

Stability Analysis of Barley Genotypes in Cold Regions

Habibollah Ghazvini¹, Ali Akbar Asadi^{2*}, Soleiman Mohammadi³, Seied Alireza Razavi⁴,
Marefat Ghasemi Kalkhoran⁵

Received: 29 May 2023 Accepted: 31 August 2023

- 1- Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 2- Asist. of Prof., of Crop and Horticultural Science Research Dept, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Zanjan, Iran.
- 3- Assoc. Prof., of Dept. of Seed and Plant Improvement Research, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, (AREEO), Urmia, Iran.
- 4- Assist. Prof., Horticulture Crops Research Dept., Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Mashhad, Iran
- 5- Asist. Prof., of Crop and Horticultural Science Research Dept., Ardabil Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Ardabil, Iran.

*Corresponding Author Email: asadipm@gmail.com

Abstract

Objectives: This research was conducted in order to evaluate the reaction of different barley genotypes and to understand better the genotype \times environment interaction effect in different areas of the country's cold climate, and to select stable genotypes.

Materials and Methods: Four barley genotypes, including Jalgah, Mehtab, Bahman, CB-96-10, along with four imported genotypes in five stations of Karaj, Zanjan, Jalgarokh, Ardabil, and Miandoab in the form of complete randomized block design with three replications in two consecutive years of evaluation became.

Results: In Eberhart and Russell method, G1, G4, and G6 genotypes; in parametric methods G1, G4, G6, and to some extent G7 genotypes and; in nonparametric methods G1, G4, and G6 genotypes were identified as stable genotypes. According to the comparison of average performance, sustainability criteria and agricultural characteristics and general compatibility using AMMI analysis, G6, G1, and G7 genotypes were recognized as the most suitable and most compatible genotypes, respectively and can be considered as climate compatible cultivars in all cold regions of the country. Genotypes G2, and G3 are also considered varieties with private compatibility.

Conclusion: According to the results, G6, and G1 genotypes can be considered as the most compatible genotypes in all cold regions of the country, and G2, and G3 genotypes can also be considered as genotypes with high private compatibility in high potential regions.

Keywords: AMMI analysis, Barley, Interaction, Parametric and Nonparametric Methods,

تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های جو در مناطق سرد

حبیب اله قزوینی^۱، علی اکبر اسدی^{۲*}، سلیمان محمدی^۳، سید علیرضا رضوی^۴، معرفت قاسمی کلخوران^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

- ۱- دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
 - ۲- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
 - ۳- دانشیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
 - ۴- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
 - ۵- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
- *مسئول مکاتبه: Email: asadipm@gmail.com

چکیده

اهداف: این مطالعه به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف جو و درک بهتر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور و انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار انجام شد.

مواد و روش‌ها: تعداد ۴ ژنوتیپ جو شامل ارقام جلگه، مهتاب، بهمن، لاین CB-96-10، به همراه چهار ژنوتیپ وارداتی در ۵ ایستگاه کرج، زنجان، جلگه‌رخ، اردبیل و میاندوآب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال متوالی کشت و ارزیابی شد. پس از به دست آوردن عملکرد ارقام در هر محیط، تجزیه واریانس مرکب انجام شد. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، برای تعیین سازگاری و پایداری ارقام از روش‌های مختلف تجزیه پایداری (پارامتری و ناپارامتری) و روش AMMI استفاده شد.

یافته‌ها: در روش ابرهات و راسل ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6، در روش‌های پارامتری ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و تا حدودی G7 و در روش‌های ناپارامتری ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. با توجه به مقایسه میانگین عملکرد، معیارهای پایداری و خصوصیات زراعی و سازگاری عمومی با استفاده از تجزیه AMMI، ژنوتیپ‌های G1، G6 و G7 به ترتیب به عنوان مناسب‌ترین و سازگارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند و می‌توانند به عنوان ارقام جو سازگار در کلیه مناطق سرد کشور مورد توجه قرار گیرند. ژنوتیپ‌های G2 و G3 نیز ارقامی با سازگاری خصوصی محسوب می‌شوند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج می‌توان ژنوتیپ‌های G1 و G6 را به عنوان سازگارترین ژنوتیپ‌ها در کلیه مناطق سرد کشور و ژنوتیپ‌های G2 و G3 را نیز به عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری خصوصی بالا در مناطق پر پتانسیل محسوب کرد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل، تجزیه AMMI، جو، روش‌های پارامتری و ناپارامتری

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare*. L) با سطح زیر کشت بالغ‌بر یک و نیم میلیون هکتار در سال (۶۵۰ تا ۷۵۰ هزار هکتار جو آبی با میانگین عملکرد ۳۴۰۰ کیلوگرم در هکتار)، از عمده محصولات زراعی ایران می‌باشد که با توجه به سازگاری وسیع اکولوژیکی در اکثر نقاط کشور مورد کشت قرار می‌گیرد (احمدی و همکاران ۲۰۲۰). در مقایسه با سایر روش‌های اصلاحی گیاهان زراعی، وارد نمودن ارقام گیاهی دارای قدمت بیشتری بوده و می‌توان از آن‌ها به‌صورت مستقیم (معرفی به‌عنوان رقم) و یا غیرمستقیم (در تلاقی با ارقام و لاین‌های محلی) استفاده کرد (آکوا ۲۰۱۲). ارقام گندم آکوا، کلار، بزوستایا، MV17، مغان ۲، استار، گاسکوژن، سایشون و گاسپارد، گندم‌های دوروم یاواروس و سیمینه و ارقام جو گرگان ۴، سینا، کویر، ارس، ماکویی، پروداکتیو، دشت و مهتاب از ارقامی هستند که همگی به‌صورت تجارتي در کشورهای مبدأ خود مورد کشت و زرع قرار می‌گرفته و پس از ورود به کشور و عملکرد خوب در آزمایشات با داشتن سازگاری‌های خصوصی و عمومی خوب در بسیاری از مناطق کشور مورد استفاده زارعین قرار گرفته‌اند (سعیدی و همکاران ۲۰۰۵). برای ثبت ارقام وارداتی نیاز به ارزیابی‌های اولیه آن‌ها در قالب آزمایش‌های بررسی ارزش‌های زراعی ارقام وارداتی مطابق دستورالعمل‌های استاندارد موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال می‌باشد (جمالی ۲۰۱۲). یکی از کلیدی‌ترین فاکتورها در این ارزیابی‌ها، بررسی سازگاری و پایداری عملکرد این ارقام در دامنه وسیعی از مناطق جغرافیایی به همراه ارقام شاهد است.

واکنش متفاوت ارقام در برابر تغییرات محیطی و سازگاری با شرایط اقلیمی موجود در کشور مسئله مهمی است که در انتخاب ارقام وارداتی، باید مورد توجه خاص قرار گیرد. باید دانست که در برنامه‌های معرفی ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده، استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌تنهایی معیار مطلوبی جهت گزینش نیست، بلکه میزان

سازگاری و پایداری نیز نقش مهمی را ایفاء می‌کند. بدین منظور آزمایش‌های مقایسه عملکرد در مناطق و سال‌های مختلف صورت گرفته (فرشادفر و استوکا ۲۰۰۶) و در ادامه برای بررسی سازگاری ارقام روش‌های آماری مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله این روش‌ها می‌توان به تعیین واریانس ارقام (رومر ۱۹۱۷)، ضریب تغییرات محیطی (فرانسیس و کانبرگ ۱۹۷۸)، استفاده از تجزیه رگرسیونی (بییتس و کوکران ۱۹۳۸)، تجزیه واریانس ارقام به اجزاء مختلف (اسپارگو و فدرر ۱۹۵۱)، تجزیه واریانس زوجی ارقام (پلاستد و پترسون ۱۹۵۹)، روش اکووالانس ریک یا تعیین سهم هر ژنوتیپ در تشکیل مجموع مربعات اثر متقابل در همه محیط‌های آزمایشی (ریک ۱۹۶۲)، واریانس شوکلا (شوکل ۱۹۷۲)، استفاده از میانگین عملکرد و رگرسیون بین عملکرد رقم و شاخص محیطی (فینلی و ویلکینسون ۱۹۶۳)، استفاده از میانگین عملکرد و رگرسیون بین عملکرد رقم و شاخص محیطی و میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون به‌عنوان شاخص‌های پایداری (ابرهارت و راسل ۱۹۶۶) اشاره کرد. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های چند متغیره مانند روش‌های تجزیه اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر یا روش AMMI¹ (ابدون و گوچ ۲۰۰۲) و یا روش تجزیه بای‌پلات (GGE) (یان و همکاران ۲۰۰۱) گسترش فوق‌العاده‌ای یافته است.

