

بررسی پایداری عملکرد و سازگاری ژنوتیپ های امیدبخش جو دیم در اقلیم سرد کشور

Investigating the Yield Stability and Adaptability of Promising Rainfed Genotypes in the Cold Climate of the Country

فرهاد آهک پز^۱، علی اکبر اسدی^{۲*}، الیاس نیستانی^۳، عبدالوهاب عبدالمهی^۴، محمد شریف خالیدیان^۵، صابر صیف امیری^۶، هومن محمدی^۷، غلامرضا خلیل زاده^۸

۱. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.
۲. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران (نگارنده مسئول)
۳. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بجنورد، ایران.
۴. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرآورد، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۵. کارشناس بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.
۶. مربی بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.
۷. کارشناس بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
۸. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۶ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/aj.2024.363914.1663

چکیده

آهک پز. ف.، اسدی، ع. ا.، نیستانی، ا.، عبدالمهی، ع.، خالیدیان، م.، صیف امیری، ص.، محمدی، ه.، خلیل زاده، غ.، بررسی

پایداری عملکرد و سازگاری ژنوتیپ های امیدبخش جو دیم در اقلیم سرد کشور

نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۶- شماره ۲- پیاپی ۱۳۹ تابستان ۱۴۰۲ صفحه: ۷۴-۱۰۲

جو دیم به طور عمده در نواحی معتدل سرد ایران کشت می گردد که قسمت زیادی از سطح زیر کشت آن با مشکل کمبود بارش و عدم پراکنش مناسب مواجه می باشد. با توجه به این که ژنوتیپ های مختلف، عکس العمل های متفاوتی نسبت به شرایط محیطی مختلف نشان می دهند لذا ارزیابی عکس العمل ژنوتیپ ها در مواجهه با تغییرات محیطی موضوع مهمی در انتخاب ژنوتیپ های اصلاحی می باشد. به منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ های جو با استفاده از روش های چند متغیره به منظور ارزیابی ژنوتیپ ها، محیط ها و روابط بین آن ها، این تحقیق با ۱۲ ژنوتیپ امیدبخش جو، به همراه ۳ رقم شاهد در شرایط دیم و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه های تحقیقاتی واقع در مناطق سردسیر و معتدل سرد کشور در سه فصل زراعی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ انجام گرفت. جهت بررسی پایداری ژنوتیپ ها، از روش های AMMI و GGE biplot استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات ساده و متقابل در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بودند. تجزیه AMMI نشان داد که ژنوتیپ های G14، G10 و G9 دارای اثر متقابل پایینی بوده و با عملکردی نزدیک به میانگین می توانند به عنوان ژنوتیپ های با سازگاری عمومی معرفی شوند. در مقابل ژنوتیپ های G1، G2، G4 و G13 با دارا بودن بیشترین عملکرد به عنوان ژنوتیپ هایی با سازگاری خصوصی معرفی شدند. براساس شاخص انتخاب هم زمان نیز ژنوتیپ های G1، G11، G2، G13 و G3 به عنوان ژنوتیپ های پایدار با عملکرد بالا انتخاب شدند. براساس روش GGE biplot ژنوتیپ G9 دارای بیشترین پایداری عمومی بود و در مرحله بعد، ژنوتیپ های G11، G2، G4، G1 و G13 دارای بالاترین عملکرد با پایداری نسبتاً کمتر قرار داشتند. در این روش نیز ژنوتیپ های G9، G2 و G11 به عنوان ژنوتیپ های سازگار معرفی شدند. با توجه به نتایج دو تجزیه می توان ژنوتیپ G9 را به عنوان پایدارترین ژنوتیپ و ژنوتیپ های G1، G11، G2، G13 و G3 را به عنوان ژنوتیپ های با سازگاری و عملکرد بالا معرفی کرد.

واژه های کلیدی: تجزیه AMMI، تجزیه GGE biplot، شاخص گزینش هم زمان

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: asadopm@gmail.com

مقدمه

جو *Hordeum Vulgare* L. گیاهی با سازگاری اکولوژیکی بالا نسبت به سایر گیاهان خانواده غلات و دامنه تحمل وسیع تر نسبت به تنش های محیطی از جمله خشکی، شوری و شرایط قلیایی خاک است. این ویژگی ها جو را به مدلی ایده آل برای پژوهش های مختلف تبدیل کرده است. (Koocheki et al., 2012a) این گیاه برای تولید محصول اقتصادی در مقایسه با گندم به آب کمتری نیاز دارد و در مناطقی با حداقل بارندگی، یعنی از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی متر، قابلیت کشت دارد (Gan et al., 2015; Akar et al., 2007). جو در مقایسه با گندم، مقاومت بیشتری به شرایط نامساعد (از قبیل بافت، میزان شوری و حاصلخیزی) داشته و در این شرایط عملکرد بیشتری دارد و به همین دلیل اغلب در مناطقی که از نظر بارندگی و نوع خاک برای گندم نامناسب است، کشت می گردد (Ketata, 1994). این گیاه با سازگاری وسیع اکولوژیکی و تولید ۱۴۴ میلیون تن در سال با سطح زیر کشت ۴۸ میلیون هکتار، یکی از مهم ترین غلات دنیا به شمار می رود. ایران با تولید سالیانه ۳/۱۷۶ میلیون تن و سطح زیر کشت نزدیک به ۱/۶۸۴ میلیون هکتار جزء کشورهای تولید کننده این محصول قرار دارد که از این مقدار ۷۴۹ هزار هکتار با میزان تولید ۲/۳۹۵ میلیون تن مربوط به کشت آبی و ۹۳۴ هزار هکتار با میزان تولید ۷۸۱ هزار تن مربوط به کشت دیم می شود (Agricultural statistics for 1401). با اینکه کشت این گیاه به صورت دیم به طور عمده در نواحی معتدل سرد کشور انجام می گیرد قسمت زیادی از سطح

زیر کشت آن با مشکل کمبود بارش و نیز عدم پراکنش مناسب بارندگی در طی فصل رویشی مواجه می باشند. استفاده از ارقام محلی بهاره کم بازده و پاکوتاه و حساس به تنش خشکی و سرما از علل پایین بودن عملکرد این گیاه در این مناطق می باشد (Anonymous, 2021). خشکی بسته به زمان، میزان و پراکنش بارندگی می تواند عملکرد را به شدت در دیمزارها تحت تاثیر قرار دهد. علاوه بر خشکی، سرما نیز از عوامل عمده محدود کننده تولید جو در دیمزارهای مناطق سردسیر کشور بوده که مانع از پراکنش و افزایش سطح زیر کشت، بقا و تولید مطلوب آن می گردد. صفت تحمل سرما و یخبندان در جو یک صفت ثابت و پایداری نبوده بلکه نسبت به شرایطی از قبیل درجه حرارت، طول روز، مرحله بلوغ گیاه، تغذیه و سن فیزیولوژیکی گیاه تغییر می کند (Bray et al., 2000). اهداف به نژادی جو در مناطق سردسیر کشور باید بر اصلاح و تولید ارقام زمستانه و یا بینابین پر محصول با پایداری عملکرد و تحمل کافی به سرما، خشکی و بیماری ها متمرکز گردد. معرفی این ارقام محدودیت زمانی کشت محصول در مناطق سردسیر را از بین خواهد برد (Sarmadnia & Kochki, 1997).

با در نظر گرفتن وسعت و تنوع شرایط اقلیمی و عکس العمل متفاوت ارقام در شرایط مختلف محیطی، معرفی ارقام پر محصول و سازگار حائز اهمیت است. با توجه به اینکه ارقام مختلف عکس العمل های متفاوتی نسبت به شرایط محیطی نشان می دهند لذا ارزیابی عکس العمل ارقام در مواجهه با تغییرات محیطی موضوع مهمی

در انتخاب ارقام اصلاحی می باشد. به تغییری که در عملکرد نسبی ارقام در محیط های مختلف به وجود می آید، اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط گفته می شود که دلیل عمده تفاوت سازگاری این ارقام در محیط های مختلف می باشد (Peterson 2001; Cleveland, 1997; *et al.*). روش های گوناگونی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط و تعیین ژنوتیپ های پایدار معرفی شده است که شامل روش های تک متغیره، چندمتغیره و ناپارامتری هستند (*Khamari et al.*, 2018). اگرچه محاسبه و استفاده از روش های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری آسان است، ولی این روش ها نمی توانند ماهیت پیچیده و چندبعدی اثر متقابل را به خوبی تفسیر نمایند؛ از این رو، استفاده از روش های چندمتغیره برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است (Shiri *et al.*, 2015). یکی از روش های پارامتری چندمتغیره، مدل تجزیه آثار اصلی جمع پذیر و اثر متقابل ضرب پذیر (Additive Main effect and the Multiplicative Interaction Analysis: AMMI) است. مدل AMMI با مکان یابی ژنوتیپ ها و محیط ها بر روی بای پلات موقعیت ژنوتیپ ها را نسبت به یکدیگر و محیط های مورد بررسی شناسایی می کند. در مدل AMMI آثار اصلی جمع پذیر ژنوتیپ و محیط با استفاده از تجزیه واریانس برآورد می شوند، ولی از آنجا که واکنش متفاوت ژنوتیپ ها از یک محیط به محیط دیگر باعث اثر متقابل ضرب پذیر می شود و تجزیه واریانس قادر به تجزیه این آثار نیست، با استفاده از تجزیه به مؤلفه های اصلی اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط به مؤلفه های اصلی اثر متقابل

و مقدار باقیمانده تفکیک می گردد (*Azizi et al.*, 2016). محققین مختلفی از تجزیه AMMI در گیاه جو استفاده کرده اند (Mortazavian 2017; Vaezi *et al.*, 2014; *et al.*). در بررسی پایداری عملکرد ۱۹ ژنوتیپ جو در مناطق معتدل با استفاده از روش AMMI، مشخص شد که آماره های استخراج شده از این روش در شناسایی ژنوتیپ های پایدار، کارآمد می باشند (Fattahi & Yossefi, 2006). در بررسی پایداری عملکرد ۲۰ لاین امیدبخش جو نشان داده شد که با استفاده از روش AMMI می توان علاوه بر شناسایی ژنوتیپ های با سازگاری عمومی، ژنوتیپ هایی با سازگاری خصوصی برای مناطق مختلف را نیز شناسایی کرد (*Akbarpour et al.*, 2011). در مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط با استفاده از روش AMMI در ۱۰ رقم جو نشان داده شد که ارقام گرگان ۴، ماکوئی و نصرت دارای پایداری عمومی بوده و نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه کمترین اثر متقابل را با محیط داشتند (*Badooei Delfard et al.*, 2016). در بررسی پایداری عملکرد ۱۸ لاین امیدبخش جو به همراه دو شاهد در مناطق گچساران، لرستان، ایلام، مغان و گنبد برای مدت سه سال زراعی مشخص شد که اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط و ۴ مؤلفه اصلی معنی دار بودند و براساس پارامترهای پایداری AMMI، دو ژنوتیپ به عنوان ژنوتیپ های پایدار معرفی شدند (*Vaezi et al.*, 2017). در بررسی سازگاری ۲۴ ژنوتیپ جو شامل ژنوتیپ های بومی، اینبرد لاین های نوترکیب و ارقام تجاری در شش محیط مختلف در ایتالیا با استفاده از

از روش GGE biplot در جو توسط محققین مختلفی انجام گرفته است (Dehghani *et al.*, 2006; Mohammadi *et al.*, 2009; Ghazvini *et al.*, 2022). پایداری ۱۸ ژنوتیپ جو در ۸ مکان از نظر بالا بودن عملکرد در مکان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که با این روش می‌توان ژنوتیپ‌های پر محصول و پایدار (سازگاری عمومی و خصوصی قابل قبول) را مشخص کرد (Kocheiki *et al.*, 2012). در بررسی پایداری عملکرد ۱۰ رقم جو در ۲۱ محیط با استفاده از روش رگرسیونی ابرهات راسل و GGE biplot نشان داده شد که این دو روش مطابقت بالایی با یکدیگر دارند (Abay & Bjornstad, 2009).

