



تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو در مناطق سرد استان خراسان رضوی

سید علیرضا رضوی^{۱*}، مجید طاهریان^۱

۱-استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۲۱

چکیده

مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه و سازگاری ارقام در شرایط محیطی مختلف از اهمیت ویژه ای در برنامه‌های به‌نژادی جو برخوردار است. به‌منظور مطالعه پایداری و سازگاری لاین‌های امیدبخش جو، آزمایشی با تعداد ۱۹ لاین به‌همراه رقم شاهد جلگه طی دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲) در دو ایستگاه تحقیقاتی مشهد و جلگه رخ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها حاکی از آن بود که حدود ۹/۲۲ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۱۰/۵ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۲۷/۸۷ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بود. ژنوتیپ‌های مناسب در هر ابر محیط توسط بای‌پلات چند ضلعی شناسایی شدند. محیط جلگه رخ ۲۰۱۹ به شرایط محیط ایده‌آل نزدیک بود. نتایج نشان داد ژنوتیپ G3 به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل بود. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای‌پلات مختصات محیط متوسط نشان داد که ژنوتیپ G3 جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری بالا بود.

واژه‌های کلیدی: پایداری، جو، ژنوتیپ ایده‌آل، عملکرد دانه

* نگارنده مسئول (a.razavi@areeo.ac.ir)

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) بعد از گندم از لحاظ سطح زیر کشت در ایران مقام دوم را دارد و طبق آخرین آمار وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت آن در ایران عبارت است از ۱/۵۴۷ میلیون هکتار (آبی ۶۲۱۹۴۰ هکتار و دیم ۹۲۵۴۳۴ هکتار) که از این سطح مقدار تولید دانه بیش از ۳/۵۱۴ میلیون تن می‌باشد. متوسط عملکرد این گیاه در هکتار در شرایط آبی ۳۷۶۳ و در شرایط دیم ۱۲۶۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. (Ahmadi et al., 2020).

در سال جاری کمبود تولید جو بیش از پیش احساس شده و در طرح جامع علوفه کشور برنامه ریزی افزایش تولید آن در بلند مدت لحاظ شده است. از طرفی با توجه به کم توقعی محصول جو نسبت به شرایط آبی و خاک می‌تواند جایگاه بهتری در اکثر اراضی فقیر، کم باران، شور و کم آب کشور داشته باشد.

شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های به‌نژادی همواره به دلیل تغییرات محیطی در مناطق هدف و اثر متقابل این تغییرات با

ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشکل می‌باشد. بنابراین لاین‌های پیشرفته زراعی در برنامه‌های به‌نژادی به منظور اطمینان از تولید محصول و پایداری عملکرد بایستی در محیط‌های با شرایط آب و هوایی مختلف و در سال‌های متفاوت ارزیابی شوند (Yan & Rajcan, 2002). یک ژنوتیپ معمولاً در محیط‌های مختلف از لحاظ عملکرد واکنش‌های متفاوتی دارد به‌طوری‌که رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر تغییر می‌یابد. این تغییرات که در نتیجه کنش بین ژنوتیپ و محیط ایجاد می‌شود تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط شناخته شده است (Allard & Bradshaw, 1964). چنانچه آثار متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار باشند به‌نژادگر نیازمند شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با میزان تولید نسبتاً ثابت در دامنه‌ای از محیط‌های هدف می‌باشد. پایداری ممکن است به‌صورت استاتیکی و یا دینامیکی باشد. پایداری، استاتیکی است اگر ژنوتیپ‌ها تمایل به حفظ عملکرد یکسان در همه محیط‌ها را داشته

باشند و دینامیکی است اگر واکنش‌های عملکرد یک ژنوتیپ دارای یک روال ثابت به تغییرات در محیط‌ها باشد. به عبارت دیگر واکنش یک ژنوتیپ موازی با میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف باشد (Becker & Leon, 1988). تا کنون مدل‌های آماری زیادی برای تجزیه آثار متقابل ژنوتیپ × محیط پیشنهاد شده‌اند. این مدل‌ها از پارامتری تا پارامتری تک متغیره و چند متغیره متفاوت می‌باشد.

از میان روش‌های چند متغیره می‌توان به روش بای‌پلات که مبتنی بر تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌باشد اشاره نمود (Gabriel, 1971). در روش بای‌پلات ژنوتیپ‌ها و محیط و آثار متقابل آن‌ها به‌طور همزمان در یک گراف که بای‌پلات نامیده می‌شود نمایش داده می‌شوند. آنچه که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حائز اهمیت می‌باشد، این است که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست، بنابراین حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط حائز اهمیت است

(Yan & Kang, 2003). تنها اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است که در گزینش لاین‌های با پایداری عملکرد اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط باید به صورت توأم بررسی شوند. روش GGE بای‌پلات این امکان را فراهم می‌کند که این دو اثر (ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط) همزمان و به صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند (Yan, 2001). محققان زیادی روش GGE بای‌پلات را روشی کارآمد برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معرفی نموده و بیان داشته‌اند که این روش اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها و محیط‌های تحت بررسی در اختیار محقق قرار می‌دهد. کاربرد GGE بای‌پلات در گزینش ارقام مناسب برای جو (Koocheki *et al.*, 2012; Mortazavian *et al.*, 2014; Vaezi, *et al.*, 2017; Taheripourfard *et al.*, 2017; Kendal *et al.*, 2019; Hudzenko *et al.*, 2019) گندم نان (Mohammadi *et al.*, 2016b) (Omran *et al.*, 2012; Ahmadi *et al.*, 2017., *al.*, 2017) کلزا (Zali *et al.*, 2016)

مواد و روش‌ها

نوزده لاین امیدبخش جو، که از آزمایشات ژنوتیپ‌های پیشرفته جو اقلیم سرد در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه رقم جلگه به عنوان رقم شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار و در دو منطقه مشهد و جلگه رخ طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ کشت و مورد مطالعه قرار گرفتند.

