نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۹۹
۱۰۶-۸۵
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2021.17883.2315

# تجزیه پایداری عملکرد دانه برخی از ژنوتیپ‌های برنج با روش‌های پارامتری و ناپارامتری تک متغیره

**پیمان شریفی[۱*]، رحمان عرفانی[۲]، علی محدثی[۳]، ابوذر عباسیان[۳]، هاشم امین‌پناه[۱]، محمدمهدی یوسفی[۳] و مهران سعیدی[۳]**

[۱]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
[۲]مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران
[۳]ایستگاه تحقیقات برنج تنکابن، مؤسسه تحقیقات برنج کشور – معاونت مازندران، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تنکابن، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۴

**چکیده**

**سابقه و هدف:** برنج یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است و در ایران دومین محصول زراعی پس از گندم به‌شمار می‌رود. عملکرد دانه برنج به‌شدت تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد و به‌نژادگران اغلب پایداری ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا را در محیط‌ها پیش از معرفی به‌عنوان یک رقم می‌سنجند. وفق‌پذیری ژنوتیپ‌های برنج نسبت به شرایط محیطی برای سازگاری تولید محصول در سال‌ها و مکان‌های مختلف مهم است. هدف از این مطالعه، شناسایی لاین‌های برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری عملکرد از بین نه لاین برگزیده برنج از آزمایش مقدماتی عملکرد دانه است.

**مواد و روش‌ها:** تعداد نه لاین حاصل از تلاقی بین لاین‌های مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) و ارقام اصلاح شده و بومی ایرانی و منتج از آزمایش مقدماتی عملکرد سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷، به‌همراه رقم شاهد شیرودی، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سه منطقه تنکابن، آمل و گرگان طی سه سال زراعی ۹۱-۱۳۸۸ ارزیابی شدند. تجزیه پایداری با واریانس محیطی ($S^2_i$)، ضریب تغییرات ($CV_i$)، واریانس ($\sigma^2_i$) و واریانس انحراف ($S^2$) شوکلا، اکووالانس ریک ($W_i$)، ضریب رگرسیون ($b_i$)، ضریب تشخیص ($R^2$)، تجزیه واریانس ابرهارت-راسل، آماره پایداری عملکرد (YSi) و روش‌های ناپارامتری $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، TOP و میانگین و انحراف معیار رتبه انجام شد.

**یافته‌ها:** تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه گویای تفاوت‌های ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها بود. تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش، پس از آزمون بارتلت و معنی‌دار نشدن آن و اطمینان از یکنواختی خطاهای آزمایشی، انجام گرفت. نتایج نشان داد که اثرات ژنوتیپ، سال، مکان و اثرات متقابل ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین‌های ۱۰ ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲، ۵ و ٤ از نظر عملکرد به‌ترتیب با ٦٥٢٨/١، ٦٤٩٥/١ و ٦٤٥٠/١ کیلوگرم در هکتار دانه در یک گروه قرار گرفتند و بیش‌ترین عملکرد دانه را تولید کردند. همچنین، تجزیه واریانس صفات زراعی گویای اثر معنی‌دار ژنوتیپ بر صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه، تعداد دانه خالی، تعداد دانه پر، طول خوشه و وزن هزار دانه بود. بر اساس روش‌های پارامتری پایداری، ژنوتیپ‌های ۵، ۳، ۱۰ و ۲ پایدار بودند. بر اساس شاخص عملکرد دانه و پایداری (YSi)، ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ٤، ۵ و ۱۰ دارای پایداری عملکرد دانه بالاتری بودند. همچنین، بر اساس شاخص ناپارامتری TOP، ژنوتیپ‌های ٤، ۱۰، ۱، ۲ و ۵ و بر اساس دو معیار $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$، ژنوتیپ‌های ۱ و ۵ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. همبستگی بین

*مسئول مکاتبه: peyman.sharifi@gmail.com

شاخص‌ها نشان داد که استفاده از تعدادی از آن‌ها چندان نیاز نیست و برخی از آن‌ها که همبستگی بالایی با یکدیگر دارند، را می‌توان از تجزیه‌ها حذف کرد.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع، ژنوتیپ ۵ [شماره ۱۶ از (A ۸۹۴۸ )۳-۲-۱۵۳-IR۶۴۶۶۹ ×(٤سورینام×دیلمانی)] در تمام روش‌های پایداری و ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ٤ و ۱ در برخی دیگر از روش‌ها، پایدار بودند. از این‌رو، این ژنوتیپ به‌دلیل داشتن عملکرد دانه بیش‌تر نسبت به همه ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ ۲، ارتفاع بوته کم، تعداد پنجه، دانه پر و وزن هزار دانه زیاد و همچنین، داشتن بوته‌های یکنواخت‌تر و تیپ بهتر دانه‌ها می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ برتر انتخاب و در آزمایش‌های به‌زراعی بررسی شود.

***واژه‌های کلیدی:*** برنج، تنش، سازگاری، عملکرد، کیفیت.

## مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی دنیا است که در ایران دومین محصول زراعی پس از گندم به‌شمار می‌رود (۵). با توجه به واکنش متفاوت ارقام برنج نسبت به شرایط محیطی و قابل کنترل نبودن شرایط محیطی، اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط می‌تواند هر گونه پیشرفت ناشی از گزینش را کاهش دهد. بنابراین، ارقامی که بتوانند در مناطق مختلف با تنش‌های محیطی، عملکرد بالاتری تولید کنند و پایداری عملکرد خود را حفظ کنند، ارقامی موفق به شمار می‌آیند. از این‌رو، انجام آزمایش‌های مقایسه عملکرد برای دست‌یابی به ارقامی پایدار و با عملکرد بالا در مناطق مختلف، مورد توجه به‌نژادگران است (٤۵). گام نخست در انجام چنین آزمایش‌هایی تجزیه مرکب داده‌ها است. پژوهش‌گران زیادی با انجام چنین تجزیه‌هایی، برهم‌کنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط را برای عملکرد دانه در برنج گزارش کرده‌اند (۲۸، ۳۰، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ٤٤، ٤۵، ۵۲).

روش‌های تجزیه پایداری به دو دسته کلی روش‌های پارامتری (تک‌متغیره و چندمتغیره) و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. روش‌های تک‌متغیره یا بر پایه تجزیه واریانس [هم‌چون واریانس محیطی (٤۰)، ضریب تغییرات محیطی (۸)، اکووالانس ریک (۵۷) و واریانس پایداری شوکلا (٤۸)] و یا تجزیه رگرسیون [هم‌چون ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون (٦)، انحرافات از خط رگرسیون (٤) و ضریب تشخیص پینتوس (۳٦)] هستند. روش‌های میانگین تفاوت قدرمطلق ($Si^{(1)}$) و واریانس یا انحراف استاندارد ($Si^{(2)}$) (۳٤)، روش رتبه (۱٦) و روش‌های $NPi^{(1)}$، $NPi^{(2)}$، $NPi^{(3)}$ و $NPi^{(4)}$ (۵٤) که بر پایه رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف هستند، جزو روش‌های ناپارامتری هستند و در این روش‌ها، ژنوتیپی پایدار به شمار می‌آید که در همه محیط‌ها رتبه همانندی داشته باشد. آماره‌های ناپارامتری $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ که توسط نصار و هان (۱۹۸۷) پیشنهاد شده‌اند (۳٤)، به‌ترتیب میانگین تفاوت رتبه مطلق ژنوتیپ i در N محیط و واریانس مشترک رتبه‌ها را نشان می‌دهند و هر چه میزان آن‌ها در ژنوتیپی کم‌تر باشد، آن ژنوتیپ پایدارتر است (۵۸).

در برنج گزارش‌های زیادی از تجزیه پایداری وجود دارد. هنرنژاد و همکاران (۱۹۹۸) با بررسی پایداری لاین‌های برنج در شرایط مختلف محیطی، لاین ٤۲۱ را به‌دلیل داشتن واریانس محیطی و واریانس درون مکانی کم‌تر به‌عنوان لاین پایدار معرفی کردند (۱۱). در پژوهشی دیگر، هشت لاین برنج در سه منطقه استان گیلان در سه سال زراعی ارزیابی شدند و لاین ٤۲٤ (درفک) به علت دارا بودن واریانس و ضریب تغییرات درون مکانی کم‌تر و

همچنین، میانگین عملکرد بیشتر، از بقیه لاین‌ها پایدارتر بود (۳۳). رحیم سروش و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی هشت لاین برنج و دو رقم شاهد با روش‌های پارامتری تک متغیره، لاین‌های پایدار را شناسایی کردند (۳۷). در تحقیقی دیگر، مومنی و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی هفت لاین خالص اصلاحی منتخب برنج در سه سال و چهار منطقه، با روش پارامتری تک‌متغیره شیب خط رگرسیون و روش امی، لاین‌های پایدار را معرفی کردند (۳۲). همچنین، رمضانی (۲۰۱۲) با ارزیابی ۱۱ لاین امیدبخش برنج به‌همراه رقم شاهد سازندگی در استان اصفهان با روش‌های تک‌متغیره، لاین‌های پایدار را شناسایی کردند (۳۹). نعمانی و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی ۱۰ لاین امیدبخش برنج به همراه دو رقم هاشمی و کادوس به‌عنوان شاهد در استان گیلان در سه سال زراعی، با روش‌های پارامتری و غیرپارامتری، ژنوتیپ‌ها را از نظر پایداری رتبه‌بندی کردند، که در بیش‌تر آن‌ها رقم هاشمی و سه لاین دیگر به‌عنوان پایدارترین رقم شناخته شد (۳۵). در پژوهشی دیگر، ترنگ و بخشی‌پور (۲۰۱٦)، با ارزیابی ۱۰ لاین امیدبخش برنج به‌همراه رقم خزر به‌عنوان شاهد در استان گیلان، اثر معنی‌دار برهم‌کنش ژنوتیپ × مکان × سال را بر عملکرد دانه مشاهده کردند و لاین‌های پایدار را شناسایی کردند (۵۳). علاوه بر موارد بالا، پژوهش‌گران دیگری نیز با روش‌های تک‌متغیره همانند واریانس درون مکانی، ضریب رگرسیون و ضریب تغییرات درون مکانی (۳، ۱۱، ۳۱، ۳۸، ٤٤، ۵۰)، روش AMMI (۲٤، ٤٤، ۵۲، ۵۵) و GGE بای‌پلات (۲۲)، پایداری ژنوتیپ‌های برنج را ارزیابی کردند.

هدف از این تحقیق، انتخاب و معرفی لاین یا لاین‌های پایدار با عملکرد بالا و بررسی عملکرد و اجزای عملکرد در لاین‌های امیدبخش برنج در مناطق مختلف استان مازندران برای معرفی رقمی با عملکرد دانه بالا و همچنین، پایداری عملکرد دانه بود.