با توجه به اینکه یکی از عوامل مهم در پایین بودن عملکرد جو در مزارع دیم کافی نبودن تعداد ارقام متنوع و مناسب برای مناطق مختلف می‌باشد، لزوم دستیابی به ارقام جدید پر محصول با پایداری عملکرد و متحمل به تنش‌های خشکی و سرما از اهمیت خاصی برخوردار است؛ لذا هدف از این مطالعه تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط در ژنوتیپ‌های حاصل از برنامه‌های اصلاحی جو با استفاده از روش‌های چند متغیره به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها، روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و همچنین تعیین ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد و شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها برای مناطق مختلف دیم واقع در اقلیم سرد کشور است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۲ لاین امیدبخش جو

روش AMMI نشان داده شد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط معنی‌دار بود. همچنین مشخص شد که ژنوتیپ‌های محلی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای پتانسیل بالاتری برای برنامه‌های اصلاحی مناطق مدیترانه‌ای می‌باشند (Rodriguez *et al.*, 2007).

از دیگر روش‌های چند متغیره برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط می‌توان به روش بای‌پلات که بر مبنای روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است اشاره کرد (Gabriel, 1971). اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط در این روش به‌طور هم‌زمان در یک بای‌پلات نمایش داده می‌شود. نسخه‌های متنوعی از بای‌پلات براساس روش‌های آماری چند متغیره معرفی و از آن‌ها به‌صورت گسترده توسط بهنژادگران به‌منظور تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط استفاده شده است (Yan & Tinker, 2006; Yan & Tinker, 2005). این روش به‌طور هم‌زمان اثرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط را به‌صورت گرافیکی بررسی کرده و به سؤالات زیادی در مورد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های آزمایشی پاسخ می‌دهد (Yan & Kang, 2003). با این روش می‌توان ژنوتیپ‌ها را براساس عملکرد در محیط‌های جداگانه، تمام محیط‌ها، ترکیب پایداری و عملکرد، سازگاری خصوصی و سازگاری عمومی بررسی کرد. همچنین می‌توان هم‌زمان محیط‌ها را به‌طور گرافیکی ارزیابی نموده و براساس توانایی در تمایز بین ژنوتیپ‌ها و میزان نمایندگی برای سایر محیط‌ها آن‌ها را گروه‌بندی نمود (Yan & Tinker, 2005). گروه‌بندی محیط‌ها با استفاده

(جدول ۱)، انتخابی از آزمایشات مقایسه عملکرد مشترک پیشرفته به همراه ۳ رقم شاهد انصار، آیدر و سرارود ۱ در شرایط دیم و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه های تحقیقاتی مناطق سردسیر و معتدل سرد دیم کشور شامل مراغه، کردستان (قاملو)، زنجان (قیدار)، اردبیل، کرمانشاه (سرارود)، شیروان، همدان و ارومیه به مدت سه سال زراعی از سال ۹۸-۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۲). مشخصات مناطق اجرای آزمایش در جدول ۳ و میانگین بارندگی و دمای سالانه ایستگاه ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

عملیات آماده سازی زمین در ایستگاه های مورد بررسی تا حد امکان یکسان انجام شد به صورتی که برای آماده سازی قطعه زمین آزمایش در هر ایستگاه، در پاییز سال قبل به عمق ۲۵-۲۰ سانتی متر شخم و در بهار قبل از گل دهی علف های هرز از پنجه غازی و در پاییز قبل از کشت از دیسک استفاده گردید. نیاز به عناصر کودی براساس آزمون خاک در هر ایستگاه تأمین شد. کرت های آزمایشی شامل ۶ خط به طول ۶ متر با فاصله خطوط ۲۰ سانتی متر بوده و میزان بذر مصرفی برای کشت براساس ۴۰۰ دانه در مترمربع با توجه به وزن هزاردانه ژنوتیپ ها تعیین شد. جهت کنترل علف های هرز پهن برگ از سموم علف کش استفاده گردید. بقیه عملیات های زراعی در ایستگاه های مختلف تا حدود زیادی یکسان بود.

پس از تعیین عملکرد دانه هر ژنوتیپ، تجزیه واریانس ساده در هر سال و هر مکان انجام

گردید. سپس با استفاده از واریانس خطاهای آزمایشی و استفاده از آزمون Fmax هارتلی و اثبات یکنواختی واریانس خطاها، تجزیه واریانس مرکب انجام پذیرفت. آزمون F منابع تغییر براساس امید ریاضی میانگین مربعات و با فرض تصادفی بودن سال ها و مکان ها و ثابت بودن ژنوتیپ ها انجام گردید. برای بررسی پایداری ژنوتیپ ها، از روش اثرات اصلی جمع پذیر و اثر متقابل ضرب پذیر AMMI و تجزیه GGE-biplot استفاده شد. ضمن انجام تجزیه واریانس AMMI مقادیر مؤلفه های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط استخراج و با ترسیم بای پلات های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ ها تعیین شد (Rodriguez *et al.*, 2007).

پس انجام تجزیه AMMI، پارامترهای پایداری تجزیه AMMI شامل آماره پایداری AMMI (ASV)، شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS)، مجموع نمره های محورهای مؤلفه (SIPC)، مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI (EV)، قدر مطلق سهم نسبی IPC در اثر متقابل (ZA)، پارامتر پایداری مبتنی بر AMMI (ASTB)، شاخص پایداری AMMI (ASI)، مقیاس پایداری مبتنی بر مدل AMMI برازش شده (FA)، پارامتر D ژانگ (DZ)، پارامتر D آنیچاریکو (DA)، شاخص پایداری AMMI تعدیل شده (MASI)، ارزش پایداری AMMI تعدیل شده (MASV) و مجموع محیط های GEI مطلق مدل سازی شده توسط AMMI (AVAMGE) محاسبه شد (جدول ۵). نسبت SSIPC1/SSIPC2 در معادله ۱، وزن ویژه

جدول ۱- شجره ارقام و لاین های امیدبخش جو و کد آنها در محیط های مورد مطالعه

Table 1. Pedigree of promising varieties and lines of barley and code in the studied environments

کد	شجره ژنوتیپ	منشا ژنوتیپ
Code	Genotype pedigree	Genotype origin
Gen1	Ansar	Dryland Agricultural Research Institute
Gen2	Abidar	Dryland Agricultural Research Institute
Gen3	Sararood1	Dryland Agricultural Research Institute
Gen4	Crossing Block - Karaj (93-94)-328 (Unknown)	Dryland Agricultural Research Institute
Gen5	Crossing Block - Karaj (93-94)-361 (Unknown)	Dryland Agricultural Research Institute
Gen6	Crossing Block - Karaj (93-94)-392 (Unknown)	Dryland Agricultural Research Institute
Gen7	Crossing Block - Karaj (93-94)-396 (Unknown)	Dryland Agricultural Research Institute
Gen8	Dayton/Ranney//Sadik-02/Sararood-1 IRB-009-08-0MH-0MH-0MH-0MH	Dryland Agricultural Research Institute
Gen9	Aday1/4/Tokak/3/Lignee131/ArabiAbiad//Alpha/Durra/5/Sadik-02/Sararood-1 IRB-009-23-0MH-0MH-0MH-0MH	Dryland Agricultural Research Institute
Gen10	Tokak*2/3/CWB117-5-9-5//CWB117-77-9-7/ICB-104073/4/Zarjau/80-5151//DZ-40-66/3/Meteor IRB-009-28-0MH-0MH-0MH-0MH-4MH	Dryland Agricultural Research Institute
Gen11	Zarjau/80-5151//DZ-40-66/3/Meteor/4/YESEVI93/TIRCHMIR-43 IRB-009-32-0MH-0MH-0MH-0MH-2MH	Dryland Agricultural Research Institute
Gen12	CWB117-77-9-7//Roho/Masurka/3/K-88 M1/4/EC84-10 IRB-009-44-0MH-0MH-0MH-0MH-3MH	Dryland Agricultural Research Institute
Gen13	Radical/3/ICB103351/Arta//GkOmega/TokakICB09-1379-0AP-0AP-0MH-0MH-2MH	Dryland Agricultural Research Institute
Gen14	CWB117-5-9-5/3/Igri/MOB2639//P13161/Igri/4/Alpha/Cum//CWB117-77-9-7/ICB09-1522-0AP-0AP-0MH-0MH-4MH	Dryland Agricultural Research Institute
Gen15	Wieselburger/Ahor 1303-61//Ste/Antares/3/Roho/MasurkaICB09-1906-0AP-0AP-0MH-0MH-3MH	Dryland Agricultural Research Institute

جدول ۲- محیط های مورد مطالعه در آزمایش یکنواخت سراسری

Table 2. Environments studied in uniform nationwide test

کد	محیط	کد	محیط	کد	محیط	کد	محیط
Code	Environment	Code	Environment	Code	Environment	Code	Environment
E1	Maragheh, First Year	E7	Shirvan, Third Year	E13	Sararood, Third Year	E19	Urmia, First Year
E2	Maragheh, Second Year	E8	Zanjan, First Year	E14	Hamedan, First Year	E20	Urmia, Second Year
E3	Maragheh, Third Year	E9	Zanjan, Second Year	E15	Hamedan, Second Year	E21	Urmia, Third Year
E4	Qamlo, First Year	E10	Zanjan, Third Year	E16	Ardebil, First Year		
E5	Qamlo, Second Year	E11	Sararood, First Year	E17	Ardebil, Second Year		
E6	Shirvan, Second Year	E12	Sararood, Second Year	E18	Ardebil, Third Year		

جدول ۳- مشخصات جغرافیایی و جنس خاک ایستگاه های تحقیقات کشاورزی مورد بررسی

Table 3. Geographical characteristics and soil type of the investigated agricultural research stations

ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بافت خاک
Station	Latitude (North degree)	Longitude (East degree)	Height above sea level (meters)	Soil texture
Maragheh	37.15	46.15	1720	Clay Loam
Kurdestan-Qamlo	35.2	47	1500	Clay Loam
Zanjan-Qeydar	36.58	48.49	1875	Silty Loam
Ardabil	38.15	48.17	1342	Clay Loam
Sararood	37.23	57.55	1086	Clay Loam
Hamedan	34.53	48.32	1733	Sandy Loam
Urmia	37.32	45.05	1313	Clay Loam
Shirvan	37.19	58.07		

جدول ۴- بارندگی و دمای سالانه ایستگاه های تحقیقات کشاورزی مورد بررسی در سه سال مورد بررسی

Table 4. The average annual rainfall and temperature of the agricultural research stations investigated in the three-year study

سال زارعی Cropping season	متغیر Variable	همدان Hamedan	ارومیه Urmia	کردستان-قاملو Kurdistan- Qamlo	زنجان- قیدار Zanjan- Qeydar	شیروان Shirvan	سرارود Sararood	مراغه Maragheh	اردبیل Ardabil
1399- 1400	بارندگی Rainfall	246.9	290.9	297	178.4	-	317.5	245.7	223.7
2020- 2021	دما Temperature	9.3	10.2	7	9.1	-	13.8	6.3	8.1
1398- 1399	بارندگی Rainfall	389.2	351.7	396.3	426.3	252.7	518.8	326.8	226.4
2019- 2020	دما Temperature	8.4	9.4	6.9	7.5	9.3	11.7	5.2	8.6
1397- 1398	بارندگی Rainfall	506.8	577.5	444.5	430	337.8	782.5	494.6	247.2
2018- 2019	دما Temperature	8.4	9.4	7.4	7.6	9.8	11.1	5.6	8.1
Long time	بارندگی Rainfall	285.3	325.6	339.4	349.2	247.1	413.9	356.1	251.9
	دما Temperature	8.5	9.1	6.5	7.5	10	11.4	5.3	7.5

محاسبه شد که حاصل جمع رتبه ژنوتیپ ها بر پایه هریک از شاخص های پایداری AMMI و رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ ها در تمام محیط ها است (Farshadfar *et al.*, 2012). نمودارهای بای پلات نوع اول AMMI (AMMI1 vs Yield) و نوع دوم AMMI2 (AMMI2 vs IPCA1) با روش استاندارد رسم شدند (Zobel *et al.*, 1988). تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم افزار SAS و تجزیه های آماری تجزیه AMMI و GGE-biplot با استفاده از بسته تجزیه آزمایش های چند محیطی با نام Metan (Multi environment trail analysis) در نرم افزار R انجام شد (Olivoto, 2019).