گلرنگ (Pourdad & Jamshid

Moghaddam, 2013). گندم دوروم

(Mohammadi et al., 2016a)، نخود

(Farshadfar et al., 2013) گزارش شده

است.

هدف از این تحقیق، بررسی اثر متقابل

ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش گرافیکی

GGE بای‌پلات در لاین‌های امیدبخش جو و

شناسایی و معرفی لاین‌های دارای عملکرد

اقتصادی بالا و سازگار جهت کشت در اقلیم

سرد استان خراسان رضوی بود.

جدول ۱- نام و شجره ارقام و لاین‌های امید بخش جو

شماره لاین‌ها Lines number	شجره لاین‌ها Pedigree of lines
G1	Jolge (Check 1)
G2	Bahman/3/MAKOUUEE//ZARJOW/80-5151
G3	ALGER/(CI10117/CHOYO../3/Makouee/4/STB-12
G4	Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2
G5	ZARJOW/80-5151//Makouee*2
G6	MAKOUUEE/3/ZARJOW/80-5151//Bahman
G7	Radical/Birgit//Pamir-154/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G8	CALI92/ROBUST//ND16301
G9	Radical/Birgit//Pamir-154/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G10	Yousef/4 /82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29
G11	Courlis/Rhn-03//Karooon
G12	Bereke-54/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G13	Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2
G14	Pamir-147/Sonata/8/Alpha/Durra/7/P101/5/3896/...
G15	Courlis/Rhn-03//Karooon
G16	(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Yousef
G17	Sonata/8/Api/CM67//Hma-03/4/Cq/Cm//Apm/3/...
G18	Nadawa/Rhn-03//Birka
G19	Mahtab (Check 2)
G20	CB-96-10 (Check 3)

زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات- آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم کلس بعد از برداشت محصول قبل، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم، کود پاشی و ایجار فارو بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضد عفونی گردید. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ دانه در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین گردید. کشت به صورت جوی و پشته و آبیاری بصورت نشتی انجام گرفت. نوع و میزان کود بر اساس آزمون خاک هر منطقه مصرف گردید. کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم، کود فسفر از منبع فسفات آمونیوم بصورت پایه و کود ازته از منبع اوره بصورت پایه و سرک به مصرف رسید. هر کرت آزمایشی شامل ۶ خط ۶ متری به فاصله ۲۰ سانتیمتر (متر مربع $7/2 = 1/2 \times 6$) بود که قبل از برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و بقیه (۶ متر مربع) برداشت شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ، مخلوطی از علف کشهای گرانستار

و پوما سوپر به ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه زنی تا ساقه رفتن استفاده شد. در طول دوره رشد علاوه بر مراقبت‌های زراعی، یادداشت برداری از کرت های آزمایشی شامل تعداد روز از کاشت تا ۵۰ درصد ظهور سنبله، تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، میزان خوابیدگی بوته و وزن هزار دانه به عمل آمد. بررسی سازگاری ارقام و لاین‌ها با استفاده از روش‌های چند متغیره GGE بای پلات انجام شد. روش GGE بای پلات، اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط (GE) را با هم حفظ کرده و GGE را به دو جزء ضریبی تجزیه می‌کند (Yan et al., 2000). مدل استفاده شده در GGE بای پلات به صورت رابطه ۱ است:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه (۱)}$$

g_{i1} و e_{1j} : نمره‌های اولیه برای ژنوتیپ i و محیط j ; g_{i2} و e_{2j} : نمره‌های ثانویه برای ژنوتیپ i و محیط j و ε_{ij} : باقیمانده‌ای است که به وسیله اثرات اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. یک بای پلات GGE با رسم g_{i1} در

مقابل g_{i2} و e_{1j} در مقابل e_{2j} در یک نمودار پراکنش، رسم می‌شود. نمره‌های اولیه از طریق تجزیه به مقادیر منفرد (Singular valued composition; SVD) صورت رابطه ۲ تبدیل می‌شوند:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه (۲)}$$

λ_1 و λ_2 : به ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC1 و PC2)، ξ_{i1} و ξ_{i2} : به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ i ام برای PC1 و PC2 و η_{1j} و η_{2j} : به ترتیب بردارهای ویژه محیط j ام برای PC1 و PC2 می‌باشند (Yan, 2000; Yan et al., 2000). (2001 به منظور رسم نمودارهای GGE بای‌پلات و تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزارهای ADEL-R و GE-R استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی سال، اثر اصلی ژنوتیپ، آثار متقابل سال×مکان، ژنوتیپ×مکان و ژنوتیپ×مکان×سال از نظر آماری معنی‌دار بودند. همچنین تفکیک سهم آثار مختلف در