هارش و همکاران (۲۰۰۰) ضمن مطالعه پایداری ارقام گندم از روش ابرهارت و راسل برای تعیین ارقام پایدار و سازگار استفاده کردند و ارقام با عملکرد بالا، ضریب رگرسیون بزرگ‌تر از یک و انحراف از خط رگرسیون معنی‌دار را برای مناطق حاصلخیز توصیه نمودند. رودریگز و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی پایداری ژنوتیپ‌های بومی، اینبرد لاین‌های نوترکیب و ارقام تجاری جو در شش منطقه مختلف نشان دادند که بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود و

(۲۰۰۹) با بررسی پایداری عملکرد ۱۰ رقم جو در ۲۱ محیط با استفاده از روش رگرسیونی ابرهات راسل و GGE Biplot نشان دادند که این دو روش مطابقت بالایی با یکدیگر دارند.

روش‌های ناپارامتری متعددی نیز به منظور تعیین پایداری ارقام پیشنهاد شده است که در اکثر آن‌ها ارقام در محیط‌های مختلف رتبه‌بندی شده و ژنوتیپی پایدار محسوب می‌شود که در کلیه محیط‌ها رتبه مشابهی داشته باشد. آماره‌های میانگین تفاوت قدر مطلق $S_i^{(1)}$ و واریانس یا انحراف استاندارد $S_i^{(2)}$ جزء آماره‌های ناپارامتری هستند که توسط ناسار و هیون (۱۹۸۷) برای برآورد اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و پایداری فنوتیپی (پایداری ژنوتیپ‌ها در همه محیط‌ها) به کار برده شده است. تنارازو (۱۹۹۵) چهار روش ناپارامتری $NP_1^{(1)}$ ، $NP_1^{(2)}$ ، $NP_1^{(3)}$ و $NP_1^{(4)}$ را بر مبنای رتبه‌های تصحیح شده پیشنهاد کرد. سوقی و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی پایداری ارقام گندم بیان نمودند که روش‌های تنارازو و ناسار و هیون اغلب بیانگر جنبه بیولوژیک پایداری هستند و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های گندم با عملکرد بالا و پایدار نیستند. آن‌ها روش ناپارامتری انتخاب هم‌زمان برای عملکرد و پایداری (کانگ ۱۹۹۳) را روش مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول گندم معرفی کردند. کاربرد این آماره‌ها در انتخاب ارقام مناسب گندم دوروم (محمدی و همکاران ۲۰۰۷؛ چه‌رمی و همکاران ۲۰۱۱) و گندم نان (زارعی ۲۰۱۲) نیز گزارش شده است. برای انتخاب ارقام پر محصول با عملکرد پایدار استفاده از یک روش به‌تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نشود، ولی ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری، احتمال شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب را افزایش می‌دهد. هدف از این پژوهش تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و بررسی واکنش ژنوتیپ‌های وارداتی در محیط‌های مختلف و انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار در مناطق مورد مطالعه با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری می‌باشد.

در نهایت مشخص شد که ژنوتیپ‌های محلی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای پتانسیل بالاتری برای برنامه‌های اصلاحی در مناطق مدیترانه‌ای می‌باشند. بدوئی دلفارد و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط با استفاده از روش بای‌پلات در ۱۰ رقم جو نشان دادند که ارقام گرگان ۴، ماکوئی و نصرت دارای پایداری عمومی بوده و نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه کمترین اثرات متقابل را با محیط دارند. قزوینی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو از روش AMMI و آماره‌های غیر پارامتری برای تجزیه پایداری در مناطق سرد استفاده کرده و ژنوتیپ شماره ۸ (ژنوتیپ حاصل از کراس Makouee/Jolgeh) را از نظر عملکرد دانه به‌عنوان پایدارترین لاین معرفی نمودند. اکبرپور و همکاران (۲۰۱۱) از روش AMMI برای بررسی پایداری عملکرد ۱۱ لاین امیدبخش جو استفاده کرده و بیان داشتند که با استفاده از این روش می‌توان علاوه بر شناسایی ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی، ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی برای مناطق مختلف را نیز شناسایی کرد. براتی و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط بر عملکرد جو تحت تنش شوری از آماره پایداری ASV_1^1 و فاصله AMMI استفاده کرده و لاین پایدار جو را در شرایط تنش معرفی کردند. واعظی و همکاران (۲۰۱۷) 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 نشان دادند که اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و ۴ مؤلفه اصلی معنی‌دار بودند و بر اساس پارامترهای پایداری AMMI، دو ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شدند. کوچکی و همکاران (۲۰۱۲) پایداری ۱۸ ژنوتیپ جو را در ۸ مکان از نظر بالا بودن عملکرد در مکان‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که با روش‌های چند متغیره می‌توان ژنوتیپ‌های پر محصول و پایدار (سازگاری عمومی و خصوصی قابل قبول) را مشخص کرد. آبی و بجرنستاد

مواد و روش‌ها

در این تحقیق چهار رقم وارداتی به همراه چهار شاهد جلگه، مهتاب، بهمن و لاین در حال معرفی -CB-96 10 در آزمایش مقایسه عملکرد یکنواخت در پنج ایستگاه اقلیم سرد کشور (کرج، اردبیل، میاندوآب، زنجان و جلگه‌رخ) (جدول ۱) به مدت دو سال در طی سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. در هر آزمایش، هر کرت شامل شش خط کاشت با فاصله بیست سانتی‌متر و با طول شش متر انجام شده و مساحت هر کرت ۷/۲ مترمربع بود که پس از حذف ۰/۵ متر از بالا پایین هر کرت مساحت برداشت ۶ مترمربع شد. میزان بذر مصرفی در مترمربع ۴۰۰ بذر بر اساس وزن هزاردانه بود. تهیه زمین بر اساس عرف آزمایش‌های غلات در ایستگاه‌های مربوطه و تاریخ کاشت در محدوده زمانی مشخص و در اواسط مهرماه تا اواخر مهرماه برای کلیه ایستگاه‌ها بود. میزان کود مصرفی بر اساس آزمون خاک در هر ایستگاه بود. تعداد دفعات آبیاری برحسب نیاز گیاه و در طول دوره زراعی ۴-۵ نوبت آبیاری بود. برای جلوگیری از خسارت علف‌های هرز پهن‌برگ از علف‌کش گرانستار و علف‌های هرز نازک برگ از علف‌کش پوماسوپر استفاده شد. عملیات تهیه زمین به‌طور معمول قبل از کشت آزمایش انجام گردید. پس از برداشت محصول عملکرد مربوط به هر کرت توزین شده و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر ایستگاه مورد تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین قرار گرفت. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه پارامترهای پایداری، آزمون یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی (آزمون بارتلت) انجام شد. سپس عملکرد دانه ارقام برای کلیه ایستگاه‌ها مورد تجزیه واریانس مرکب برای ۱۰ محیط (پنج مکان در دو سال) و مقایسه میانگین قرار گرفت و با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری، ارقام پایدار آزمایش که دارای سایر صفات مطلوب زراعی نیز بودند؛ انتخاب شدند.

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، برای تعیین سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها از روش‌های مختلف تجزیه شامل واریانس محیطی رومر (۱۹۱۷)، اکووالانس ریک (ریک ۱۹۶۲)، روش رگرسیون فیلی و

ویلیکینسون (فیلی و ویلیکینسون ۱۹۶۳)، واریانس پایداری شوکلا (شوکلا ۱۹۷۲)، ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کاننبرگ (فرانسیس و کاننبرگ ۱۹۷۸)، واریانس انحراف از رگرسیون ابرهات و راسل (ابرهات و راسل ۱۹۶۶)، مجموع رتبه کانگ (کانگ ۱۹۸۸)، آماره پلاستد و پترسون (پلاستد و پترسون ۱۹۵۹)، آماره پلاستد (پلاستد ۱۹۶۰)، آماره‌های ناپارامتریک تنارازو (تنارازو ۱۹۹۵) آماره‌های ناپارامتریک هیون (هیون ۱۹۹۰) (جدول ۲) و روش AMMI استفاده شد. در معادلات ۱ تا ۹، X_{ij} میانگین عملکرد ژنوتیپ i در محیط j ؛ \bar{X}_i میانگین ژنوتیپ i در تمام محیط‌ها؛ \bar{X}_j میانگین همه ژنوتیپ‌ها در محیط j و \bar{X} میانگین همه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است. همچنین E تعداد محیط، G تعداد ژنوتیپ در آزمایش، $MsGE$ واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد. در مدل فیلی و ویلیکینسون، M میانگین کل آزمایش، P_i اثر اصلی ژنوتیپ i ، β_i ضریب رگرسیون خطی برای ژنوتیپ i ، V_i اثر اصلی محیط، δ_{ij} اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و ϵ_{ijk} اثر خطا می‌باشد. در این مدل معیار پایداری را با b_i نشان می‌دهند که رگرسیون خطی عملکرد ژنوتیپ i در محیط j روی عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط j می‌باشد. در شاخص پلاستد p تعداد ژنوتیپ و q تعداد محیط و $SSGE$ مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است. در واریانس پایداری شوکلا، ژنوتیپی پایدار است که مقدار واریانس پایداری در آن، حداقل باشد. با توجه به اینکه در مدل اکووالانس ریک سهم هر ژنوتیپ در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اندازه‌گیری می‌شود، بنابراین ژنوتیپ‌های با حداقل مقدار این آماره به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی می‌شوند، چرا که پایین بودن تغییرات باشد. در واقع این روش سهم ژنوتیپ i را در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اندازه می‌گیرد و برای هر ژنوتیپ مستقل از سایر ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش است. در معیار ناپارامتری کانگ مجموع رتبه برای گزینش ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. در این روش ابتدا ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و واریانس پایداری شوکلا رتبه‌بندی شدند؛ به این صورت که به ژنوتیپ برخوردار از بیشترین عملکرد و کمترین آماره پایداری رتبه یک تعلق گرفت. سپس مجموع دو رتبه هر ژنوتیپ معیار

