

## واکاوی برهمکنش ژنوتیپ و محیط در جو با استفاده از روش GGE بای پلات

پروانه لطیفی<sup>۱</sup>، عبدالله نجفی\*<sup>۲</sup>، لیلا زارعی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

## چکیده

در دهه‌های اخیر، استفاده از روش تصویری یا نمودار دوجبهی ژنوتیپ بعلاوه برهمکنش ژنوتیپ و محیط (روش GGE بای پلات) در بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط در برنامه‌های به نژادی متداول شده است. در این روش اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از هم تفکیک نشده و گزینش ارقام پایدار بر اساس هر دو اثر مذکور صورت می‌گیرد. هدف این پژوهش، واکاوی برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای عملکرد ۲۱ ژنوتیپ جو با استفاده از روش GGE بای پلات بود. بدین منظور، آزمایش‌هایی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳-۹۴، ۱۳۹۴-۹۵، ۱۳۹۵-۹۶ در دو شرایط آبی و دیم (مجموعاً شش محیط) اجرا گردید. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد برای اثرات سال، ژنوتیپ، ژنوتیپ × سال، مکان × سال و مکان × ژنوتیپ نشان داد. نتایج تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها با روش GGE بای پلات نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم GGE بای پلات، ۷۲/۶ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه کردند. بررسی چند ضلعی بای پلات منجر به شناسایی سه ژنوتیپ برتر و سه ابر محیط شده و ژنوتیپ‌های مناسب در هر ابر محیط نیز مشخص گردید. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای پلات مختصات محیط متوسط، نشان داد که ژنوتیپ ۱۹ با بیشترین عملکرد دانه ناپایدارترین ژنوتیپ بود و ژنوتیپ‌های ۹ و ۱ با عملکرد بالا و پایداری عملکرد نسبی گزینش شدند. محیط آبی سال ۱۳۹۳، به علت نزدیکی به محیط متوسط، به عنوان متمایز کننده‌ترین و نماینده‌ترین محیط شناسایی شد.

کلیدواژگان: ابر محیط، پایداری عملکرد، شرایط دیم، نمایش تصویری

## مقدمه

جو (*Hordeum Vulgare*) از گیاهان زراعی مهم بوده و توان سازگاری بالایی نسبت به گیاهان خانواده غلات و دامنه تحمل وسیع‌تری نسبت به تنش‌های محیطی دارد (Koocheki *et al.*, 2012). این ویژگی جو را به مدلی ایده-آل برای پژوهش‌های مختلف تبدیل کرده است. در برنامه-های اصلاح جو تهیه ارقام برتر که افزایش عملکرد در واحد سطح را به همراه دارد هدفی مهم است و به تنهایی به‌عنوان یک معیار مطرح می‌باشد. هدف دیگر برطرف شدن صفات نامطلوب همراه با افزایش عملکرد از طریق ژنتیکی است. یعنی عملکرد همراه با افزایش مقاومت به خوابیدگی، زود-رسی و مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی، کیفیت مالت و اصلاح برای تغذیه دام بهبود یابد. هدف سوم مستلزم ساخت مدل‌های بیولوژیکی مناسب با شرایط گوناگون کشت است. یعنی اصلاح گیاهان مدل یا تیپ‌های مطلوب با خصوصیتاتی که بر روی فتوسنتز، رشد و تولید دانه اثر دارد (Abarnak *et al.*, 2017). به طور کلی اهداف کوتاه‌مدت به‌نژادگر در اصلاح جو، تولید ژنوتیپ‌های جدید با عملکرد بالا و معرفی آن به‌عنوان یک محصول زراعی می‌باشد. در حالی که اهداف میان‌مدت و درازمدت آن، حفظ ژرم پلاسما برای استفاده در برنامه‌های آینده است (Rezaei-Kolo *et al.*, 2012). مطالعه سنجش و سازگاری ارقام در شرایط مختلف محیطی در برنامه‌های اصلاح نباتات از اهمیت ویژه-ای برخوردار است. در این صورت به اجبار برای هر محیط باید یک رقم خاص تهیه کرد، اما چون تهیه ارقام اصلاح شده و سازگار با عملکرد بالا برای هر محیط از نظر اقتصادی نیازمند صرف هزینه سنگین و وقت زیاد است، باید ارقامی را تهیه کرد که بتوان در بیشتر از یک محیط و حتی برای چند محیط متفاوت آن‌ها را توصیه نمود. یعنی رقمی که در کلیه مناطق، عملکرد خوبی داشته و بهترین سازگاری را با محیط‌های مختلف داشته باشد (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2005). اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط زمانی رخ می‌دهد که برخی صفات در تعدادی از ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های چند ناحیه‌ای و محیط‌های گوناگون تغییراتی را نشان دهند. به عبارت دیگر به تفاوت در ویژگی‌های ژنوتیپ‌های مختلف در محیط‌های گوناگون اثر متقابل ژنوتیپ در محیط گویند

(Vargas *et al.*, 1998). روش‌های گوناگونی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است که شامل روش‌های تک‌متغیره، چندمتغیره و ناپارامتری هستند. اگرچه محاسبه و استفاده از روش‌های تک‌متغیره، پارامتری و ناپارامتری آسان است، ولی این روش‌ها نمی‌توانند ماهیت پیچیده و چندبعدی اثر متقابل را به‌خوبی تفسیر نمایند. از این رو، استفاده از روش‌های چند-متغیره برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است (Shiri & Bahrapour, 2015). از میان روش‌های چند متغیره، برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌توان به روش بای-پلات که بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است، اشاره کرد. روش بای‌پلات، ابزاری بسیار مفید برای ارزیابی چشمی و تفسیر پاسخ الگوی ارقام، محیط و اثر متقابل آن‌ها می‌باشد. بای‌پلات، نمایش تصویری و ارائه رفتار همزمان دو متغیر می‌باشد. این روش، برای اولین بار توسط گابریل پیشنهاد گردید و به عنوان روش تصویری مناسب برای تجزیه داده‌ها با حجم زیاد توسط سایر محققین معرفی شد (Gabriel, 1971). روش بای‌پلات در سطح وسیع و به اشکال گوناگون در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE) به کار برده شده است (Ghazvini *et al.*, 2022; Taghizadeh *et al.*, 2016; Taherian *et al.*, 2022; Fekadu *et al.*, 2023). مزایای استفاده از روش بای‌پلات که در آن اثر ژنوتیپ (G) و اثر ژنوتیپ و محیط (GE) از هم تفکیک نشده است، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. فاکتورهای مهم در گزینش ارقام به‌صورت تصویری توسط روش GGE (Genotype plus genotype and environment interaction) بای‌پلات برآورد شده است. در این روش هم ارقام و هم محیط‌ها به‌صورت چشمی نمایش داده می‌شوند. ویژگی منحصر به فرد این مدل، گروه‌بندی محیط‌هایی است که دارای رفتار مشابهی بوده‌اند و به‌صورت تصویری می‌تواند مشخص نمایند کدام رقم در کدام محیط یا زیر گروه از پتانسیل بالاتری برخوردار است و بنابراین ژنوتیپ‌های پایدار را می‌توانید برای محیط‌های بزرگتری (ابر محیط) پیشنهاد نمود. یک ابر محیط به گروهی از محیط‌ها گفته می‌شود که یک یا چند ژنوتیپ در آن ابر محیط

تغییرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط استفاده می-شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد (Yan *et al.*, 2007).

در مطالعه‌ی مرتضویان و همکاران (Mortazavian *et al.*, 2014) به منظور مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای عملکرد دانه در جو، داده‌ها با روش AMMI و GGE بررسی شدند. نتایج نهایی این مطالعه نشان داد بیشترین درصد مجموع مربعات مربوط به اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بود. از طریق روش GGE بای پلات، سه ابر محیط شناسایی گردید. تقی‌زاده و همکاران (Taghizadeh *et al.*, 2016). پایداری ارقام جو سردسیر با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره طی دو سال بررسی نمودند، بای پلات چند ضلعی حاصل از روش GGE بای پلات مشخص نمود که محیط‌های اراک، کرج و تبریز و نیز محیط-های اردبیل، جلگه رخ و میاندوآب یک ابر محیط ایجاد نموده‌اند و نیز محیط میاندوآب دارای نزدیک‌ترین فاصله به محیط ایده آل فرضی بود.