## مواد و روش‌ها

برای اجرای این آزمایش، نه لاین پیشرفته منتخب از آزمایش مقایسه عملکرد مقدماتی سال ۸۸-۱۳۸۷، به‌همراه رقم شیرودی به‌عنوان شاهد (جمعا ۱۰تیمار) (جدول ۱) در سه منطقه تنکابن و آمل و گرگان با دارا بودن ویژگی‌های مطلوب زراعی (کمی و کیفی) به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال‌های زراعی ۹۱-۱۳۸۸ ارزیابی شدند. توضیح اینکه، تلاقی‌ها برای دست‌یابی به این لاین‌ها در سه سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ در ایستگاه تحقیقات برنج چپرسر (تنکابن) انجام شد و لاین‌ها برای خالص‌سازی تا نسل $F_6$ به پیش برده شدند. از آنجا که هدف دست‌یابی به لاین‌هایی با عملکرد دانه بالا و کیفیت دانه مطلوب بود، رقم آمل ۳ و لاین‌های ارسالی از مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) به دلیل عملکرد بالای دانه و رقم بومی دیلمانی به دلیل کیفیت دانه برتر به‌عنوان والدین تلاقی‌ها انتخاب شدند. لاین‌های با پیشوند IR، لاین‌های ارسالی از IRRI هستند، که به‌عنوان والد پدری به‌کار گرفته شده‌اند. لاین آمل ۳ × شماره ۳ و همچنین ٤سورینام × دیلمانی نیز از لاین‌های دورگ هستند که از آن‌ها به‌عنوان والد مادری استفاده شده است. مفهوم کد IR (A37632)-2-6-22-67015 در ژنوتیپ شماره ۱ چنین است که بوته‌های انتخاب شده از نسل $F_2$ در لاین IR 67015، به‌عنوان ردیف‌های نسل $F_3$ کشت شده‌اند. در این نسل، از ردیف IR 67015-22، تعدادی بوته برای ایجاد نسل $F_4$ انتخاب و بوته ششم در این نسل برای ایجاد نسل بعدی کشت شده است (IR 67015-22-6). از بوته‌های نسل $F_5$، بوته دوم برای ایجاد نسل بعدی استفاده شده است.

**جدول ۱- ویژگی‌ها، کد و شجره ژنوتیپ‌های بررسی شده.**

Table 1- Characteristics, code and pedigree of evaluated genotypes.

| کد ژنوتیپ<br>Genotype code | شجره ژنوتیپ‌ها<br>Pedigree of Genotyps | منشأ<br>Origin | ارتفاع بوته<br>Plant Height | پنجه‌زنی<br>Tillering Ability | بلاست<br>Blast | کرم ساقه‌خوار در مرحله سرسفیدی[1]<br>Stem borer at W.h | آمیلوز (درصد)<br>Amylose content (9%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | شماره ۵۴ از (A ۳۷۶۳۲) -۲-۶-۲۲-۱۵-۶۷۰ IR ×(آمل ۳×شماره۳)<br>Number 54 from IR 67015-22-6-2-(A37632) × (Amol3 × Number 3) | ایران<br>Iran | متوسط<br>Intermediate | خوب<br>Good | مقاوم<br>Resistance | نیمه حساس<br>Semi- susceptib | 15-20 |
| G2 | شماره ۵۸ از(A ۳۷۶۳۲) -۲-۶-۲۲-۱۵-۶۷۰ IR ×(آمل ۳×شماره۳)<br>Number 58 from IR 67015-22-6-2-(A37632) × (Amol3 × Number 3) | ایران<br>Iran | نیمه‌پاکوتاه<br>Semidwarf | متوسط<br>Medium | مقاوم<br>Resistance | نیمه حساس<br>Semi- susceptib | 15-20 |
| G3 | شماره ۵۹ از(A ۳۷۶۳۲) -۲-۶-۲۲-۱۵-۶۷۰ IR ×(آمل ۳×شماره۳)<br>Number 59 from IR 67015-22-6-2-(A37632) × (Amol3 × Number 3) | ایران<br>Iran | نیمه‌پاکوتاه<br>Semidwarf | خوب<br>Good | مقاوم<br>Resistance | نیمه حساس<br>Semi- susceptib | 15-20 |
| G4 | شماره ۱۳۴ از(A ۳۷۶۳۲) -۲-۶-۲۲-۱۵-۶۷۰ IR ×(آمل ۳×شماره۳)<br>Number 134 from IR 67015-22-6-2-(A37632) × (Amol3 × Number 3) | ایران<br>Iran | نیمه‌پاکوتاه<br>Semidwarf | خوب<br>Good | مقاوم<br>Resistance | نیمه حساس<br>Semi- susceptib | 15-20 |
| G5 | شماره ۱۶ از (A ۸۹۴۸)-۳-۲-۱۵۳-۶۴۶۶۹ IR ×(۴سورینام×دیلمانی)<br>Number 16 from IR 64669-153-2-3-(A8948) × (4 Surinam × Deylamani) | ایران<br>Iran | نیمه‌پاکوتاه<br>Semidwarf | خوب<br>Good | مقاوم<br>Resistance | نیمه حساس<br>Semi- susceptib | 15-20 |
| G6 | شماره ۱۷۷ از(A ۳۷۶۳۲) -۲-۶-۲۲-۱۵-۶۷۰ IR ×(آمل ۳×شماره۳)<br>Number 177 from IR 67015-22-6-2-(A37632) × (Amol3 × Number 3) | ایران<br>Iran | نیمه‌پاکوتاه<br>Semidwarf | خوب<br>Good | نیمه حساس<br>Semi-susceptible | نیمه حساس<br>Semi- susceptib | <15 |
| G7 | شماره ۸۱ از(A ۳۷۶۳۲) -۲-۶-۲۲-۱۵-۶۷۰ IR ×(آمل ۳×شماره۳)<br>Number 81 from IR 67015-22-6-2-(A37632) × (Amol3 × Number 3) | ایران<br>Iran | نیمه‌پاکوتاه<br>Semidwarf | خوب<br>Good | نیمه حساس<br>Semi-susceptib | نیمه حساس<br>Semi- susceptib | 20< |
| G8 | شماره ۱۳ از (A ۳۷۶۳۲) -۲-۶-۲۲-۱۵-۶۷۰ IR ×شیرودی<br>Number 13 from 67015-22-6-2-(A37632) × Shiroudi | ایران<br>Iran | متوسط<br>Intermediate | متوسط<br>Medium | نیمه حساس<br>Semi-susceptib | نیمه حساس<br>Semi- susceptib | 15-20 |
| G9 | شماره ۵۰ از(A ۳۷۶۳۲) -۲-۶-۲۲-۱۵-۶۷۰ IR ×(آمل ۳×شماره۳)<br>Number 50 from IR 67015-22-6-2-(A37632) × (Amol3 × Number 3) | ایران<br>Iran | متوسط<br>Intermediate | متوسط<br>Medium | نیمه حساس<br>Semi-susceptib | متوسط<br>Medium | 15-20 |
| G10 | شاهد (شیرودی)<br>Shiroudi (check variety) | ایران<br>Iran | نیمه‌پاکوتاه<br>Semidwarf | خوب<br>Good | مقاوم<br>Resistance | متوسط<br>Medium | 15-20 |

در نسل $F_6$، لاین با نام A37632 برای تلاقی با لاین دورگ آمل ۳ × شماره ۳ استفاده شده است. سپس بوته ٥٤ حاصل از آمیزش لاین IR 67015-22-2-6 (A37632) و لاین آمل ۳ × شماره ۳ تا نسل $F_6$ پیش برده شده است. برای ژنوتیپ‌های دیگر نیز مفهوم شماره‌ها این‌چنین است. برخی از ویژگی‌های ژنوتیپ‌ها شامل ارتفاع بوته، توانایی پنجه‌زنی، مقاومت به بیماری بلاست، مقاومت به کرم ساقه‌خوار و درصد آمیلوز، بر اساس سیستم ارزیابی استاندارد برنج (٤٢)، در جدول ۱ آورده شده است.

اندازه هر کرت آزمایشی، ۲۰ متر مربع و نشاکاری با فاصله ۲۵ × ۲۵ سانتی‌متر در مرحله ۵-٤ برگی (نشاهای حدود ٤٠ روزه) انجام شد. میزان کود مصرفی، ۲۵۰ کیلوگرم اوره به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم بود که نصف کود اوره و تمامی فسفات آمونیوم در زمان آخرین شخم و باقی‌مانده اوره در زمان خوشه‌دهی مصرف شد. در طول فصل رشد، صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه، تعداد دانه خالی، تعداد کل پر، وزن هزاردانه و طول خوشه یادداشت‌برداری شد. برای محاسبه عملکرد با حذف حاشیه، برداشت محصول از مساحتی معادل ۱۵ متر مربع انجام گرفت و سپس عملکرد شلتوک بر حسب کیلوگرم در هکتار با رطوبت ١٤درصد محاسبه شد.

همگنی خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت بررسی شد. با توجه به تصادفی انگاشتن اثر سال و مکان و ثابت بودن اثر ژنوتیپ، مدل مختلط[1] تجزیه واریانس با روش کم‌ترین میانگین مربعات به‌کار گرفته شد که در آن، واریانس‌ها بر اساس امید ریاضی منابع تغییرات آزمون شدند. مقایسه میانگین تیمارها با روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

برای تجزیه پایداری پارامتری از روش‌های تجزیه واریانس ابرهارت و راسل (١٩٦٦) و آماره‌های واریانس پایداری شوکلا ($\sigma^2 i$) و $S^2$ (واریانس انحراف) (۱۹۷۲)، اکووالانس ریک (Wi) (۲۰۰۹)، واریانس محیطی ($S^2_i$) (۲۰۰۷)، ضریب تغییرات (CV) (۱۹۷۸)، ضریب تشخیص ($R^2$) (۱۹۷۳) و ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون ($b_i$) (١٩٦٣) استفاده شد (٤، ٤٨، ٥٨، ٤١، ٨، ٣٦، ٦).

تجزیه واریانس پایداری شوکلا (۱۹۷۲) و ریک (١٩٦٢) انجام شد که در آن واریانس پایداری با محاسبه برآوردگرهای بدون اریب[2] از $\sigma_i^2$ (ناهمگونی[3]) و $S^2_i$ (واریانس انحراف[4])، به‌ترتیب پیش و پس از در نظر گرفتن اثر خطی شاخص محیطی، برآورد شدند (٤٨، ٥٧). بنابراین، مجموع مربعات اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط به دو جزء ناهمگونی به دلیل اثر خطی شاخص محیطی (اندازه‌گیری شده از تفاضل میانگین عملکرد محیط، منهای متوسط عملکرد کل) و واریانس باقی‌مانده یا انحراف (واریانس انحراف) تقسیم شد.