جدول تجزیه واریانس نشان داد که حدود ۹/۲۲ درصد از کل تغییرات، مربوط به اثر محیط، ۱۰/۵ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۲۷/۸۷ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بود (جدول ۲). نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Yan et al., 2000; Fan et al., 2007; Rose et al., 2008; Moayyidi et al., 2020). کم بودن اثر ژنوتیپ در تفسیر واریانس موجود ممکن است به این دلیل باشد که طی سال‌های قبل ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد بالا در برنامه‌های به‌نژادی جو گزینش شده و این ژنوتیپ‌های مطلوب در آزمایشات چندمحیطی نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط نقش کمتری در تفسیر تنوع موجود داشته‌اند. مرتضویان و همکاران (Mortazavian et al., 2014) در ارزیابی عملکرد و پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش جو در اقلیم معتدل کشور بیان کردند که سهم محیط، اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و ژنوتیپ در

توجیه میانگین مربعات کل به ترتیب ۶۰/۳۸، ۳۵/۰۹ و ۴/۵۲ درصد بود.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های جو در چهار محیط

مصادر تغییر Source of variation	درجه آزادی degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Square	واریانس توجیه شده (%) Explained Variance (%)
مکان Location	۳	۴/۲۴*	۹/۲۲
خطای ۱ Error1	۸	۱/۱	۶/۳۸
ژنوتیپ Genotype	۱۹	۰/۷۶*	۱۰/۵
ژنوتیپ×محیط Genotype×Environment	۵۷	۰/۶۹**	۲۷/۸۷
خطای آزمایشی Error	۱۵۲	۰/۴۱	۴۶/۰۳
ضریب تغییرات (/CV)	-	۱۰/۰۱	-

عملکرد در این ایستگاه به ترتیب متعلق به لاین G11 و لاین G19 بود. میانگین کل عملکرد دانه در سال دوم ایستگاه ۶/۷۵۳ تن در هکتار بود. دامنه میانگین عملکرد دانه لاین‌های جو در سال اول کشت در ایستگاه جلگه رخ ۴/۴۵۳ تا ۶/۰۲۹ تن در هکتار بوده و ژنوتیپ‌های G14 و G2 به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۳). میانگین کل عملکرد دانه سال اول این ایستگاه ۵/۰۶۱ تن در هکتار بود. دامنه میانگین عملکرد دانه لاین‌های جو در سال دوم کشت در ایستگاه جلگه رخ ۵/۱۵۰ تا ۶/۹۳۶ تن در هکتار بوده و همان ژنوتیپ‌های به

در جدول ۳ میانگین عملکرد دانه لاین‌های جو برای ایستگاه‌های مشهد و جلگه رخ و همچنین میانگین کل عملکرد دانه برای این لاین‌ها ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، دامنه میانگین عملکرد دانه سال اول لاین‌های مورد ارزیابی در ایستگاه مشهد ۵/۲۳۳ تا ۷/۹۹۸ تن بوده و کمترین و بیشترین میانگین عملکرد در این ایستگاه به ترتیب متعلق به لاین G12 و لاین G7 بود. میانگین کل عملکرد دانه در سال اول ایستگاه ۶/۴۶۵ تن در هکتار بود. و دامنه میانگین عملکرد دانه سال دوم لاین‌های مورد ارزیابی در ایستگاه مشهد ۵/۴۵۷ تا ۷/۴۶۵ تن بوده و کمترین و بیشترین میانگین

ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۳). میانگین عملکرد دانه لاین‌های جو در مجموع دو مکان مورد بررسی، در دامنه‌ای بین ۵/۸۰۲ تا ۵/۶۱۹ تن در هکتار قرار داشت. میانگین کل عملکرد دانه برای مکان‌های اجرای آزمایش ۶/۱۲۵ تن در هکتار بود (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در مناطق اجرای آزمایش (۱۴۰۲-۱۴۰۰)