به منظور ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو، آزمایشی با ۱۹ لاین همراه با رقم شاهد به رخ طی دو سال زراعی (۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷) در هشت ایستگاه تحقیقاتی (کرج، ورامین، نیشابور، مشهد، بیرجند، زرقان، یزد و اصفهان) اجرا شد و سپس جهت ارزیابی سازگاری و پایداری ارقام و لاین‌ها از روش چند متغیره GGE بای پلات استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از روش GGE بای پلات، دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۵۸/۳۸ درصد از کل تنوع موجود را توجیه نمودند. ژنوتیپ‌های مناسب در هر ابر محیط با استفاده از بای پلات چند ضلعی شناسایی شدند (Taherian *et al.*, 2022). به منظور تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (GEI) و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر، مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های جو حاصل از برنامه‌های اصلاحی برای اقلیم‌های سرد ایران به همراه دو ژنوتیپ شاهد در هشت ایستگاه تحقیقاتی (تبریز، اردبیل، اراک، میاندوآب، مشهد، جلگه رخ، و همدان) در طول دو سال مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل بای پلات برهمکنش ژنوتیپ و محیط (GGE) ۱۶ محیط را در دو ابر محیط گروه بندی نمود. از میان محیط‌های آزمایش، اراک و کرج دارای بالاترین قدرت تمایز بودند و این محیط‌ها به عنوان محیط‌های ایده‌آل برای آزمایش ژنوتیپ‌های پیشرفته برای

بهترین عملکرد یا بالاترین واکنش محیطی را داشته باشند (Yan & Rajcan, 2002). ابر محیط را به عنوان یک گروه از مکان‌های جغرافیایی، نه لزوماً مجاور هم، تعریف کرده‌اند که یک یا مجموعه‌ای از چند ژنوتیپ مشابه در - سال‌های مختلف در آن‌ها برتری دارند (Jamshidi-Moqadam & Purdad, 2013). یکی از اشکالات بای پلات این است که به طور همزمان اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را بررسی می‌کند. نمودار GGE بای پلات حاصل اثرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است که به جای جدا کردن G و GE، هر دوی G و GE را با هم حفظ کرده و این دو (GGE) را به دو جزء ضربی تجزیه می‌نماید (Shiri & Bahrapour, 2015). این روش نوعی تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) (Principal components analysis) برای مجموع اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است که در آن از راهبرد تجزیه به مقادیر منفرد استفاده می‌شود. داده‌های منتج از ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به صورت یک ماتریس دو طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقادیر و بردارهای ویژه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استخراج می‌شوند. روش GGE بای پلات این امکان را فراهم می‌کند که تجزیه و تحلیل داده‌ها فقط بر بخش مفید داده‌ها یعنی G و GE صورت بگیرد. یکی از تفاوت‌های این مدل با مدل اصلی این است که مدل GGE علاوه بر GE، G یا همان اثر اصلی ژنوتیپ را در خود حفظ می‌کند، اما مدل اصلی فقط شامل GE است (Yan *et al.*, 2000). این روش از طریق نمایش تصویری اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به اصلاحگر کمک می‌کند تا به سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی کرده و هم چنین استفاده از این روش، امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به سادگی میسر می‌سازد (Mohammadi *et al.*, 2011). پژوهش‌های متعدد، نشان داده‌اند که در بیشتر آزمایش‌های تجزیه پایداری، تأثیر محیط بر روی صفات اندازه‌گیری شده بیشتر است؛ در حالی که، اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در تبیین صفات تأثیر کمتری دارند. از آنجایی که محیط عاملی نیست که بتوان آن را به طور کامل کنترل کرد، از این رو در روش GGE بای پلات از منابع

دانه برخی ژنوتیپ‌های جو انجام شد. در این آزمایش ۲۱ ژنوتیپ جو (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در دو شرایط آبی و دیم (تنش کمبود آب آخر فصل) کشت شدند. تراکم کاشت حدود چهار صد بوته در متر مربع بود. هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول دو متر، با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین کرت‌ها بود. عملیات کاشت به صورت دستی انجام شد. در طول فصل رشد و نمو، عملیات زراعی شامل وجین علف‌های هرز و آبیاری به‌طور مرتب انجام شد. پس از اتمام بارندگی‌ها در بهار، آبیاری در دو مرحله گلدهی و دانه‌بندی به فاصله دو هفته از هم در آزمایش شرایط آبی (بدون تنش) انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک، محصول دو ردیف میانی با حذف اثر حاشیه به‌طور جداگانه برداشت شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، در هر کرت دو ردیف کناری و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای دو ردیف وسط به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته و حذف گردید. بقیه کرت که ۰/۷۵ متر مربع بود برداشت شد و مورد خرم‌ن کوبی قرار گرفت. سپس عملکرد به‌دست آمده برای یک مترمربع محاسبه شد. ویژگی‌های جغرافیایی محل انجام آزمایش در جدول ۲ درج شده است.

عملکرد و عملکرد پایداری در اصلاح جو در مناطق سردسیر در ایران شناسایی شدند (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2023).

در پژوهشی، پایداری عملکرد ۱۶ لاین جو به همراه دو رقم شاهد در طی سه سال و پنج مکان به صورت آزمایش‌های چند-محیطی مطالعه شد. داده‌ها با استفاده از روش GGE-biplot (اثر اصلی ژنوتیپ + اثر متقابل ژنوتیپ و محیط) تجزیه و تحلیل شدند. الگوی کدام ژنوتیپ برای کجا؟ بر اساس میانگین ژنوتیپ‌ها در سه سال برای پنج مکان ترسیم و نتایج شش ابرمحیط را آشکار کرد و ژنوتیپ برتر در مجموعه این محیط‌ها شناسایی گردید (Vaezi *et al.*, 2020).

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط از طریق روش تصویری GGE-biplot برای ژنوتیپ‌های جو در شرایط دیم و آبی و همچنین شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایدار و نیز شناسایی محیط‌های مطلوب بود.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش‌هایی طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳، ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در دو شرایط دیم و آبی در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی با هدف بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و تعیین پایداری عملکرد

جدول ۱- مشخصات ۲۱ ژنوتیپ جو مورد استفاده در آزمایش

شجره ژنوتیپها	تعداد ردیف در سنبله	کد ژنوتیپ
CWB117-77-9-7/ICB-102893//Sonata/3/Victoria/Tirchmir-43	۲	۱
Zarjau/80-5151//Skorohod/3/Robur/WA2196-68//DZ40-66	۶	۲
CWB117-77-9-7//Antares/Ky63-1294/3/CWB117-77-9-7//Hml-02/ArabiAbiad*2	۲	۳
K-334/Sararood-1-1	۲	۴
K-334/Sararood-1-2	۲	۵
K-334/Sararood-1-3	۲	۶
Matnan-01	۶	۷
Baladieldawaia/5/AwBlack/Aths//Arar/3/9Cr279-07/Roho/4/DD-14/Rhn-03	۶	۸
Arta//Sonata/Arta	۲	۹
Roho/4/Zanbaka/3/ER/Apm//Lignee131/5/Otis	۲	۱۰
Tadmor/Tea	۲	۱۱
Rhn-03/Osiris	۶	۱۲
Rhn-03//Lignee527/NK1272/3/Lignee527/Chn-01//Alanda/4/Osiris	۶	۱۳
Alpha/Durra//CWB117-77-9-7/3/SLB05-96	۲	۱۴
Carina/WI2291//WI3257	۲	۱۵
Cerise/Lignee1479//Moroc9-75/PmB/3/JLB37-74/H.spont.41-5//JLB37-74/H.spont.41-5	۲	۱۶
Carina/WI2291//Tantangara	۲	۱۷
SLB05-096/Arta/6/WI2291/4/7028/2759/3/69-82//Ds/Apro/5/Zanbaka/3/ER/Apm//Lignee131	۲	۱۸
ArabiAbiad/Arar//H.spont.41-5/Tadmor/3/Sara	۲	۱۹
ChiCm/An57//Albert/3/Alger/Ceres362-1-1/4/Arta	۲	۲۰
Sararood 1 (Check)	۲	۲۱

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی محل اجرای آزمایش

طول جغرافیایی	۴۷ درجه و ۹ دقیقه
عرض جغرافیایی	۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه
ارتفاع از سطح دریا	۱۳۱۹ متر
متوسط بارندگی	۴۸۰-۴۵۰ میلی متر
بافت خاک	سیلتی رسی
وضعیت آب و هوایی و وضع طبیعی	سرد معتدل، رشته کوه‌های زاگرس شمالی
متوسط درجه حرارت سالیانه	۲۷/۹ و ۳/۲۶ درجه سانتی‌گراد
میزان بارندگی در سال ۹۴-۱۳۹۳	۵۰۳/۲ میلی متر
میزان بارندگی در سال ۹۵-۱۳۹۴	۲۳۲/۷ میلی متر
میزان بارندگی در سال ۹۶-۱۳۹۵	۴۵۶/۱ میلی متر

و تجزیه پایداری با توجه به داده‌های حاصل از شش محیط (سه سال و هر سال در دو مکان آبی و دیم) انجام گرفت. تجزیه واریانس مرکب با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و مکان و تصادفی بودن اثر سال با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد.

مدل آماری طرح به شرح دیل می‌باشد:

$$Y_{ijkl} = \mu + L_j + Y_k + (LY)_{jk} + \tau_i + (L\tau)_{ij} + (Y\tau)_{ik} + (LY\tau)_{ijk} + \beta_{jkl} + e_{ijk}$$

های ویژه محیط z برای PC1 و PC2 هستند (Yan & Tinker, 2006).