آماره پایداری عملکرد (YSi) ارائه شده توسط کنگ و مگاری (۱۷) بر پایه روش شوکلا (٤٨) استفاده شد (جدول ۹). در این روش، میزان پایداری ژنوتیپ‌ها با دو آماره $\sigma_i^2$ و $Y_i$ ارزیابی می‌شود که این دو در شاخصی به‌نام YSi جمع شده‌اند. مراحل محاسبه آماره YSi برای ژنوتیپ i به این شرح است (الف): تشخیص سهم هر ژنوتیپ در اثرمتقابل GE با محاسبه $\sigma_i^2$؛ (ب): تعیین رتبه‌های ژنوتیپ‌ها از بالاترین میزان عملکرد دانه به کم‌ترین میزان آن، با دادن رتبه یک به کم‌ترین عملکرد (Y')؛ (ج): محاسبه LSD محافظت شده برای مقایسه میانگین عملکرد؛ (د): تعدیل رتبه عملکرد (Y') با توجه به LSD (به‌طوری‌که عدد ۱+ به عملکرد بیش‌تر از میانگین عملکرد کل، ۲+ به عملکرد بیش‌تر از یک LSD

1. Mixed

2. Unbiased
3. Heterogeneity
4. Deviation variance

نسبت به میانگین عملکرد کل، ۳+ به عملکرد بیش‌تر از دو LSD نسبت به میانگین عملکرد کل، ۱- به عملکرد کم‌تر از میانگین عملکرد کل، ۲- به عملکرد کم‌تر از یک LSD نسبت به میانگین عملکرد کل و ۲- به عملکرد کم‌تر از دو LSD نسبت به میانگین عملکرد کل داده می‌شود)؛ (ه): تشخیص معنی‌داری $\sigma_i^2$با استفاده از یک آزمون F تقریبی با درجه آزادی صورت (n-1) و مخرج dfe (درجه آزادی خطا در تجزیه مرکب)، معنی‌دار بودن مقادیر آماره واریانس پایداری برای هر ژنوتیپ (n، تعداد محیط است)؛ (و): واگذاردن رتبه پایداری ۸-، ٤- و ۲- به‌ترتیب برای سطح معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ و صفر برای معنی‌دار نبودن $\sigma^2$ (مقدار بیش‌تر $\sigma^2$، پایداری کم‌تر ژنوتیپ)؛ (ز): جمع کردن رتبه پایداری[1] و رتبه تعدیل شده عملکرد[2] هر ژنوتیپ برای به‌دست آوردن آماره YS*i*؛ (ح): محاسبه میانگین YS*i* و تشخیص ژنوتیپ‌های با YS*i* بالاتر از متوسط YS*i* برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها، تا ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا مشخص شود.

چندین معیار ناپارامتری در این پژوهش برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شد:

میانگین تفاوت رتبه مطلق ژنوتیپ i در N محیط ($S_i^{(1)}$) از رابطه شماره ۱ محاسبه شد (۳٤):

رابطه ۱: $$S_i^{(1)} = 2\sum_{j<j'}^{n}\left|r_{ij}-r_{ij'}\right| / n(n-1)$$

معیار واریانس رتبه ($S_i^{(2)}$)، انحراف استاندارد را برای رتبه‌های یک ژنوتیپ در محیط‌های آزمایش نشان می‌دهد و با رابطه شماره ۲ محاسبه شد (۱۳):

رابطه ۱: $$S_i^{(2)} = \sum_{j=1}^{n}(r_{ij}-\bar{r}_{i.})^2/(n-1) \quad \bar{r}_{i.} = \frac{r_{ij}}{N}$$

که در آن، n تعداد محیط‌ها (J=1,2,…,N)، k تعداد ژنوتیپ‌ها (i=1,2,….,K)، $\bar{r}_{i.}$ میانگین رتبه، امید ریاضی $r_{ij}$ با فرض حداکثر پایداری و $S_i^{(2)}$ واریانس مشترک رتبه‌ها است.

آزمون معنی‌داری برای $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ با آماره $\chi^2$ با رابطه تقریبی شماره ۳ انجام شد (۳٤): t =1, 2

رابطه ۲:

$$Z_i^t = \left[S_i^t - E(S_i^t)\right]^2 / Var(S_i^t)\ S^{(t)} = \chi^2 = \sum_i^1 Z_i^t$$

که در آن، $Z_i^t$ دارای توزیع تقریبی مربع کای با درجه آزادی یک است. همچنین، آماره $S^{(t)}$ دارای توزیع تقریبی مربع کای با k (تعداد ژنوتیپ) درجه آزدی است (۳٤).

$E(S_i^t)$ و $Var(S_i^t)$ به‌ترتیب برابر با میانگین و واریانس $S_i^t$ بوده و از رابطه‌های ٤-٦ محاسبه شدند (۳٤):

رابطه ٤: $$E(S_i^1) = (k^2-1)/(3k)$$

رابطه ٥: $$E(S_i^2) = (k^2-1)/(12)$$

رابطه ٦:

$$Var(S_i^2) = \frac{m_4}{N}\left[\frac{N-3}{N(N-1)}(E(S_i^2))^2\right]$$

تمام تجزیه‌ها با استفاده از بسته‌های Agricolae (۲۵)، Stability (٦۰) و lme4 (۲) نرم‌افزار R انجام شدند. برآوردهای YSi همگی با بسته Agricolae (۲۵) انجام شد و نیاز به هیچ محاسبه دستی برای برآورد آن نبود.

## نتایج و بحث

**تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها:** تجزیه واریانس ساده در سه مکان و طی سه سال نشان داد که اثر ژنوتیپ در همه مکان‌ها به جز آمل سال اول (محیط دوم) و دوم (محیط پنجم) معنی‌دار بود، یعنی ژنوتیپ‌ها در بیش‌تر محیط‌ها با یکدیگر اختلاف

1. Stability rating
2. Adjusted yield rank

معنی‌داری داشتند و به بیانی دیگر، مواد آزمایشی تنوع ژنتیکی کافی داشتند (جدول ارائه نشده است). مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر کدام از محیط‌ها (ترکیب ۳ مکان و ۳ سال) نشان داد که در محیط اول (تنکابن، سال اول)، ژنوتیپ ۱۰، ٤ و ۲؛ در محیط دوم (آمل، سال اول)، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۰ و ٤؛ در محیط سوم (گرگان، سال اول)، ژنوتیپ‌های ۱۰، ٤ و ۲؛ در محیط چهارم (تنکابن، سال دوم)، ژنوتیپ‌های ۲، ۱ و ۱۰؛ در محیط پنجم (آمل، سال دوم)، ژنوتیپ‌های ۷، ۸ و ۱۰؛ در محیط ششم (گرگان، سال دوم)، ژنوتیپ‌های ۲، ۱ و ۸؛ در محیط هفتم (تنکابن، سال سوم)، ژنوتیپ‌های ۲، ۱ و ۵؛ در محیط هشتم (آمل، سال سوم)، ژنوتیپ‌های ۱، ۳ و ۵؛ و در محیط نهم (گرگان، سال سوم) ژنوتیپ‌های ٤، ۵ و ۲ بیش‌ترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۲). با توجه به رتبه ژنوتیپ‌ها در این آزمایش‌ها، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ٤، ۵ و ۱۰ دارای بیش‌ترین عملکرد نسبت به سایر ژنوپیپ‌ها در بیش‌تر مکان‌ها و سال‌ها بودند، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های ۲ و ۵ در هشت محیط و ژنوتیپ ٤ در هفت محیط از نظر معیار LSD در گروه اول جای گرفتند. در سوی دیگر، ژنوتیپ‌های ۸ و ۹ کم‌ترین عملکرد دانه را در بیش‌تر محیط‌ها داشتند و ژنوتیپ ۹ در هشت محیط رتبه آخر را از نظر عملکرد دانه داشت. این جدول نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های بررسی شده، نه تنها از نظر مقدار عملکرد در یک مکان با یکدیگر تفاوت‌هایی داشتند، بلکه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف از مکانی به مکان دیگر و همچنین، گاهی در یک مکان، از سالی به سال دیگر متفاوت بود و به بیان دیگر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف رتبه‌های متفاوتی را از نظر عملکرد دانه داشتند، که نشان‌گر برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه است (٤۲) که در تجزیه‌های بعدی هم به روشنی دیده می‌شود. چنین واکنش‌هایی درباره برنج در گزارش‌های پژوهش‌گران دیگر نیز دیده شده است (٤۵، ۵۲). این نتیجه گویای آن است که بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها و انتخاب آن‌ها بر اساس عملکرد در یک مکان نمی‌تواند دقیق و نزدیک به واقعیت باشد و باید ژنوتیپ‌ها در چندین سال و مکان ارزیابی شوند و میزان سازگاری و پایداری آن‌ها مشخص گردد (٤، ۵۹).

پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از یکنواختی خطاهای آزمایشی در محیط‌های مختلف، تجزیه واریانس مرکب انجام شد و نشان داد که اثرات سال، مکان، ژنوتیپ و برهم‌کنش سال × مکان، ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر سال برای عملکرد دانه نشان‌گر این است که عواملی مانند میزان و پراکنش بارندگی، بیش‌ترین و کم‌ترین دمای هوا و خاک، توزیع متفاوت ماهانه بارندگی در دوره‌های مختلف رشدی گیاه و عوامل دیگر در سال‌های مختلف یکسان نبودند. معنی‌دار بودن برهم‌کنش سال × مکان بر عملکرد دانه بیانگر این است که ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و سال‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشتند. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین آن‌ها است. معنی‌دار شدن برهم‌کنش ژنوتیپ × مکان نشان‌گر این است که ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری خصوصی بوده و در هر مکان ژنوتیپ ویژه‌ای، پتانسیل عملکرد بیشتری دارد. معنی‌دار بودن برهم‌کنش ژنوتیپ × سال × مکان نشان‌دهنده این است که عملکرد ژنوتیپ‌ها از یک مکان به مکان دیگر و از سالی به سال دیگر، اختلاف داشت و ترتیب ژنوتیپ‌ها در هر یک از ترکیب‌های تیماری مکان و سال دارای نوساناتی بود. به‌طوری‌که عواملی مانند خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، طول و عرض جغرافیایی و ... باعث اختلاف مکان‌ها در سال‌های مختلف شده‌اند و نشان‌گر نیاز به ارزیابی

ژنوتیپ‌ها در چندین محیط برای شناسایی سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها است. بنابراین، با توجه به برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط، نتیجه‌گیری و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس نتایج تجزیه مرکب و مقایسه میانگین عملکرد دانه کافی نیست و باید تلاش شود ژنوتیپی گزینش شود که در کنار پرمحصولی، نوسان عملکرد کم‌تری داشته باشد و از پایداری عملکرد بیش‌تری برخوردار باشد. از این‌رو، برای تعیین اندازه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها، باید روش‌های مختلف تجزیه پایداری را به کار بست. در تطابق با این یافته‌ها، پژوهش‌گران دیگری نیز اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط را در برنج گزارش کرده‌اند (۲۳، ۳۰، ۳۲، ۳۷، ۳۸، ۵۲، ۵۳).

**جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های برنج در سه مکان و سه سال (کیلوگرم در هکتار).**

Table 2- Mean comparison of grain yield of rice genotypes in three locations and three years (kg ha$^{-1}$).

| شماره ژنوتیپ Genotype no. | سال اول First year | | | سال دوم Second year | | | سال سوم Third year | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | تنکابن Tonekabon | آمل Amol | گرگان Gorgan | تنکابن Tonekabon | آمل Amol | گرگان Gorgan | تنکابن Tonekabon | آمل Amol | گرگان Gorgan |
| G1 | 6371.0$^{bcd}$ | 6094.5$^{e}$ | 6326.9$^{ab}$ | 6541.3$^{ab}$ | 5943.8$^{ab}$ | 6732.4$^{ab}$ | 6753.5$^{ab}$ | 5716.8$^{a}$ | 6545$^{dc}$ |
| G2 | 6591.0$^{abc}$ | 6484.0$^{abc}$ | 6761.7$^{ab}$ | 6624.8$^{a}$ | 6310.5$^{ab}$ | 6927.1$^{a}$ | 6994.0$^{a}$ | 5185.3$^{ab}$ | 6875$^{bc}$ |
| G3 | 6051.8$^{cd}$ | 6672.5$^{abc}$ | 6118.1$^{ab}$ | 6158.8$^{abc}$ | 5765.8$^{b}$ | 6585.6$^{ab}$ | 6140.3$^{bc}$ | 5664.8$^{ab}$ | 6410$^{dc}$ |
| G4 | 6658.5$^{ab}$ | 6916.3$^{a}$ | 6841.9$^{ab}$ | 6019.0$^{abcd}$ | 6047.8$^{ab}$ | 6309.3$^{bc}$ | 6083.0$^{bc}$ | 5225.3$^{ab}$ | 7950$^{a}$ |
| G5 | 6566.3$^{abc}$ | 7096.3$^{a}$ | 6752.6$^{ab}$ | 5940.3$^{bcd}$ | 6292.8$^{ab}$ | 6363.7$^{abc}$ | 6318.3$^{ab}$ | 5656.0$^{ab}$ | 7470$^{ab}$ |
| G6 | 5974.8$^{d}$ | 6820.3$^{abc}$ | 5716.5$^{b}$ | 5657.5$^{cde}$ | 6239.0$^{ab}$ | 6116.2$^{bc}$ | 6240.0$^{abc}$ | 5000.3$^{ab}$ | 6155$^{d}$ |
| G7 | 5842.8$^{d}$ | 6652.3$^{abc}$ | 6562.9$^{ab}$ | 5196.3$^{ef}$ | 7023.0$^{a}$ | 5743.3$^{c}$ | 6213.3$^{abc}$ | 5490.8$^{ab}$ | 6620$^{cd}$ |
| G8 | 6077.5$^{cd}$ | 6274.5$^{bc}$ | 5975.6$^{ab}$ | 5438.0$^{de}$ | 6973.3$^{a}$ | 6622.1$^{ab}$ | 5404.5$^{dc}$ | 5374.3$^{ab}$ | 6155$^{d}$ |
| G9 | 5914.8$^{d}$ | 6076.8$^{c}$ | 5626.9$^{b}$ | 4705.8$^{f}$ | 5457.3$^{b}$ | 4712.2$^{d}$ | 5121.8$^{d}$ | 3426.3$^{c}$ | 5095$^{e}$ |
| G10 | 6967.3$^{a}$ | 7071.0$^{a}$ | 7057.8$^{a}$ | 6192.8$^{abc}$ | 6438.0$^{ab}$ | 6351.0$^{abc}$ | 6139.0$^{bc}$ | 4983.5$^{b}$ | 6275$^{cd}$ |
| حداقل اختلاف معنی‌دار LSD | 552.6 | 824.9 | 1291.5 | 652.5 | 1129.5 | 652.2 | 838.07 | 723.7 | 651.8 |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

The common letters in any column indicated not significant differences between genotypes.

تجزیه واریانس صفات زراعی گویای اثر معنی‌دار ژنوتیپ بر صفات مورد مطالعه بود. این نتایج همچنین نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ × سال × مکان برای تعداد دانه خالی، تعداد دانه پر، طول خوشه و وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های صفات زراعی در ژنوتیپ‌ها به‌روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد (جدول ٤) نشان داد که بلندترین ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ ۹ و کوتاه‌ترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ ۳ و در پی آن ژنوتیپ‌های ٦، ۵ و ٤ بود. از آنجا که ژنوتیپ‌های دارای ارتفاع بوته متوسط و کوتاه نسبت به ورس مقاومت دارند، این ویژگی در شناسایی لاین‌های برتر که نشانهٔ کودپذیری آن‌ها نیز است، اهمیت زیادی دارد. ارقام پابلند (به‌ویژه محلی) علاوه بر نداشتن خاصیت کودپذیری، در شرایط بارندگی آخر فصل نیز به شدت ورس کرده و خسارات زیادی بر آن‌ها بار می‌آید. بنابراین، با توجه به حساسیت کم‌تر ارقام پاکوتاه به خوابیدگی و آسیب‌پذیری کم‌تر محصول آن‌ها، چنین ارقامی بیش‌تر به‌نژادگران را به سوی خود می‌کشاند و به‌نژادی برای تولید ارقام پاکوتاه انجام می‌شود، تا به این ترتیب، ارقام جدیدی پدید آورده شوند، که ماده خشک بیش‌تری در دانه و مقدار کم‌تری

در کاه و کلش ذخیره کنند (٤٦). بیش‌ترین تعداد پنجه در ژنوتیپ ٦ و در پی آن ژنوتیپ‌های ٥ و ٤ دیده شد. ژنوتیپ‌های ٨، ٩ و ٢ کم‌ترین تعداد پنجه را داشتند.

**جدول ٣- تجزیه مرکب عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های برنج در سه مکان و سه سال.**

Table 3- Combined analysis of variance for grain yield in rice genotypes in three locations and three years.

| منابع تغییر S.O.V | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عمکرد دانه Grain yield | ارتفاع بوته Plant Height | تعداد پنجه Tiller number | تعداد دانه خالی Unfilled grain number | تعداد دانه پر Filled grain number | طول خوشه Panicle length | وزن هزار دانه 1000 grain weight |
| مکان Location (L) | 2 | 7002845.48** | 4184.97** | 271.85** | 146.16$^{ns}$ | 4067.06** | 148.40** | 253.02** |
| سال Year (Y) | 2 | 4763057.63** | 5828.31** | 811.75** | 5677.45** | 101403.18** | 567.57** | 204.16** |
| سال × مکان L×Y | 4 | 9299415.43** | 2361.16** | 232.39** | 2208.17** | 4342.42** | 170.73** | 104.34** |
| تکرار درون محیط R(L×Y) | 27 | 761001.18 | 46.49 | 32.86 | 198.06 | 277.59 | 2.27 | 4.03 |
| ژنوتیپ Genotypes (G) | 9 | 6109171.6** | 1110.44** | 170.70** | 1815.32 | 2384.36** | 36.09** | 32.01** |
| ژنوتیپ × مکان G×L | 18 | 937427.54** | 75.59** | 52.50* | 290.80** | 1068.03** | 5.48** | 6.16** |
| ژنوتیپ × سال G×Y | 18 | 861464.34** | 106.40** | 28.50ns | 273.92** | 989.72** | 6.52** | 12.56** |
| ژنوتیپ × سال × مکان G×L×Y | 36 | 468568.51* | 54.25$^{ns}$ | 38.76$^{ns}$ | 258.95** | 727.79** | 6.14** | 5.57** |
| خطای آزمایشی Error | 243 | 307972.9 | 37.58 | 29.01 | 80.01 | 238.75 | 2.02 | 2.04 |
| ضریب تغییرات (درصد) CV (%) | | 8.99 | 5.65 | 25.80 | 32.18 | 16.21 | 4.97 | 5.04 |

** و *: اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ١ و ٥ درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

*, **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively; ns: not sinificnt.

بیش‌ترین تعداد دانه خالی مربوط بـه ژنوتیـپ ٩ و کم‌ترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ ٢ بود. بیش‌تـرین تعداد دانه پر مربوط به ژنوتیـپ ٢، ٦ و ٣ و کـم‌تـرین میزان آن مربوط به ژنوتیپ‌های ٤، ٩ و ٧ بود. مخزن یا ظرفیت ذخیره‌ای بزرگی که با تعداد بیش‌تر دانـه‌هـا در خوشه بدست می‌آید، بـرای دسـت‌یـابی بـه عملکـرد بیش‌تر سودمند است و با گزینش برای تعداد دانـه پُـر بیش‌تر در خوشه، مـی‌تـوان از تعـداد دانـه‌هـای پـوک کاست (٤٦). نتایج مقایسه میانگین‌های صفات زراعی همچنین نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین طول خوشه به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ٧ و ٢ دیده شد. ژنوتیپ‌های ١، ٣ و ١٠ نیـز دارای طـول خوشـه بلنـدتر بودنـد. ژنوتیپ‌های ١، ٢ و ٨ دارای بالاترین وزن هزار دانه و ژنوتیپ‌های ١٠ و ٣ وزن هزار دانـه پـایین‌تـر بودنـد. وزن هزاردانه یکی از مهـم‌تـرین اجـزاء عملکـرد دانـه است که نشان‌دهنده اختصاص بیش‌تر مواد فتوسـنتزی

به دانه‌ها است و با آنکه شرایط محیطی تا اندازه‌ای بر وزن هزار دانه مؤثر است، اما این صفت به‌عنوان یکی از پایدارترین ویژگی‌های واریته‌ای به شمار می‌آید که تحت کنترل ژنتیکی است (۱۰)، هرچند در مطالعات جدیدتر QTLهای مختلفی با بررسی در محیط‌های مختلف برای وزن هزاردانه شناسایی شده است (٤٦). ترنگ و سعیدی‌پور (۵۳)، رمضانی (۳۹) و مومنی‌زاده و همکاران (۳۰) نیز افزون بر ارزیابی عملکرد دانه در محیط‌های گوناگون، صفات مورفولوژیک و زراعی را در ژنوتیپ‌های برنج ارزیابی کردند و ژنوتیپ‌های دارای صفات زراعی مطلوب را شناسایی کردند. مقایسه میانگین‌های ژنوتیپ‌ها در سه منطقه و در سه سال نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۲، ٤ و ۵ به‌ترتیب بیش‌ترین عملکرد دانه را داشتند و در یک گروه (A) جای گرفتند و با رقم شاهد شیرودی به‌ترتیب ۱٤۲/۱، ۱۰۹/۱ و ٦٤/۱ کیلوگرم اختلاف داشتند و عملکرد بیشتری تولید نمودند. کم‌ترین عملکرد دانه در ژنوتیپ ۹ مشاهده شد (جدول ٤).