نتایج و بحث

ابتدا با استفاده از آزمون F ماکس هارتلی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی ارزیابی گردید که برای صفت عملکرد، این آماره با استفاده از واریانس خطاهای آزمایشی محاسبه

برای مؤلفه اصلی اول IPC1 است که از تقسیم مجموع مربعات IPC1 بر مجموع مربعات IPC2 (مؤلفه اصلی دوم) به دست آمده است. $\lambda_n \lambda_n$ در معادلات ۴، ۶، ۸، ۱۱ و ۱۳ مقدار منفرد برای n امین مؤلفه است که برای SIPC1 و SPCF به ترتیب برابر ۱ و تعداد مؤلفه های اصلی باقیمانده در مدل است. $Y_{in} Y_{in}$ در معادلات ۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۱ و ۱۳ ریشه مشخصه برای i امین ژنوتیپ در مؤلفه n ام، N تعداد مؤلفه های اصلی معنی دار شده در تجزیه واریانس AMMI با آزمون F، $\theta_n \theta_n$ در معادلات ۵، ۷ و ۱۰ درصد مجموع مربعات توجیه شده به وسیله n امین مؤلفه، $IPCA_{ik}$ در معادله ۲ نمره ژنوتیپ i در k امین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPC) و EPk واریانس توجیه شده به وسیله k امین IPCA است. علاوه بر شاخص های محاسبه شده، شاخص گزینش هم زمان (SSI=Simultaneous Selection Index) نیز برای هریک از شاخص ها

جدول ۵: پارامترها، شاخص‌ها و معادلات مورد استفاده برای انتخاب هم زمان ژنوتیپ‌ها

Table 5. Parameters, indices and equations used for simultaneous selection of genotypes

معادله Equation	پارامترهای AMMI AMMI Parameters	منابع References
1	$ASV = \sqrt{\frac{(SSIPCA\ 1)}{(SSIPCA\ 2)} (IPCA\ 1)^2 + (IPCA\ 2)^2}$	Purchase <i>et al.</i> , 2000
2	$WAAS_t = \frac{\sum_{k=1}^p IPCA_{tk} \times EP_k }{\sum_{k=1}^p EP_k}$	Olivoto, 2019
3	$EV = \sum_{n=1}^N \frac{Y_{nn}^2}{n}$	Zobel <i>et al.</i> , 1988
4	$SIPC = \sum_{n=1}^N \lambda_{nn}^{OS} Y_{nn}$	Sneller <i>et al.</i> , 1997
5	$Za = \sum_{n=1}^N \theta_{nn} Y_{nn} $	Zali <i>et al.</i> , 2012
6	$ASTB = \sum_{n=1}^N \lambda_{nn} Y_{nn}^2$	Rao & Prabhakaran, 2005
7	$ASI = \sqrt{[PC_1^2 \times \theta_1^2] + [PC_2^2 \times \theta_2^2]}$	Jambhulkar <i>et al.</i> , 2014
8	$FA = \sum_{n=1}^N \lambda_{nn}^2 Y_{nn}^2$	Raju, 2002
9	$DZ = \sum_{n=1}^N Y_{nn}^2$	Zhang <i>et al.</i> , 1998
10	$MASI = \sqrt{\sum_{n=1}^N PC_n^2 \times \theta_1^2}$	Ajay <i>et al.</i> , 2018
11	$DA = \sqrt{\sum_{n=1}^N (\lambda_{nn} \lambda_{nn})^2}$	Annicchiarico, 1997
12	$MASV = \sqrt{\sum_{n=1}^{N-1} \left(\frac{SSIPC_n}{SSIPC_{n+1}} \right) \times (PC_n)^2 \times (PC_{n+1})^2}$	Zali <i>et al.</i> , 2012
13	$AVAMGE = \sum_{j=1}^{tr} \sum_{n=1}^N \lambda_{nn} Y_{nn} \delta_{jn} $	Zali <i>et al.</i> , 2012

ASV: AMMI Stability Value, WAAS=Weighted Average of Absolute Scores, SIPC: Sum of IPCs Scores, EV: Eigenvalue Stability Parameter of AMMI, Za: Absolute value of relative contribution of IPCs to the interaction, ASTB: AMMI Based stability parameter, ASI: AMMI Stability index, FA: Stability measure based on fitted AMMI model, DZ: Zhangs D parameter, DA: Annicchiaricos D Parameter, MASI: Modified AMMI stability index, MASV: Modified AMMI stability value, AVAMGE: Sum across environments of absolute of GEI modelled by AMMI

مکان، ژنوتیپ و اثرات متقابل سال × مکان، ژنوتیپ × مکان، ژنوتیپ × سال و ژنوتیپ × مکان × سال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن شرایط محیطی دلیل بر وجود اختلاف شرایط محیطی در ایستگاه‌ها و سال‌های مورد آزمایش می‌باشد (جدول ۵). معنی‌دار شدن اثرات متقابل دو گانه و سه گانه ژنوتیپ با سال و مکان (محیط) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها

شده در ایستگاه‌های تحقیقاتی در سال‌های مختلف (محیط‌ها) معنی‌دار نبود و داده‌های مربوط به ایستگاه‌ها در سه سال مورد بررسی یکنواخت، ارزیابی گردیدند (جدول ۶). جهت بررسی وضعیت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، تجزیه واریانس مرکب بر روی داده‌های حاصل از ۸ ایستگاه در سه سال انجام و نتایج نشان داد که اثرات ساده سال،

جدول ۶: واریانس خطاهای آزمایشی در ایستگاه های مورد بررسی در سه سال زراعی و آزمون F max هارتلی برای ارزیابی یکنواختی واریانس ها

Table 6. Variance of experimental errors in the studied stations in the three cropping years and Hartley's F max test to evaluate the uniformity of variances.

سال زراعی Cropping season	درجه آزادی Degree of freedom	اردبیل Ardabil	همدان Hamedan	کردستان-قاملو Kurdistan- Qamlo	سرارود Sararood	شیروان Shirvan	ارومیه Urmia	زنجان-قیدار Zanjan- Qeydar	مراغه Maragheh
1397-1398									
2018-2019	42	5.749	2.139	3.759	4.312	-	3.137	4.796	6.596
1398-1399									
2019-2020	42	4.427	4.219	7.253	2.983	4.22	4.653	5.244	6.632
1399-1400									
2020-2021	42	6.684	-	-	4.587	2.725	6.301	3.46	3.799
F max Hartly					=	3.08			
$F_{\alpha=1\%}$					=	3.6			

ژنوتیپ های G1، G2، G3، G4، G11 و G13 به ترتیب با داشتن عملکردهای ۲۵۶۷، ۲۵۷۶، ۲۵۳۱، ۲۵۴۷ و ۲۵۲۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقدار عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ ها دارا بودند. محیط های ENV19، ENV11، ENV12، ENV15 با دارا بودن میانگین عملکرد ۳۸۶۷، ۳۷۵۹، ۳۴۲۶ و ۳۴۱۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را در بین محیط های مورد بررسی نشان دادند (جدول ۹). تفاوت های اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی طی سال ها و مکان های انجام آزمایش در طی دوره رشدی گیاه می تواند باعث تفاوت بین محیط ها شود. در ارتباط با معنی دار شدن اثرات متقابل دو گانه و سه گانه ژنوتیپ با مکان و سال علاوه بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ ها، تفاوت واکنش آن ها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم مؤثر بوده است؛ بنابراین صرفاً براساس مقایسه میانگین ژنوتیپ ها نمی توان ژنوتیپ با عملکرد بالاتر را به عنوان رقم مطلوب تعیین کرد بلکه باید تجزیه

در محیط های متفاوت پاسخ های متفاوتی نشان داده و به عبارت دیگر اختلاف بین ژنوتیپ ها از محیطی به محیط دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد دانه باید مورد ارزیابی قرار گیرد. واکنش متفاوت ژنوتیپ ها در محیط های مورد بررسی می تواند به دلیل پاسخ متفاوت ژن ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن ها در این محیط ها باشد (Falconer, 1981; Jafari & Farshadfar, 2018). اثر اصلی محیط (مجموع اثر اصلی و متقابل) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (مجموع اثرات دو گانه و سه گانه) به ترتیب با ۸۳/۷ و ۸/۲ درصد بیشترین سهم را در مجموع مربعات کل مشاهده شده در آزمایشات داشتند (جدول ۷). کم بودن اثر ژنوتیپ در تفسیر واریانس موجود به دلیل گزینش های متوالی در طول برنامه به نژادی و افزایش خلوص ژنتیکی می باشد. لذا با افزایش خلوص ژنتیکی، نقش محیط در ایجاد تنوع به شدت افزایش می یابد (Samonte et al., 2005; Golkari et al., 2021).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد لاین های امیدبخش جو در ایستگاه های مورد بررسی طی سه سال در اقلیم سرد کشور در شرایط دیم
Table 7. The results of the combined variance analysis of yield for promising barley lines in the studied stations during three years in the cold climate of the country under dryland conditions

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی Digree of freedom	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean square	درصد از مجموع مربعات کل Percentage change from the total sum of squares
سال Year	2	15358.7	7679.3**	15.3
مکان Place	7	33968.8	4852.7**	33.9
سال × مکان Year × Place	14	34570.4	3142.8**	35.5
خطای اول Ea	63	1043.18	16.6	1
ژنوتیپ Genotype	14	1696.5	121.2**	1.7
ژنوتیپ × سال Genotype × Year	28	700.5	25.01**	0.7
ژنوتیپ × مکان Genotype × Place	98	3694.5	37.7**	3.7
ژنوتیپ × سال × مکان Genotype × Year × Place	154	3851.8	25**	3.8
خطای دوم Eb	882	3960.7	4.49	3.9
ضریب تغییرات CV%	4.36%			

** و *: معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب

**and *: significant at the levels of 1 and 5%, respectively

بودند. در روش تجزیه به مؤلفه های اصلی، ترکیب خطی متغیرها برای تبیین بیشترین مقدار واریانس آن ها به گونه ای برآورد می شود که اولین مؤلفه بیشترین مقدار واریانس مؤلفه ها را تبیین کند و مؤلفه دوم بیشترین مقدار واریانس باقیمانده را بعد از مؤلفه اول توضیح می دهد که توسط مؤلفه اول بیان نشده است (Sharifi, 2020; Karimzadeh *et al.*, 2020). بنابراین علیرغم معنی دار شدن بیشتر مؤلفه های مدل، اولین و دومین مؤلفه اصلی بیشترین سهم (۵۱ درصد) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشتند و مؤلفه های دیگر در درجات بعدی اهمیت قرار گرفتند. بزرگی درصد توجه واریانس کل توسط هریک از مؤلفه ها در تفکیک بهتر ژنوتیپ ها و اعتبار روابط مشاهده شده مؤثر

پایداری انجام شود تا ژنوتیپ های سازگار با شرایط منطقه که ضمن داشتن عملکرد دانه بالا، نوسانات عملکرد آن ها نیز در سال های مختلف کمتر باشد، شناسایی شوند. به این ترتیب، تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ ها و ارقام شاهد با روش های مختلف انجام شد تا ژنوتیپ های با عملکرد دانه بالا و پایدار شناسایی شوند.

تجزیه AMMI

نتایج تجزیه واریانس AMMI برای اثرات اصلی جمع پذیر و ضرب پذیر در جدول ۸ نشان داده شده است. تجزیه واریانس اثرات افزایشی نشان داد که در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری بین ژنوتیپ ها، محیط ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط وجود داشت. مؤلفه های اصلی اول تا نهم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار

جدول ۸- نتایج تجزیه AMMI عملکرد دانه لاین های امیدبخش جو در ایستگاه های مورد بررسی طی سه سال در اقلیم سرد کشور در شرایط دیم

Table 8. The results of the combined variance analysis of grain yield for promising barley lines in the studied stations during three years in the cold climate of the country under dryland conditions.

درصد از مجموع مربعات کل	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
Percentage change from the total sum of squares	Mean square	Sum of square	Degree of freedom	S.O.V.
	39596370.82**	791927416.5	20	محیط ENV
	151393.35	9537780.8	63	تکرار (محیط) REP(ENV)
	1111371.76**	15559204.7	14	ژنوتیپ GEN
	295147.89**	82641409.5	280	ژنوتیپ × محیط GEN × ENV
28	700143.65**	23104740.2	33	مولفه اول PC1
23	624941.77**	19373194.7	31	مولفه دوم PC2
12	334563**	9702327.1	29	مولفه سوم PC3
11	323477.96**	8733905	27	مولفه چهارم PC4
7	236941.8**	5923544.9	25	مولفه پنجم PC5
7	235488.36**	5416232.4	23	مولفه ششم PC6
4	161481.43**	3391110	21	مولفه هفتم PC7
3	139416**	2648904.1	19	مولفه هشتم PC8
2	91131.84**	1549241.2	17	مولفه نهم PC9
3	53198.7	2925928.2	55	نویز Noise
	42041.17	37080308.9	882	باقیمانده Residual
	662370.06	1019387530	1539	مجموع Total

^{۵۵} و ^{۵۶}: معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب

^{ns} and *: significant at the levels of 1 and 5%, respectively

دارای مقادیر مؤلفه اصلی اول (IPCA1) نزدیک

به صفر (کمتر) بودند و دارای عملکردی نزدیک به میانگین عملکرد کل (۲۴۳۶/۸ کیلوگرم در هکتار) بودند و به همین دلیل می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی معرفی شوند (جدول ۹). ژنوتیپ‌های G7، G4 و G8 بیشترین و ژنوتیپ‌های G12، G13، G3 و G15 دارای کمترین مقادیر مؤلفه اصلی دوم IPC2 بودند. به همین ترتیب محیط‌های ENV1،

است.

