes and mega environment investigation based on GGE-biplot analysis. *Journal of Rice Research*, 5, 1-7.
35. Taylor, J. R. N. & Emmambux, M. N. (2008). Gluten-free foods and beverages from millets, *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. (pp. 119-148). San Diego Academic Press.
36. Temesgen, T., Kenei, G., Sefera, T. & Jarso, M. (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3(3), 258-268.
37. Wheeler, T. & Von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508-513.
38. Wricke, G. (1962). Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. *Journal of Plant Breeding*, 47(1), 92-95.
39. XU, N.Y., Fok, M., Zhang, G. W., Jian, L. & ZHOU, Z. G. (2014). The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(9), 1921-1933.
40. Xu, N., Fok, M., Zhang, G. W., Li, J. & Zhou, Z. G. (2014). The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(9), 1921-1933.
41. Yan, W. (2002). Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal*, 94(5), 990-996.
42. Yan, W., Frégeau-Reid, J., Martin, R., Pageau, D. & Mitchell-Fetch, J. (2015). How many test locations and replications are needed in crop variety trials for a target region? *Euphytica*, 202(3), 361-372.
43. Yan, W., Frégeau-Reid, J., Pageau, D., Martin, R., Mitchell-Fetch, J., Etienne, M., Rowsell, J., Scott, P., Price, M. & de Haan, B. (2010). Identifying essential test locations for oat breeding in eastern Canada. *Crop Science*, 50(2), 504-515.
44. Yan, W. & Hunt, L. (2001). Interpretation of genotype× environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science*, 41(1), 19-25.
45. Yan, W. & Kang, M. S. (2002). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. USA: CRC press.
46. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S. & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 643-653.
47. Yan, W. & Rajcan, I. (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42(1), 11-20.
48. Yan, W. & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623-645.
49. Zhang, P. P., Hui, S., Ke, X. W., Jin, X. J., Yin, L. H., Yang, L., Yang, Q., Wang, S., Feng, N. J. & Zheng, D. F. (2016). GGE biplot analysis of yield stability and test location representativeness in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(6), 1218-1227.
50. Zhang, Z., Fu, X., Liu, J. & Yang, H. (2010). Yield stability and testing-site representativeness in national regional trials for oat lines based on GGE-biplot analysis. *Acta Agronomica Sinica*, 36(8), 1377-1385.