کد لاین‌ها Code of lines	عملکرد دانه Grain yield (ton.ha ⁻¹)				
	مشهد سال اول Mashhad	مشهد سال دوم Mashhad	جلگه رخ سال اول Jolgeh Rokh	جلگه رخ سال دوم Jolgeh Rokh	میانگین Mean
G1	۶/۸۷۵	۶/۴۷۵	۶/۰۱۳	۵/۹۸۱	۶/۳۳۶
G2	۶/۳۶۷	۶/۸۵۶	۶/۰۲۹	۶/۹۳۶	۶/۵۴۷
G3	۵/۹۵۳	۶/۸۹۷	۵/۶۶۲	۵/۶۱۴	۶/۰۳۲
G4	۶/۹۳۳	۶/۹۳۳	۵/۸۴۵	۵/۶۵۸	۶/۳۴۲
G5	۶/۶۱۴	۶/۴۸۷	۶/۰۰۶	۶/۸۸۱	۶/۴۹۷
G6	۷/۲۹۲	۶/۹۸۹	۵/۳۸۳	۵/۵۹۷	۶/۳۱۵
G7	۷/۹۹۸	۷/۰۳۱	۵/۲۸۶	۶/۲۶۱	۶/۶۴۴
G8	۷/۴۲۸	۷/۲۳۴	۵/۲۲۹	۶/۳۷۵	۶/۵۶۷
G9	۶/۹۱۴	۷/۰۰۰	۵/۵۶۸	۶/۷۰۰	۶/۵۴۶
G10	۶/۵۹۴	۶/۴۵۷	۵/۶۱۱	۶/۴۵۶	۶/۲۸۰
G11	۵/۹۲۸	۵/۴۵۷	۵/۳۹۸	۶/۱۸۳	۵/۷۴۲
G12	۵/۲۳۳	۶/۲۵۹	۵/۹۳۹	۶/۶۵۳	۶/۰۲۱
G13	۶/۸۱۹	۶/۷۸۴	۵/۱۹۵	۶/۲۳۳	۶/۲۵۸
G14	۶/۶۹۲	۶/۱۴۹	۴/۴۸۳	۵/۱۵۰	۵/۶۱۹
G15	۶/۸۲۸	۶/۸۵۶	۵/۸۰۹	۶/۴۱۱	۶/۴۷۶
G16	۶/۸۴۷	۶/۱۷۹	۵/۹۱۳	۶/۳۶۹	۶/۳۲۷
G17	۶/۶۹۲	۶/۸۷۴	۵/۱۷۶	۶/۰۴۲	۶/۱۹۶
G18	۷/۲۹۴	۷/۲۳۵	۶/۰۰۱	۶/۶۷۸	۶/۸۰۲
G19	۷/۵۶۱	۷/۴۶۵	۵/۲۳۳	۶/۰۴۷	۶/۵۹۹
G20	۷/۳۸۳	۷/۴۵۱	۵/۷۵۶	۶/۱۶۱	۶/۶۸۸
Mean	۶/۴۶۵	۶/۷۵۳	۵/۰۶۱	۶/۲۱۹	۶/۱۲۵

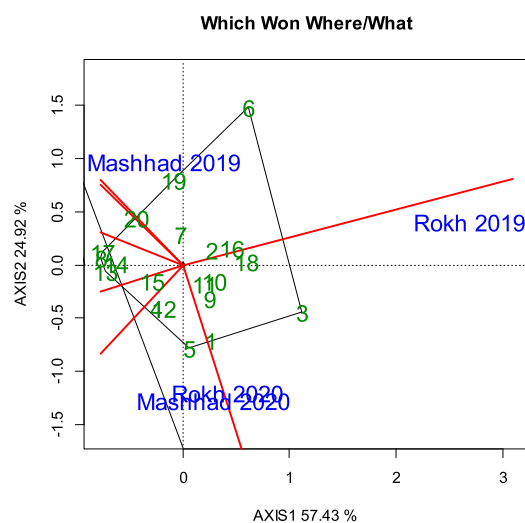
در آزمایشات چند محیطی، بهترین روش برای مشاهده الگوهای آثار متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها جهت تفسیر موثر بای‌پلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی در یک منطقه، نمایش چند ضلعی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط است (Yan et al., 2000).

مرکز بای پلات دارند، به‌وسیله تعدادی خطوط مستقیم به هم وصل شده و سایر ژنوتیپ‌ها در درون چند ضلعی قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌هایی که در رئوس چند ضلعی قرار دارند از لحاظ عملکرد دانه بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در یک یا چند محیط محسوب می‌شوند، زیرا بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند (Yan & Kang, 2003). از مرکز بای پلات، بر هر ضلع چند ضلعی یک خط عمود رسم می‌شود که بای پلات را به چندین بخش تقسیم می‌کند و بدین ترتیب محیط‌ها در بخش‌های یکسان و یا متفاوتی واقع می‌شوند. بررسی نمودار چند ضلعی به‌منظور تعیین لاین‌های برتر در محیط‌های مختلف و مشخص نمودن محیط‌های بزرگ (شکل ۱) نشان داد که لاین‌های G6، G3، G5 و G8 در رئوس چند ضلعی قرار داشتند. براساس شکل ۱ محیط‌ها به سه و ژنوتیپ‌ها به شش گروه تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط مشهد ۲۰۱۹ با ژنوتیپ برتر G6 بود. دومین گروه محیطی شامل جلگه رخ ۲۰۱۹ با ژنوتیپ برتر G3 بود. سومین گروه محیطی دربرگیرنده ایستگاه‌های

بر اساس نتایج حاصل از روش GGE بای پلات، سهم مؤلفه اصلی اول از تغییرات کل ۵۷/۴۳ و سهم مؤلفه اصلی دوم ۲۴/۹۲ درصد و این دو مؤلفه در مجموع حدود ۸۲/۳۵ درصد از کل تنوع موجود را توجیه کردند (شکل ۱). (Mohammadi *et al* (2016b) پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان در ۲۱ محیط بیان کردند که نتایج GGE بای پلات ۳۹/۱۹ درصد تغییرات را توجیه کرد، در حالی که در بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های جو در ۹ محیط توسط (Hudzenko *et al* (2019 دو مؤلفه اول حاصل از GGE بای پلات حدود ۷۰/۲۹ درصد تغییرات را توجیه کردند. در هر حال اگر بیشتر تنوع موجود توسط مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم قابل توجیه نباشد، نشان دهنده ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بوده، اما این به مفهوم بی‌اعتبار بودن بای پلات نیست (Yan & Tinker, 2005). نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط ۲۰ لاین امیدبخش جو در ۴ محیط آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. در این شکل ژنوتیپ‌هایی که بیشترین فاصله را از

لاین G8 در راس چند ضلعی قرار داشت، اما هیچ مکانی در اطراف آن وجود نداشت و این موضوع نشان می‌دهد که این لاین در اکثر مناطق مورد بررسی عملکرد ضعیفی داشته است. (Mortazavian *et al* (2014). بیست و دو لاین امیدبخش جو را در هفت ایستگاه منطقه معتدل کشور ارزیابی کردند. نتایج آزمایش آن‌ها، سه ابر محیط را شناسایی کرد. (Taheripourfard *et al* (2017). بیست لاین امیدبخش جو را در شش منطقه معتدل و گرم کشور به مدت دو سال با استفاده از روش GGE بای‌پلات ارزیابی کردند. ۱۲ محیط در سه ابر محیط قرار گرفتند و در هر ابر محیط یک ژنوتیپ دارای برتری بود.