به منظور تجزیه سازگاری و بررسی اثر متقابل رقم و محیط، GGE بای پلات به روش مقیاس گذاری محیط نمودار چند ضلعی محور تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تهیه گردید. در این مطالعه، نمودارهای بای پلات بر اساس الگوهای زیر رسم شدند: ۱- کدام ژنوتیپ برای کدام محیط، (Which-win-where) مناسب تر است. ۲- رتبه بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب همزمان عملکرد دانه و پایداری. ۳- رتبه بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس رقم ایده آل. ۴- بررسی روابط بین محیط‌ها بر اساس ژنوتیپ فرضی ایده آل. ۵- رتبه بندی محیط‌ها بر اساس توانایی تمایز و نماینده بودن آنها.

به منظور تجزیه داده‌ها، ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف (Klomagrov smirnov) انجام شد. سپس تجزیه واریانس ساده برای هر صفت در دو شرایط دیم و آبی انجام شد. همچنین جهت انجام تجزیه واریانس مرکب، بررسی یکنواختی واریانس‌ها در محیط‌های مختلف با استفاده از آزمون بارتلت انجام شد. پس از اطمینان از یکنواختی واریانس خطا در آزمایشات مختلف، تجزیه واریانس مرکب که در آن هر مشاهده به ترتیب از سمت چپ برابر میانگین کل ( $\mu$ )، اثرات مکان ( $L_j$ )، سال ( $Y_k$ )، مکان  $\times$  سال ( $(LY)_{jk}$ )، ژنوتیپ ( $\tau_i$ )، مکان  $\times$  ژنوتیپ ( $(L\tau)_{ij}$ )، سال  $\times$  ژنوتیپ ( $(Y\tau)_{ik}$ )، سال  $\times$  مکان  $\times$  ژنوتیپ ( $(LY\tau)_{ijk}$ )، بلوک داخل مکان و سال ( $\beta_{jkl}$ ) و خطا ( $e_{ijk}$ ) می‌باشد. از داده‌های شش محیط برای تجزیه اثر متقابل (برهمکنش) ژنوتیپ و محیط و ترسیم بای پلات‌های مربوط به کمک نرم افزار GGE biplot استفاده شد.

مدل GGE بای پلات به صورت زیر است:

$$\hat{Y}_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \varepsilon_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \varepsilon_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

در این فرمول  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  به ترتیب مقادیر اولین و دومین مؤلفه اصلی PC1 و PC2 هستند.  $\varepsilon_{i1}$  و  $\varepsilon_{i2}$  به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ i برای PC1 و PC2 و  $\eta_{1j}$  و  $\eta_{2j}$  به ترتیب بردار-

را برای یک سال معرفی کرده و این موضوع باعث مشکل شدن گزینش ژنوتیپ‌ها می‌شود (Badooei Delfard *et al.*, 2016). برهمکنش سه جانبه ژنوتیپ و سال و مکان برای عملکرد دانه معنی‌دار گردید ( $p < 0.01$ )، جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و سال و مکان نشان می‌دهد که یک ژنوتیپ در سال‌های مختلف و در دو مکان مورد بررسی، عملکرد متفاوتی داشته است. متوسط شدت تنش در این مطالعه با استفاده از رابطه  $1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}$  محاسبه و ۰/۳۲ برآورد شد. ژنوتیپ‌های که کمترین واکنش به شرایط محیطی نشان دهند و در واقع اثر متقابل ژنوتیپ در محیط کوچک-تری داشته باشند، توسط به‌نژادگران انتخاب می‌شوند (Sing & Pawar, 2010). اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط باعث می‌شود که عملکرد ارقام تحت تأثیر محیط قرار گرفته و ارزش واقعی هر ژنوتیپ را نتوان به درستی برآورد نمود، به-عبارت دیگر این موضوع باعث کاهش همبستگی ارزش ژنوتیپی و فنوتیپی می‌گردد و در نتیجه ژنوتیپ‌های موفق در یک محیط ممکن است در محیط دیگر نمود ضعیف‌تری داشته باشند (Aghaee-Sarbarzeh *et al.*, 2014).

شدت تنش با استفاده از رابطه  $1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}$  محاسبه گردید که در این معادله،  $\bar{Y}_s$  میانگین عملکرد دانه در شرایط دیم و  $\bar{Y}_p$  میانگین عملکرد دانه در شرایط آبی می‌باشد.

## نتایج و بحث

### تجزیه واریانس مرکب

نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳) نشان داد اثر سال برای عملکرد دانه معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). اثر متقابل سال و مکان برای عملکرد دانه، معنی‌دار بود ( $p < 0.01$ ). درآزمایش‌های اجرا شده در مکان و سال‌های مختلف، یکی از مشکلات اساسی ارزیابی ژنوتیپ‌ها، متغیر بودن اثر مکان از سالی به سال دیگر است، که معنی‌دار شدن اثر مکان  $\times$  سال در جدول تجزیه واریانس حاکی از آن است (جدول ۳). اثر ژنوتیپ نیز برای عملکرد دانه معنی‌دار بود ( $p < 0.01$ ). اثر متقابل ژنوتیپ و سال برای عملکرد دانه معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). بدین معنی که ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف از لحاظ عملکرد دانه تفاوت داشتند. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و سال باعث می‌شود نتوان ژنوتیپی

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد در شش محیط برای ۲۱ ژنوتیپ جو

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات عملکرد دانه
سال	۲	۵۳۵۴۴۶۷*
مکان	۱	۹۷۸۴۷۵ <sup>NS</sup>
سال × مکان	۲	۲۵۵۳۲۰**
بلوک در سال و مکان	۶	۱۰۴۶۲
ژنوتیپ	۲۰	۳۶۲۵۰**
ژنوتیپ × سال	۴۰	۱۴۵۰۷*
ژنوتیپ × مکان	۲۰	۶۹۶۷/۷۸ <sup>NS</sup>
ژنوتیپ × سال × مکان	۴۰	۷۶۴۵/۸۹**
خطا	۱۲۰	۳۸۰۷/۷۲
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۹/۱۲

\*، \*\* و <sup>NS</sup> به ترتیب معنی دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیر معنی دار

## GGE بای پلات

## الگوی کدام ژنوتیپ برای کجا

نتایج حاصل از روش GGE بای پلات نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۵۰/۸ و ۲۱/۸ درصد و در مجموع ۷۲/۶ درصد از تغییرات را توجیه کرده‌اند. طبق نظر یان و همکاران (۲۰۰۷) اگر این نمودار حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نماید، می‌تواند برای استخراج ابرمحیطها استفاده شود (Yan et al., 2007). اگر مجموع مؤلفه اصلی اول و دوم نتواند اکثر تغییرات موجود را توجیه نمایند، بیانگر ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است (Yan & Tinker, 2005). اما به معنای غیرمعتبر بودن بای پلات نیست (Yan et al., 2007). شکل (۱) مدل کدام ژنوتیپ برای کجا مناسب است را نشان می‌دهد که برای مشخص کردن بهترین ژنوتیپ در هر محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس این شکل 1:1، 1:2 و 1:3 به ترتیب شرایط آبی در سال ۱۳۹۳، شرایط آبی در سال ۱۳۹۴، شرایط آبی در سال ۱۳۹۵ و 2:1، 2:2 و 2:3 به ترتیب شرایط آبی در سال ۱۳۹۳، شرایط دیم در سال ۱۳۹۴ و شرایط دیم سال ۱۳۹۵ می‌باشد. اعداد نشان دهنده ژنوتیپها می‌باشند. ژنوتیپهای که بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند به وسیله خطوطی به هم متصل شده‌اند و یک چند ضلعی را تشکیل دادند. ژنوتیپهای ۹، ۱۰، ۲۱، ۱۷، ۱۹، ۴، ۷ و ۱ بیشترین فاصله از مرکز بای پلات دارند، بنابراین روی چند ضلعی قرار گرفته‌اند و در زمره واکنش‌پذیرترین ارقام قرار دارند. ژنوتیپ ۲۰ که در مرکز بای پلات قرار دارد