جدول ۱- ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد بررسی

کد ژنوتیپ	نام رقم	مشخصات
G1	جلگه	جو داخلی شش ردیفه، زمستانه، مقاوم به سرما خوابیدگی و ریزش دانه، زمستانه با میانگین ارتفاع ۹۰ سانتیمتر، نیمه حساس به لکه نواری قهوه‌ای و نیمه مقاوم به زنگ زرد جو
G2	مهتاب	جو داخلی شش ردیفه، تیپ رشد بینابینی، ارتفاع بوته ۸۸ سانتیمتر، متوسط رس، مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه، نیمه مقاوم تا نیمه حساس نسبت به بیماری‌های زنگ زرد و سفیدک سطحی جو، نیمه مقاوم نسبت به بیماری لکه نواری قهوه‌ای و لکه توری جو، متحمل به سرما
G3	بهمن	جو داخلی شش ردیفه، زمستانه، متوسط رس، مقاوم به سرما، خوابیدگی و ریزش دانه، زمستانه با میانگین ارتفاع ۸۰ سانتیمتر، نیمه حساس به سفیدک پودری و نیمه مقاوم به لکه برگ‌گی جو
G4	CB-96-10 با شجره- (Bahman/3/Alger//CI10117/Choyo)	جو داخلی شش ردیفه، زمستانه، شش ردیف، مقاوم به سرما، سنبله نیمه خمیده، مقاوم به ورس و ریزش، ارتفاع متوسط،
G5	Adalina	جو با منشأ اتریش، زمستانه شش ردیفه، وزن هکتولتر بالا، زودرس با عملکرد بالا، مقاوم به خوابیدگی، وزن هزاردانه بالا، با ارتفاع متوسط
G6	Monroe	جو با منشأ بلغارستان، دو ردیفه با عملکرد بالا، ارتفاع متوسط، متوسط رس، درصد مالت بالا، وزن هزاردانه متوسط، حساس به سفیدک پودری،
G7	Scorpi	جو با منشأ آلمان،
G8	Novosadski-565	با منشأ یوگوسلاوی، دو ردیفه، زمستانه، مقاوم به خوابیدگی، مقاوم به سرما، وزن هزاردانه بالا و مقاوم به بیماری‌های جو

کد محیط	نام محیط	کد محیط	نام محیط
E1	اردبیل سال اول	E6	اردبیل سال دوم
E2	میاندوآب سال اول	E7	میاندوآب سال دوم
E3	زنجان سال اول	E8	زنجان سال دوم
E4	جلگه رخ سال اول	E9	جلگه رخ سال دوم
E5	کرج سال اول	E10	کرج سال دوم

تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ نام در محیط \bar{r}_i ، \bar{r}_i به ترتیب میانگین رتبه تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ نام، M_{di} و M_{di}^* میانه رتبه تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ نام و N تعداد محیط است.

برای آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و تجزیه مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS، برای برآورد پارامترهای پارامتری و ناپارامتری پایداری از برنامه اینترنتی آنلاین STABILITYSOFT (پورابوقداره و همکاران ۲۰۱۹) و برای تجزیه AMMI از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی با نام Multi Metan (environmenttrail analysis) در نرم‌افزار R استفاده شد (الیوتو ۲۰۱۹).

این آماره برابر با بالا بودن اکوالانسی است. ابرهات و راسل دو پارامتر به نام ضریب رگرسیون bi و ضریب انحراف از رگرسیون S_{di}^2 را به منظور بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها پیشنهاد کردند. در این مدل ضریب رگرسیون معیار پاسخ در نظر گرفته می‌شود چرا که پاسخ ویژه ژنوتیپ‌ها به اثرات محیطی را مشخص می‌کند. بر این اساس ژنوتیپی پایدار است که میانگین مربعات انحراف از رگرسیون آن کوچک باشد. براساس ضریب تغییرات محیطی ژنوتیپی پایدار است که دارای حداقل ضریب مجموع رتبه برای آن ژنوتیپ در نظر گرفته شد و ژنوتیپی مطلوب بود که مجموع رتبه پایین‌تری داشت. در روش‌های ناپارامتری، در معادلات ۱۰ تا ۱۷ r_{ij} و r'_{ij} رتبه

جدول ۲- شاخص‌های تجزیه پایداری مورد استفاده در بررسی پایداری ارقام جو

آماره	فرمول	معادله
واریانس محیطی	$S_{X_i}^2 = \frac{\sum (X_{ij} - \bar{X}_i.)^2}{(E-1)}$	۱
اکووالانس ریک	$W_i^2 = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i. - \bar{X}_j + \bar{X}.)^2$	۲
واریانس پایداری شوکلا	$\delta_i^2 = \frac{G}{(E-2)(G-2)} W_i - \frac{MsGE}{G-2}$	۳
ضریب رگرسیون خطی	$bi = 1 + \frac{\sum_i (X_{ij} - \bar{X}_i. - \bar{X}_j + \bar{X}.) (X_j - \bar{X}.)}{\sum_j (\bar{X}_j + X.)}$	۴
واریانس انحراف از رگرسیون	$S_{di}^2 = \frac{1}{E-2} \left[\sum_i (X_{ij} - \bar{X}_i. - \bar{X}_j + \bar{X}.) - (bi - 1)^2 \cdot \sum_j (\bar{X}_j - \bar{X}.)^2 \right]$	۶
ضریب فیلی و ویلکینسون	$Y_{ijk} = M + P_i + (1 + \beta_i)V_i + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$	۵
ضریب تغییرات محیطی	$CV_i = \frac{\sqrt{S_i^2}}{V_i}$	۷
شاخص پلاستد و پترسون	$SSGE = \sum \sum [(X_{ij} - \bar{X}.) - (X_i. - \bar{X}.) - (X_j - \bar{X}.)]^2$	۸
شاخص پلاستد	$\theta_i = \frac{p}{2(p-1)(q-1)} \sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_i. - \bar{X}_j + \bar{X}.)^2 + \frac{SSGE}{2(p-2)(q-2)}$	۹
	$S_i^{(1)} = 2 \sum_j \frac{\sum_{j=j+1}^{n-1} r_{ij} - \bar{r}_{ij} }{[N(N-1)]}$	۱۰
	$S_i^{(2)} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_{ij} - \bar{r}_i.)^2}{(N-1)}$	۱۱
	$S_i^{(3)} = \sum_{i=1}^n \frac{(r_{ij} - \bar{r}_i.)^2}{\bar{r}_i.}$	۱۲
	$S_i^{(6)} = \sum_{i=1}^n \frac{ r_{ij} - \bar{r}_i. ^2}{\bar{r}_i.}$	۱۳
	$NP_i^{(1)} = \frac{1}{N} r_{ij}^* - M_{di}^* $	۱۴
	$NP_i^{(2)} = \frac{1}{N} \left \sum_{j=1}^n r_{ij}^* - M_{di}^* / M_{di} \right $	۱۵
	$NP_i^{(3)} = \sqrt{\frac{\sum (r_{ij} - \bar{r}_i.)}{N}}$	۱۶
	$NP_i^{(4)} = \frac{2}{N(N-1)} \left[\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{[j=j+1]}^n r_{ij} - \bar{r}_i. / \bar{r}_{ij} \right]$	۱۷

نتایج و بحث

ژنتیکی هستند. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان، به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مورد بررسی می‌باشد. این معنی‌دار شدن نشان می‌دهد که پاسخ ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف یکسان نبوده و در محیط‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی دارای بیشترین عملکرد بوده‌اند؛ بنابراین صرفاً بر اساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نمی‌توان ژنوتیپ با عملکرد بیشتر را تعیین کرد؛ بلکه باید تجزیه پایداری انجام شود تا ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط منطقه که ضمن داشتن عملکرد دانه بالا، نوسانات عملکرد آن‌ها نیز

معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف بود. در تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد، اختلاف معنی‌دار برای اثر مکان و همچنین اثرات متقابل سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح ۱ درصد با استفاده از امید ریاضی منابع تغییرات مشاهده شد (ژنوتیپ و مکان متغیر ثابت در نظر گرفته شدند) (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد متفاوت از هم بوده و از این نظر دارای تنوع