مشهد و جلگه رخ در سال ۲۰۲۰ بود که G5 ژنوتیپ برتر در این گروه بود. تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، نشان‌دهنده اثر متقابل کراس‌آوری است که در آن رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، متفاوت می‌باشد (Yan & Tinker, 2005). از طرفی قرارگرفتن برخی از محیط‌ها در گروه‌های مشابه نشان می‌دهد که رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های یک گروه خاص تغییرات زیادی نداشتند که نشان‌دهنده اثر متقابل غیرکراس‌آوری است. این موضوع نشان می‌دهد که هر دو نوع اثر متقابل کراس‌آوری و غیرکراس‌آوری برای عملکرد دانه در آزمایشات چند محیطی جو در محیط‌های مورد بررسی وجود داشت (Fan *et al.*, 2007). هرچند

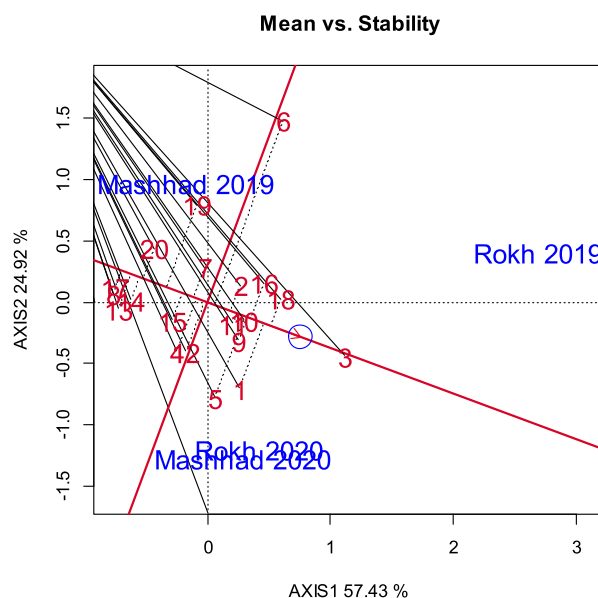


شکل ۱- چند ضلعی GGE بای پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر جو در محیط‌های مختلف

محور پایدارتر هستند (Yan *et al.*, 2000). در عین حال محور عمودی میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این خط قرار گرفته‌اند، دارای عملکرد پایین‌تر از میانگین کل هستند. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه و میزان سازگاری آن‌ها در ۴ محیط، در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس ژنوتیپ G3 ژنوتیپ برتر (عملکرد و پایداری مطلوب) بود. براساس بای‌پلات مذکور، ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست خط عمودی قرار داشتند از نظر عملکرد برتر از میانگین و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این خط قرار داشتند عملکرد

جهت بررسی هم‌زمان سازگاری و عملکرد لاین‌ها از نمودار مختصات محیط متوسط (Average environment) استفاده شد (شکل ۲). استفاده از نمودار مختصات محیط متوسط در روش GGE بای‌پلات از روش‌های مفید و موثر تجزیه پایداری به شمار می‌رود و اطلاعات خوبی از نحوه تظاهر ژنوتیپ‌های مورد بررسی ارائه می‌دهد (Kaya, 2006; Samonte *et al.*, 2005). این نمودار، بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز نامیده می‌شود. محور افقی که دارای دایره و پیکان می‌باشد، نشان‌دهنده پایداری است و ژنوتیپ‌های نزدیک به این

کمتری از میانگین داشتند. لذا ژنوتیپ‌های G1, G5, G16, G6 دارای عملکرد بالاتر از میانگین و پایداری عملکرد پایین بودند و ژنوتیپ‌های G9, G10, G11 دارای عملکرد بالاتر از متوسط و پایدار و ژنوتیپ‌های G17, G8, G20, G7, G13 و G14 دارای عملکرد کمتر از متوسط ولی نسبتاً پایدار بودند.