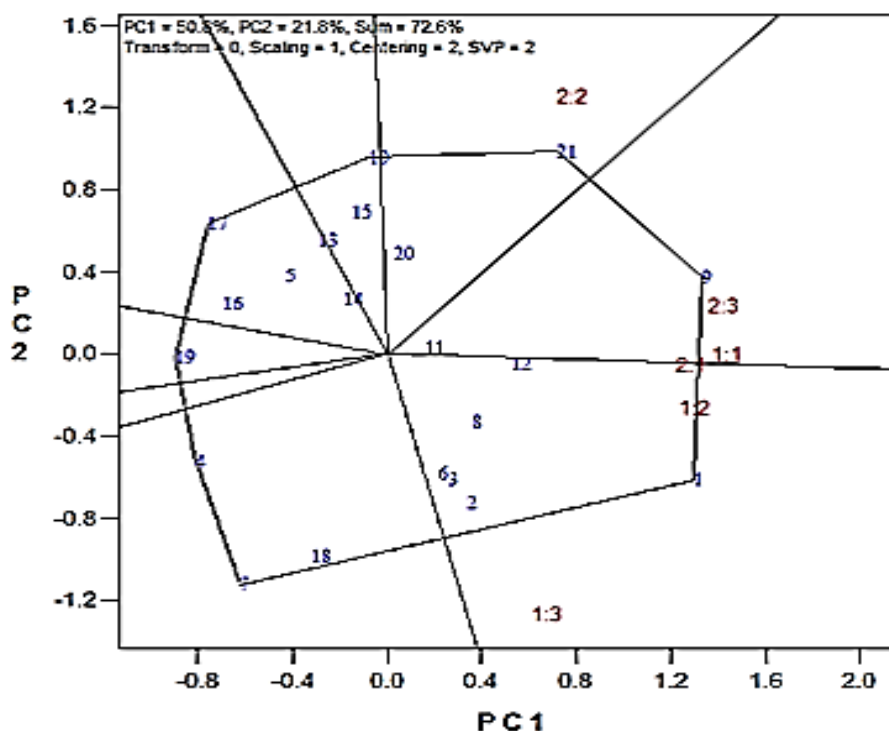
واکنش‌پذیری کمی داشته، در همه محیطها رتبه یکسانی داشته و بنابراین به محیطها واکنش نشان نمی‌دهد (Yan & Tinker, 2006). از هر ضلع این چند ضلعی خطی از مرکز بای پلات عبور می‌کند که این چند ضلعی را به بخش‌هایی تقسیم می‌کند. در هر یک از این بخشها محیطهایی قرار می‌گیرند. محیطهای که در یک قسمت قرار می‌گیرند مشابهند و از آن می‌توان برای معرفی محیطهای بزرگ استفاده نمود (یان و تینکر، ۲۰۰۶). محیطهای که همبستگی زیادی باهم دارند، در این بای پلات به یکدیگر نزدیک‌ترند و بنابراین در یک ابر محیط قرار می‌گیرند. در این شکل، محیطهای 1:3، 1:2 و 2:1 (شرایط آبی سال ۱۳۹۵، شرایط آبی سال ۱۳۹۴ و شرایط دیم سال ۱۳۹۳) در یک قسمت قرار دارند که نشان دهنده شرایط یکسان در این سه محیط است. محیط 1:1 و 2:3 (شرایط آبی سال ۱۳۹۳ و شرایط دیم سال ۱۳۹۵) نیز در یک قسمت قرار دارند که نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۳ در محیط آبی و سال ۱۳۹۵ محیط دیم شرایط (بارندگی، دما و...) تقریباً یکسان بوده است. مقدار بارندگی در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۲۴۲/۲ و ۴۵۶/۱ میلی‌لیتر بوده است.

۱- محیط 2:2 (شرایط دیم در سال ۱۳۹۴): در این محیط ژنوتیپ ۲۱ بیشترین عملکرد را دارد. ۲- محیط 2:3 و 1:1 (شرایط دیم سال ۱۳۹۵ و شرایط آبی سال ۱۳۹۳) ژنوتیپ ۹ بیشترین عملکرد را دارد. ۳- محیط 1:2، 1:1 و 1:3 (شرایط آبی سال ۱۳۹۴، شرایط دیم سال ۱۳۹۳ و شرایط آبی سال ۱۳۹۵) ژنوتیپ ۱ بهترین ژنوتیپ می‌باشد.



در مرکز بای پلات قرار دارد و پایدار است. ژنوتیپ شماره ۱۴ با وجود اینکه دارای پایداری عمومی است، اما دارای عملکرد پایینی است. استفاده از روش GGE برای مقایسات مربوط به سازگاری و پایداری امری مهم است (Hagos & Abay., 2013). این روش مقایسه و معرفی برترین ژنوتیپها را برای هر منطقه تسهیل می‌کند (Sabaghnia *et al.*, 2013; Romena *et al.*, 2022).

ژنوتیپهای ۱۰، ۱۷، ۱۹، ۴ و ۱۷ که به‌عنوان یک ژنوتیپ واقع در راس مطرح هستند، اما بر اساس داده‌های عملکرد (داده‌ها نشان داده نشده) در هیچکدام از محیطها عملکرد خوبی ندارند. ژنوتیپهای که در قسمت مرکزی بای پلات قرار دارند شامل ژنوتیپهای ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۴ و ۲۰ واکنش-پذیری کمتری داشته و بنابراین پایدارند. مثلاً ژنوتیپ ۱۲



Which wins where or which is best for what

شکل ۱- مدل کدام ژنوتیپ برای کجا (Which-win where) برای ۲۱ ژنوتیپ جو در ۶ محیط

ژنوتیپ و محیط ارائه می‌دهد. در دو سر این محور دو پیکان قرار دارد که هر چه به سمت این پیکان برویم پایداری کاهش می‌یابد (Romena *et al.*, 2022). بر اساس شکل (۲) هر چقدر تصویر ژنوتیپها روی محور AEC کوتاه‌تر باشد نشان دهنده پایداری بیشتر آنها است. بر این اساس ژنوتیپهای ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۹ پایداری بالایی دارند. اما ژنوتیپی مدنظر است که به‌طور همزمان عملکرد و پایداری بالایی برخوردار باشند. انتخاب همزمان برای عملکرد و ثبات مهم‌ترین شاخص انتخاب در هر برنامه اصلاحی است (Khanzadeh *et al.*, 2018). این امر به خوبی در شکل (۳) قابل بررسی است. با توجه به شکل (۳) ژنوتیپها بر اساس فاصله آنها از ژنوتیپ ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند. ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپی است که میزان پایداری و عملکرد بالایی داشته باشد. یک ژنوتیپ ایده‌آل، یک ژنوتیپ

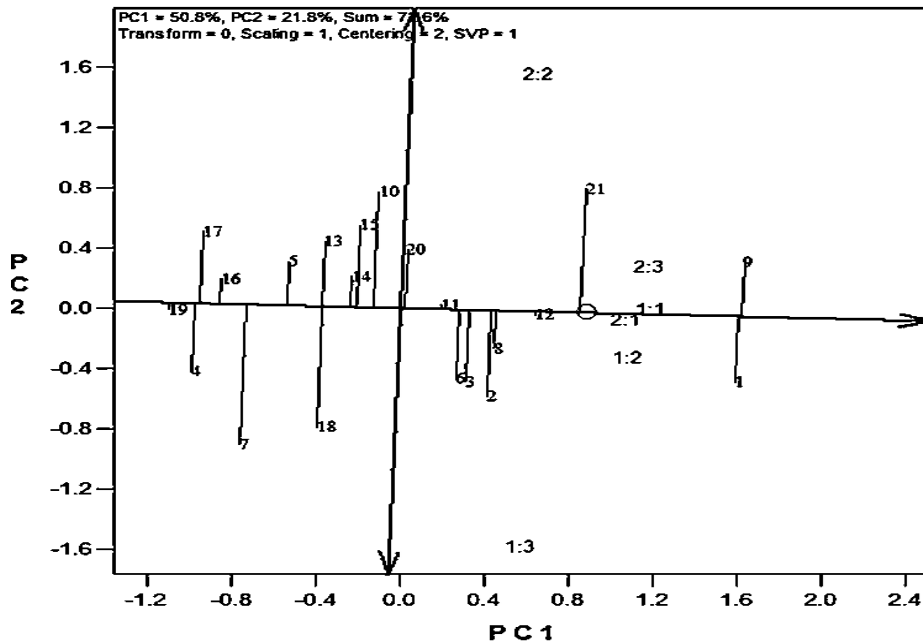
### بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپها

شکل (۲) بهترین ژنوتیپها را از لحاظ عملکرد و پایداری نشان می‌دهد. نمایش میانگین و پایداری ژنوتیپها از طریق ترسیم یک مختصات محیط متوسط (Average environment Coordination) در بای پلات حاصل می‌شود. خطی که از محور بای پلات و محیط متوسط عبور می‌کند همان محور متوسط یا AEC است. تصاویر ژنوتیپ-های بر روی این محور همبستگی بالایی با اثر اصلی ژنوتیپ دارد. پیکانی که در یک انتهای این محور قرار دارد جهت افزایش عملکرد را نشان می‌دهد. خطی نیز از مبدأ بای پلات عبور می‌کند و عمود بر محور AEC است این خط مستقل از محور AEC است و همانطور که محور AEC برآوردی از اصلی ژنوتیپ است این محور هم برآوردی از اثر متقابل