در سال‌های مختلف کمتر باشد، شناسایی شوند. به این ترتیب، تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های وارداتی و ارقام شاهد با روش‌های مختلف انجام شد تا لاین‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار شناسایی شوند. به دلیل عدم معنی‌داری اثر سال و معنی‌داری اثر مکان عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر ایستگاه نیز مورد تجزیه واریانس ساده (جدول ۴) و مقایسه میانگین (جدول ۵) جهت مشخص شدن بهترین رقم در هر ایستگاه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها در ایستگاه‌های

زنجان، کرج و جلگه‌رخ تفاوت معنی‌دار وجود دارد. مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که در ایستگاه زنجان ژنوتیپ‌های G1 و G3، در ایستگاه میاندوآب ژنوتیپ‌های G3، G4 و G6، در ایستگاه کرج ژنوتیپ‌های G2 و G4، در ایستگاه جلگه‌رخ ژنوتیپ‌های G3 و G2 و در ایستگاه اردبیل ژنوتیپ‌های G5، G8 و G6 دارای بیشترین میزان عملکرد در واحد هکتار بودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال	۱	۱۳/۵۸
مکان	۴	۱۱۹/۳۶**
سال × مکان	۴	۶/۵۱*
خطای ۱	۳۰	۱/۹۲
ژنوتیپ	۷	۱/۰۳۴*
ژنوتیپ × مکان	۲۸	۱/۴۲**
ژنوتیپ × سال	۷	۰/۸۷۷
ژنوتیپ × مکان × سال	۲۸	۱/۰۵۵**
خطای ۲	۲۱۰	۰/۴۹۹
ضریب تغییرات %	۱۰/۵۶	

نتایج تجزیه واریانس روش رگرسیونی ابرهات و راسل در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، واریانس محیط (خطی) و واریانس ژنوتیپ × محیط (خطی) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. معنی‌دار شدن محیط (خطی) نشان‌دهنده رابطه خطی معنی‌دار بین عملکرد در محیط‌های اجرای آزمایش با شاخص محیطی است. واریانس ژنوتیپ × محیط (خطی) نیز معنی‌دار شد که نشان می‌دهد بین ضرایب اختلاف معنی‌دار وجود دارد. واریانس انحراف از خط رگرسیون نیز معنی‌دار شد که نشان می‌دهد در برخی از ژنوتیپ‌ها انحرافات از خط رگرسیونی معنی‌دار است. ژنوتیپ‌های G2، G3، G5، G7 و G8 دارای انحراف از رگرسیون خطی معنی‌داری بودند که نشان می‌دهد عملکرد این ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیطی دارای نوسان است و این پراکندگی‌ها در اطراف خط رگرسیون بین آن‌ها معنی‌دار

بود و در نتیجه این ژنوتیپ‌ها از پایداری عملکرد مناسبی برخوردار نیستند. در مقابل، سایر ژنوتیپ‌ها انحراف از رگرسیون غیر معنی‌دار داشتند به این معنی که ضمن وجود اختلاف خطی معنی‌دار و قابل توجه بین عملکرد این ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیطی، نوسانات عملکرد ژنوتیپ‌ها در اطراف خط رگرسیون معنی‌دار نبود. ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 به ترتیب با برخورداری از کمترین مقدار انحراف از رگرسیون (جدول ۷)، به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها در این بررسی شناسایی شدند. واعظی و احمدی (۲۰۱۰) با بررسی ۱۸ ژنوتیپ جو در چهار مکان و سه سال با استفاده از پارامترهای پایداری مختلف از بین ده پارامتر اندازه‌گیری شده، کفایت مدل رگرسیونی ابرهات و راسل را در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار را گزارش کردند. امیری اوغان و همکاران (۲۰۰۴) با ارزیابی ۲۳ ژنوتیپ کلزا در چهار منطقه در مدت دو

سال با استفاده از روش ابرهارت و راسل، رقم هیبرید هیولا ۴۰۱ را به دلیل بالا بودن عملکرد، ضریب رگرسیون خطی معادل یک و انحراف از رگرسیون غیر معنی‌دار به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی کردند.

جدول ۴- تجزیه واریانس پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو به روش ابرهارت و راسل

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
کل	۷۹	۱۴۹/۹۳۹۳	
ژنوتیپ	۷	۱/۸۱	۰/۲۵۸۵
محیط+ (محیط × ژنوتیپ)	۷۲	۱۴۸/۱۲۸۲	۲/۰۵۷
محیط (خطی)	۱	۱۶۰/۱۵۸۱	۱۶۰/۱۵۸**
ژنوتیپ × محیط (خطی)	۷	۲۸/۵۴۹۵	۴/۰۷۸۵**
انحرافات از خط رگرسیونی	۶۴	۱۶/۵۲۰۶	۰/۲۵۸۱**
G1	۸	۰/۴۹۹۸	۰/۰۶۲۴۷
G2	۸	۲/۶۶۰۵	۰/۳۳۲۵**
G3	۸	۴/۲۳۰۸	۰/۵۲۸۸**
G4	۸	۱/۱۰۶۶	۰/۱۳۸۳
G5	۸	۲/۸۵۹۱	۰/۳۵۷۴**
G6	۸	۱/۰۹۴۷	۰/۱۳۶۸
G7	۸	۱/۴۰۸۵	۰/۱۷۶*
G8	۸	۲/۶۶۰۵	۰/۳۳۲۶**
خطای متوسط	۲۴۰	۲۹/۹۴۹۹	۰/۱۲۴۷۹

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و تا حدودی G7 دارای کمترین میزان انحراف از خط رگرسیون بودند. بقیه ژنوتیپ‌ها انحراف از خط رگرسیون بالاتری را نشان دادند؛ بنابراین تغییرات عملکردی این ژنوتیپ‌ها در طول تغییرات خطی با شاخص محیطی (محیط‌های اجرای آزمایش) دارای نوسان بوده است (جدول ۷). فینلی و ویلکینسون (۱۹۶۳) اظهار داشتند که ضریب رگرسیون هر ژنوتیپ وابسته به سایر ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش است بنابراین ضریب رگرسیون به‌تنهایی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نیست و نمی‌تواند به‌عنوان یک معیار پایداری عمومی در نظر گرفته شود. دشتکی و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی پایداری ۲۰ ژنوتیپ گندم در سه سال و هفت منطقه با استفاده از تجزیه رگرسیون بیان داشتند که به علت معنی‌دار نبودن واریانس انحرافات از خط رگرسیون و قرارگیری اکثر ژنوتیپ‌ها در حول خط رگرسیون، از این دو پارامتر نتوانستند برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کنند.

نتایج حاصل از دیگر روش‌های مختلف تجزیه پایداری در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس ضریب رگرسیون خطی فینلی و ویلکینسون ژنوتیپ‌های G1، G2، G4، G6 و G7 دارای ضریب رگرسیون نزدیک به یک بودند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری عمومی به محیط‌ها هستند. هرچقدر عملکرد ژنوتیپ بالا باشد و ضریب رگرسیون آن نیز از یک بیشتر باشد در این حالت این ژنوتیپ مناسب مناطق و محیط‌های مطلوب است و همچنین هر چقدر ضریب رگرسیون کمتر از ۱ باشد (البته معنی‌دار) و دارای عملکرد بالایی نیز باشد مناسب مناطق نامطلوب می‌باشد (احمدی و همکاران ۲۰۱۶). بیشترین ضریب رگرسیون مربوط به ژنوتیپ G5 و کمترین مربوط به ژنوتیپ G3 بود. واریانس انحراف از خط رگرسیون سهم هر ژنوتیپ را در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان می‌دهد؛ بنابراین اگر ژنوتیپی دارای انحراف از خط رگرسیون صفر یا حداقل باشد آن رقم ناپایدار است (سوقی و همکاران ۲۰۰۹). براین اساس

در روش پلاستد و پترسون ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و G7 به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری انتخاب شدند (جدول ۷)؛ زیرا از مقادیر پایین شاخص پلاستد و پترسون برخوردار بودند. بدین معنی که این ژنوتیپ‌ها سهم کمتری در اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط داشتند. ولی به دلیل پایین بودن عملکرد ژنوتیپ G7 از میانگین کل عملکرد فقط ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 که دارای میانگین عملکرد بالاتری بودند، با توجه به این آماره انتخاب شدند. در شاخص پلاستد واریانس اثر متقابل باقیمانده دربرگیرنده مقادیر زیاد می‌باشد، بنابراین ژنوتیپ‌های G3 و G5 به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی انتخاب شدند که سهم کمتری در برهمکنش اثر متقابل داشتند (جدول ۷)؛ اما به دلیل پایین بودن میانگین عملکرد ژنوتیپ G5 از میانگین کل عملکرد، فقط ژنوتیپ G3 که دارای عملکرد مطلوبی بود به‌عنوان ژنوتیپ پایدار و پر محصول معرفی شد.

همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه می‌تواند به‌عنوان یک معیار پایداری مفید در شناسایی ارقام پایدار و پر محصول به کار گرفته شود.