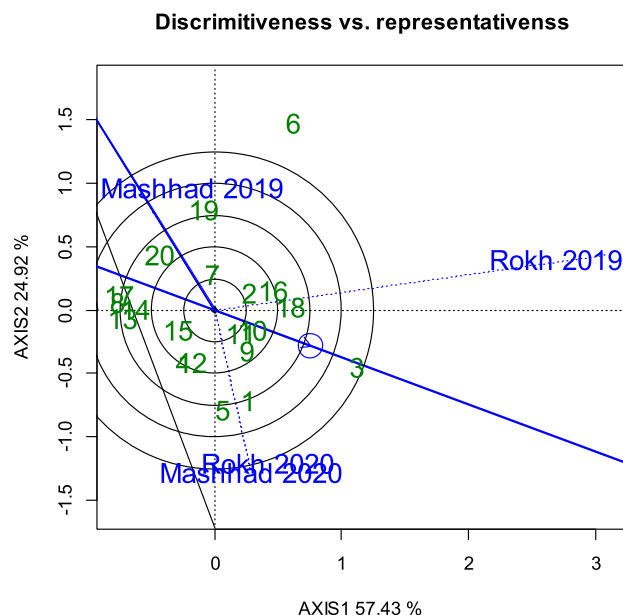
شکل ۲- بای پلات مختصات محیط متوسط (AEC) برای گزینش هم‌زمان عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌های جو

شکل ۳ نشان می‌دهد بین محیط‌های مشهد ۲۰۲۰ و جلگه رخ ۲۰۲۰ تشابه زیادی وجود داشت. زاویه بین این گروه محیطی با محیط مشهد ۲۰۱۹ منفرجه و نزدیک به ۱۸۰ درجه بود که نشان دهنده رفتار متفاوت این محیط‌ها در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بود و حاکی از عکس‌العمل کاملاً متفاوت ژنوتیپ‌ها در این گروه‌های محیطی است. هرچند آزمایش‌های چند محیطی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، همچنین می‌توان آن‌ها را جهت ارزیابی محیط‌ها به کار برد. یک محیط ایده‌آل باید به وضوح تفاوت بین ژنوتیپ‌ها را آشکار کند و هم‌زمان نماینده خوبی از محیط هدف نیز باشد. محیط‌های ایده‌آل از نظر

مفهومی دارای دو خصوصیت عمده هستند: (۱) توانایی بالا در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها و (۲) نماینده بودن برای سایر محیط‌های مورد آزمون (Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006). این مفهوم از محیط‌های ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (Fan *et al.*, 2007)، پنبه (Blanche & Myers, 2006; Dimitrios *et al.*, 2008) و گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2010a) مورد استفاده قرار گرفته است. توانایی جداسازی و تمایز یک محیط، به قادر بودن محیط جهت نمایش حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها اشاره دارد، اما توانایی نماینده بودن یک محیط نشان می‌دهد که یک محیط نماینده شرایط سایر محیط‌ها در پژوهش مورد نظر است (Blanche & Myers, 2006; Yan & Tinker, 2006). بنابراین یک محیط ایده‌آل باید تلفیقی از دو ویژگی مذکور را برای توسعه مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد. این ویژگی‌ها در مدل GGE بای‌پلات تحت عنوان "توانایی جداسازی محیط‌ها در مقابل نماینده بودن آن‌ها" ("discriminating power vs. representativeness of testers") بیان شده است (Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006). در شکل ۳ دایره کوچک نشان داده شده بر روی محور افقی پیکان‌دار، جایی است که بایستی محیط ایده‌آل قرار گیرد. این نقطه به‌عنوان محیط ایده‌آل مجازی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هر چه طول بردار محیطی بیشتر و فاصله آن به محور افقی کمتر باشد محیط مورد نظر به محیط ایده‌آل نزدیک‌تر می‌باشد (Yan, 2001). طول بردار محیطی بزرگ‌تر بیانگر این است که توانایی آن محیط در جداسازی ژنوتیپ‌ها از یکدیگر زیاد می‌باشد از لحاظ میزان نماینده بودن، محیط‌هایی که دارای کوچک‌ترین زاویه با محور افقی پیکان‌دار هستند، نماینده بهتری برای سایر محیط‌ها می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، محیط جلگه رخ ۲۰۱۹ دارای کمترین زاویه با محور افقی پیکان‌دار بود. بنابراین محیط مذکور از لحاظ نماینده بودن سایر محیط‌ها برای ژنوتیپ‌های جو، بیشترین قابلیت را داشت. اما طول بردار

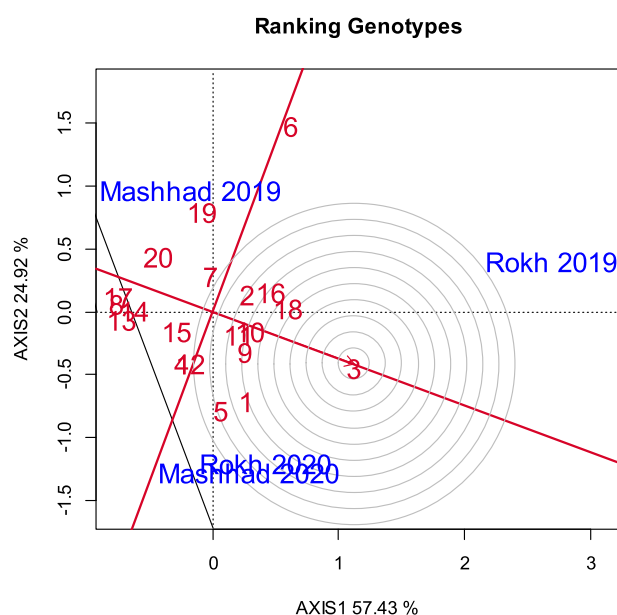
محیطی بزرگ‌تر نشان می‌دهد که آن محیط، از توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها برخوردار است، بنابراین از بین چهار محیط آزمایش، محیط جلگه رخ ۲۰۱۹ از بیشترین قابلیت در جداسازی و شناسایی تفاوت بین ژنوتیپ‌های جو برخوردار بود. لذا بر مبنای اصول فوق، محیط جلگه رخ ۲۰۱۹ را می‌توان نزدیک‌ترین محیط، به محیط ایده‌آل در نظر گرفت. برای تصمیم‌گیری در مورد این‌که آیا یک محیط آزمایشی می‌تواند برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد، نمایندگی محیط مورد نظر یک عامل کلیدی