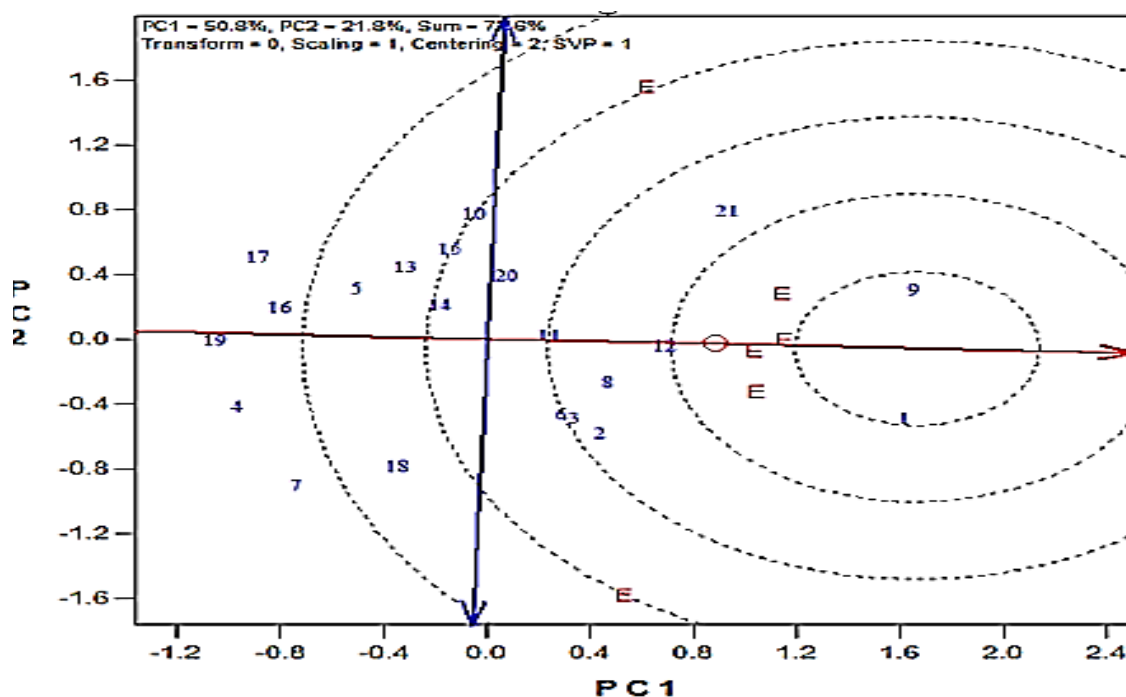
دارد. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری به صورت زیر خواهد بود:

G9>G1>G21>G12>G8>G2>G3>G6>G11>G20>G14>G15>G10>G13>G5>G18>G16>G7>G4>G19>G17

فرضی است که دارای بالاترین عملکرد و ثبات است و در مرکز حلقه‌های متمرکز موجود واقع شده است. این ژنوتیپ همچنین می‌تواند برای ارزیابی سایر ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Karami *et al.*, 2018). در این مدل ژنوتیپ ایده‌آل روی محور AEC و در مرکز دایره متحدالمرکز قرار



شکل ۲- مدل بررسی پایداری و عملکرد ۲۱ ژنوتیپ بر اساس مختصات محیط متوسط

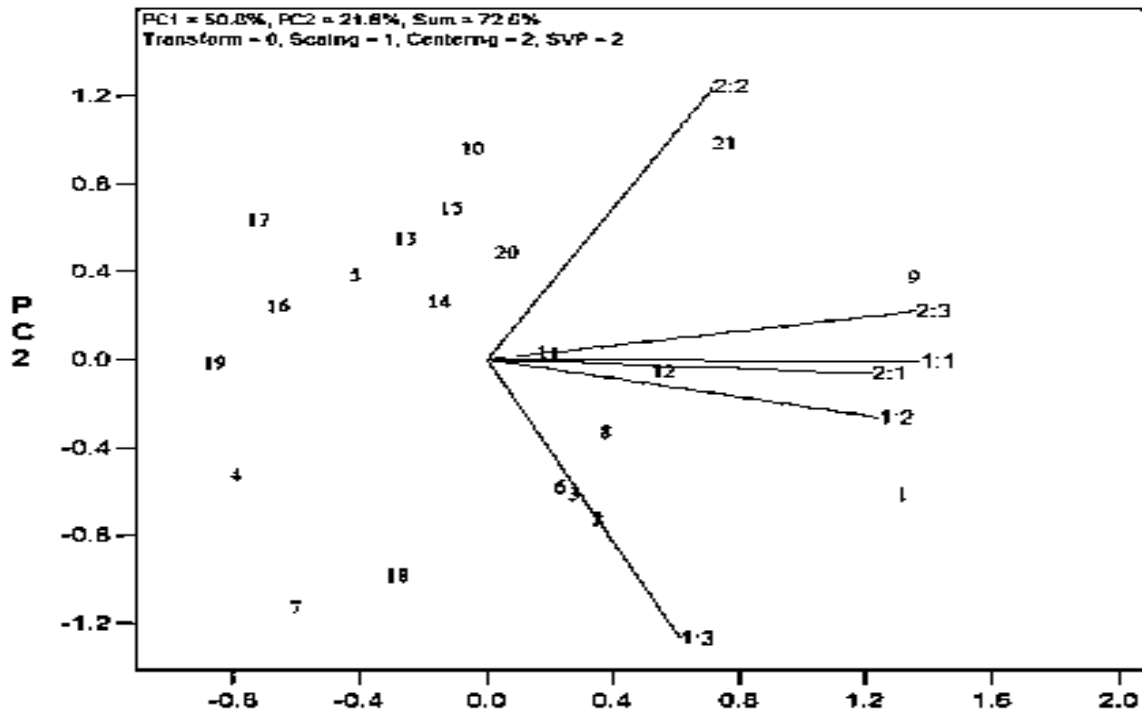


شکل ۳- رتبه‌بندی ۲۱ ژنوتیپ جو براساس رقم ایده‌آل

پژوهش را کاهش داد (Karami *et al.*, 2018). باتوجه به شکل ۴ بین دو محیط 2:3 و 1:1 و 2:1 و 1:2 به ترتیب (دیم سال ۱۳۹۵، آبی سال ۱۳۹۳ و دیم سال ۱۳۹۳، آبی سال ۱۳۹۴) همبستگی مثبت و بالای وجود دارد که به معنای وجود همبستگی بالا بین رتبه ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها است. همچنین همبستگی مثبت و بالا این محیط-ها نشان دهنده شرایط تقریباً مشابه این محیط‌ها می‌باشد. بین محیط 2:2 و 1:3 (به ترتیب دیم سال ۱۳۹۴ و آبی سال ۱۳۹۵) همبستگی منفی و بالایی وجود دارد (شکل ۴). این امر نشان دهنده عدم وجود همبستگی بین رتبه ژنوتیپ‌ها در این دو محیط است. به‌طور کلی بر اساس این مدل می‌توان شش محیط مورد بررسی را به سه محیط تقسیم‌بندی کرد: ۱- محیط اول شامل 2:2 و 2:3 (دیم سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) ۲- محیط دوم شامل 1:1 و 2:1 (آبی و دیم سال ۱۳۹۳) ۳- 1:2 و 1:3 (آبی سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵). در محیط دوم دو محیط 1:1 و 2:1 در کنار هم قرار دارند که نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۳ احتمالاً به علت بارندگی زیاد و عوامل دیگری مثل دمای هوا، شرایط دیم سال ۱۳۹۳ به شرایط آبی سال ۱۳۹۳ نزدیک شده است. بررسی همبستگی بین محیط‌های مورد آزمایش، روابط بین محیط‌ها را آشکار می‌کند. در محیط‌هایی که با یکدیگر

**بررسی روابط میان محیط‌ها (ترکیب سال و مکان‌ها)**  
 شکل (۴) روابط بین محیط‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل محیط‌ها از طریق بردارهایی به مبدأ بای‌پلات متصل می‌شوند. در این حالت کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط، برآوردی از میزان همبستگی بین آن‌ها خواهد بود. کسینوس صفر برابر ۱، کسینوس ۹۰ برابر ۰ و کسینوس ۱۸۰ برابر -۱ است. بنابراین اگر زاویه بین دو بردار کمتر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت است. اگر زاویه بین دو بردار ۹۰ درجه باشد (دو محور برهم عمود باشند) باشد بین محیط‌ها همبستگی وجود ندارد و دو محیط از هم مستقل هستند. اگر زاویه بین دو بردار از ۹۰ درجه بیشتر باشد بین دو محیط همبستگی منفی وجود خواهد داشت (Ali *et al.*, 2018) (Koocheki *et al.*, 2012; Tsige *et al.*, 2020; Vaezi *et al.*, 2020, Zali *et al.*, 2023) مختلف مثل جو (Shiri and Bahrampour, 2015) گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2011)، گلرنگ (Jamshidi- Mogaddam & Pourdard, 2013) و گندم (Romena *et al.*, 2022) انجام شده است. هنگام انجام آزمایش‌ها، با تعیین همبستگی بین محیط‌ها می‌توان محیط‌های مشابه را شناسایی و حذف کردن بدین ترتیب می‌توان هزینه‌های

همبستگی دارند، می‌توان آزمایش‌ها را فقط در یک محیط اجرا کرد و نتایج حاصله را به سایر محیط‌ها تعمیم داد (Yan & Kang, 2003).