ژنوتیپ‌هایی با مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) مؤلفه اصلی اول (IPCA1) اثر متقابل بالایی با محیط نشان دادند (جدول ۹). در مقابل، ژنوتیپ‌های دارای مقادیر نزدیک به صفر اثر متقابل پایینی داشتند. بر این اساس به ترتیب ژنوتیپ‌های G1، G2، G4، G5، G7 و G13 دارای بیشترین مقادیر (مثبت و منفی) IPCA1 بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های G9 و G10

از بای پلات AMMI2 که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به مبدأ بای پلات وصل می‌شوند برای ارزیابی توانایی تفکیک محیط‌ها و درک روابط بین آن‌ها استفاده می‌شود. بر این اساس محیط‌های ENV7، ENV4، ENV11، ENV14، ENV2 و ENV13 و دارای کمترین مقدار مؤلفه دوم بودند که هیچ کدام دارای عملکرد بالاتری از میانگین عملکرد کل نبودند (جدول ۹).

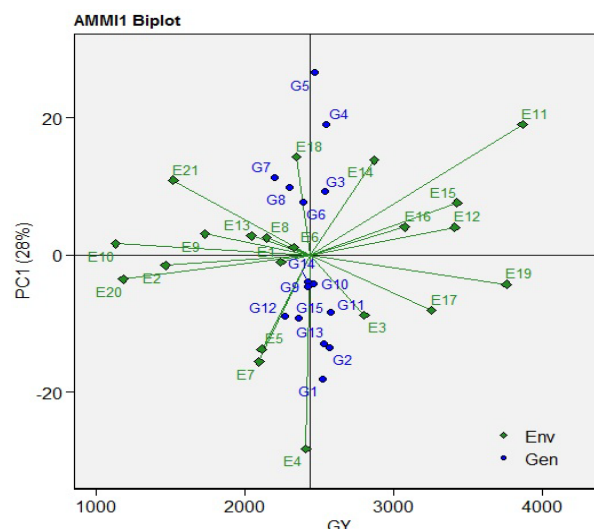
بای پلات‌های AMMI

نمودار پراکنش محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها و بر مبنای مؤلفه اصلی اول و میانگین عملکرد، AMMI1، ژنوتیپ‌ها را به چهار دسته تقسیم‌بندی کرد (شکل ۱). محاوره‌ای این نمودار نشان‌دهنده $IPC1=0$ است که ناحیه نبود اثر متقابل را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌ها و محیط‌های واقع بر روی این خط دارای واکنش مشابهی از نظر اثر متقابل هستند. ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که اثر متقابل بالایی را نشان می‌دهند، دارای مقادیر بزرگ برای اولین مؤلفه هستند؛ درحالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر نزدیک به صفر برای اولین مؤلفه اصلی دارای اثر متقابل پایین هستند. همان‌طور که گفته شد ژنوتیپ‌های G14، G10 و G9 دارای اثر متقابل پایینی هستند و دارای عملکردی نزدیک میانگین بوده و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپی با سازگاری عمومی معرفی شوند. بر همین اساس ژنوتیپ‌های G5، G4، G1، G2، G13 و G7 با بیشترین فاصله از خط $IPC1=0$ ناسازگارترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های G1، G2، G4 و G13 با دارا بودن بیشترین عملکرد ولی با فاصله از خط محور $IPC1=0$ می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی معرفی شوند.

ENV2، ENV10، ENV8 و ENV13 دارای کمترین مقدار (نزدیک به صفر) در اولین محور مؤلفه اصلی (IPCA1) و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط بودند ولی محیط‌های ENV2، ENV10 و ENV13 و دارای کمترین مقدار مؤلفه دوم بودند که هیچ کدام دارای عملکرد بالاتری از میانگین عملکرد کل نبودند (جدول ۹).

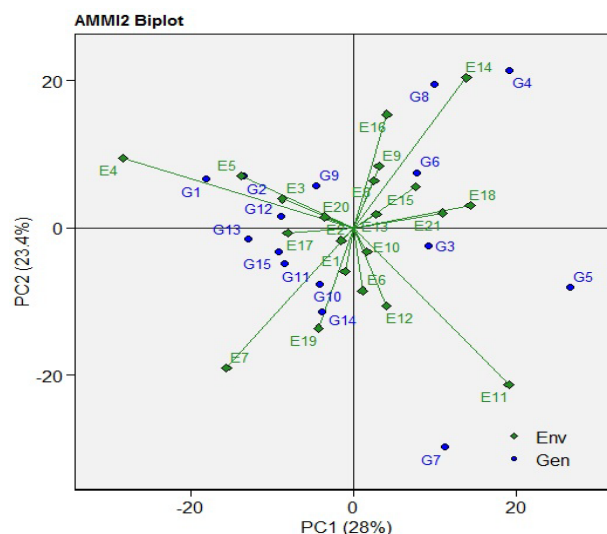
بای پلات‌های AMMI

نمودار پراکنش محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها و بر مبنای مؤلفه اصلی اول و میانگین عملکرد، AMMI1، ژنوتیپ‌ها را به چهار دسته تقسیم‌بندی کرد (شکل ۱). محاوره‌ای این نمودار نشان‌دهنده $IPC1=0$ است که ناحیه نبود اثر متقابل را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌ها و محیط‌های واقع بر روی این خط دارای واکنش مشابهی از نظر اثر متقابل هستند. ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که اثر متقابل بالایی را نشان می‌دهند، دارای مقادیر بزرگ برای اولین مؤلفه هستند؛ درحالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر نزدیک به صفر برای اولین مؤلفه اصلی دارای اثر متقابل پایین هستند. همان‌طور که گفته شد ژنوتیپ‌های G14، G10 و G9 دارای اثر متقابل پایینی هستند و دارای عملکردی نزدیک میانگین بوده و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپی با سازگاری عمومی معرفی شوند. بر همین اساس ژنوتیپ‌های G5، G4، G1، G2، G13 و G7 با بیشترین فاصله از خط $IPC1=0$ ناسازگارترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های G1، G2، G4 و G13 با دارا بودن بیشترین عملکرد ولی با فاصله از خط محور $IPC1=0$ می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی معرفی شوند.



شکل ۱- پراکنش ژنوتیپ ها و محیط ها براساس میانگین عملکرد و مقادیر مربوط به مؤلفه اول تجزیه AMMI

Fig 1. Distribution of genotypes and environments based on average yield and IPC1 values of AMMI analysis



شکل ۲- نمودار بای پلات حاصل از ترسیم دو مؤلفه اول تجزیه AMMI

Fig 2. Biplot diagram resulting from drawing the first two components of AMMI analysis

پایدار با عملکرد مناسب معرفی کرد.

شاخص های پایداری مبتنی بر تجزیه

AMMI و شاخص انتخاب هم زمان

ژنوتیپ های G2، G4، G11 و G3 به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ های G7، G12، G8 و G15 به ترتیب کمترین مقدار عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ ها را دارا بودند (جدول ۱۰). نتایج محاسبه شاخص های پایداری در جدول ۱۰ و

آنها در ایجاد اثر متقابل است. به دلیل این که ژنوتیپ خاصی در این نمودار نزدیک به مرکز قرار نگرفت نمی توان ژنوتیپ خاصی را به عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی کرد و با توجه به اینکه در نمودار قبل از نظر میزان متوسط عملکرد ژنوتیپ های G14، G10 و G9 از بین ژنوتیپ ها در بیشتر محیط ها دارای مقدار عملکرد بیشتری بودند می توان آنها را به عنوان ژنوتیپ های

پیشنهاد شده است (Farshadfar, 2008) که در این شاخص‌ها به هر دو جنبه عملکرد و پایداری توجه می‌شود. براین اساس بر مبنای شاخص انتخاب هم‌زمان ssiASV، ژنوتیپ‌های G11، G3، G9 و G10 به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند (جدول ۱۱). پژوهشگران دیگری نیز از این شاخص برای تجزیه پایداری استفاده کرده‌اند (Danyali *et al.*, 2012; Pouresmael *et al.*, 2018). از آنجاکه در محاسبه شاخص WAAS همه مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار، به کار گرفته می‌شوند این شاخص نسبت به دیگر شاخص‌های تجزیه AMMI برتر بوده و چنین نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شده با این شاخص دارای اعتبار بیشتری هستند (Olivoto *et al.*, 2019). بر پایه شاخص ssiWAAS ژنوتیپ‌های G11، G13، G3 و G10 به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. براساس شاخص ssiSIPC ژنوتیپ‌های G13، G2، G1 و G11، براساس شاخص ssiZA ژنوتیپ‌های G11، G13، G2 و G3، براساس شاخص ssiEV ژنوتیپ‌های G1، G2، G13 و G11، براساس شاخص ssiASTAB ژنوتیپ‌های G13، G2، G1 و G11، براساس شاخص ssiFA ژنوتیپ‌های G11، G2، G9 و G10، براساس شاخص ssiDZ ژنوتیپ‌های G2، G3، G1 و G13، براساس شاخص ssiDA ژنوتیپ‌های G12، G14، G2 و G3، براساس شاخص ssiMASI ژنوتیپ‌های G11، G9، G3 و G2، براساس شاخص ssiMASV ژنوتیپ‌های G2، G11، G13 و G1، و براساس شاخص

شاخص‌های هم‌زمان محاسبه شده در جدول ۱۱ نشان داده شده است. بر مبنای شاخص ASV، ژنوتیپ‌های G9، G10، G12 و بر مبنای شاخص WAAS ژنوتیپ‌های G9، G15، G13 و G14 به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. در آزمایشی از آماره پایداری AMMI (ASV Stability value) و فاصله AMMI در بررسی اثرات متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط بر عملکرد جو تحت تنش شوری استفاده شد و لاین پایدار جو در شرایط تنش معرفی گردید (Barati *et al.*, 2020). بر پایه شاخص SIPC ژنوتیپ‌های G15، G13، G1 و بر پایه شاخص ZA ژنوتیپ‌های G15، G13 و G9، بر پایه شاخص EV ژنوتیپ‌های G15، G1، G2 و G3، بر پایه شاخص ASTB ژنوتیپ‌های G15، G13، G1 و G14، بر پایه شاخص ASI ژنوتیپ‌های G9، G10، G11 و G12، بر پایه شاخص FA ژنوتیپ‌های G15، G13 و G14، بر پایه شاخص DZ ژنوتیپ‌های G15، G1، G2 و G13، بر پایه شاخص DA ژنوتیپ‌های G15، G14 و G13، بر پایه شاخص MASI ژنوتیپ‌های G9، G15، G11 و G14، بر پایه شاخص MASV ژنوتیپ‌های G15، G13 و G1 و بر پایه شاخص AVAMGE ژنوتیپ‌های G15، G9 و G14 به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند (جدول ۱۰). انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با هر کدام از شاخص‌های پایداری فقط بر پایه جنبه پایداری ژنوتیپ‌ها و بدون در نظر گرفتن عملکرد دانه است. برای پرهیز از گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین به عنوان ژنوتیپ برتر، شاخص انتخاب هم‌زمان (ssi) بر پایه هر کدام از شاخص‌های پایداری

از اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط مرتبط با هر ژنوتیپ را نشان می دهد که معیار تغییرپذیری یا ناپایداری ژنوتیپ ها است. تصاویر بزرگ تر ژنوتیپ ها در محور عمودی صرف نظر از جهت آن ها به مفهوم ناپایداری بیشتر است. بر این اساس، ژنوتیپ های نزدیک به محور افقی AEC مانند G9 دارای بیشترین پایداری عمومی است البته ژنوتیپ G7 نیز دارای پایداری عمومی بالایی علیرغم داشتن کمترین عملکرد می باشد. ژنوتیپ هایی که نزدیک به بالا و پایین بای پلات قرار دارند، متغیرتر بوده و پایداری کمتری نسبت به این ژنوتیپ ها دارند. ژنوتیپ های G11 و G2 و پس از آن ها ژنوتیپ های G4، G1 و G13 دارای بالاترین عملکرد ولی پایداری نسبتاً کمتری هستند.