محسوب می‌شود. البته با فرض این‌که از توانایی جداسازی و تمایز کافی بین ژنوتیپ‌ها نیز بهره‌مند باشد (Yan et al., 2007). Koocheki (2012) پایداری عملکرد دانه هجده ژنوتیپ جو در مقایسه با دو رقم شاهد را در هفت ایستگاه اقلیم سرد شامل اراک، اردبیل، همدان، جلگه رخ، کرج، میاندوآب، مشهد به مدت دو سال زراعی مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نمودار محیط‌های ایده‌آل فرضی، محیط‌های مشهد، میاندوآب و کرج به این محیط نزدیک تر بودند.



شکل ۳- GGE بای پلات که روابط بین محیط‌ها و مقایسه محیط‌ها از نظر "قابلیت تفکیک بین ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن" آن‌ها را نشان می‌دهد.

یک ژنوتیپ مطلوب باید دارای بیشترین میانگین عملکرد دانه در محیط‌های مورد مطالعه و عملکرد پایدار نسبت به شرایط محیطی باشد (Yan, 2002). چنین ژنوتیپی به عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و دارای حداقل نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ×محیط باشد تعریف شده است. ژنوتیپ ایده‌آل از نظر مکانی در مرکز دواير متحدالمرکز بای پلات قرار دارد (Yan, 2001). فاصله لاین‌ها از ژنوتیپ ایده‌آل، میزان مطلوبیت آن‌ها را مشخص می‌کند. نتایج نشان داد ژنوتیپ G3 به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل بود. از طرف دیگر ژنوتیپ‌های G8، G17، G13، G14 و G20 به عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شدند (شکل ۴). (Kendal et al (2019) ۱۲ لاین امیدبخش جو را در هفت منطقه طی دو سال زراعی با استفاده از روش GGE بای پلات بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از بای پلات رتبه ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ G4 را به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل انتخاب کردند که در مرکز دواير متحدالمرکز قرار داشت و شش ژنوتیپ دیگر که در خارج از مرکز دواير متحدالمرکز ولی در سمت راست محور عمودی و نزدیک به ژنوتیپ ایده‌آل بودند، به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب شناسایی شدند.



شکل ۴ - بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌های جو با ژنوتیپ مطلوب بر مبنای عملکرد و پایداری عملکرد دانه

نتیجه‌گیری

موضوع پایداری شامل دو بخش پایداری پویا (زراعی) و پایداری ایستا (آماري) است (Pourdad & Jamshid Moghaddam, 2013). روش GGE بای‌پلات بر مبنای سازگاری و پایداری زراعی استوار بوده و لذا ژنوتیپ‌هایی که از این طریق گزینش می‌شوند، علاوه بر پایداری و سازگاری دارای عملکرد بالایی نیز می‌باشند. بدین ترتیب روش گرافیکی GGE بای‌پلات، روش مناسبی برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، محیط‌ها به سه و ژنوتیپ‌ها به شش گروه تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط مشهد ۲۰۱۹ با ژنوتیپ برتر G6 بود. دومین گروه محیطی شامل جلگه رخ ۲۰۱۹ با ژنوتیپ برتر G3 بود. سومین گروه محیطی دربرگیرنده ایستگاه‌های مشهد و جلگه رخ در سال ۲۰۲۰ بود که G5 ژنوتیپ برتر در این گروه بود. بین محیط‌های مشهد ۲۰۲۰ و جلگه رخ ۲۰۲۰ تشابه زیادی وجود داشت.

زاویه بین این گروه محیطی با محیط مشهد ۲۰۱۹ منفرجه و نزدیک به ۱۸۰ درجه بود که نشان دهنده رفتار متفاوت این محیط‌ها در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بود و حاکی از عکس‌العمل کاملاً متفاوت ژنوتیپ‌ها در این گروه‌های محیطی است. در میان محیط‌های مورد بررسی، محیط جلگه رخ ۲۰۱۹ به شرایط محیط ایده‌آل نزدیک بود. نتایج نشان داد ژنوتیپ G3 به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل بود.

منابع

- Ahmadi, K., H. R. Ebadzadeh, F. Hatami, H. Abdshah, and A. Kazemian. 2018. Agricultural statistics. Ministry of Agriculture-Jahad. Vol. 1. 95 pp. (In Persian).
- Ahmadi, J., A. Mohammadi, and T. Najafi Mirak. 2012. Targeting promising bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines for cold climate growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. Journal of Agricultural Science and Technology, 14: 645-657.