شکل ۴- روابط میان ۶ محیط (1:1، 1:2، 1:3 به ترتیب شرایط آبی در سال اول، شرایط آبی در سال دوم، شرایط آبی در سال سوم و 2:1، 2:2 و 2:3 به ترتیب شرایط دیم در سال اول، شرایط دیم در سال دوم و شرایط دیم سال سوم)

در هر دو شرایط دیم و آبی می‌توانند پتانسیل عملکردی خود را نشان داده و از یکدیگر متمایز گردند. یکی دیگر از معیارهای مهم در ارزیابی محیط‌های آزمون میزان نماینده بودن آن‌ها است. بر این اساس محیطی مناسب است که نمونه یا نماینده‌ای از محیط هدف باشد. اگر یک محیط آزمون نمایانگر محیط هدف نباشد نه تنها بی‌فایده است، بلکه می‌تواند اطلاعات گمراه‌کننده‌ای در مورد ارقام مورد بررسی ارائه کند. برای این منظور در بای‌پلات، یک محیط متوسط به‌عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود. هر چه محیط‌ها به این محیط متوسط نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده نماینده بودن بیشتر آن خواهد بود. خطی که از مبدأ بای-پلات و محیط متوسط می‌گذرد محور AEC نام دارد. زاویه بین بردار هر محیط با محور AEC معیاری برای شناسایی محیط نمونه است. بر اساس شکل (۵) به‌ترتیب محیط‌های 1:1، 1:2 و 2:1 (آبی سال ۱۳۹۳، دیم سال ۱۳۹۳ و آبی سال ۱۳۹۴) کمترین زاویه با محور AEC داشته و در نتیجه نماینده محیط متوسط هستند. بر اساس شکل نوک پیکان

#### رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس توانایی تمایز و نماینده بودن آن‌ها

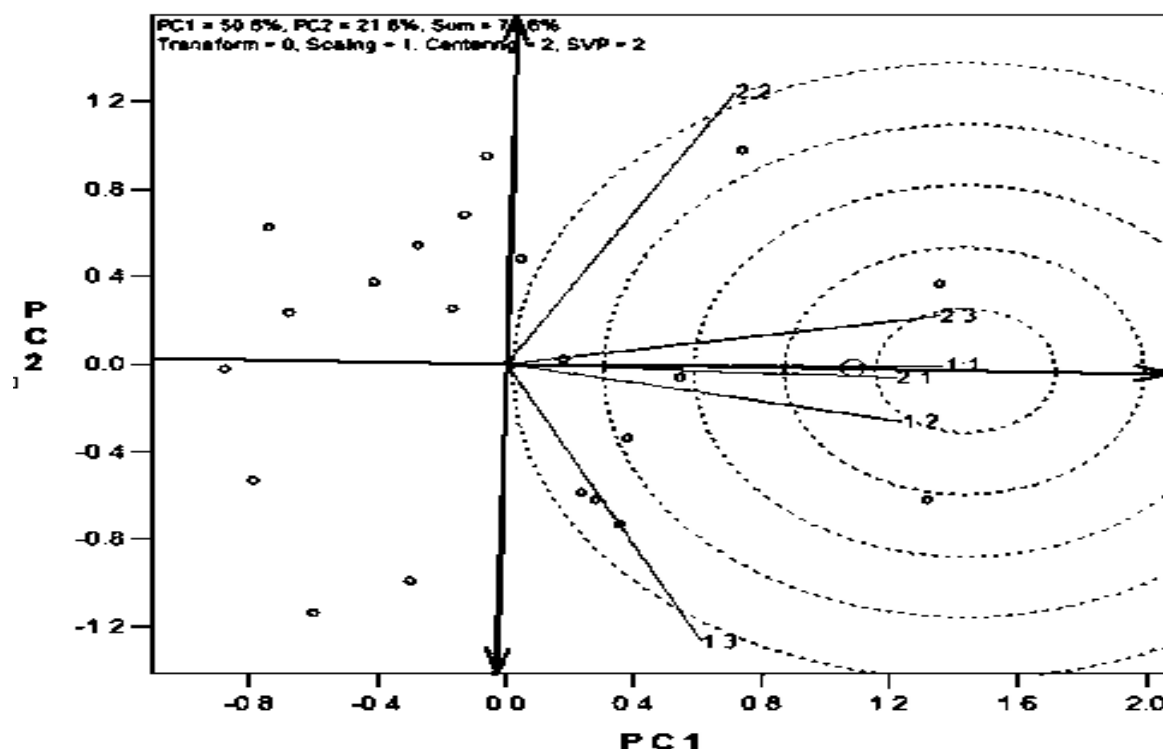
یکی از معیارهای مهم در ارزیابی محیط‌ها توانایی تمایز آن‌ها است. محیطی که فاقد توانایی تمایز باشد هیچ نوع اطلاعاتی درباره ارقام فراهم نمی‌کند. در نتیجه این محیط آزمون قابل استفاده نخواهد بود. یکی از ویژگی‌های مدل بای‌پلات طول بردارهای محیطی است که انحراف استاندارد درون هر محیط را برآورد می‌کند. که این امر معیاری از توانایی تمایز محیط خواهد بود. هر چه طول بردار یک محیط بیشتر باشد قدرت تمایز آن محیط بیشتر خواهد بود (Yan and Tinker, 2006). قابلیت تمایز یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط بوده، به‌طوری که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ارقام ارائه نمایند (Yan and Kang, 2003). بر اساس شکل ۵ محیط‌های 2:2، 2:3 و 1:3 (دیم سال ۱۳۹۴، دیم سال ۱۳۹۵ و آبی سال ۱۳۹۵) قدرت تمایز بیشتری نسبت به دو محیط دیگر دارند که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی

محیط با محور AEC معیار شناسایی محیط نمونه است متمایز کننده‌ترین و نماینده‌ترین محیط است. بعد از آن به ترتیب محیط‌های 1:2، 2:3، 2:2 و 1:3 (دیم سال ۱۳۹۳، آبی سال ۱۳۹۴، دیم سال ۱۳۹۴، دیم سال ۱۳۹۴ و آبی سال ۱۳۹۵) دارای زاویه بیشتری با محیط متوسط بوده و مطلوبیت کمتری نسبت به محیط 1:1 (آبی سال ۱۳۹۴) دارند.

که مرکز دواير متحدالمركز است، محیط ایده‌آل را نشان می‌دهد که به‌عنوان تمایز کننده‌ترین و نمایانگرترین محیط در بین همه‌ی محیط‌های آزمون تعریف می‌شود. با توجه به شکل مطلوبیت محیط‌ها به‌صورت زیر خواهد بود.

$$2 > 2:3 > 2:2 > 1:3 > 1:1 > 2:1 > 1$$

در نتیجه می‌توان گفت که در بین محیط‌ها 1:1 (آبی سال ۱۳۹۳) به علت نزدیکی به محور AEC (محیط متوسط) دارای زاویه کمتری بوده و از آنجایی که زاویه بین بردار هر