**جدول ٤- مقایسه میانگین عملکرد دانه و دیگر صفات زراعی در ژنوتیپ‌های برنج در سه مکان و سه سال.**

Table 4- Mean comparison of rice genotypes for grian yield and some agronomy traits in three locations and three years.

| شماره ژنوتیپ Genotype no. | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($Kg.ha^{-1}$) | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm) | تعداد پنجه Tiller number | تعداد دانه خالی Unfilled grain number | تعداد دانه پر Filled grain number | طول خوشه (سانتی‌متر) Panicle length (cm) | وزن هزار دانه (گرم) 1000 grain weight (gr) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | $6336.1^{ab}$ | $111.61^{b}$ | $20.22^{cd}$ | $33.78^{b}$ | $94.89^{c}$ | $29.21^{bc}$ | $29.58^{a}$ |
| G2 | $6528.1^{a}$ | $109.69^{bc}$ | $18.12^{d}$ | $16.1^{d}$ | $109.0^{a}$ | $27.13^{e}$ | $29.09^{ab}$ |
| G3 | $6174.2^{bc}$ | $102.05^{f}$ | $21.43^{bc}$ | $25.17^{c}$ | $101.12^{bc}$ | $29.55^{ab}$ | $27.42^{d}$ |
| G4 | $6450.1^{a}$ | $105.53^{de}$ | $22.36^{abc}$ | $23.86^{c}$ | $84.84^{e}$ | $27.47^{de}$ | $28.64^{bc}$ |
| G5 | $6495.1^{a}$ | $103.98^{ef}$ | $23.31^{ab}$ | $25.54^{c}$ | $98.86^{bc}$ | $27.61^{de}$ | $28.88^{bc}$ |
| G6 | $5991.0^{c}$ | $102.22^{f}$ | $23.99^{a}$ | $24.56^{c}$ | $102.98^{ab}$ | $29.45^{ab}$ | $28.26^{c}$ |
| G7 | $6149.4^{bc}$ | $109.6^{bc}$ | $21.86^{abc}$ | $31.21^{b}$ | $87.53^{de}$ | $29.99^{a}$ | $28.83^{bc}$ |
| G8 | $6032.8^{c}$ | $110.08^{bc}$ | $17.96^{d}$ | $32.91^{b}$ | $97.59^{bc}$ | $27.98^{d}$ | $28.99^{ab}$ |
| G9 | $5126.3^{d}$ | $120.86^{a}$ | $18.23^{d}$ | $41.43^{a}$ | $94.87^{cd}$ | $28.71^{c}$ | $27.47^{d}$ |
| G10 | $6386.0^{ab}$ | $108.29^{cd}$ | $21.26^{bc}$ | $23.36^{c}$ | $96.84^{bc}$ | $29.13^{bc}$ | $26.54^{e}$ |
| حداقل اختلاف معنی‌دار LSD | 215.97 | 2.85 | 2.5 | 4.15 | 7.16 | 0.63 | 0.66 |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

The common letters in any column indicated not significant differences between genotypes.

**تجزیه پایداری:** نتایج تجزیه واریانس اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بیان‌گر این است که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به‌طور قابل توجهی در محیط‌های مختلف، متفاوت هستند (جدول ۵). از اجزای برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط، ناهمگونی ناشی از شاخص محیطی (اثر خطی) غیرمعنی‌دار بود، در حالی‌که اثر غیرخطی (جزء باقی‌مانده) معنی‌دار بود. چنین نتیجه‌ای توسط تروبرگ و هان (٥٦) نیز دیده شده است، بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تعیین درجه پایداری برای هر ژنوتیپ ضروری است.

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد دانه با روش کنگ (۱۶).

Table 5- Analysis of variance of grain yield by Kang (16) method.

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS |
|---|---|---|
| کل Total | 89 | |
| ژنوتیپ Genotypes | 9 | 6109171.60** |
| محیط Environments | 8 | 7591183.49** |
| برهم‌کنش Interaction | 72 | 684007.23** |
| ناهمگونی Heterogeneity | 9 | 950850.41$^{ns}$ |
| باقی‌مانده Residual | 63 | 645886.77** |
| خطای ادغام شده Pooled Error | 243 | 307973 |

ns، * و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

آماره واریانس پایداری شوکلا علاوه بر اینکه در محاسبه آماره YSi به‌کار گرفته می‌شود، برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها نیز استفاده شد. با بررسی مقادیر $\sigma^2i$ (ناهمگونی) (جدول ٦)، مشخص شد که ژنوتیپ‌های ٦، ۵، ۳، ۱۰ و ۲، با دارا بودن مقادیر غیر معنی‌دار و پایین $\sigma^2i$ و $S^2$ (واریانس انحراف)، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند، که از میان اینها ژنوتیپ ٦ عملکردی پایین‌تر از متوسط عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها داشت و از ژنوتیپ‌های پایدار حذف شد. ژنوتیپ‌های ۱، ٤، ۷، ۸ و ۹ ناپایدار بودند، زیرا $\sigma^2i$ آن‌ها معنی‌دار بود. پس از حذف اثر خطی شاخص محیطی و بررسی مقادیر $S^2$، ژنوتیپ‌های بالا همچنان ناپایدار تلقی شدند.

ضریب پایداری اکووالانس ریک (٥٦)، بیانگر سهم هر ژنوتیپ در مجموع مربعات برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط (GE) است. پایداری ژنوتیپ با شاخص Wi (ضریب اکووالانس ریک) رابطه معکوس دارد. مقادیر شاخص Wi (جدول ٦) نشان داد که ژنوتیپ ٦، کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد و در پی آن ژنوتیپ‌های ۵، ۳، ۱۰ و ۲ بودند که نشان‌دهنده تفاوت پایداری بین این ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد مطالعه بود و بر اساس این آماره، این ژنوتیپ‌ها پایدار بودند. از طرف دیگر، بیش‌ترین سهم ژنوتیپ‌ها در برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، Wi، توسط ژنوتیپ‌های ۹، ۸، ٤، ۷ و ۱ به‌دست آمد که نشان‌گر پاسخ بیش‌تر آن‌ها به تغییرات محیطی و ناپایداری این ژنوتیپ‌ها بود. رمضانی (۲۰۱۲) نیز با استفاده از شاخص‌های ضریب تشخیص، ضریب تغییرات، شیب خط رگرسیون، انحراف از خط رگرسیون، اکووالانس ریک و واریانس شوکلا، ژنوتیپ‌های پایدار برنج را شناسایی کردند (۳۹). همچنین، نعمانی و همکاران (۲۰۱۱) از روش‌های تجزیه پایداری مانند واریانس محیطی، ضریب تغییرات، واریانس پایداری شوکلا (٤٨)، اکووالانس ریک (٥٨)، ضریب رگرسیون فنیلی و ویلکینسون (٦)، ابرهارت و راسل (٤) و ضریب تشخیص پینتوس (۳٦) و نیز روش غیرپارامتری رتبه‌بندی، پایدارترین ژنوتیپ‌های برنج را شناسایی کردند (۳۵).

بر پایه شاخص واریانس محیطی، ژنوتیپ‌های ۳، ۱، ٦، ۲، ۵ و ۸ دارای کم‌ترین واریانس محیطی بودند که از بین آن‌ها ژنوتیپ‌های ۳، ۲، ۱ و ۵، میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل داشتند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدارتر گزینش شدند. همچنین، ژنوتیپ‌های ۳، ۱، ۲و ۵ دارای کم‌ترین ضریب تغییرات و میانگین عملکردی بالاتر از میانگین عملکرد کل بودند و بر اساس این شاخص، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ٦). ترنگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز با استفاده از ضریب تغییرات درون مکانی و واریانس درون مکانی، ژنوتیپ‌های پایدار برنج را شناسایی کردند (۵۲).

از نظر شاخص ضریب تشخیص ($R^2$)، ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۷ و ۸ کم‌ترین مقدار را داشتند و ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند، در حالی‌که دیگر ژنوتیپ‌ها تقریباً $R^2$ بالایی داشته و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار انگاشته شدند. ژنوتیپ‌های ۵ و ۹ بیش‌ترین میزان ضریب تشخیص را داشتند، ولی با توجه به عملکرد پایین ژنوتیپ ۹ نمی‌توان آن را پایدار در نظر گرفت (جدول ٦). البته از آنجا که ضریب تشخیص در بیش‌تر این ژنوتیپ‌ها نزدیک به هم بود، نمی‌توان بر پایه آن، ژنوتیپ‌های پایدار را به خوبی از هم جدا نمود و به بیانی دیگر، این شاخص نمی‌تواند چندان مورد اعتماد باشد. خراسانی و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی ١٦ ژنوتیپ امیدبخش برنج با روش‌های واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، واریانس پایداری شوکلا (٤٨)، ضریب رگرسیون فنیلی و ویلکینسون (٦)، ضریب ابرهارت و راسل (٤)، ضریب تشخیص و میانگین و انحراف رتبه، ژنوتیپ‌های با کم‌ترین رتبه را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسانده بودند (۲۳).

بر پایه سه معیار ضریب رگرسیون ($b_i$)، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها ( $\overline{g}$ ) و میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها ( $\overline{X}$ )، ژنوتیپ‌های ٤، ۵ و ۱۰ با ضریب رگرسیون بیش‌تر از یک (جدول ٦) و میانگین عملکرد بیش‌تر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها (جدول ٦)، جزء ارقام دارای پایداری کم‌تر از متوسط و با سازگاری خصوصی در محیط‌های مساعد تشخیص داده شدند. ژنوتیپ ۹ با ضریب رگرسیون بیش‌تر از یک و میانگین عملکرد کم‌تر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ دارای پایداری کم‌تر از متوسط و با سازگاری خصوصی به محیط‌های نامساعد تشخیص داده شد. ژنوتیپ‌های ٦، ۷ و ۸ دارای ضریب رگرسیون کم‌تر از یک و میانگین عملکرد کم‌تر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها بودند، بنابراین عملکرد این لاین‌ها در محیط‌های مساعد متوسط، ولی در محیط‌های نامساعد کم بود. به عبارت دیگر، با وجود تغییرات محیطی زیاد، عملکرد این ژنوتیپ‌ها تغییرات اندکی را نشان می‌داد و حساسیت آن به محیط کم بود. ژنوتیپ‌های ۲، ۳ و ۵ دارای ضریب رگرسیون کم‌تر از یک و میانگین عملکرد بیش‌تر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها (جدول ٦) بودند، بنابراین پایداری آن‌ها بیش‌تر از متوسط بود، ولی به محیط‌های مساعد واکنش ضعیف نشان می‌دادند. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از دو شاخص ضریب رگرسیون و عملکرد دانه بر اساس روش پیشنهادی شارما (۱۹۹۵) انجام شده است (٤٧). رحیم‌سروش و همکاران (۲۰۰۸) و مومنی و همکاران (۲۰۱۹) نیز با این روش، ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی و پایدار برنج را شناسایی کردند (۳۲، ۳۸).