الگوی کدام- برتر- کجا

نمایش پلی گون برای ۱۵ ژنوتیپ جو مورد بررسی در ۲۱ محیط دیم در شکل ۴ نشان داده شده است. این شکل بهترین روش برای تجسم الگوهای اثر متقابل بین ژنوتیپ ها و محیط ها و تفسیر صحیح یک بای پلات است (Barati et al., 2020). چندضلعی با پیوستن ژنوتیپ هایی که دورترین فاصله را از مبدأ بای پلات دارند (ارقام رأس)، به وسیله خطوط مستقیم حاصل می شود، به طوری که ژنوتیپ های دیگر در درون چند ضلعی قرار می گیرند. ژنوتیپ های رأس، بردارهای طولی در جهت های مربوط به خود دارند که معیاری از میزان پاسخ به محیط است و لذا در زمره لاین های واکنش پذیر هستند. سایر ژنوتیپ ها در جهت های مربوط به خود واکنش کمتر نشان می دهند (Yan & Tinker, 2006).

ssiAVAMGE ژنوتیپ های G2، G11، G13 و G9 به عنوان پایداری ترین ژنوتیپ ها انتخاب شدند. در مجموع پارامترهای محاسبه شده نیز ژنوتیپ های G2، G11، G13 و G3 دارای کمترین مجموع بوده و می توانند به عنوان ژنوتیپ های پایدار با عملکرد بالا انتخاب شوند.

تجزیه GGE-biplot

میانگین عملکرد و پایداری

میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ ها را می توان از طریق رسم یک مختصات محیط متوسط در بای پلات مبتنی بر ژنوتیپ نشان داد. رتبه بندی ژنوتیپ ها براساس میانگین عملکرد دانه و میزان پایداری در محیط های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. ابتدا یک محیط متوسط که با یک دایره کوچک (در شکل مشخص نیست) نشان داده می شود که با استفاده از میانگین نمره های PC1 و PC2 محیط ها تعریف می شود. محور افقی AEC خطی است که از مبدأ بای پلات و محیط متوسط عبور می کند و به عنوان محور محیط متوسط در نظر گرفته می شود. ارقام در طول این محور رتبه بندی شده و پیکان موجود در روی این محور، میانگین عملکرد بیشتر را نشان می دهد. بر این اساس میانگین عملکرد ژنوتیپ ها به ترتیب زیر می باشد.

$$G2 > G4 > G1 > G13 > G11 > G9 > G3 >$$

$$G8 > G6 > G10 > G15 > G14 > G12 > G5 > G7$$

محور عمودی AEC از مبدأ بای پلات گذشته و عمود بر محور افقی AEC است. بنابراین اگر محور افقی AEC نشان دهنده ژنوتیپ باشد، محور عمودی AEC برآوردی

جدول ۹- عملکرد و مؤلفه های اصلی اول تا نهم، برای ژنوتیپ ها و محیط های مورد بررسی

ژنوتیپ Genotype	عملکرد Yield	مؤلفه اول IPCA1	مؤلفه دوم IPCA2	مؤلفه سوم IPCA3	مؤلفه چهارم IPCA4	مؤلفه پنجم IPCA5	مؤلفه ششم IPCA6	مؤلفه هفتم IPCA7	مؤلفه هشتم IPCA8	مؤلفه نهم IPCA9
Gen1	2522	-18.07	6.58	-4.23	3.09	-5.09	-4.68	-3.05	2.42	-3.98
Gen2	2567	-13.47	6.97	-18.3	2.34	-7.13	-1.95	-1.27	-3.48	1.54
Gen3	2537	9.23	-2.49	-3.9	12.51	0.73	20.07	3.57	11.21	-3.28
Gen4	2547	19.04	21.36	-9.86	-17.17	13.1	4.99	3.53	2.58	0.47
Gen5	2467	26.6	-8.07	9.72	17.54	-3.5	-4.27	-1.79	-7.29	-2.08
Gen6	2393	7.73	7.49	11.27	-9.27	-8.91	-17.91	8.79	2.84	2.35
Gen7	2203	11.25	-29.77	-19.36	-8.24	2.38	-6.64	-2.08	-2.67	2.32
Gen8	2303	9.87	19.46	-1.8	5.83	-6.42	-4.12	-9.25	-0.42	-5.41
Gen9	2426	-4.58	5.7	4.55	1.64	-4.55	11.68	5.26	-14.11	16.21
Gen10	2464	-4.23	-7.63	10.92	-17.08	-13.9	10.07	-14.95	2.23	-2.56
Gen11	2576	-8.42	-4.89	9.72	-6.95	14.72	3.44	0.31	-13.6	-11.07
Gen12	2267	-8.96	1.54	6.14	9.53	19.38	-7.13	-14.26	6.31	8.85
Gen13	2531	-12.88	-1.57	4.08	4.52	3.33	-0.91	13.68	0.69	-7.06
Gen14	2420	-3.89	-11.39	10.6	-4.64	0.71	0.24	7.54	12.87	5.14
Gen15	2363	-9.23	-3.29	-9.56	6.35	-3.4	-2.88	3.97	0.41	-1.44
LSD	112.53									
Env1	2240	-1.05	-5.93	-4.28	6.98	-2.62	-4.35	-2.36	-4.32	0.9
Env2	1467	-1.51	-1.75	6.92	-4.33	-9.21	-2.56	-16.09	-1.28	2.31
Env3	2804	-8.77	3.91	2.88	10.53	11.8	8.87	-4.32	0.04	15.39
Env4	2412	-28.28	9.44	-5.76	2.15	-15.92	-3.65	0.6	3.75	-2.26
Env5	2113	-13.77	7.05	9.11	0.65	5.77	11.71	0.14	0.78	-3.35
Env6	2329	1.11	-8.55	3.66	-6.01	-14.27	-8.09	2.11	-7.08	5.11
Env7	2096	-15.58	-19.02	-4.06	11.65	5.92	5.62	3.33	-5.21	-5.34
Env8	2148	2.49	6.35	1.17	-5.17	7.54	2.86	0.37	-0.32	-2.57
Env9	1730	3.09	8.37	-0.54	-1.56	-3.8	5.82	-6.9	7.5	-1.44
Env10	1130	1.64	-3.25	0.75	2.46	0.47	-5.49	-3.28	3.12	7.27
Env11	3867	19.03	-21.32	14.82	10.16	-5.92	6.1	-0.52	10.9	-4.38
Env12	3410	4.05	-10.59	-24.12	-5.79	-0.25	5.57	4.81	5.57	0.88
Env13	2043	2.77	1.82	-4.82	6.15	4.1	-14.47	7.79	11	4.97
Env14	2869	13.82	20.35	8.91	1.44	-5.57	5.11	11.83	-5.11	4.84
Env15	3426	7.61	5.54	-1.93	-16.15	11.04	-4.98	-9.92	5.45	-2.9
Env16	3075	4.06	15.36	0.23	5.85	-5.08	2.9	5.64	2.25	-9.63
Env17	3255	-8.09	-0.7	8.9	-2.94	10.21	-15.56	8.81	1.96	-3.18
Env18	2346	14.29	3.05	-5.35	12.36	4.89	-8.67	-5.93	-15.16	-4.66
Env19	3759	-4.28	-13.63	8.89	-20.58	0.66	4.89	8.2	-6.74	1.69
Env20	1182	-3.53	1.48	-1.05	-3.45	4.39	0.52	-4.96	-3.38	-6.08
Env21	1518	10.91	2.01	-15.78	-4.08	-3.24	7.85	2.15	-3.64	2.43

LSD در سطح ۵ درصد محاسبه شده است

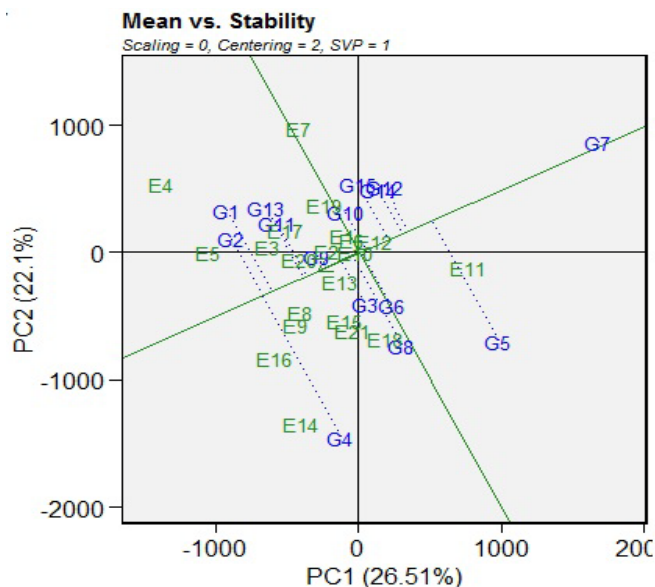
LSD is calculated at the 5% level

جدول ۱۰- شاخص های پایداری محاسبه شده برای ژنوتیپ های جو در شرایط دیم

	Yield	ASTA	ASI	AS	AVAM	DA	DZ	EV	FA	MAS	MAS	SIP	ZA	WAA
	d	B		V	GE					I	V	C		S
G1	2522	476	5.29	22.5	3111	1001	0.506	0.0285	1001854	5.34	28.5	51.2	0.186	8.66
G2	2567	641	4.11	17.5	3048	1073	0.618	0.0424	1152136	4.67	31.4	65.5	0.198	8.92
G3	2537	816	2.65	11.3	3868	1031	0.828	0.0762	1063611	3.3	44	67	0.171	7.13
G4	2547	1427	7.31	31.2	6220	1648	0.897	0.0894	2717169	7.69	58.3	92.1	0.337	15.3
G5	2467	1266	7.68	32.7	5185	1591	0.833	0.0771	2530635	8	47.7	80.9	0.297	13.7
G6	2393	820	2.79	11.9	3745	1069	0.796	0.0704	1143467	3.52	41.5	76.6	0.21	8.83
G7	2203	1522	7.65	32.7	6555	1735	0.898	0.0896	3010321	8.04	66.9	84.7	0.318	14.6
G8	2303	687	5.33	22.7	3977	1136	0.653	0.0474	1290029	5.41	44.6	26.6	0.213	9.7
G9	2426	724	1.85	7.9	2879	833	0.933	0.0967	693294	2.19	38.1	68.3	0.14	5.58
G10	2464	1017	2.14	9.15	4388	1164	0.902	0.0904	1355017	3.37	43.8	83.6	0.215	8.75
G11	2576	774	2.62	11.2	3830	972	0.864	0.0829	945706	3.18	37	73.1	0.182	7.57
G12	2267	959	2.54	10.8	4051	1084	0.932	0.0965	1176031	3.25	38.4	82.1	0.19	7.67
G13	2531	455	3.63	15.4	3041	824	0.623	0.0432	678637	3.74	26.2	48.7	0.139	6.15
G14	2420	528	2.88	12.3	2928	856	0.678	0.0511	732909	3.22	36.5	57	0.154	6.59
G15	2363	266	2.7	11.5	2266	686	0.404	0.0182	469984	3.02	20.7	40.5	0.134	5.98

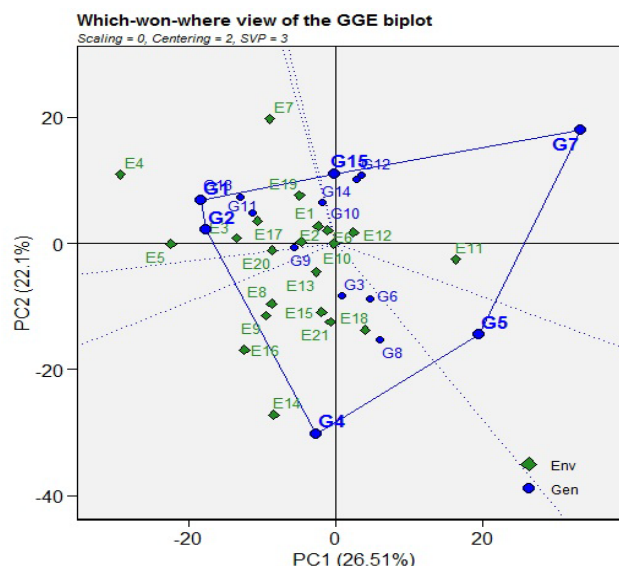
و یا همه محیط ها بودند، با توجه به خطوط عمود رسم شده از مرکز به ضلع ها، چندضلعی به چند بخش تقسیم می شود. هر بخش دارای یک ژنوتیپ رأس است و سایر ژنوتیپ ها در