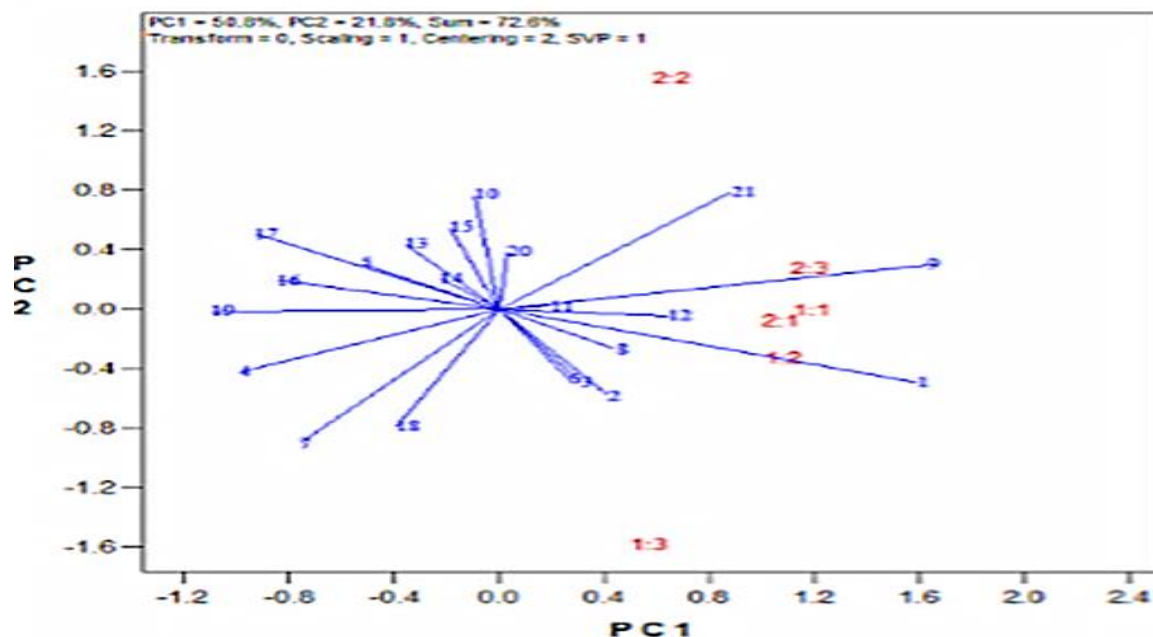


شکل ۵- رتبه‌بندی محیط‌ها از لحاظ قدرت تمایز و نمایندگی براساس محیط ایده‌آل

### بررسی روابط میان ژنوتیپ‌ها

شکل ۶ نشان دهنده رابطه بین ژنوتیپ‌هاست. در این شکل هریک از ژنوتیپ‌ها به وسیله خطی به مرکز بای پلات وصل شده‌اند. زاویه بین دو ژنوتیپ ۹۰ درجه، دو ژنوتیپ مستقل، زاویه کوچک‌تر از ۹۰ رابطه مثبت بین دو ژنوتیپ و زاویه بزرگ‌تر از ۹۰ درجه بین دو ژنوتیپ رابطه منفی در نظر گرفته‌شد. طول محور هر ژنوتیپ که تفاوت هر ژنوتیپ از مرکز بای پلات را نشان می‌دهد، مقیاسی از تفاوت هر ژنوتیپ از ژنوتیپ متوسط در نظر گرفته‌شد که این تفاوت می‌تواند ناشی از G و GE و یا هر دو آن‌ها باشد. ژنوتیپ‌های که در مرکز بای پلات قرار داشتند، سهم کمی در G و GE و ژنوتیپ‌های که طول محور آن‌ها بیشتر بود، سهم بیشتری در G یا GE داشتند (Yan & Tinker, 2006). بر این اساس و با توجه به شکل (۶) ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۱، ۱۲، ۱، ۸، ۲، ۳ و ۶ چون زاویه بین آن‌ها حاده است، دارای همبستگی مثبت و بالایی هستند. با توجه به این که این ژنوتیپ، ژنوتیپ‌هایی هستند که از لحاظ عملکرد و پایداری هم مطلوب هستند لذا این موضوع تأییدی بر این واقعیت است که رابطه‌ی مثبت بین ژنوتیپ‌ها نشان دهنده این است که ژنوتیپ‌ها رفتار مشابهی در محیط‌های مختلف دارند. در مقابل زاویه‌ی بین ژنوتیپ شماره ۲ و ۳ با ژنوتیپ شماره ۱۳ و ۱۴ منفی است که نشان دهنده‌ی آن است که بین این ژنوتیپ‌ها رابطه منفی وجود دارد. قرار گرفتن ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۱۴، ۱۷، ۱۶، ۱۹، ۴، ۷، ۱۳ در زمره ژنوتیپ‌های نامطلوب به نوعی تأیید کننده همبستگی منفی آن‌ها با ژنوتیپ‌های مطلوب است. این مطلب با توجه به منفی بودن کسینوس زاویه بین ژنوتیپ‌های نامطلوب با ژنوتیپ‌های مطلوب به خوبی قابل درک است در واقع ژنوتیپ‌های ۱، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱، ۸، ۲، ۳ و ۶ ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۱۴، ۱۷، ۱۶، ۱۹، ۴، ۷ و ۱۳ رفتار متفاوتی در محیط‌های مختلف دارند و در جهت عکس یکدیگر عمل می‌کنند. عمود بودن زاویه بین دو ژنوتیپ نشان دهنده عدم وجود رابطه بین ژنوتیپ‌های مورد نظر است (Yan and Tinker, 2006). بنابراین زاویه بین محور دو ژنوتیپ ۸ و ۱۸، ۲، ۷ و ۱۲ به زاویه ۹۰ نزدیک است و بنابراین این دو ژنوتیپ از هم مستقل هستند به این معنا که در محیط‌های مختلف عکس‌العمل متفاوتی بروز می‌دهند. اما

همانطور که گفته شد طول محور هر ژنوتیپ نشان دهنده اثرات G و GE را نشان می‌دهد. اگر محور AEC را در نظر بگیریم در شکل (۶) زاویه بین ژنوتیپ‌های شماره ۹ و ۱ با محور AEC کمتر از ۹۰ (حاده) درجه می‌باشد که این امر نشان می‌دهد، بلند بودن طول محور این دو ژنوتیپ متأثر از اثر ژنوتیپ است که با توجه به مثبت بودن کسینوس این زاویه، افزایش عملکرد به علت افزایش اثر G قابل استنباط است. در واقع در مورد این دو ژنوتیپ می‌توان گفت اثر GE کم بوده که این نیز تأییدی بر پایداری این دو ژنوتیپ خواهد بود. هر چه زاویه بین محور یک ژنوتیپ با محور AEC بیشتر شود سهم اثر G کم می‌شود. ژنوتیپ شماره ۸ و ۹ زاویه حدود ۴۵ درجه با محور AEC دارند که نشان می‌دهد طول محور این ژنوتیپ‌ها به‌طور مساوی منعکس کننده اثر G و GE است. زاویه بین ژنوتیپ ۲۰ و محور AEC ۹۰ (حاده) درجه است که نشان می‌دهد طول محور این ژنوتیپ فقط بیانگر اثر GE است. بنابراین می‌توان گفت در این ژنوتیپ اثر متقابل سهم زیادی دارد و لذا ناپایدار است. در آزمایشی ده ژنوتیپ گندم نان در پنج منطقه، با استفاده از روش AMMI و GGE بای پلات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه اختلاف معنی‌داری را میان ژنوتیپ‌ها، مکان‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نشان داد. نتایج روش مذکور در این تحقیق دو نوع گندم را برای محیط‌های بزرگ شناسایی کرد (هیگز و آبی، ۲۰۱۳). در بررسی دیگر ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در پنج منطقه متفاوت طی سه سال با استفاده از GGE بای پلات، سه ژنوتیپ برتر را برای سه محیط نشان داد (صباغ‌نیا و همکاران، ۲۰۱۳). محققین زیادی از روش گرافیکی GGE بای پلات به‌منظور تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در گیاهان زراعی مختلف مثل گندم (Mohamed, 2013; Karami et al., 2015; Kendal, 2016; Meng et al., 2018) (Solonechnyi 2016) استفاده کرده‌اند. استفاده از روش‌های چندمتغیره برای مطالعه اثر، متقابل ژنوتیپ × محیط یک راهکار قوی و سودمند است، زیرا ماهیت چندبعدی و پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به خوبی تحلیل می‌کند. روش GGE بای پلات بابه‌گیری از روش‌های چندمتغیره و رسم نمودارهای دو بعدی، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، تفسیر نتایج را تسهیل می‌نماید و از این‌رو یک روش کارآمد برای تجزیه پایداری است.



شکل ۶- روابط میان ۲۱ ژنوتیپ جو با استفاده از دو مؤلفه اصلی اول و دوم

ژنوتیپ‌ها در روش GGE بای پلات، ژنوتیپ‌های ۵، ۹، ۱۱ و ۱۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در تمامی محیط‌ها تشخیص داده شدند. به طور کلی ژنوتیپ ۹ براساس تمامی روش‌ها، ژنوتیپی پایدار و با عملکرد بالا شناسایی شد. محیط آبی سال ۱۳۹۳، به علت نزدیکی به محیط متوسط، به‌عنوان متمایز کننده‌ترین محیط شناسایی شد. براساس الگوی کدام ژنوتیپ برای کجا (Which-win where)، ژنوتیپ‌های شناسایی شده برای هر محیط به شرح زیر می‌باشند: در شرایط دیم در سال ۱۳۹۴ ژنوتیپ ۲۱، در شرایط دیم سال ۱۳۹۵ و شرایط آبی سال ۱۳۹۳، ژنوتیپ ۹ و در شرایط آبی سال ۱۳۹۴، شرایط دیم سال ۱۳۹۳ و شرایط آبی سال ۱۳۹۵، ژنوتیپ ۱ بهترین عملکرد را دارا بودند.

#### سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی در راستای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

#### نتیجه‌گیری کلی

انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس نتایج تجزیه مرکب و مقایسه میانگین عملکرد دانه کافی نبوده و باید برای تعیین درجه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها از روش‌های مختلف تجزیه پایداری استفاده کرد. استفاده از روش‌های چندمتغیره برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، یک راهبرد قوی و سودمند است زیرا ماهیت چندبعدی و پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به خوبی تحلیل می‌نماید. روش GGE بای پلات و نمودارهای دو بعدی آن در این پژوهش، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، تفسیر نتایج را تسهیل نمود و به عنوان یک روش مناسب و کارآمد برای تجزیه پایداری در جو پیشنهاد می‌شود.