هیون (۱۹۹۰) و نصار و هیون (۱۹۸۷) چهار آمار ناپارامتریک را پیشنهاد کردند: $S_i^{(1)}$ یا میانگین اختلاف رتبه مطلق یک ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایش‌شده، $S_i^{(2)}$ یا واریانس بین رتبه‌های کلی محیط‌های آزمایش‌شده، $S_i^{(3)}$ یا مجموع انحرافات مطلق برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها و $S_i^{(6)}$ یا مجموع مجزورات رتبه برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها. برای محاسبه این آماره‌ها، داده‌های میانگین عملکرد باید به رتبه‌هایی برای هر ژنوتیپ و محیط تبدیل شوند و اگر رتبه‌های آن‌ها در بین محیط‌ها مشابه باشد، ژنوتیپ‌ها پایدار در نظر گرفته می‌شوند. کمترین مقدار برای هر یک از این آمارها نشان‌دهنده پایداری بالا برای یک ژنوتیپ خاص است. بر این اساس ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند (جدول ۷).

بر اساس شاخص‌های اکوالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و G7 در محیط‌های مورد بررسی دارای اکوالانس و واریانس کمتر بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند (جدول ۷). به دلیل این‌که واریانس پایداری شوکلا ترکیبی خطی از اکوالانس است بنابراین این دو شاخص از نظر رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها دارای ارزش یکسان هستند. یکسان بودن نتایج حاصل از این دو روش دور از انتظار نبود. روستایی و همکاران (۱۹۹۶) با مقایسه روش‌های مختلف پایداری برای انتخاب ارقام پایدار و پر محصول جو در دیمزارهای کشور نشان دادند که دو شاخص واریانس پایداری شوکلا و اکوالانس ریک جهت انتخاب ارقام پر محصول در شرایط دیم بسیار مناسب می‌باشند. این دو روش بیشتر تأکید بر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دارند به همین دلیل منجر به انتخاب ارقام پایدار و پر محصول می‌شوند. رضانی (۲۰۱۲) نیز در بررسی خصوصیات زراعی و پایداری عملکرد ۱۱ ژنوتیپ برنج در مناطق مختلف اصفهان از چند روش پایداری استفاده کرده و در نهایت با استفاده از روش واریانس پایداری شوکلا، سه ژنوتیپ پایدار و سازگار به شرایط آب و هوایی منطقه را شناسایی و معرفی کرد.

مقایسه پایداری ژنوتیپ‌ها از نظر واریانس محیطی نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G3 و G4 به ترتیب با کمترین مقدار واریانس محیطی از پایداری بیشتری برخوردارند (جدول ۷). بر اساس ضریب تغییرات محیطی نیز ژنوتیپ‌های G1 و G3 دارای کمترین مقدار ضریب تغییرات بودند (جدول ۷). برخی محققین در بررسی‌های خود در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از ضریب تغییرات محیطی و واریانس درون مکانی استفاده کرده و اظهار داشتند که این دو روش بیانگر پایداری بیولوژیک بوده و به دلیل وراثت پذیر بودن می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسب برای انتخاب ارقام پایدار مورد استفاده قرار گیرند (واعظی و احمدی ۲۰۱۰؛ سوقی و همکاران ۲۰۰۹؛ ضعیفی‌زاده و همکاران ۱۹۹۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه و پارامترهای پایداری در ژنوتیپ‌های جو در روش‌های مختلف

ژنوتیپ	عملکرد دانه (ton.ha ⁻¹)	واریانس محیطی	اکووالانس ریک	واریانس پایداری شوکل	ضریب رگرسیون خطی فیثلی و ویلیکینسون	واریانس انحراف از رگرسیون	ضریب تغییرات محیطی	شاخص پلاستد و پتروسون	شاخص پلاستد
G1	۶/۵۷۸	۱/۵۲۳	۰/۶۴۸	۰/۰۴۶	۰/۹۰۴	۰/۰۷۱	۱۸/۷۶۳	۰/۲۱۶	۰/۳۳۶
G2	۶/۷۳۲	۲/۰۸۳	۲/۶۶	۰/۳۴۴	۰/۹۹۸	۰/۳۸	۲۱/۴۴	۰/۳۴۴	۰/۲۹۳
G3	۶/۵۷۱	۱/۵۱۲	۵/۱۴۷	۰/۷۱۳	۰/۷۶۲	۰/۶۰۴	۱۸/۷۱۶	۰/۵۰۱	۰/۲۴
G4	۶/۵۸۴	۱/۷۶۲	۱/۱۳۸	۰/۱۱۹	۰/۹۵۶	۰/۱۵۸	۲۰/۱۶۵	۰/۲۴۷	۰/۳۲۵
G5	۶/۲۹۳	۳/۰۸۹	۳/۸۱	۰/۵۱۵	۱/۲۴۳	۰/۴۰۸	۲۷/۹۳۳	۰/۴۱۷	۰/۲۶۹
G6	۶/۷۳۶	۱/۹۹۵	۱/۱۰۲	۰/۱۱۳	۱/۰۲۲	۰/۱۵۶	۲۰/۹۶۸	۰/۲۴۵	۰/۳۲۶
G7	۶/۳۹۳	۱/۸۹۳	۱/۴۱۳	۰/۱۵۹	۰/۹۸۳	۰/۲۰۱	۲۱/۵۲۱	۰/۲۶۴	۰/۳۱۹
G8	۶/۴۰۴	۲/۵۹۹	۲/۹۴۶	۰/۳۸۶	۱/۱۳۳	۰/۳۸	۲۵/۱۷۷	۰/۳۶۲	۰/۲۸۷

ژنوتیپ	مجموع رتبه کانگ	آماره‌های ناپارامتریک تنارازو				آماره‌های ناپارامتریک هیون			
		S _i ⁽¹⁾	S _i ⁽²⁾	S _i ⁽³⁾	S _i ⁽⁶⁾	NP1	NP2	NP3	NP4
G1	۵	۲/۰۲۲	۳/۱۲۲	۵/۹۷۹	۳/۰۶۴	۱/۴	۰/۳۵	۰/۳۵۶	۰/۴۳
G2	۷	۳	۶/۵	۱۳	۴/۸۸۹	۲/۴	۰/۶۸۶	۰/۶۱۳	۰/۶۶۷
G3	۱۳	۳/۳۷۸	۸/۲۶۷	۱۶/۱۷۴	۵/۳۹۱	۲/۴	۰/۴۳۶	۰/۵۹۳	۰/۷۳۴
G4	۶	۱/۸۶۷	۲/۴۸۹	۴/۱۴۸	۲/۳۷	۱/۴	۰/۲۴	۰/۳۷۵	۰/۳۴۶
G5	۱۵	۲/۹۵۶	۷/۱۲۲	۱۹/۴۲۴	۶/۷۲۷	۲	۱/۰۵	۰/۷۶۴	۰/۸۹۶
G6	۳	۱/۶	۲/۰۴۴	۳/۲۸۶	۲	۱/۲	۰/۳۲	۰/۲۷۹	۰/۲۸۹
G7	۱۱	۲/۵۵۶	۴/۶۷۸	۹/۷۹۱	۴/۰۹۳	۱/۷	۰/۴۷۵	۰/۴۱۳	۰/۵۹۴
G8	۱۲	۳/۰۶۷	۷/۶	۱۹	۷	۲/۵	۱/۳	۰/۷۴	۰/۸۵۲

محصول به‌نژادگران را کمک می‌کند. صباغ نیا و همکاران (۲۰۰۶) به منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد ۱۱ ژنوتیپ عدس در ۲۰ محیط مختلف از روش‌های غیر پارامتری استفاده کرده و روش مجموع مربعات کانگ را به‌عنوان بهترین روش غیر پارامتری در تعیین ژنوتیپ‌های برخوردار از عملکرد بالا و پایداری معرفی کردند. عبادی و همکاران (۲۰۰۸) نیز در بررسی پایداری عملکرد لاین‌های پیشرفته نخود از روش‌های غیر پارامتری هیلدبراند^۱، دکرون / وندر لاین^۲ و کوبینگر^۳ استفاده کرده و نشان دادند که روش مجموع رتبه به دلیل NP₁ تا NP₄ مجموعه‌ای از آماره‌های پایداری ناپارامتری جایگزین هستند که توسط تنارازو (۱۹۹۲)

آماره‌های ناپارامتری پایداری مورد مطالعه برای انتخاب لاین‌های پایدار جو بر اساس معیارهای پیشنهادی هیون (۱۹۹۰)، تنارازو (۱۹۹۵) و مجموع رتبه کانگ در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس روش مجموع رتبه کانگ ژنوتیپ‌های دارای کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب شناسایی می‌شوند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G1، G6، G4 و G2 به ترتیب با کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. روستایی و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از روش مجموع رتبه کانگ پایدارترین رقم گندم را در بررسی خود معرفی کرده و نشان دادند که این روش در شرایط دیم بهتر از سایر روش‌ها در گزینش ارقام پایدار و پر

خط) و عملکرد بالا در بین ژنوتیپ‌ها جزو سازگارترین با عملکرد بالا بود. مشاهده می‌شود که ژنوتیپ‌های G6 و G1 در ۲ مؤلفه از سه مؤلفه اصلی که ۷۰٪ از کل تغییرات اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند جزو پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و دارای سازگاری عمومی در کلیه مناطق شناخته شدند. ژنوتیپ شماره G7 که در مؤلفه اول جزو ارقام پایدار در این روش شناخته شدند (جدول ۹) از عملکرد پایینی در مکان‌های مورد مطالعه برخوردار بود و مورد گزینش قرار نگرفت. در میان مناطق آزمایشی کمترین واریانس‌ها و تأثیرات در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب به محیط هشتم (ایستگاه زنجان، سال دوم)، محیط دهم (ایستگاه کرج، سال دوم) و محیط نهم (ایستگاه جلگه‌رخ، سال دوم) تعلق داشت و بیشترین واریانس‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب به محیط سوم (ایستگاه زنجان، سال اول)، محیط هفتم (ایستگاه میاندوآب، سال دوم) و محیط اول (ایستگاه اردبیل، سال اول) مربوط بود (جدول ۱۰).