لاین های رأس در این مطالعه G1 و G4، G5، G7 بودند. به دلیل دارا بودن بیشترین فاصله از مرکز بای پلات این لاین ها از نظر عملکرد بهترین و یا ضعیف ترین ژنوتیپ ها در بعضی از محیط ها



شکل ۳- گزینش هم زمان برای عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ های جو در محیط های مختلف

Fig 3. Simultaneous selection for grain yield and stability of barley genotypes in different environments



شکل ۴- نمایش گرافیکی انطباق ژنوتیپ های جو با محیط های دیم مورد مطالعه

Fig 4. Graphical display for barley adaptation to the studied dryland environments

همراه با ژنوتیپ های G10، G12، G14 و G15 در محیط های E11، E12 و E6 بیشترین عملکرد را از خود نشان دادند. هیچ محیطی در بخشی که ژنوتیپ های G5، به عنوان رقم رأس محسوب می شد، قرار نداشت. این امر نشان می دهد که این ژنوتیپ در هیچ یک از محیط ها بهترین نبود. تجزیه AMMI نیز ژنوتیپ های G1، G2، G4 و G13 را به عنوان ژنوتیپ هایی با سازگاری

برخی یا تمام محیط های آزمون از کمترین عملکرد برخوردار هستند. ژنوتیپ G1 به عنوان ژنوتیپ رأس همراه با ژنوتیپ های G2، G13 و G11 در محیط های E4، E5، E7، E19، E1، E3، E17، E2 و E20، ژنوتیپ G4 به عنوان ژنوتیپ رأس همراه با ژنوتیپ های G3، G6، G8 و G9 در محیط های E14، E16، E9، E2، E18، E15، E8 و E13 به عنوان ژنوتیپ رأس

جدول ۱۱- شاخص های انتخاب هم زمان بر مبنای شاخص های پایداری مختلف برای ژنوتیپ های جو در شرایط دیم

Table 11. Simultaneous selection indices based on different stability indices for barley genotypes under dryland condition

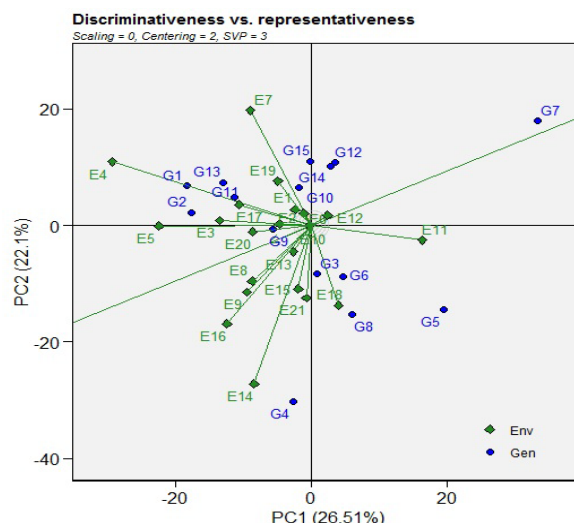
	Yield	ASTAB	ASI	ASV	AVAMGE	DA	DZ	EV	FA	MAI	MASV	SIPC	ZA	WAAS
G1	6	9	17	18	12	12	8	8	12	17	9	10	13	14
G2	2	7	12	12	7	11	5	5	11	12	6	8	11	13
G3	4	13	9	9	13	11	12	12	11	10	15	11	9	9
G4	3	17	16	14	17	17	14	14	17	16	17	18	18	18
G5	7	20	22	21	20	20	16	16	20	21	20	18	20	20
G6	11	21	18	18	18	19	18	18	19	19	20	21	21	21
G7	15	30	29	30	30	30	27	27	30	30	30	29	29	29
G8	13	19	25	26	23	24	18	18	24	25	25	14	24	25
G9	9	16	10	10	11	12	24	24	12	10	16	17	12	10
G10	8	20	10	10	20	12	21	21	20	15	18	21	20	17
G11	1	9	5	5	9	20	11	11	6	4	7	10	7	7
G12	14	25	17	17	25	6	28	28	24	19	22	26	22	21
G13	5	7	14	14	9	24	9	9	7	14	7	8	7	8
G14	10	14	18	18	13	7	16	16	14	14	15	15	14	14
G15	12	13	18	18	13	14	13	13	13	14	13	14	13	14

محور) تقریباً متناسب با انحراف استاندارد ژنوتیپ ها در هر محیط است (Kroonenberg, 1995)، در حالی که برای یک بای پلات متمرکز بر ژنوتیپ، تقریباً تنوع را در میان محیط ها نشان می دهد (Yan & Kang, 2003). توضیح این که محیط های با زاویه بسته نسبت به خط ATC، به خصوص آن هایی که بردارهای بلندتری نیز دارند، علاوه بر نشان دادن عملکرد بالا، به خوبی می توانند ژنوتیپ های پایدار را از ژنوتیپ های ناپایدار تفکیک کنند. این نمای بای پلات نشان می دهد که محیط های با توانایی تمایز و نمایندگی (کوچک ترین زاویه) (به عنوان مثال محیط های E5، E16 و تا حدودی E3، E9 و E8) محیط های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ های سازگار هستند. بر این اساس می توان ژنوتیپ های G9، G2 و G11 را به عنوان ژنوتیپ های سازگار معرفی کرد. محیط های با توانایی تمایز ولی غیر نماینده (به عنوان مثال محیط های E4، E7 و E11) برای گزینش ژنوتیپ های خاص با توجه به محیط های کلان قابل استفاده هستند (شکل ۵). بنابراین این محیط ها نیز ژنوتیپ های G1، G11 و G9 را به عنوان ژنوتیپ های برتر معرفی می کنند. این دیدگاه از بای پلات همچنین

خصوصی معرفی کرد که در کنار محیط های E4، E3، E5 و E7 قرار گرفتند. این حالت در مورد ژنوتیپ G4 و محیط های E18 و E14 نیز وجود دارد.

روابط بین محیط ها و ژنوتیپ ها

توانایی تفکیک و تمایز یک محیط، بستگی به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ های مورد بررسی دارد؛ ولی توانایی نمایندگی یک محیط نشان دهنده این است که محیط مورد نظر تا چه میزان نماینده شرایط سایر محیط های آزمایشی است (Blanche & Myers, 2006)؛ بنابراین محیط ایده آل هم باید توانایی تفکیک و تمایز بین ژنوتیپ ها و هم توانایی نمایندگی محیط ها را داشته باشد تا بتواند ژنوتیپ های سازگار را به درستی تشخیص دهد. این خصوصیت در روش GGE biplot تحت عنوان قدرت تفکیک محیط ها در برابر میزان نمایندگی آن ها (Discriminateness vs. Representativeness) نشان داده می شود (Yan & Tinker, 2003). نمای برداری GGE biplot می تواند اطلاعات مربوط به واریانس درون محیط را نیز ارائه دهد، به طوری که طول بردارهای محیط (در یک بای پلات محیط



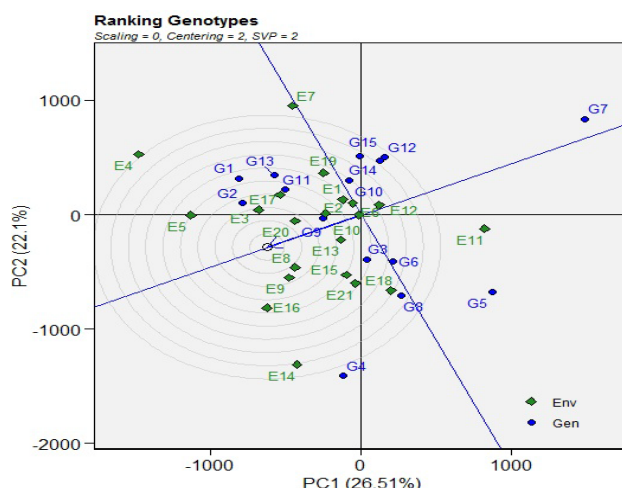
شکل ۵- روابط میان محیط ها و مقایسه هم زمان محیط ها از نظر قابلیت تفکیک ژنوتیپ های جو در مقابل نماینده بودن آنها

Fig 5. The relationship among testing environments and the comparison of the environments based on their barley genotypes discriminativeness vs. representativeness.

در بای پلات ارزیابی ژنوتیپ ها، ژنوتیپ ایده آل به وسیله یک دایره کوچک که بر روی محور افقی AEC واقع است و با یک پیکان به آن اشاره می شود شناخته می شود، ژنوتیپ ایده آل ژنوتیپی است که کاملاً پایدار نسبت به شرایط محیطی بوده و دارای بالاترین عملکرد در محیط های مورد مطالعه می باشد (Roustaie et al., 2003). این ژنوتیپ دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ های با عملکرد بالا و دارای کمترین نقش در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط می باشد. به ندرت چنین ژنوتیپی در واقعیت وجود دارد. ولی از آن به عنوان یک مرجع برای ارزیابی ژنوتیپ های دیگر استفاده می کنند. برای این امر، از بای پلاتی با دایره های هم مرکز در آن به منظور تعیین فاصله بین ژنوتیپ ها با مرکزیت ژنوتیپ ایده آل استفاده می شود (شکل ۶). دوایر هم مرکز، به تجسم فاصله بین ژنوتیپ های مورد مطالعه و ژنوتیپ ایده آل کمک می کنند. با توجه به اینکه ژنوتیپ واقع شده در مرکز دایره ها، ژنوتیپی با میانگین

محیط های اضافه را مشخص می کند. اگر برخی از محیط ها با یکدیگر همبستگی مثبت دارند، اطلاعات مربوط به ژنوتیپ های به دست آمده از این محیط ها مشابه خواهند بود. اگر این شباهت در طول سال ها قابل تکرار باشد، این محیط ها اضافه هستند و یک محیط واحد کفایت می کند. به دست آوردن اطلاعات یکسان یا بهتر با استفاده از محیط آزمایش کمتر، باعث کاهش هزینه و افزایش بازده اصلاحی می شود و پیشنهاد شده است که کاهش مکان ها سبب کاهش هزینه آزمایش می شود (Yan & Rajcan, 2002). زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین محیط ها حاکی از عملکرد مشابه آن ها در شناسایی و تفکیک ژنوتیپ ها می باشد. زاویه بین محیط ها در درون گروه های محیطی کلان شناسایی شده (دو گروه) نیز کمتر از ۹۰ درجه بود که حاکی از رفتار مشابه در رتبه بندی و تفکیک ژنوتیپ ها می باشد.