براساس روش کدام ژنوتیپ برای کجا در روش GGE بای-پلات، ژنوتیپ‌های ۱، ۴، ۷، ۹، ۱۰، ۱۷، ۱۹ و ۲۱ براساس بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها و نیز روابط بین

## منابع

- Abarnak, S., Zarei, L., & Cheghamirza, K. (2018). Evaluation of some important agronomic and physiological traits in barley cultivars in rainfed conditions. *Crop Physiology Journal*, 9 (36), 63-41. (In Persian).
- Aghaee-Sarbarzeh, M., Dastfal, M., Farzadi, H., Andarzian, S. B., Shahbaz Pourshchebazi, A., Ali, M., Elsadek, A., & Salem, E. M. (2018). Stability parameters and AMMI analysis of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Egyptian Journal of Agronomy*, 40(1), 59-74.
- Badooei Delfard, R., Mostafavi, K., & Mohammadi, A. (2017). Genotype-environment interaction and yield stability of winter barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Breeding*, 8(20), 106-99. (In Persian)
- Fekadu, W., Mekbib, F., Lakew, B., & Haussmann, B.I. (2023). Genotype  $\times$  environment interaction and yield stability in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in the central highland of Ethiopia. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 26(2), 119-133.
- Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58, 453-467.
- Ghazvini, H., Bagherikia, S., Pour-Aboughadareh, A., Sharifalhossaini, M., Razavi, S.A., Mohammadi, S., GhasemiKalkhoran, M., Fathihafshejani, A., & Khakizade, G. (2022). GGE biplot analysis of promising barley lines in the cold regions of Iran. *Journal of Crop Improvement*, 36(4), 461-472.
- Jamshidi-Moqadam, M., & Purdad, S.S. (2013). Evaluation of the stability of grain yield of spring safflower genotypes using non-parametric criteria and GGE method of bayflat in dryland conditions. *Journal of Seed and Plant Seedlings*. 29 (1), 45-63. (In Persian)
- Hagos, H. G., and Abay, F. (2013). AMMI and GGE biplot analysis of bread wheat genotypes in the northern part of Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, 1(1), 12-18.
- Karami, E., Arshadi, A., Sartip, A., Zare, M., & Rezaabakhsh, P. (2018). Genotypes performance in relation to drought tolerance in barley using multi-environment trials. *Agronomy Research*, 16(1), 5-21.
- Kendal, E. 2016. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials in barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*, 2(1), 90-99.
- Khanzadeh, H., Vaezi, B., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hosseinpor, T., & Shahbazi, K. (2018). Grain yield stability of barley genotypes in uniform regional yield trails in warm and semi warm dry land area. *Indian Journal of Agricultural Research*, 52(1), 16-21.
- Koocheki, A., Sorkhi, B., & EslamzadehHesari, M.R., 2012. Study on stability of elite barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes for cold regions of Iran using AMMI method. *Cereal Research*. 2 (4), 261-249. (In Persian)
- Meng, Y., Ren, P., Ma, X., Li, B., Bao, Q., Zhang, H., & Wang, H. (2016). GGE biplot-based evaluation of yield performance of barley genotypes across different environments in China. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(2), 533-543.
- Mohammadi, R., Sadeghzadeh, D., Armion, M., & Ahmadi, M. (2011). Analysis of stability and adaptability of grain yield in durum wheat genotypes. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*. 91, 70-87. (In Persian)
- Mohamed, N.E. (2013). Genotype by environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 7(5), 150-157.
- Mortazavian, S. M. M., Nikkhah, H. R., Hassani, F. A., Sharif-al-Hosseini, M., Taheri, M., and Mahlooji, M. 2014. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3), 609-622.
- Pour-Aboughadareh, A., Ghazvini, H., Jasemi, S.S., Mohammadi, S., Razavi, S.A., Chaichi, M., Ghasemi Kalkhoran, M., Monirifar, H., Tajali, H., Fathihafshjani, A. (2023). Selection of high-yielding and stable genotypes of barley for the cold climate in Iran. *Plants*, 12(13), 2410.
- Rezaei-Kolo, S., Khodarahmi, M. Mostafavi, K., 2012. Study of traits in different barley types using factor analysis under terminal drought stress and without stress conditions. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 3(8), 149-160. (In Persian)
- Romena, M.R., A. Najaphy, M. Saeedi, M. Khoramivafa. (2022). Genotype by environment interaction analysis for grain yield of wheat in irrigated and rain-fed mega-environments using AMMI and GGE bipolt models. *Genetika*, 54 (3): 1447-1463.
- Sabaghnia, N., Karimizadeh, R., & Mohammadi, M. (2013). GGE biplot analysis of durum wheat (*Triticum turgidum* spp. *durum*) yield in multi-environment trials. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(4), 756-765.
- SadeghzadehAhari, D., Hosseini, S. K., Hosseinpor, T., Jafarabai, J. A., Khalilzadeh, Gh., Alizadeh-Dizaj, Kh. (2005). Study on adaptability and stability of grain yield in durum wheat lines in warm and semi-warm dryland areas. *Journal of Seedlings and Seeds*, 21, 561-576. (In Persian)
- Shiri, M, and Bahrapour, T., 2015. Genotype  $\times$  environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Journal of Cereals Research*, 5 (1), 83-94. (In Persian).



- Singh, S., & Pawar, I.S. (2010). Theory and application of biometrical genetics. CBS Publishers and Distributors.
- Solonechnyi, P., Vasko, N., Naumov, A., Solonechnaya, O., Vazhenina, O., Bondareva, O., and Logvinenko, Y. (2015). GGE biplot analysis of genotype by environment interaction of spring barley varieties. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(4), 431.
- Taghizadeh, A., Sorkhilalehloo, B. Nakhjavan, S. (2016). Study on stability of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) using multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding*, 8, 17-87. (In Persian)
- Tsige, T., Shiferaw, T., Gezahegn, S., & Taye, K. (2020). Assessment of malt barley genotypes for grain yield and malting quality traits in the central highlands of Ethiopia. *Assessment*, 10(20). doi: 10.7176/JBAH/10-20-01.
- Taherian M., Nikkhah, H. R., Aghnoum, R., Sharifi Alhoseini, M., Mahlooji, M., Taheri Mazandarani, M., Tabataei, S. A. and Hasani, F. 2022. Graphical analysis of grain yield stability for selection of superior barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in temperate regions of Iran. *Iranian Journal of Crop Science*, 24 (1), 78-64. (In Persian)
- Vaezi, B., Maleki, H. H., Ahmadi, A., Mehraban, A., Mohammadi, R., Sabzi, Z., Sabaghnia, N. 2020. Interpretation of genotype  $\times$  environment interaction for grain yield of barley using GGE biplot method. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 10(2), 109-119.
- Vargas, M., Crossa, G., Sayre, K., Reynolds, M., Ramirez, M., & Talbot. (1998). Interpreting genotype environment and interaction in wheat by partial least squares resiation. *Crop Science*, 38, 67-689.
- Yan, W. 2000. GGE biplot windows application for graphical analysis of multi environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, 93(5), 1111-1118.
- Yan, W., Rajcan, I. (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42, 11-20.
- Yan, W., & Kang, M.S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press, Boca Raton, FL.
- Yan, W., & Tinker, N.A. (2005). An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype  $\times$  environment interaction. *Crop Science*, 45(3), 1004-1016.
- 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.
- 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.
- Zali, H., Barati, A., Lakzadeh, I., Koohkan, S., Alt Jafarby, J., Hosseinpour, A., & Kheirgo, M. (2022). Study of grain yield stability of barley promising lines in warm regions using GGE biplot. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(1), 65-78.

## GGE Biplot analysis of genotype $\times$ environment interaction in barley genotypes

Parvaneh Latifi<sup>1</sup>, Abdollah Najaphy<sup>\*2</sup>, Leila Zarei<sup>3</sup>

1. MSc. graduate, Department of Plant production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Assistant Professor, Department of Plant production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 01-03-2024

Accepted: 21-05-2024

### Abstract

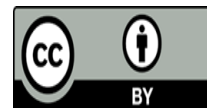
The interaction between the genotype and the environment creates complexity in yield prediction and is a challenge for breeding programs. The aim of this study was to investigate the genotype  $\times$  environment interaction and study the grain yield stability of 21 barley genotypes using the GGE biplot model. The experiment was carried out in randomized complete block designs with two replications during 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017 growing seasons under rain-fed and irrigation conditions (a total of six environments). The combined analysis of variance for grain yield showed a significant difference for year, genotype, genotype  $\times$  year, year  $\times$  location and year  $\times$  location  $\times$  genotype. The results of stability analysis by GGE biplot showed that the two first components of GGE biplot explained 72.6% of total grain yield variation. The polygon view of GGE biplot showed three superior genotypes and suitable genotypes in each mega-environment. Based on the biplot patterns, the genotypes 19 was the most unstable accession, whereas genotypes 9 and 1 were identified as stable genotypes, which suggests the superiority of these genotypes compared to the other genotypes. The irrigation environment in 2014 was identified as the most distinctive and representative environment due to its proximity to the average environment

**Keywords:** Graphical display, mega-environment, rainfed conditions, yield stability

**Citation:** Latifi, P., Najaphy, A., & Zarei, L. (2024). GGE Biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction in barley genotypes. *Plant Production and Genetics*, 5(1), 47-64. <https://doi.org/10.22034/PLANT.2024.141045.1090>.

#### Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



\*Corresponding Author Email: [anajafi@razi.ac.ir](mailto:anajafi@razi.ac.ir)