**جدول ٦- پارامترهای پایداری عملکرد دانه مبتنی بر روش‌های واریانس و رگرسیون در ژنوتیپ‌های برنج در نه محیط.**

Table 6- Stability parameters for grain yield based on variance and regression methods in rice genotypes across nine regions.

| شماره ژنوتیپ Genotype no. | عملکرد دانه Grain yield ($Kg.ha^{-1}$) | واریانس محیطی ($S_i$) | ضریب تغییرات محیطی (CV) | واریانس پایداری شوکلا ($\sigma_i^2$) Sigma-square (Shukla) | واریانس انحراف شوکلا ($S^2$) s-square | اکووالانس ریک ($W_i^2$) Ecovalence | ضریب رگرسیون ($b_i$) Regrssion coefficient | ضریب تبیین ($R^2$) R.Sqr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | 6336.1 | 31694.0 | 1.41 | 854569.6 ** | 519321.9 ns | 6016451 | 0.339 | 0.172 |
| G2 | 6528.1 | 75531.3 | 2.11 | 526501.6 ns | 617934.5 ns | 3916816 | 0.974 | 0.595 |
| G3 | 6174.2 | 28720.8 | 1.37 | 439436.2 ns | 275614.3 ns | 3359598 | 0.526 | 0.457 |
| G4 | 6450.1 | 145828.3 | 2.95 | 1002563.7 ** | 929804.4 ** | 6963613 | 1.46 | 0.697 |
| G5 | 6495.1 | 77643.8 | 2.15 | 290598.0 ns | 333455.6 ns | 2407033 | 1.12 | 0.767 |
| G6 | 5991.0 | 63193.3 | 2.09 | 261491.3 ns | 315517.8 ns | 2220750 | 0.983 | 0.726 |
| G7 | 6149.4 | 94182.0 | 2.49 | 934236.1 ** | 1082502.7 ** | 6526317 | 0.955 | 0.460 |
| G8 | 6032.8 | 77893.3 | 2.31 | 1001733.0 ** | 1092943.6 ** | 6958297 | 0.748 | 0.341 |
| G9 | 5126.3 | 160143.8 | 3.90 | 1011189.6 ** | 769357.0* | 7018819 | 1.61 | 0.768 |
| G10 | 6386.0 | 104373.0 | 2.53 | 517753.1 ns | 522415.9 ns | 3860826 | 1.28 | 0.747 |

ns، * و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به روش ابرهارت و راسل (٤) تفاوت‌های معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد را بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه نشان داد (جدول ۷). معنی‌دار نشدن واریانس محیط (خطی) گویای آن است که بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط با شاخص محیطی رابطه خطی وجود ندارد. معنی‌دار شدن میانگین مربعات برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط (خطی) نشان می‌دهد که بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر میزان سازگاری و پایداری عملکرد تفاوت وجود دارد و به بیانی دیگر، واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در پاسخ به شرایط محیطی را نشان می‌هد و بیانگر متفاوت بودن شیب خط رگرسیون ژنوتیپ‌ها است. همچنین، واریانس انحراف از رگرسیون کل نیز معنی‌دار نشد که این نتیجه دلالت بر مناسب بودن مدل رگرسیونی در توجیه تغییرات دارد. متوسط مربعات انحرافات یا انحراف از رگرسیون میانگین ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص محیطی که سهم هر ژنوتیپ و محیط را توضیح می‌دهد، برای هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نشد، به این معنی که نوسانات عملکرد ژنوتپ‌ها در اطراف خط رگرسیون معنی‌دار نبود و جزء ژنوتیپ‌های پایدار بودند. با این وجود بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌های ۳، ۵ و ٦ به‌ترتیب با برخورداری از کم‌ترین مقدار انحراف از رگرسیون، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. هنرنژاد و همکاران (۱۹۹۸) و رحیم سروش و همکاران (۲۰۰۷) با این روش ژنوتیپ‌های پایدار برنج را شناسایی کردند (۱۱، ۳۷). با استفاده از عملکرد بیش‌تر از میانگین عملکرد کل، ضریب رگرسیون نزدیک به یک و کم‌ترین واریانس انحراف از خط رگرسیون، ژنوتیپ ۵ می‌تواند پایدارترین ژنوتیپ در نظر گرفته شود.

جدول ۷- تجزیه واریانس مدل ابرهارت – راسل.

Table 7. Eberhart - Russel's Model ANOVA.

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS |
|---|---|---|
| کل Total | 89 | |
| ژنوتیپ Gen | 9 | 570751** |
| ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط Env + (Gen x Env) | 80 | 343681ns |
| محیط (خطی) Env (linear) | 1 | 15182367ns |
| ژنوتیپ × محیط (خطی) Gen x Env(linear) | 9 | 1085439** |
| انحراف پولد شده از رگرسیون Pooled deviation | 70 | 36331 |
| G1 | 7 | 30003 |
| G2 | 7 | 34934 |
| G3 | 7 | 17818 |
| G4 | 7 | 50527 |
| G5 | 7 | 20710 |
| G6 | 7 | 19813 |
| G7 | 7 | 58162 |
| G8 | 7 | 58684 |
| G9 | 7 | 42505 |
| G10 | 7 | 30158 |
| خطای ادغام شده Pooled error | 270 | 69294 |

ns، * و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non-significant Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

همان‌گونه که گفته شد بر اساس شاخص عملکرد - پایداری (YSi) (۱۷)، ژنوتیپ‌های با YS*i* بالاتر از متوسط *YSi*، به‌عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته می‌شود. نتایج به‌دست آمده گویای آن است که از بین ۱۰ ژنوتیپ، ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ٤، ۵، ٦ و ۱۰ دارای پایداری بالاتری برای عملکرد دانه بودند. آن‌ها ارزش YSiبالاتری از میانگین YSi داشتند، سایر ژنوتیپ‌ها مقادیر YSi کم‌تر از میانگین YSi داشتند. بنابراین، برای عملکرد دانه ناپایدار اعلام شدند. از این روش، برای ارزیابی پایداری عملکرد گندم نان (۲۰، ۵۱)، گلرنگ (١٤)، عدس (٤١) و سیب‌زمینی (۲۷) استفاده شده است. درباره کارایی و مزیت این روش تجزیه پایداری، مقدم (۲۰۰۳) با مقایسه روش گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری با آماره‌های پایداری هم‌چون واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، ضریب رگرسیون، انحراف از خط رگرسیون و ضریب تبیین اظهار داشتند که با استفاده از گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری به‌دلیل تأکید بیشتر بر جزء پایداری، می‌توان با اطمینان بیش‌تری فرایند گزینش را انجام داد (٢٦). همچنین، این معیار دارای مفهوم پویا برای پایداری است و این مفهوم پایداری در جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول مورد توجه به‌نژادگران است (١٤).

جدول ۸- آماره **YSi** برای پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های برنج بر اساس روش ترکیبی واریانس پایداری شوکلا و روش کنگ.

Table 8- YSi statistic for rice grain yield stability based on Sukla variance and Kang method.

| ژنوتیپ Genotype | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg\ ha^{-1}$) | رتبه‌بندی عملکرد (Y') Rank on yield | ضریب اصلاحی برای Y' Adjustment rank to Y' | رتبه تصحیح‌شده Y Adjusted Y | واریانس پایداری شوکلا ($\sigma^2i$) Stability variance | رتبه‌بندی پایداری (S) Stability rating | اثر همزمان عملکرد و پایداری YSi= Y + S | ژنوتیپ‌های برگزیده selected genotype |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | 6336.117 | 6 | 1 | 7 | 854569.6 ** | -8 | -1 | |
| G2 | 6528.142 | 10 | 2 | 12 | 526501.6 ns | -2 | 10 | + |
| G3 | 6174.156 | 5 | 1 | 6 | 439436.2 ns | 0 | 6 | + |
| G4 | 6450.108 | 8 | 2 | 10 | 1002563.7 ** | -8 | 2 | + |
| G5 | 6495.114 | 9 | 2 | 11 | 290598.0 ns | 0 | 11 | + |
| G6 | 5991.044 | 2 | -1 | 1 | 261491.3 ns | 0 | 1 | + |
| G7 | 6149.372 | 4 | -1 | 3 | 934236.1 ** | -8 | -5 | |
| G8 | 6032.739 | 3 | -1 | 2 | 1001733.0 ** | -8 | -6 | |
| G9 | 5126.283 | 1 | -3 | -2 | 1011189.6 ** | -8 | -10 | |
| G10 | 6386.136 | 7 | 2 | 9 | 517753.1 ns | 0 | 9 | + |
| میانگین Mean | 6166.921 | | | | | | | |
| LSD (0.05) | 215.97 | | | | | | | |

ns، * و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non-significant Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

در جدول ۹، رتبه هر یک از ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها آورده شده است. بر اساس متوسط عملکرد هر ژنوتیپ در تمام محیط‌ها، بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۲ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۵، ٤ و ۱۰ بود. کم‌ترین عملکرد دانه نیز در تمام محیط‌ها از آن ژنوتیپ ۹ و در پی آن ٦ و ۸ بود. با توجه به اینکه در این رتبه‌بندی، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاتر، رتبه بزرگتری گرفته‌اند و کم‌ترین رتبه مربوط به ژنوتیپ با عملکرد کم‌تر است، زیاد بودن R نشان‌دهنده پرمحصول‌تر بودن ژنوتیپ است، بیش‌ترین میزان میانگین رتبه متعلق به ژنوتیپ ۲ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۵، ۱۰، ۱ و ٤ بود. نتایج حاصل از انحراف معیار رتبه (SDR) نیز نشان داد که کم‌ترین مقدار انحراف معیار رتبه مربوط به ژنوتیپ ۹ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۵ و ٦ بود. بنابراین رقم ۵ با رتبه بالا در عملکرد و میزان انحراف معیار رتبه پایین، رقمی پایدار بود.

در همه روش‌های تجزیه پایداری ناپارامتری، به جز TOP، ژنوتیپ پایدار، کم‌ترین رتبه را می‌گیرد. بر پایه شاخص ناپارامتری TOP (۷) که هرچه مقدار پارامتر TOP یک ژنوتیپ بیشتر باشد، پایداری و مطلوبیت آن نیز بیش‌تر است، ژنوتیپ‌های ٤، ۱۰ (با معیار ۵) و پس از آن ژنوتیپ‌های ۱، ۲ و ۵ (با معیار ٤) مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس این آماره نیز ژنوتیپ‌های ۹ و ٦ نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند.

برای آزمون پایداری ژنوتیپ‌ها، مقادیر $Z_1$ و $Z_2$ به صورت انفرادی برای هر ژنوتیپ پیشنهاد شده است (۳٤). این مقادیر بر پایه رتبه داده‌های تصحیح شده برای هر ژنوتیپ به صورت انفرادی برای همه ژنوتیپ‌ها محاسبه شد و سپس برای آزمون $\chi^2$ بر روی

کلیه ژنوتیپ‌ها جمع زده شدند. ارزش مجموع Zها برای ژنوتیپ‌ها برای هر دو آماره $Z_1$ و $Z_2$ (جدول ۹) کوچک‌تر از $\chi^2$ جدول با ۱۰ درجه آزادی بود، نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین سطوح پایداری ژنوتیپ‌ها است. مقادیر $Z_1$ و $Z_2$ برای هر کدام از ژنوتیپ‌ها با ۳/۸٤ سنجیده شد که برای تمام ژنوتیپ‌ها (به جز $Z_2$ برای ژنوتیپ ۹) کوچک‌تر از این مقدار بود. بر اساس این دو آماره، ژنوتیپ‌های ۲، ٤، ٦ و ۱۰ کم‌ترین مقادیر را داشتند و ژنوتیپ‌های پایدار بودند.