رتبه بندی ژنوتیپ ها بر اساس ژنوتیپ
ایده آل



شکل ۶: ارزیابی ژنوتیپ‌های جو نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل در محیط‌های دیم مورد بررسی

Fig 6. Evaluation of barley genotypes compared to the ideal genotype in the studied dryland environments

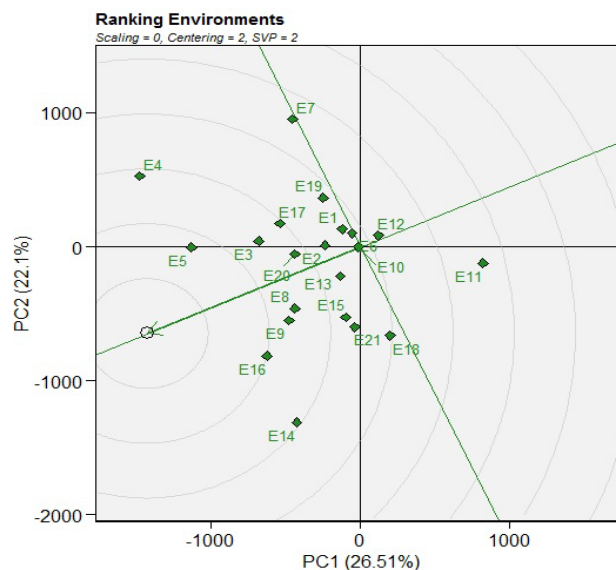
محیط آزمون نمایانگر محیط هدف نباشد، به دلیل فراهم نمودن اطلاعات اریب احتمالی درباره ژنوتیپ‌های مورد بررسی، می‌تواند نتایج نادرستی نیز داشته باشد. محیط فاقد توانایی تمایز، هیچ اطلاعاتی را درباره ارقام فراهم نمی‌کند، در نتیجه این محیط آزمون قابل استفاده نیست (Letta *et al.*, 2008). این ویژگی برای محیط‌های ایده‌آل در محصولات مختلف زراعی مانند جو (Koocheki *et al.*, 2012 a and b)، گندم (Mohammadi *et al.*, 2010)، ذرت (Dimitrios *et al.*, 2007) و پنبه (Fan *et al.*, 2007) مورد استفاده قرار گرفته است. روش شناسایی یک محیط نمونه در بای‌پلات، مانند انتخاب یک ژنوتیپ ایده‌آل عبارت از تعریف یک محیط متوسط و استفاده از آن به عنوان مرجع یا معیار است. محیط متوسط در شکل ۷ به وسیله یک دایره کوچک بر روی محور AEC نشان داده شده است. همان‌طور که گفته شد محیط ایده‌آل باید توانایی تفکیک و تمایز و توانایی نمایندگی سایر محیط‌های آزمایشی را برای توسعه مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد؛

عملکرد بالا و دارای پایداری عملکرد بالاست می‌توان ژنوتیپ‌های G2، G9 و G11 را به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا بوده و نیز پایداری عملکرد بالایی دارند، در نظر گرفت. به همین ترتیب ژنوتیپ‌های G1، G3 و G13 در مرحله بعد نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل واقع شده و تا حدودی می‌توان آن‌ها را نیز به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب در نظر گرفت. ولی ژنوتیپ‌های G4، G5، G7 و با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و خارج از محدوده دایره هم‌مرکز به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب شناخته شدند.

رتبه‌بندی محیط‌ها براساس محیط

ایده‌آل

با اینکه آزمایش‌های انجام شده در چند محیط، برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها به کار می‌روند، می‌توان از این آزمایشات برای ارزیابی محیط‌ها نیز استفاده کرد. محیط ایده‌آل، محیطی است که علاوه بر نشان دادن اختلاف بین محیط‌ها، نماینده خوبی از محیط هدف نیز باشد (Yan *et al.*, 2010). اگر یک



شکل ۷ - با پلات مقایسه محیطها با محیط ایده آل براساس توانایی تمایز و نمایندگی بودن محیط هدف

Figure 7. Biplot comparing the environments with the ideal environment based on the ability to distinguish and represent the target environment

این خصوصیات در مدل بای پلات تحت عنوان قدرت تفکیک محیطها در مقابل نمایندگی آنها آورده شده است (Yan & Tinker, 2006). همانطور که ملاحظه می شود محیط ایده‌الی در این آزمایش مشاهده نشد ولی باین حال، محیطهای E5 و E16 نزدیک ترین محیطها به شرایط محیط ایده‌آل بودند. پس از این محیطها نیز محیطهای E9، E8، E3 و E20 قرار داشتند.

عملکرد و پایداری ژنوتیپها در محیطهای مورد مطالعه

مقایسه عملکرد و پایداری ژنوتیپهای مورد بررسی با استفاده از تجسم عملکرد آنها در یک محیط خاص (بای پلاتهای مربوطه نشان داده نشده‌اند) (جدول ۱۲) نشان داد که در ایستگاه مراغه ژنوتیپهای G1، G2، G13 و G11 بیشترین عملکرد و ژنوتیپهای G9، G2 و G11 دارای بیشترین پایداری، در ایستگاه قاملو ژنوتیپهای G1، G2، G13 و G11 بیشترین عملکرد و ژنوتیپهای G1، G9،

G11 و G2 دارای بیشترین پایداری، در ایستگاه شیروان ژنوتیپهای G1، G2، G13 و G11 بیشترین عملکرد و ژنوتیپهای G6، G8 و G3 دارای بیشترین پایداری، در ایستگاه زنجان ژنوتیپهای G1، G2، G4 و G8 بیشترین عملکرد و ژنوتیپهای G9، G10 و G12 دارای بیشترین پایداری، در ایستگاه سرارود ژنوتیپهای G1، G2، G13 و G11 و بیشترین عملکرد و ژنوتیپهای G9، G3 و G12 دارای بیشترین پایداری، در ایستگاه همدان ژنوتیپهای G4، G5، G8 و G3 بیشترین عملکرد و ژنوتیپهای G3، G12، G14 و G15 دارای بیشترین پایداری، در ایستگاه اردبیل ژنوتیپهای G4، G2 و G8 بیشترین عملکرد و ژنوتیپهای G9 و G3 دارای بیشترین پایداری و در ایستگاه ارومیه ژنوتیپهای G1، G2، G3 و G11 بیشترین عملکرد و ژنوتیپهای G3 و G10 دارای بیشترین پایداری در سالهای مورد مطالعه بودند.

جدول ۱۲- عملکرد و پایداری ژنوتیپ ها در ایستگاه و سال های مورد مطالعه

Table 12. Performance and stability of genotypes in the station and years under study

محیط Environment	بالاترین عملکرد Highest yield	بیشترین پایداری Maximum stability	محیط Environment	بالاترین عملکرد Highest yield	بیشترین پایداری Maximum stability
E1	G1, G13, G2, G11	G6, G10, G9, G3, G13	E12	G7, G12, G14, G5	G9, G7, G12, G10
E2	G1, G2, G3, G11	G9, G2, G11	E13	G4, G8, G2, G3	G9, G12, G14, G3
E3	G1, G2, G13, G11	G9, G2, G11	E14	G4, G8, G3, G5	G3, G12, G14, G15, G9
E4	G1, G2, G13, G11	G1, G11, G9, G13	E15	G4, G8, G5, G3	G3, G12, G14, G15, G10
E5	G1, G2, G13, G11	G9, G2, G11, G1	E16	G4, G8, G2, G3	G12, G14, G9, G3, G15
E6	G1, G13, G2, G11	G6, G8, G3, G10	E17	G1, G2, G13, G11	G11, G1, G9, G13
E7	G1, G13, G15, G2	G6, G8, G3, G10	E18	G4, G5, G8, G6	G8, G3, G6, G10
E8	G4, G2, G1, G8	G9, G3, G10, G12	E19	G1, G13, G2, G11	G10, G6, G3, G8
E9	G4, G2, G8, G1	G9, G12, G3, G10, G14	E20	G1, G2, G13, G11	G9, G2, G11, G10
E10	G2, G1, G13, G11	G9, G2, G11, G10	E21	G4, G8, G5, G3	G4, G3, G15, G12, G14
E11	G7, G5, G8, G6	G9, G2, G11, G1			

نتیجه گیری

ژنوتیپ های G11، G2، G4، G1 و G13 دارای بالاترین عملکرد با پایداری نسبتاً کمتر قرار داشتند. این روش نیز ژنوتیپ های G9، G2 و G11 را به عنوان ژنوتیپ های سازگار معرفی کرد. این ژنوتیپ ها به عنوان ژنوتیپ های مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا بوده و نیز پایداری عملکرد بالایی دارند، معرفی شدند. در مرحله بعد نیز ژنوتیپ های G1، G3 و G13 قرار داشتند. با توجه به این که در مسیر اصلاح یک رقم زراعی وقت و هزینه زیادی صرف می شود این روند ایجاب می کند که جهت تجزیه پایداری و سازگاری ارقام، بهترین روش را به کار گرفته تا ژنوتیپ های دارای عملکرد بالا و دارای کمترین اثر متقابل با محیط انتخاب شوند و در صورت وجود سازگاری خصوصی، ژنوتیپ های معینی برای مناطق مشخص، معرفی شوند با توجه به نتایج دو تجزیه می توان ژنوتیپ G9 را به عنوان پایدارترین ژنوتیپ و ژنوتیپ های G1، G11،

تجزیه AMMI نشان داد ژنوتیپ های G14، G10 و G9 دارای اثر متقابل پایینی بوده و با عملکردی نزدیک به میانگین می توانند به عنوان ژنوتیپ های با سازگاری عمومی معرفی شوند. در مقابل ژنوتیپ های G1، G2، G4 و G13 با دارا بودن بیشترین عملکرد به عنوان ژنوتیپ هایی با سازگاری خصوصی معرفی شدند. براساس شاخص های پایداری مبتنی بر تجزیه AMMI و شاخص انتخاب هم زمان در مجموع پارامترهای محاسبه شده نیز ژنوتیپ های G1، G11، G2، G13 و G3 دارای کمترین مجموع بوده و می توانند به عنوان ژنوتیپ های پایدار با عملکرد بالا انتخاب شوند. انتخاب ژنوتیپ های شاهد G1، G2 و G3 در این روش نشان از صحت محاسبات و برآوردهای انجام شده دارد. براساس روش GGE-biplot ژنوتیپ G9 دارای بیشترین پایداری عمومی بود و در مرحله بعد،

G2، G13 و G3 را به عنوان ژنوتیپ های با
سازگاری و عملکرد بالا معرفی کرد.

سپاسگزاری

این طرح با حمایت مالی موسسه دیم
کشور و کمک همکاران محترم در ایستگاه های
تحقیقات دیم در اقلیم سرد کشور به انجام
رسیده است که بدین وسیله از آنها سپاسگزاری
می گردد.

References

- Abay, F., and Bjornstad, A. 2009. Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia. *Euphytica*, 167: 181-195.
- Agricultural statistics for 1401, 1402. Volume 1, Crops, Deputy of Statistics, Information and Communication Technology Center, Iran
- Ajay, B.C., Aravind, J., and Abdul Fiyaz, R. 2018. Ammistability: additive main effects and multiplicative interaction model stability parameters. <https://cran.r-project.org/src/contrib/Archive/ammistability/>.
- Akar, T., Avci, M., and Dusunceli, F. 2007. Barley: Post-harvest operations. FAO Annual Report.
- Akbarpour, O.A., Dehghani, H., and Sorkhi-Lalehloo, B. 2011. Investigating univariate and multivariate stability parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising genotypes in cold climates of Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42 (1), 23-32 (In Persian with English Summary).
- Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*, 94: 53-62.
- Anonymous. 2021. Report on the level, production and performance of agricultural crops in the agricultural year 2019-2020. Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agricultural Jihad.
- Azizi, A.H., Sardouie Nasab, S., Mohammadi Nejad, G., Nakhoda, B., Mardi, M., Tabatabaie, S.M.T., Amini, A., and Majidi Herrvan, A. 2016. Estimation of genotype by environment interaction and pattern analysis ofm genotype in varied bread wheat lines under salinity stress condition, *Journal of Crop Breeding*, 8 (19), 80-85 (In Persian with English Summary).
- Badooei Delfard, R., Mostafavi, K., and Mohammadi, A. 2016. Genotype-environment interaction and yield stability of winter barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Breeding*, 8(20), 99-106 (In Persian with English Summary).
- Barati, A., Lakzadeh, I., Jabbari, M., Poodineh, O., Jafarbbby, J., Shahbazihomonlo, K., Gholipour, A., and Tabatabaei Fard, N.A. 2020. Evaluation of grain yield stability of irrigated barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in warm

- regions of Iran using GGE biplot analysis. *Iranian Journal of Crop Science*, 22: 212-224 (In Persian with English Abstract).
- Blanche, S.B., and Myers, G.O. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*, 46: 946-949.
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J., and Weretilnyk, E. 2000. Responses to abiotic stresses. In Biochemistry and molecular biology of plants. In W. Gruissem, B. Buchanan and R. Jones (Eds). Pp 1158-1249. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD.
- Cleveland, D. A. 2001. The case of yield stability. *Agriculture and Human Values*, 18: 251- 270.
- Danyali, S.F., Razavi, F., Ebadi Segherloo, A., Dehghani, H., and Sabaghpour, S.H. 2012. Yield stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and study relationship among the univariate and multivariate stability parameters. *Research in Plant Biology*, 2(3), 46-61.
- Dehghani, H., Ebadi, A., and Yousefi, A. 2006. Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. *Agronomy Journal*, 98: 388-393.
- Dimitrios, B., Christos, G., Jesus, R., and Eva, B. 2008. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agronomy Journal*, 100: 1230-1236.
- Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd Ed. Longman, London, UK.
- Fan, X.M., Kang, M.S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., and Xu, C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multienvironment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99: 220-228.
- Farshadfar, E., Rashidi, M., Jowkar, M.M., and Zali, H. 2012. GGE Biplot analysis of genotype $\times$ environment interaction in chickpea genotypes, *European Journal of Experimental Biology*, 3 (1), 417-423.
- Farshadfar, E. 2008. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. *Pakistan Journal of Biological Science*, 11: 1791-1796.