علاوه بر بررسی سازگاری عمومی ژنوتیپ‌ها، بررسی سازگاری خصوصی آن‌ها در مناطق مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در جدول ۱۱ خلاصه گردید. از جنبه سازگاری خصوصی در ایستگاه اردبیل به ترتیب ژنوتیپ‌های G5، G6 و G8 در هر دو سال آزمایش جزو سازگارترین ژنوتیپ‌ها محسوب شدند. در ایستگاه میاندوآب اگرچه ژنوتیپ‌های G6، G7 و G8 در یک سال از دو سال آزمایش عملکرد بهتری نسبت به بقیه داشتند، ولی در مجموع ژنوتیپ‌های G2 و G3 در این منطقه سازگاری بهتری نشان دادند و در هر دو سال آزمایش جزء ژنوتیپ‌های برتر بودند. در ایستگاه زنجان ارقام جو داخلی برتری نسبی به ارقام وارداتی داشتند به طوری که ژنوتیپ‌های G1، G2، G3 به همراه G6 در دو سال آزمایش به ترتیب برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد بودند. در ایستگاه جلگه‌رخ سازگاری خصوصی مشخصی در بین ژنوتیپ‌ها دیده نشد. به‌هرحال، ژنوتیپ‌های G2 و G7 هرکدام در یک سال آزمایش رتبه دوم و در سال دیگر رتبه چهارم آزمایش را داشتند و سازگاری خصوصی متوسطی در این منطقه نشان دادند در ایستگاه کرج ژنوتیپ G2 سازگاری خصوصی بسیار

تعریف شده‌اند. این پارامترها بر اساس رتبه میانگین‌های تعدیل‌شده ژنوتیپ‌ها در هر محیط محاسبه می‌شوند. مقادیر پایین این آماره‌ها نیز نشان‌دهنده ثبات بالایی ژنوتیپ‌ها می‌باشد؛ بر اساس این آماره‌ها نیز ژنوتیپ‌های G4، G6 و G1 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند (جدول ۷)؛ بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. روش‌های ناپارامتری به‌منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار از نظر عملکرد در گندم دوروم (محمدی و همکاران ۲۰۰۷)، گلرنگ (جمشیدی مقدم و پورداد ۲۰۰۹)، جو (واعظی و همکاران ۲۰۱۵)، عدس (صباغ نیا و همکاران ۲۰۰۶)، نخود زراعی (زالی و همکاران ۲۰۱۱) و گندم نان (زارعی و همکاران ۲۰۱۲) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تجزیه AMMI

تجزیه پایداری بر پایه روش AMMI نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم اثر بسیار معنی‌داری در توجیه تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دارند ولی از نظر عددی نقش مؤلفه اول در مقایسه با مؤلفه‌های دوم و سوم در توجیه تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بارزتر بود (جدول ۸)؛ بنابراین باید از این سه مؤلفه جهت تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده کرد. مؤلفه‌های اول تا سوم به ترتیب ۴۷/۵۵، ۲۲/۶۵ و ۱۸/۴ درصد از کل تغییرات اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند و در مجموع دو مؤلفه اول و دوم حدود ۷۰٪ از کل تغییرات را توجیه نمودند. مطابق جدول ۹ و شکل ۱ ژنوتیپ‌های G6 و G7 به ترتیب دارای کمترین مقدار مطلق برای اولین مؤلفه اصلی بوده و بنابراین دارای پایداری بالا برای مکان‌های مورد بررسی بودند. از طرف دیگر ژنوتیپ‌های G1، G4 و تا حدودی G6 به ترتیب دارای کمترین مقادیر مطلق برای دومین مؤلفه اصلی بودند (جدول ۹، شکل ۱). هر سه ژنوتیپ مذکور علاوه بر کمترین مقادیر مطلق برای دومین مؤلفه اصلی دارای عملکرد خوبی نیز در بین ارقام مورد بررسی بودند. به همین ترتیب ژنوتیپ‌های G1 و G6 به ترتیب دارای کمترین مقدار مطلق برای سومین مؤلفه اصلی بودند. ژنوتیپ G6 با کمترین مقادیر مطلق برای دومین و سومین مؤلفه اصلی (کمترین فاصله از

شده داخلی برخوردار هستند. بیشترین میزان پروتئین دانه در ژنوتیپ G1 و پس از آن در ژنوتیپ‌های G5، G8 و G6 مشاهده شد که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های وارداتی از این نظر نسبت به ژنوتیپ‌های داخلی برتر هستند. از نظر میانگین روز تا رسیدگی بین ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت چندانی مشاهده نشد. از نظر ارتفاع بوته بیشترین ارتفاع مربوط به ژنوتیپ‌های G1 و G4 و از نظر وزن ۱۰۰۰ دانه نیز بیشترین وزن در ژنوتیپ‌های G5، G7 و G8 مشاهده شد. با توجه به نتایج تجزیه پایداری و سازگاری همچنین میانگین صفات اندازه‌گیری شده برای ژنوتیپ‌های مختلف به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های G1 و G6 تا حدود زیادی می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های منتخب معرفی شوند.

بالایی نشان داد و در هر دو سال آزمایش رتبه اول عملکرد را داشت. همچنین ژنوتیپ G4 هم سازگاری خصوصی خوبی در ایستگاه کرج داشت و در دو سال آزمایش رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص داد. در مجموع این دو ژنوتیپ می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی خوب برای کشت در این منطقه مورد توجه قرار گیرند. ارقام وارداتی سازگاری خصوصی خوبی در ایستگاه کرج نشان ندادند به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های G6، G7 و G8 تنها در یک سال از دو سال آزمایش جزو چهار ژنوتیپ برتر آزمایش بودند. (جدول ۷). با توجه به میانگین صفات عملکردی و مورفولوژیک اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌ها (جدول ۱۲) مشاهده می‌شود که از نظر عملکردی به‌جز ژنوتیپ G6، بقیه از میانگین عملکرد کمتری نسبت به ارقام معرفی

جدول ۶- تجزیه واریانس اثرات اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد توجیه از مجموع مربعات کل
تیمار	۷۹	۵۹۹/۸	۷/۵۹۲**	-
ژنوتیپ	۷	۷/۲	۱/۰۳۴*	-
محیط	۹	۵۱۷/۱	۵۷/۴۵**	-
بلوک	۳۰	۵۷/۶	۱/۹۲**	-
محیط × ژنوتیپ	۶۳	۷۵/۵	۱/۲**	-
IPCA1	۱۵	۲۵/۹	۲/۳۹**	٪۴۷/۵۵
IPCA2	۱۳	۱۷/۱	۱/۳۲**	٪۲۲/۶۵
IPCA3	۱۱	۱۳/۹	۱/۲۶**	٪۱۸/۴۱
باقیمانده (نویز)	۲۴	۸/۶	۰/۳۶	٪۱۱/۳۹
خطا	۲۱۰	۱۰۴/۸	۰/۴۹۹	-

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است.