**جدول ۹- رتبه ژنوتیپ‌ها در هر کدام از محیط‌ها و تجزیه پایداری ناپارامتری ژنوتیپ‌ها.**

Table 9- Ranks of genotypes in environments and Nonparametric Method for Stability Analysis.

| ژنوتیپ Genotype | محیط۱ e1 | محیط۲ e2 | محیط۳ e3 | محیط٤ e4 | محیط٥ e5 | محیط٦ e6 | محیط۷ e7 | محیط۸ e8 | محیط۹ e9 | میانگین عملکرد رتبه Rank of mean | میانگین رتبه محیط‌ها ment Mean of enir ranks | انحراف معیار رتبه محیط‌ها Standard dviation of enironment ranks | $S_i^{(1)}$ | Z1 | $S_i^{(2)}$ | Z2 | TOP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | 6 | 2 | 5 | 9 | 3 | 9 | 9 | 10 | 6 | 6 | 6.6 | 2.9 | 3.72 | 0.49 | 0.78 | 0.27 | 4 |
| G2 | 8 | 4 | 8 | 10 | 7 | 10 | 10 | 4 | 8 | 10 | 7.7 | 2.3 | 3.33 | 0.00 | 7.50 | 0.07 | 4 |
| G3 | 4 | 6 | 4 | 7 | 2 | 7 | 5 | 9 | 5 | 5 | 5.4 | 2.1 | 3.78 | 0.63 | 9.78 | 0.30 | 1 |
| G4 | 9 | 8 | 9 | 6 | 4 | 4 | 3 | 5 | 10 | 8 | 6.4 | 2.6 | 3.22 | 0.02 | 7.86 | 0.02 | 5 |
| G5 | 7 | 10 | 7 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 7.3 | 1.6 | 2.22 | 3.18 | 3.50 | 2.91 | 4 |
| G6 | 3 | 7 | 3 | 4 | 5 | 3 | 7 | 3 | 2.5 | 2 | 4.2 | 1.8 | 3.00 | 0.25 | 6.28 | 0.50 | 0 |
| G7 | 1 | 5 | 6 | 2 | 10 | 2 | 6 | 7 | 7 | 4 | 5.1 | 2.9 | 3.67 | 0.37 | 10.28 | 0.53 | 1 |
| G8 | 5 | 3 | 3 | 3 | 9 | 8 | 2 | 6 | 2.5 | 3 | 4.6 | 2.5 | 4.11 | 1.80 | 12.61 | 2.45 | 3 |
| G9 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.1 | 0.3 | 4.44 | 3.59 | 13.94 | 4.18 | 0 |
| G10 | 10 | 9 | 10 | 8 | 8 | 5 | 4 | 2 | 4 | 7 | 6.7 | 3.0 | 3.83 | 0.78 | 10.00 | 0.39 | 5 |

$\chi^{2(sum)}= 18.31$ $\chi^{2(Z1,Z2)}= 3.84$

بر اساس آماره $S_i^{(1)}$ نیز ژنوتیپ ۵ با دارا بودن کم‌ترین مقدار، پایدارترین و ژنوتیپ‌های ۸ و ۹ با بیش‌ترین میزان، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر پایه آماره $S_i^{(2)}$، ژنوتیپ‌های ۱، ۵ و ٦ با کم‌ترین مقادیر، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند که ژنوتیپ ٦ به‌دلیل داشتن عملکرد پایین از لیست ژنوتیپ‌های پایدار حذف شد و ژنوتیپ‌های ۱ و ۵ پایدارترین ژنوتیپ با این روش بودند. پژوهش‌گران دیگری نیز از این معیارهای ناپارامتری در تجزیه پایداری سیب‌زمینی (۲۷)، گندم نان (۱۹، ۲۹، ۵۱)، عدس (۱۸)، نخود (۵۸) و گلرنگ (۱) استفاده کرده‌اند. درباره کارایی این روش‌ها نیز اظهار شده است که امید ریاضی آماره $S_i^{(1)}$ بزرگ‌تر از آماره $S_i^{(2)}$ و واریانس آن کوچک‌تر از واریانس آماره $S_i^{(2)}$ است و در نتیجه دقت آماره $S_i^{(1)}$ برای انتخاب ژنوتیپ پایدار بیش‌تر از آماره دیگر است (۱۸) و همچنین، سادگی محاسبه آماره $S_i^{(1)}$ را دلیل دیگری بر برتری آن بر $S_i^{(2)}$ برشمرده‌اند (۱۹).

**تجزیه همبستگی شاخص‌های پایداری:** همبستگی بین شاخص‌های پایداری نشان داد که واریانس محیطی با شاخص ضریب تغییرات محیطی و ضریب رگرسیون دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و با دیگر شاخص‌ها به جز Ysi همبستگی مثبت، اما غیر معنی‌دار داشت (جدول ۱۰). واریانس پایداری شوکلا (۱۹۷۲) و اکوولانس ریک (۱۹٦۲) با یکدیگر دارای همبستگی مثب کامل بودند (٤۸، ۵۷). همچنین،

واریانس پایداری شوکلا (۱۹۷۲) با شاخص‌های با $S_i^{(2)}$ و $S_i^{(1)}$ همبستگی مثبت معنی‌دار و با شاخص Ysi همبستگی منفی معنی‌دار داشت. این شاخص با تمام شاخص‌ها به جز Ysi و $R^2$ همبستگی مثبت داشتند.

**جدول ۱۰- همبستگی بین شاخص‌های پایداری.**

Table 10- Correlation between stability parameters.

| | ضریب تغییرات محیطی CV | واریانس پایداری شوکلا ($\sigma_i^2$) Sigma-square | واریانس انحراف شوکلا ($S^2$) s-square | اکووالانس ریک ($W_i^2$) Ecovalence | ضریب رگرسیون ($b_i$) Regrssion coefficient | ضریب تبیین ($R^2$) R.Sqr | Ysi | $S_i^{(1)}$ | Z1 | $S_i^{(2)}$ | Z2 | TOP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| واریانس‌محیطی ($S_i$) | 0.97** | 0.50 | 0.52 | 0.50 | 0.94** | 0.62 | -0.34 | 0.21 | 0.35 | 0.53 | 0.42 | 0.04 |
| CV | 1 | 0.49 | 0.50 | 0.49 | 0.90** | 0.59 | -0.47 | 0.32 | 0.48 | 0.61 | 0.57 | -0.16 |
| $\sigma_i^2$ | | 1 | 0.86** | 1.00** | 0.16 | -0.37 | -0.76* | 0.64* | 0.08 | 0.41 | 0.21 | 0.04 |
| $S^2$ | | | 1 | .86** | 0.24 | -0.23 | -0.63 | 0.44 | -0.01 | 0.52 | 0.14 | 0.06 |
| $S^2$ | | | | 1 | 0.16 | -0.37 | -0.76* | 0.64* | 0.08 | 0.41 | 0.21 | 0.04 |
| $b_i$ | | | | | 1 | 0.85** | -0.07 | -0.02 | 0.37 | 0.44 | 0.39 | 0.02 |
| $R^2$ | | | | | | 1 | 0.29 | -0.34 | 0.31 | 0.23 | 0.28 | -0.05 |
| Ysi | | | | | | | 1 | -.66* | -0.26 | -0.47 | -0.42 | 0.55 |
| $S_i^{(1)}$ | | | | | | | | 1 | 0.07 | 0.67* | 0.17 | -0.29 |
| Z1 | | | | | | | | | 1 | 0.26 | 0.97** | -0.21 |
| $S_i^{(2)}$ | | | | | | | | | | 1 | 0.37 | -0.39 |
| Z2 | | | | | | | | | | | 1 | -0.31 |

ns، * و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

ضریب رگرسیون با شاخص‌های Var، CV و $R^2$ همبستگی مثبت و معنی‌دار و با دیگر شاخص‌ها به جز Ysi و $S_i^{(1)}$، همبستگی مثبت، اما غیرمعنی‌دار داشت. آماره‌های $S_i^{(2)}$ و $Z_2$ نیز با همه شاخص‌ها به جز Ysi همبستگی مثبت داشتند. آماره TOP با هیچ کدام از آماره‌ها همبستگی معنی‌دار نداشت و با آماره‌های CV، $R^2$، $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $Z_1$ و $Z_2$ همبستگی منفی غیر معنی‌دار داشت. از این نتایج می‌توان چنین برداشت کرد که برای تجزیه پایداری استفاده از تعداد زیادی از شاخص‌ها چندان نیاز نیست و برخی از شاخص‌ها که همبستگی بالایی با یکدیگر دارند، را می‌توان از تجزیه‌ها حذف کرد (جدول ۱۰). در پژوهشی با ارزیابی پارامترهای پایداری مختلف در گندم، همبستگی مثبت CV با شاخص اکووالانس ریک، واریانس شوکلا دیده شد (۲۱).

## نتیجه‌گیری کلی

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات سال، مکان، ژنوتیپ و برهم‌کنش سال × مکان، ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان بر عملکرد دانه برنج معنی‌دار بود و بنابراین، تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها با روش‌های مختلف انجام شد. روش‌های استفاده شده در این پژوهش برای ارزیابی پایداری لاین‌های امیدبخش برنج، اطلاعات سودمندی درباره شناسایی ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی مطلوب در محیط‌های مختلف ارائه کردند. به‌طوری‌که

بر اساس آماره واریانس ($\sigma^2$i) و واریانس انحراف ($S^2$) شوکلا و ضریب اکووالانس ریک (Wi) ژنوتیپ‌های ۵، ۳، ۱۰ و ۲، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس واریانس محیطی و ضریب تغییرات محیطی ژنوتیپ‌های ۳، ۲، ۱ و ۵، بیش‌ترین پایداری را داشتند. بر اساس ضریب تشخیص ($R^2$) نیز ژنوتیپ ۵، پایدار بود. بر پایه سه معیار ضریب رگرسیون ($b_i$)، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها ($\bar{g}$) و میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها ($\bar{X}$)، ژنوتیپ‌های ۲، ۳ و ۵ دارای پایداری بیش‌تر از متوسط بودند. تجزیه واریانس ابرهارت و راسل نشان داد که ژنوتیپ‌های ۳، ۵ و ٦ به‌ترتیب با برخورداری از کم‌ترین مقدار انحراف از رگرسیون، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. تجزیه پایداری هم‌زمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری (YSi) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ٤، ۵ و ۱۰ دارای پایداری عملکرد بالاتری بودند. بر اساس روش ناپارامتری TOP، ژنوتیپ‌های ٤، ۱۰، ۱، ۲ و ۵ و بر اساس دو معیار $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$، ژنوتیپ‌های ۱ و ۵ با کم‌ترین مقادیر، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. با توجه به همبستگی‌های بین شاخص‌ها، استفاده از تعداد زیادی از شاخص‌ها چندان نیاز نیست و برخی از شاخص‌ها که همبستگی بالایی با یکدیگر دارند را می‌توان از تجزیه‌ها حذف کرد. در مجموع مشاهده شد که ژنوتیپ ۵ تقریباً در تمام روش‌ها و ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ٤ و ۱ در برخی دیگر از روش‌ها پایدار بودند. در بین آن‌ها، ژنوتیپ ۵ [شماره ١٦ از (A ٨٩٤٨)٣-٢-١٥٣-IR٦٤٦٦٩×(٤سورینام× دیلمانی)] به‌دلیل داشتن عملکرد بیش‌تر نسبت به همه ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ ۲، ارتفاع بوته کم، تعداد پنجه، دانه پر و وزن هزاردانه زیاد و همچنین، داشتن بوته‌ها و دانه‌های یکنواخت‌تر (تیپ دانه بهتر و عدم شکم سفیدی مهم‌ترین صفت برای بازارپسندی یک رقم است) می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ برتر انتخاب و در آزمایش‌های به‌زراعی بررسی شود.