- Gabriel, K.R.** 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58: 453–467.
- Hudzenko, V., O. Demydov, H. Voloshchuk, H. Sardak, and V. Ishchenko.** 2019. Genotype by environment interaction and yield stability of barley breeding lines in multi-environment trials. *Agriculture and Forestry*, 65(1): 201-210.
- Kendal, E., M. Karaman, S. Tekdal, and S. Dogan.** 2019. Analysis of promising barley (*Hordeum vulgare* L.) lines performance by AMMI and GGE biplot in multiple traits and environment. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2): 5219-5233.
- Koocheki, A. R., B. Sorkhilaleloo, and M. R. Eslamzadeh Hesari.** 2012. Yield stability of barley elite genotypes in cold regions of Iran using GGE biplot. *Seed and Plant Improvement Journal*, 28 (4): 533-543 (in Persian with English abstract).
- Moayyedi, A., T. Najafi Mirak, M. Taherian, S. Sasani, and D. Amin Azarm.** 2020. Evaluation of grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) promising lines in moderate regions of Iran. *Journal of Allard, R.W. and A.D. Bradshaw.* 1964. Implication of genotype–environment interaction in applied plant breeding. *Crop Science*, 5: 503–506.
- Becker, H.C. and J. Leon.** 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101:1–23.
- Blanche, S.B. and G.O. Myers.** 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*, 46: 946–949.
- Dimitrios, B., G. Christos, R. Jesus and B. Eva.** 2008. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agronomy Journal*, 100: 1230–1236.
- Fan, X.M., M. S. Kang, H. Chen, Y. Zhang, J. Tan, and C. Xu.** 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99: 220–228.
- Farshadfar, E., M. Rashidi., M.M. Jokar, and H. Zali.** 2013. GGE biplot analysis of genotype $\times$ environment interaction in chickpea genotypes. *European Journal of Experimental Biology*, 3(1): 417-423.

dry agroclimatic zone of Iran using GGE biplot model. *Journal of Crop Breeding*, 23(9): 157-165.

Pourdad, S. S. and M. Jamshid Moghaddam. 2013. Study on genotype $\times$ environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding*, 5 (12): 1-14. (In Persian with English abstract).

Rose, I.V.L.W., M.K. Das, and C.M. Taliaferro. 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. *Euphytica*, 164: 19–25.

Samonte, S.O.P.B., L.T. Wilson, A.M. McClung, and J.C. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science*, 45: 2414–2424.

Taheripourfard, Z., A. Izadi-Darbandi, H. Ghazvini, M. Ebrahimi, S.M.M. Mortazavian, and M. Abdipour. 2017. Identifying superior barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using GGE-biplot across warm and moderate environments under irrigated

Agroecology, 12(2):345-358 (in Persian with English abstract).

Mohammadi, M., T. Hosseinpour, M. Armion, H. Khanzadeh, and H. Ghogh. 2016b. Analysis of genotype, environment and genotype $\times$ environment interaction in bread wheat genotypes using GGE biplot. *Agricultural Communications*, 4(3): 1-8.

Mohammadi, R., M. Armion, B. Sadeghzadeh, S. Golkari, Gh. Khalilzadeh, H. Ahmadi, Gh. Abedi-Asl, and M. Eskandari. 2016a. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. *Applied Field Crops Research*, 29 (4): 25-42. (In Persian with English abstract).

Mortazavian, S. M. M., H.R. Nikkhah, F. A. Hassani, M. Sharif-al-Hosseini, M. Taheri, and M. Mahlooji. 2014. GGE Biplot and AMMI Analysis of Yield Performance of Barley Genotypes across Different Environments in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16: 609-622.

Omran, S., A. Mohammad Naji and M. Esmailzadeh Moghaddam. 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and

- Yan, W. and N. A. Tinker.** 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Science, 86:623–645.
- Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic.** 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40: 597–605.
- Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, and A. Asghari.** 2016. Evaluation of yield stability and drought tolerance based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. Agricultural Communications, 4(1): 1-8.
- conditions in Iran. Crop Breeding Journal, 7 (1 & 2): 23-35.
- Vaezi1, B., A. Pour-Aboughadareh, A. Mohammadi, M. Armion, A. Mehraban, T. HosseinPour, and M. Dorii.** 2017. GGE Biplot and AMMI Analysis of Barley Yield Performance in Iran. Cereal Research Communications, 45(3): 500-511.
- Yan, W.** 2001. GGE biplot–A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 93: 1111–1118.
- Yan, W. and M.S. Kang.** 2003. GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan, W. and I. Rajcan.** 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science, 42: 11-20.

Grain yield stability analysis of Barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in cold regions of Khorasan Razavi province

Seyyed Alireza Razavi^{1*}, Majed Taherian¹

1- Assistant Professors of Seed and Plant Improvement Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

Received: 2025.7.12

Accepted: 2025.9.11

Abstract

In barley breeding programs, the study of genotype×environment interaction and yield stability under different environmental conditions is important. The aim of the study was to evaluate grain yield stability and adaptability in some promising barley lines grown in cold regions of Iran. Nineteen promising barley lines (G1-G19) along with one check cultivar (Jolgeh), were studied during 2021-2023 at four environments. The experimental design at all locations was a randomized complete block with three replications. The combined analysis of variance showed that approximately 9.22% of total variance was ascribed to environment effect, 10.5% to genotype effect and 27.87% to genotype × environment interaction. In GGE biplot polygon, superior genotypes were identified in each mega environment. The Jolgeh Rokh 2021 environment could be considered as the closest environment to the ideal environment. According to resulting from biplot of barley promising lines in comparison with ideal genotype, G3 was identified as the ideal genotype.

Key words: Barley, Grain yield, Ideal genotype, Stability.

* Corresponding author (a.razavi@areeo.ac.ir)