جدول ۷- نقش ژنوتیپ‌ها بر مقادیر اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط در مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم

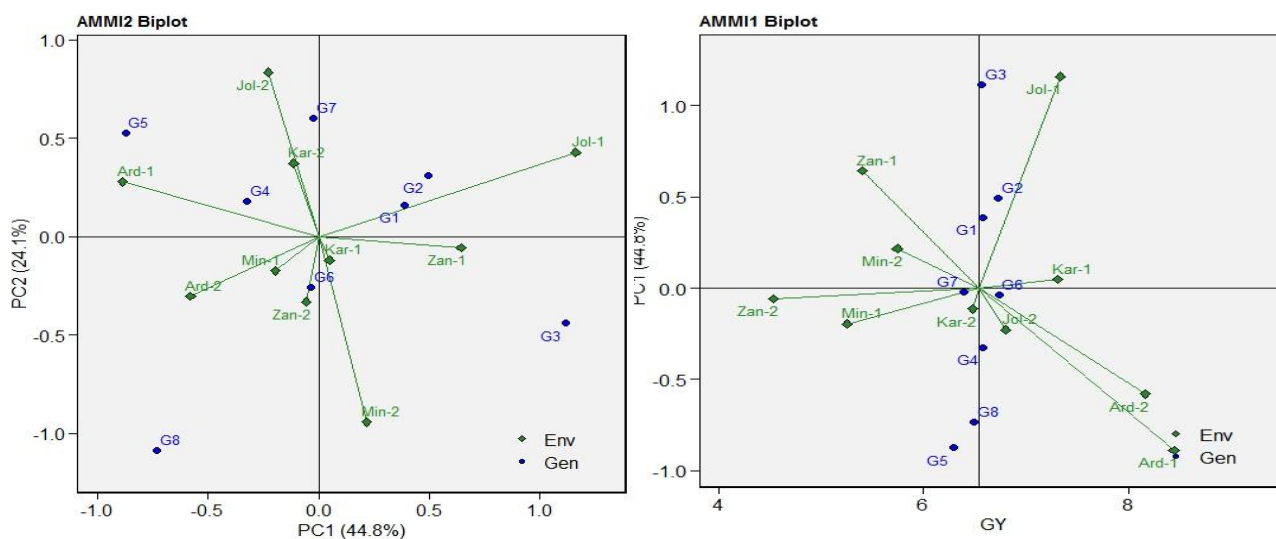
ژنوتیپ	میانگین	IPCAg[1]	IPCAg[2]	IPCAg[3]
G1	۶/۵۷۸	-۰/۳۵۲	۰/۰۶۸	۰/۱۶۱
G2	۶/۷۳۲	-۰/۳۸۴	-۰/۷۰۴	۰/۷۳۱
G3	۶/۵۷۱	-۱/۱۹۴	۰/۳۸	-۰/۵۰۴
G4	۶/۵۸۴	۰/۳۶۱	-۰/۲۳۵	۰/۲۷۸
G5	۶/۲۹۳	۰/۹۳۱	۰/۷۰۱	-۰/۰۵۴
G6	۶/۷۳۶	۰/۰۲۹	-۰/۰۶۱	-۰/۵۴۳
G7	۶/۳۹۳	۰/۰۶۵	۰/۵۸۲	۰/۵۴۵
G8	۶/۴۰۴	۰/۵۴۴	-۰/۷۳	-۰/۶۱۴

جدول ۸- نقش محیطها بر مقادیر اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط در مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم

محیط	میانگین (Kg.ha ⁻¹)	واریانس	IPCAg[1]	IPCAg[2]	IPCAg[3]
E1	۸/۴۷۷	۰/۹۱۴	۰/۹۷۱	۰/۱۰۳	-۰/۰۱۳
E2	۵/۱	۰/۶۹۱	-۰/۰۴۸	۰/۴۵۹	۰/۲۶
E3	۵/۳۹۷	۱/۲۴	-۰/۶۵۴	۰/۳۷۴	-۰/۱۲۴
E4	۷/۳۹۱	۰/۷۴۸	-۱/۰۱۸	۰/۳۱۲	۰/۲۲۷
E5	۷/۳۴۷	۰/۸۲۷	۰/۰۳۴	-۰/۹۲۹	۰/۲۶
E6	۸/۱۲	-۰/۸۸۸	۰/۴۹	۰/۴۰۲	-۰/۷۰۷
E7	۵/۷۳۹	۱/۱۷۸	-۰/۳۰۸	-۰/۶۲۸	-۰/۸۲۳
E8	۴/۴۴۵	۰/۳۸۶	-۰/۱۰۳	۰/۰۹۲	-۰/۰۱۷
E9	۶/۸۸۴	۰/۵۲۲	۰/۴۵۷	۰/۳۰۶	۰/۳۲
E10	۶/۴۶۴	۰/۵۱۳	۰/۱۷۹	-۰/۳۹۱	۰/۶۱۸

جدول ۹- سازگاری خصوصی چهار ژنوتیپ برتر دارای کمترین اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط در هر یک از محیط‌های آزمایشی

محیط	میانگین عملکرد	ژنوتیپ برتر در هر محیط			
		۱	۲	۳	۴
E1	۸/۴۷۷	G5	G4	G8	G6
E6	۸/۱۲	G6	G5	G8	G3
E2	۵/۱	G7	G3	G1	G2
E7	۵/۷۳۹	G6	G8	G3	G2
E3	۵/۳۹۷	G3	G1	G6	G2
E8	۵/۴۴۵	G3	G6	G2	G1
E4	۷/۳۹۱	G3	G2	Gg1	G7
E9	۶/۸۸۴	G5	G7	G4	G2
E5	۷/۳۴۷	G2	G8	G4	G6
E10	۶/۴۶۴	G2	G4	G1	G7



شکل ۱- بای‌پلات‌های AMMI1 و AMMI2 برای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط

Fig 1- Biplots of AMMI1 and AMMI2 for for genotype×environment interaction

جدول ۱۰- میانگین صفات عملکردی و مورفولوژیکی ژنوتیپ‌ها در مناطق مورد بررسی

ژنوتیپ	میانگین (Kg.ha^{-1})	میزان پروتئین دانه	روز تا ظهور خوشه	روز تا رسیدگی	ارتفاع بوته (cm)	وزن ۱۰۰۰ دانه (g)
G1	۶/۵۷۸	۱۰/۸	۱۳۷/۲	۱۸۳/۲	۹۹/۶	۴۲/۲
G2	۶/۷۳۲	۱۰/۵	۱۴۰	۱۸۳/۴	۹۴/۲	۴۳/۶
G3	۶/۵۷۱	۱۰/۲	۱۴۱/۸	۱۸۴/۸	۸۲/۲	۳۲/۴
G4	۶/۵۸۴	۱۰	۱۳۷/۴	۱۸۴/۲	۹۷/۶	۴۲/۶
G5	۶/۲۹۳	۱۰/۶	۱۳۹/۸	۱۸۴/۸	۹۵	۴۶
G6	۶/۷۳۶	۱۰/۵	۱۴۴	۱۸۶/۲	۹۲	۴۳
G7	۶/۳۹۳	۱۰/۲	۱۴۱	۱۸۴/۸	۹۳/۶	۴۵/۶
G8	۶/۴۰۴	۱۰/۶	۱۳۷/۲	۱۸۲/۲	۸۶	۴۵/۶

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق مشخص شد که اثر متقابل ژنوتیپ × منطقه برای عملکرد دانه معنی‌دار می‌باشد که می‌تواند به دلیل تفاوت در میزان بارندگی، درجه حرارت و سایر شرایط اقلیمی و نیز ویژگی‌های متفاوت ارقام تشدید شود. در روش ابره‌ارت و راسل ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 و در روش‌های پارامتری ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و تا حدودی G7 و در روش‌های ناپارامتری ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. شناسایی ارقام جو مناسب برای محیط‌های مختلف بر اساس سازگاری خصوصی آن‌ها می‌تواند مفید باشد چرا که سه مؤلفه اول اثر متقابل ژنوتیپ × محیط درصد بالایی از واریانس را توجیه نمودند (بیش از ۸۸ درصد). در مجموع با توجه به مقایسه میانگین عملکرد، معیارهای پایداری و خصوصیات زراعی و سازگاری عمومی،

ژنوتیپ‌های G1، G6 و تا حدودی G7 با استفاده از تجزیه AMMI به ترتیب در این آزمایش به‌عنوان مناسب‌ترین و سازگارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند و می‌توانند به‌عنوان ارقام جو سازگار در کلیه مناطق سرد کشور مورد توجه قرار گیرند. ژنوتیپ‌های G2 و G3 نیز با سازگاری خصوصی بالا خصوصاً در مناطق پر پتانسیل و با به‌کارگیری نهاده‌های کشاورزی مناسب می‌توانند به‌عنوان ارقام زراعی مطلوب مورد کشت و کار قرار گیرند.

سپاسگزاری

در تهیه اطلاعات مربوط به این تحقیق، کارشناسان و تکنسین‌های محترم مراکز و ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، اردبیل، میاندوآب، زنجان و جلگه‌رخ همکاری صمیمانه‌ای داشته‌اند که بدین‌وسیله از آن‌ها قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Abay F, and Bjornstad A. 2009. Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia. *Euphytica*, 167: 181-195. DOI:10.1007/s10681-008-9858-3.
- Acquaah G. 2012. Principles of plant genetics and breeding. Wiley-Blackwell. DOI:10.1002/9781118313718.
- Ahmadi K, Ebadzadeh H, Hatami F, Abd Shah H, and Kazemian A. 2020. Agricultural Statistics of the Crop Year 2019-2020, Volume One: Crop Products. pp, 98. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Center (In Persian).
- Ahmadi J, Vaezi B, and Pour-Aboughadareh AR. 2016. Evaluation of forage yield stability of advanced lines of Grass pea (*Lathyrus sativa* L.) by parametric and non- parametric methods. *Journal of Crop Breeding*, 8(17): 149-159 (In Persian). DOI:10.18869/acadpub.jcb.8.17.159.