- Fattahi, F., and Yossefi, A. 2006. Evaluation of yield stability of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using repeatable stability parameters and pattern analysis of AMMI model. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 37 (2), 317-326 (In Persian with English Summary).
- Gabriel K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 51: 453-467.
- Gan, L. X. Wu., and Zhong, Y. 2015. Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in hullless barley. *Plant Production Science*, 18(1), 52-56.
- Ghazvini, H., Bagherikiab, S., Pour-Aboughadareha, A.R., Sharifalhossainic, M., Razavic, S.A.R., Mohammadi, S., Ghasemi Kalkhorane, M., Fathi hafshejani, A., and Khakizadeg, G.R. 2022. GGE biplot analysis of promising barley lines in the cold regions of Iran. *Journal of Crop Improvement*, 36 (4), 1-12.
- Golkari, S., Hagparast, R., Roohi, E., Nazari, H., Ahmadi, M.M., Abedi Asl, G., and Babaei, T. 2021. Genotype $\times$ environment interactions effects on grain yield in winter wheat grown under rainfed conditions. *Applied Research in Field Crops*, 34 (1), 55-70, (In Persian with English Abstract).
- Jafari, T., and Farshadfar, E. 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research*, 8: 199-208, (In Persian with English Abstract).
- Jambhulkar, N.N., Bose L.K., and Singh, O.N. 2014. AMMI stability index for stability analysis. In: Mohapatra, T. (Eds.), Central Rice Research Institute, Cuttack, Orissa, 35: 15–15.
- Karimzadeh, R., Hosseinpour, T., Sharifi, P., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo, K., and Keshavarzi, K. 2020. Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions. *Cereal Research*, 10 (2), 135-147, (In Persian with English Abstract).
- Ketata, H. 1994. Barley breeding. ICARDA. Aleppo. Syria.
- Khamari, A., Mostafavi, K., and Mohammadi, A. 2018. Evaluation of grain yield stability of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars using the main combination effects and multiplicative interactions. *Journal of Crop*

- Production*, 11 (2), 185-195. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Sorkhi, B., and Eslamzadeh Hesari, M.R. 2012a. Yield stability of barley elite genotypes in cold regions of Iran using GGE biplot, *Seed and Plant Improvement Journal*, 4(28), 533-543 (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Sorkhi, B., and Eslamzadeh Hesari, M.R. 2012b. 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 with English Summary).
- Kroonenberg, P.M. 1995. Introduction to biplots for GE tables. Department of Mathematics, Research Report 51. Australia, University of Queensland. 22 p.
- Letta, T.D., Egidio, M.G., and Abinasa, M. 2008. Analysis of multi-environment yield trials in durum wheat based on GGE-biplot electronic resource. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6(2), 217-221.
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A., and Ceccarelli, S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE bi-plot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science*, 61: 92-101.
- Mohammadi, R., Amri, A., and Ansari, Y. 2009. Biplot analysis of rainfed barley multi environment trials in Iran. *Agronomy Journal*, 101: 789-796.
- Mortazavian, S.M.M., Nikkhah, H.R., Hassani, F.A., Sharif-al-hosseini, M., Taheri, M., and Mahloohi, 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.
- Olivoto, T. 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. <https://github.com/TiagoOlivoto/metan> (accessed 24 June 2019).
- Peterson, C.J., Moffatt, J.M., and Erickson, J.R. 1997. Yield stability of hybrid vs. pure line hard winter wheats in regional performance trials. *Crop Science*, 37:116-120.
- Pouresmael, M., Kanouni, H., Hajihassani, M., Astraki, H., Mirakhorli, A., Nasrollahi, M., and Mozaffari, J. 2018. Stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces in national plant gene bank of Iran for drylands. *Journal of*

- Agricultural Science and Technology*, 20: 387-400.
- Purchase, J.L., Hatting, H., and Van Deventer, C.S. 2000. Genotype $\times$ environment interaction of winter wheat in south Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South Africa Journal of Plant and Soil*, 17 (3), 101-107.
- Raju B.M.K. 2002. A study on AMMI model and its biplots. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 55: 297-322.
- Rao A.R., and Prabhakaran, V.T. 2005. Use of AMMI in simultaneous selection of genotypes for yield and stability, *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 59: 76-82.
- Rodriguez, M., Rau, D., and Papa, R. 2007. Genotype by environment interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. *Euphytica*, 163 (2), 231-247.
- Roustaie, M., Sadeghzadeh Ahari, D., Hesami, A., Soleymani, K., Pashapour, H., Nader-Mahmoudi, K., Pour Siahbidi, M.M., Ahmadi, M., Hassanpour Hosni, M., and Abedi-Asl, M. 2003. Study of adaptability and stability of grain yield of bread wheat genotypes in cold and moderate-cold dry land areas. *Seed and Plant Improvement Journal*, 19 (2), 263-275, (In Persian with English Summary).
- Samonte, S.O.P., Wilson, L.T., McClung, A.M., and Medley, J.C. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Science*, 45: 2414-2424.
- Sarmadnia, G., and Kochki, A. 1997. Physiological aspects of rainfed agriculture. University Jihad of Mashhad.
- Sharifi, P. 2020. Application of multivariate analysis methods in agricultural sciences. Rasht Branch, Islamic Azad University press. 308 p.
- Sneller, C.H., Kilgore-norquest, L., and Dombek, D. 1997. Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science*, 7: 383-390.
- 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

- with English Summary).
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., and Dorii, M. 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, 45(3), 500-511.
- Yan, W., Fregeau-Reid, J.A., Pageau, D., Martin, R.A., Mitchell fetch, J.W., Etienne, M., Rowsell, J., Scott, P., Price, M., De Haan, B., Cummiskey, A., Lajeunesse, J., Durand, J, and Sparry, E. 2010. Identifying essential test locations for oat breeding in eastern Canada. *Crop Science*, 50: 504-515.
- Yan, W., and Tinker, N.A. 2006. An integrated system of biplot analysis for displaying, interpreting and exploring genotype by environment interactions. *Crop Science*, 45: 1224-1216.
- Yan, W., and Tinker, N.A. 2005. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 16: 603-645.
- Yan, W., and Kang, M.S. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan, W., and Rajcan, I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42(1), 11-20.
- Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H., and Karimizadeh, R. 2012. Evaluation of genotype×environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3: 3126-3136, (In Persian with English Summary).
- Zhang, Z., Lu, C., and Xiang, Z. 1998. Analysis of variety stability based on AMMI model. *Acta Agronomica Sinica*, 24: 304–309.
- Zobel, R.W., Wright, A.J., and Gauch, H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80: 388-393.

Investigating the Yield Stability and Adaptability of Promising Rainfed Genotypes in the Cold Climate of the Country

Farhad Ahakpaz¹, Ali Akbar Asadi^{2*}, Elyas Neyestani³, Abdolvahab Abdulahi⁴, Mohamad Sharif Khaledian⁵, Saber Seif Amiri⁶, Houman Mohammadi⁷, Gholamreza Khalilzadeh⁸

1. Assistant Professor Maragheh Rainfed Agricultural Research Institute, AREEO, Maragheh, Iran.
2. Assistant of Professor, Crop and Horticultural Science Research department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran. (Corresponding author)
3. Assistant of Professor, Crop and Horticultural Science Research department, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bojnurd, Iran.*
4. Assistant Professor of Cereal Research Department, Rainfed Agricultural Research Institute, Sararoud, AREEO, Kermanshah, Iran
5. Expert of Crop and Horticultural Science Research department, Kordestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran.
6. Instructor of Crop and Horticultural Science Research department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran
7. Expert of Crop and Horticultural Science Research department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.
8. Assistant of Professor, Crop and Horticultural Science Research department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

Received: October 2023 Accepted: September 2024- DOI: 10.22092/aj.2024.363914.1663

Extended Abstract

Ahakpaz, F., Asadi, A. A., Neyestani, E., Abdulahi, A., Sharif Khaledian, M., Seif Amiri, S., Mohammadi, H., Khalilzadeh, G.H., Investigating the Yield Stability and Adaptability of Promising Rainfed Genotypes in the Cold Climate of the Country
Applied Research in Field Crops Vol 36, No. 2, 2023 13-16: 74-102 (in Persian)

Introduction:

Rainfed barley, mainly grown in cold and cold temperate regions of Iran, is largely affected by inadequate rainfall and its uneven distribution. Cold temperature is one of the main limiting factors in barley production in the drylands of cold regions of Iran, which significantly restricts the expansion of barely cultivation areas. Genotype $\times$ environment interaction is the main reason for the differences in the adaptation of cultivars in different environments (Cleveland, 2001). The various methods used to investigate the interaction can be traced back to AMMI and GGE biplot (Khamari *et al.*, 2018). The AMMI analysis identifies genotypes and environments in relation to each other and the studied environments by locating genotypes and environments on the biplot.

In GGE biplot method, the effects of genotype and genotype interaction $\times$ environment are graphically investigated; Also, genotypes can be evaluated based on yield in separate environments, all environments, stability and yield composition, private and general adaptation. (Yan & Tinker, 2005). The aim of this study was to analyze the interaction of genotype $\times$ environment in barley genotypes using multivariate methods to evaluate genotypes, environments, relationships between genotypes and environments and also to determine stable genotypes in terms of yield.

Materials & Methods:

In this study, 12 promising barley genotypes along with 3 control cultivars — Ansar, Abidar and Sararud1 — were studied under rainfed conditions in a randomized complete block design with four replications at dryland research stations in cold and temperate cold regions of Iran for three cropping years (2018 to 2021). After determining grain yield, combined analysis of variance was performed. AMMI and GGE biplot analysis were used to evaluate the stability of genotypes. After performing AMMI analysis, stability analysis parameters and simultaneous selection indices were calculated.

Results & Discussion:

The combined analysis of variance showed that simple and interaction effects were significant at the 1% probability level. This was the reason for the variability in environmental conditions across the different stations and throughout the years under test. The main environmental effect and genotype $\times$ interaction had the highest share of total squares observed in the experiments, accounting for 83.7% and 8.2%, respectively. AMMI analysis showed that genotypes G14, G10 and G9 had low interaction and with a near-average yield could be introduced as genotypes with general adaptation. In contrast, G1, G2, G4 and G13 genotypes with the highest yield were introduced as genotypes with private adaptation. Based on the stability indices obtained from AMMI analysis and simultaneous selection index, among all the calculated parameters, genotypes G1, G11, G2, G13 and G3 exhibited the lowest totals, indicating their potential as stable, high-yielding genotypes. The selection of

control genotypes G1, G2 and G3 using this method validated the accuracy of the calculations and estimations. Based on GGE biplot method, G9 genotype demonstrated the greatest overall stability and in the next stage, G11, G2, G4, G1 and G13 exhibited the highest yield with relatively low stability. This method introduced genotypes G9, G2 and G11 as compatible characterizing them as desirable genotypes due to their high average yield and strong yield stability. In the next step, genotypes G1, G3 and G13 were included. According to the results of two analyses, genotype G9 was distinguished as the most stable genotype and genotypes G1, G11, G2, G13 and G3 were recognized for their high adaptability and yield.

Conclusion:

Considering that a great deal of time and financial resources are expended on cultivar breeding, it is imperative to employ the most effective method for analyzing the stability and adaptability of cultivars. This ensures the selection of high-yielding genotypes with the least environmental interaction and if there is a specific adaptation, certain genotypes are introduced for specific regions. Therefore, due to the multiplicity of stability analysis methods, it is advisable to examine the results of experiments by several methods in order to be more confident when it comes to identifying and introducing superior genotypes as relying solely on one particular method does not seem reasonable.

Acknowledgements:

This study was completed with the financial support of the Dryland Agriculture Research Institute (DARI) and the help of respected colleagues in the rain research stations in the cold climate of the country, for which we would like to thank them.

Keywords: AMMI Analysis, GGE biplot Analysis, Simultaneous selection index

References:

- Cleveland, D. A. 2001. The case of yield stability. *Agriculture and Human Values*, 18: 251- 270.
- Khamari, A., Mostafavi, K., and Mohammadi, A. 2018. Evaluation of grain

yield stability of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars using the main combination effects and multiplicative interactions. *Journal of Crop Production*, 11 (2), 185-195. (In Persian with English Summary).

Yan, W., and Tinker, N.A. 2005. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 16: 603-645.