## منابع


1. Abdulahi, A., Mohammadi, R., and Pourdad, S.S. 2007. Evaluation of safflower (*Carthamus* spp.) genotypes in multi-environment trials by nonparametric methods. Asian J. Plant Sci. 6: 5. 827-832.
2. Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R.H.B., Singmann, H., Dai, B., Scheipl, F., Grothendieck, G., Green, P., and Fox, J. 2019. Package 'lme4. https://github.com/lme4/lme4/
3. Dewi, A.K., Chozin, M.A., Triwidodo, H., and Aswidinnoor, H. 2014. Genotype × environment interaction, and stability analysis in lowland rice promising genotypes. Inter. J. Agron. Agric. Res. 5: 5. 74-84.
4. Eberhart, S.A., and Russel, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 1. 36-40.
5. FAO, 2017. Rice production. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC
6. Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in plant-breeding programs. Australian J. Agric. Res. 14: 6. 742-754.
7. Fox, P.N., Skovmand, B., Thompson, B.K., Braun, H.J., and Cormier, R. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. Euphytica 47: 1. 57-64.
8. Francis, T.R., and Kannenberg, L.W. 1978. Yield stability studies in short-season maize. 1. A descriptive method for grouping genotypes. Canadian J. Plant Sci. 58: 4. 1029-1034.
9. Gauch, H.G., and Zobel, R.W. 1996. AMMI analysis of yield trials. Pp: 85-122. In: M. S. Kang and H. G. GauchJr (eds), Genotype by environment interaction, CRC Press, Boca Raton, New York.
10. Greenfield, S.M., Fisher, K.S., and Dowling, N.G. 1998. Sustainability of rice in the global food system. 1st Edition. International Rice Reseach Institute. Los Banos.

11. Honarnejad, R., Dorosti, H., and Mohamad Salehi, S. 1998. Estimation of stability and adaptability of rice cultivars in different environmental conditions. Seed Plant. 13: 4. 32-38. (In Persian)
12. Hosseini, M., Honarnejad, R., and Torang, A.R. 2005. Estimation of gene effects and combining ability for some of quantitative traits in rice by diallel method. Iranian J. Agric. Sci. 36: 1. 21-32. (In Persian)
13. Huhn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability: II. Applications. Euphytica 47: 3. 195-201.
14. Jamshidi Mogaddam, M., and Pourdad, S.S. 2013. Evaluation of seed yield adptability of spring safflower genotypes using nonparametric parameters and GGE biplot method in rain-fed conditions. Seed Plant Improv. J. 29: 1. 45-63. (In Persian)
15. Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability: Consequences for growers. Agron. J. 85: 3. 754-757.
16. Kang, M.S. 1988 A rank-sum method for selecting high yielding stable corn genotypes. Cereal Res. Comm., 16: 1-2. 113-115.
17. Kang, M.S., and Mangari, R. 1995. Stable: A basic program for calculating stability and yield-stability statistics. Agron. J. 87: 2. 276-277.
18. Karimizadeh, R., Safikhani Nasimi, M., Mohamadi, M., Seyyedi, F., Mahmodi, A., and Rostami, B. 2009. Determination of rank and stability of lentil genotypes in rain-fed by use of nonparametric statistics. Agric. Nat. Res. Sci. Tech. 12: 43. 93-102. (In Persian)
19. Kaya, Y., and Taner, S. 2003. Estimating genotypic ranks by nonparametric stability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Central Europ. Agric. 4: 1. 47-53.
20. Kebriaee, A., Yazdan Sepas, A., Keshavarz, S., Bihamta, M.R., and Najafi Mirak, T. 2007. Stability of grain yield in promising winter and facultative wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. Iranian J. Crop Sci. 9: 3. 225-236. (In Persian)
21. Khan, M.A.U., Mohammad, F., Khan, F.U., Ahmad, S., Raza, M.A., and Kamal. T. 2020. Comparison among different stability models for yield in bread wheat. Sarhad J. Agric. 36: 1. 282-290.
22. Khatun, H., Islam, R., Anisuzzaman, M., Ahmed, H.U., and Haque, M. 2015. GGE biplot analysis of genotype x environment interaction in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes in Bangladesh. Sci. Agric. 12: 1. 34-39.
23. Khorasany, E., Fahmideh, L., Babaeian, N.A., and Ranjbar, G. 2019. Studying some of agronomy traits and yield stability of rice genotypes. J. Crop Breed. 11: 31. 208-196. (In Persian)
24. Maji, A.T., Bashir, M., Odoba, A., Gbanguba, A.U., and Audu, S.D. 2015. Genotype × environment interaction and stability estimate for grain yield of upland rice genotypes in Nigeria. Rice Res. 3: 2. 1-5.
25. Mendiburu. F. 2019. Agricolae tutorial. http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu.
26. Moghadam, A. 2003. Simultaneous selection for yield and stability and it's comparison with stability different statistics. Seed Plant J. 19: 1. 1-13. (In Persian)
27. Moghaddaszadeh, M., Asghari Zakaria, R., Hassanpanah, D., and Zare, N. 2019. Non-parametric stability analysis of tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. J. Crop Breed. 10: 28. 50-63. (In Persian).
28. Mohaddesi, A., Bakhshipour, S., Abbasian, A., Sattari, M., and Mohammad Salehi, M. 2013. Study on adaptability, quality and quantity characters of rice genotypes in Mazandaran. J. Plant Prod. 20: 2. 19-36. (In Persian)
29. Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Hosseinpour, T., Ghojogh, H., Shahbazi, K., and Sharifi, P. 2017. Use of parametric and non-parametric methods for genotype × environment interaction analysis in bread wheat genotypes. Plant Gen. Res. 4: 2. 75-88. (In Persian)

30. Momenyzadeh, T., Najafi Zarrini, H., Norouzi, M., and Nabipour, A. 2015. Study of genotype×environment interaction in some pure lines of rice in Mazandaran province. J. Crop Breed. 7: 16. 168-175. (In Persian)
31. Mosavi, A.A., Babaiean Jelodar, N., and Kazemitabar, K. 2013. Environmental responses and stability analysis for grain yield of some rice genotypes. World Appl. Sci. J. 21: 1. 105-108.
32. Moumeni, A., Mohaddesi, A., Amo-oughli-Tabari, M., Tavassoli-Larijani, F., and Khosravi, V. 2019. Stability analysis and genotype × environment interaction for grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) promising breeding lines. Iranian J. Crop Sci. 20: 4. 329-343. (In Persian)
33. Nahvi, M., Allahgholipour, M., and Mohammadsalehi, M. 2002. Study of adaptability and stability in rice in different regions of Guilan. Plant Seed J. 1: 18. 1-13. (In Persian)
34. Nassar, R., and Huehn, M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biomet. 43: 1. 45-53.
35. Nomani, M, Rashidi, V., Abdollahi, S., and Rahim-e-Soroush, H. 2011. Evaluation of yield stability promising lines of rice (*Oryza sativa*). J. Crop Weed Ecophys. 4: 16. 109-120. (In Persian)
36. Pinthus, M.J. 1973. Estimate of genotypic value: A proposed method. Euphytica 22: 1. 121-123.
37. Rahim Soroush, H., Rabiei, B., Nahvie, M., and Ghodsi, M. 2007. Study of some agronomic and qualitative traits and yield stability of rice genotypes. Paj. Saz. 20: 2. 25-32. (In Persian)
38. Rahim-Soroush, H., Eshraghi, A., Mohaddesi, A., and Sharafi, N. 2008. Study on morphologicl traits, cooking quality and yield stability analysis in some rice genotypes. Seed Plant Improv. J. 23: 4. 515-529. (In Persian)
39. Ramazani, A. 2012. The study of yield stability of rice genotypes in Isfahan province. Cereal Res. 2: 3. 181-192. (In Persian)
40. Roemer, J. 1917. Sinde die ertagdreichen Sorten ertagissicherer? DLG-Mit. 32: 1. 87-89.
41. Sabaghpour, S.H. 2007. Stability analysis of grain yield for promising lentil lines in autumn planting under dryland conditions. Iranian J. Crop Sci. 8: 4. 312-322. (In Persian)
42. SES. 2013. Standard Evaluation System for Rice, 5th Edition. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines. 65 p.
43. Sharifi, P. 2013. Statistical Design in agricultural research: principles, procedures and analysis by SAS, SPSS and Minitab. Islamic Azad University, Rasht Branch Press, 567 p. (In Persian)
44. Sharifi, P., and Aminpanah, H. 2016. Evaluation of genotype × environment interactions, stability and a number of genetic parameters in rice genotypes. Plant Gen. Res. 3: 2. 25-42. (In Persian)
45. Sharifi P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype × environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. Rice sci. 24: 3. 173-180.
46. Sharifi, P. 2020. Evolution, domesicatin, breeding methods and the latest breeding findings in rice. Agricultural and Natural Resources Engineering Organization of IRAN, 254 p. (In Persian)
47. Sharma, J.R. 1995. Statistical and biometrical techniques in plant breeding. New Dlhi. 432 p.
48. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity. 29: 2. 237-245.
49. Singh, R.K., and Chaudhary, B.D. 2004. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. New Delhi: Kalyani.
50. Somsana, P., Wattana, P., Suriharn, B., and Sanitchon, J. 2013. Stability and genotype by environment interactions for grain anthocyanin content of Thai black clutinons upland rice (*Oryza sativa*). SABRAO J. Breed. Gen. 45: 3. 523-532.
51. Soughi, H.A., Babaeian Jelodar, N.A., Ranjbar, G.A., and Pahlevani, M.H.

2016. Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. J. Crop Breed. 8: 18. 119-125. (In Persian)

52. Tarang, A., Hossieni Chaleshtary, M., Tolghilani, A., and Esfahani, M. 2013. Evaluation of grain yield stability of pure lines of rice in Guilan province. Iranian J. Crop Sci. 15: 1. 24-34. (In Persian)
53. Tarang, A.R., and Bakhshipour, S. 2016. Evaluation of agronomic characteristics and grain yield stability of promising lines of rice in Guilan province. J. Crop Prod. Proc. 5: 18. 139-150. (In Persian)
54. Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T., and Jarso, M. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. Crop J. 3: 3. 258-268.
55. Torres, R.O., and Henry, A. 2018. Yield stability of selected rice breeding lines and donors across conditions of mild to moderately severe drought stress. Field Crops Res. 220: 1. 37-45.
56. Truberg, B., and Hühn, M. 2000. Contributions to the analysis of genotype x environment interactions: Comparison of different parametric and nonparametric tests for interactions with emphasis on crossover interactions. J. Agron. Crop Sci. 185: 4. 267-274.
57. Wrick, G. 1962. Über eine methode zür erfassung der okologischen streubreite in feldresuchen. Z. Pfl. 47: 1. 92-96.
58. Yaghotipoor, A., and Farshadfar, E. 2009. Non- Parametric Estimation of Phenotypic Stability in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Paj. Saz. 21: 3. 159-169. (In Persian)
59. Yan, W., Hunt, L.A., Sheny, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sci. 40: 3. 597- 605.
60. Yaseen, M., Eskridge, K.M., Murtaza, G. 2018. Package 'stability'. https://github.com/myaseen208/stability.