- Akbarpour OA, 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). DOR: 20.1001.1.20084811.1390.42.1.3.9.
- Amiri Oghan, H, Alemzadeh Khoomaram MH, and Javadifar F. 2004. Stability of seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus*) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences, 6(3): 203-204 (In Persian). DOR: 20.1001.1.15625540.1383.6.3.3.2
- 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, 20(3): 99-106 (In Persian). DOR: 20.1001.1.22286128.1395.8.20.1.8
- Barati A, Tabatabaee SA, Mahlooji M, and Saberi MH. 2019. Evaluation of grain yield and it's stability in barley promising lines in saline areas. Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1): 1-13 (In Persian).
- Dashtaki M, YazdanSepas A, NajafiMirak T, Ghanadha MR, Joukar R, Islampour MR, Moayedi AA, Nazeri M, AbediOskooie MS, Aminzadeh G, Soltani R, Ashouri S, and Kouchaki AR. 2004. Stability of grain yield and harvest index in winter and facultative bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. Seed and Plant Improvement Journal, 20(3): 263-280 (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.110583
- Ebadi Segherloo A, Sabaghpour SH, Dehghani H, and Kamrani M. 2008. Nonparametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Euphytica, 162: 221-229. DOI: 10.1007/s10681-007-9552-x
- Ebdon JS, and Gauch HG. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national. Turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype-environment interaction. Crop Science, 42: 489-496. DOI: 10.2135/cropsci2002.4890
- Eberhart SA, and Russell WA. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6: 36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- Farshadfar E, and Sutka J. 2006. Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. Acta Agronomica Hungarica, 54(4): 459- 467. DOI: 10.1556/AAgr.54.2006.4.8
- Finlay KW, and Wilkinson GN. 1963. The analysis of adaptation in plant breeding program. Australian Journal of Agricultural Research, 14: 752-754. DOI: 10.1071/AR9630742
- Francis TR, and Kannenberg LW. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I - A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science, 58: 1029-1034. DOI: 10.4141/cjps78-157
- Ghazvini H, Pour-Aboughadareh A, Sharifalhossaini M, Razavi SA, Mohammadi S, Ghasemi Kalkhoran M, Fathi Hafshejani A, and Khakizade GH. 2018. Phenotypic stability analysis of the barley genotypes in the cold regions of Iran. Crop Breeding Journal, 8(1and 2): 17-29 (In Persian). DOI: 10.22092/cbj.2019.127226.1037
- Harsh M, Sawhney RN, Singh SS, Chaudhary DN, Sarmara D, and Sharma JB, 2000. Stability analysis of high yielding wheat at varying fertility levels. Indian Journal of Genetic, 60: 471-476.
- Huehn VM. 1990. Non-parametric measures of phenotypic stability. Part I: Theory. Euphytica, 47: 189-194. DOI: 10.1007/BF00024241
- Jahromi HMA, Khodarahmi M, Mohammadi AR, and Mohammadi A. 2011. Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. Iranian Journal of Crop Science, 13(3): 565-579 (In Persian). DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.9.7
- Jamali SH. 2012. National guidelines for tests to determine the agronomic value of barley cultivars. Seed Registration and Certification Research Institute. Karaj.

- Jamshi Moghaddam M, and Pourdad SS. 2009. Comparison of parametric and nonparametric methods for analyzing genotype \times environment interactions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agricultural Science, 147: 601-612 (In Persian). DOI: 10.1017/S0021859609990050
- Kang MS. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. Agronomy Journal, 85: 754-757. DOI: 10.2134/agronj1993.00021962008500030042x
- Kang MS. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communications, 16: 113-115. <https://www.jstor.org/stable/23782771>
- Koocheki, A, Sorkhi B, and Eslamzadeh Hesari MR. 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). DOR: 20.1001.1.22520163.1391.2.4.1.7
- Mohammadi R, Abdulahi A, Haghparast R, and Armion M. 2007. Interpreting genotype \times environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. Euphytica, 157: 239-251. DOI: 10.1007/s10681-007-9417-3
- Nassar R, and Huehn M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45-53. DOI: 10.2307/2531947
- Olivoto T. 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. <https://github.com/TiagoOlivoto/metan> (accessed 24 June 2019). DOI: 10.1111/2041-210X.13384
- Plaisted RL. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. American Potato Journal, 37: 166-172. DOI: 10.1007/BF02855271
- Plaisted RL, and Peterson LC. 1959. A technique for evaluation the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. American Potato Journal, 36: 281-285. DOI: 10.1007/BF02852735
- Pour-Aboughadareh A, Yousefian M, Moradkhani H, Poczai P, and Siddique KHM. 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Applications in Plant Sciences, 7(1): e1211. DOI: 10.1002/aps3.1211
- Ramazani A. 2012. The study of yield stability of rice genotypes in Isfahan province. Cereal Research, 2(3): 181-192 (In Persian). DOI: 20.1001.1.22520163.1391.2.3.2.6
- 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. DOI: 10.1007/s10681-007-9635-8
- Romer T. 1917. Sind die ertragsreichen sorten ertragssichers? Milt. DLG. 32: 87-89.
- Roustaie M, Sadeghzadeh Ahari D, Hesami A, Soleymani K, Pashapour H, Nader-Mahmoudi K, Pour Siahbidi MM, 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). DOI: 10.22092/spij.2017.110953
- Roustaie M, Mogaddam M, Mahfouzi S, and Mohammadi A. 1996. Comparison of stability analysis of grain yield in wheat and barley cultivars in dry lands. Proceedings of the 4th Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. pp, 252 (In Persian).
- Sabaghnia N, Dehghani H, and Sabaghpour SH. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype \times environment interaction of lentil genotypes. Crop Science, 46: 1100-1106. DOI: 10.2135/cropsci2005.06-0122
- Saeedi A, Akbari A, Bakhtiar A, Mehrvar MR, and Nategh Z. 2005. Specifications of bread wheat, durum wheat, barley, triticale and rye cultivars introduced by the Cereals Research Department. Publication of agricultural education. pp, 105.

- Shukla GK. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29: 237-245. DOI: 10.1038/hdy.1972.87
- Soughi HA, Babaeian Jelodar NA, Ranjbar GA, and Hadi Pahlevani M. 2016. Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 8(18): 119-125 (In Persian). DOI: 10.29252/jcb.8.18.119
- Soughi H, Vahabzadeh M, Kalateh-Arabi M, Jafarby JA, Khavarinejad S, Ghasemi M, Fallahi H, and Amini A. 2009. Study on grain yield stability of some promising bread wheat lines in northern warm and humid climate of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 25(1): 211-222 (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.111023
- Sprague GF, and Federer WT. 1951. A comparison of variance components in corn yield trials. II - Error, year \times variety, location \times variety and variety components. *Agronomy Journal*, 42: 531-541. DOI: 10.2134/AGRONJ1951.00021962004300110003X
- Thennarasu K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph.D. Thesis. P. J. School, IARI, New Delhi. India.
- 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. DOI: 10.1556/0806.45.2017.019
- Vaezi B, Ahmadi J, and Pour-Aboughadareh AR. 2015. Stability analysis of barley advanced lines under Gachsaran tropical environment. *Cereal Research*, 5(3): 261-272. DOI: 20.1001.1.22520163.1394.5.3.5.0
- Vaezi B, and Ahmadi J. 2010. Assessment of genotype \times environment interaction and stability of yield in advanced barley lines in rain-fed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(2): 395-402 (In Persian). DOI: 20.1001.1.20084811.1389.41.2.18.9
- Wricks G. 1962. Uber eine method zur erfassung der okoiogschen streubreite in feldversuchen. *Z. Pflanzenzuchtg.* 47: 92-96.
- Yan W, Cornelius PL, Crossa J, and Hunt LA. 2001. Two types of GGE biplot for analyzing multi-environment trial data, *Crop Science*, 41: 656-663. DOI: 10.2135/cropsci2001.413656x
- Yates F, and Cochran WG. 1938. The analysis of groups of experiments. *Journal of Agricultural Science*, 28: 556-580. DOI: 10.1017/S0021859600050978
- Zaifzadeh M, Mogaddam M, Ghasemi M, Mahfouzi S, and Ahmadi A. 1996. Stability analysis of grain yield of spring bread wheat cultivars in Caspian Sea regions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 7 (1): 45-51 (In Persian).
- Zali H, Farshadfar E, and Sabaghpour SH. 2011. Non-parametric analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in Iran. *Crop Breeding Journal*, 1: 89-100 (In Persian).
- Zarei L, Farshadfar E, Haghparast R, Rajabi R, Mohammadi Sarab Badieh M, and Zali H. 2012. Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. *Electronic Journal of Crop Breeding*, 5(3): 81-97 (In Persian). DOR: 20.1001.1.2008739.1391.5.3.5.8