دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

# تجزیه مسیر اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و بررسی پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش جو در اقلیم گرم

علی براتی[۱]، حسن زالی[۲]، ایرج لک‌زاده[۳]، شیرعلی کوهکن[۴]، جبار جعفربای[۵]، مهدی جباری[۲]، آرش حسین‌پور[۶]، اکبر مرزوقیان[۳]، احمد قلی‌پور[۵]، امید پودینه[۴] و معصومه خیرگو[۵]

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استادیار و مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران (نویسنده مسوول: Hzali90@yahoo.com)
۳- مربی و استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
۴- استادیار و مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
۵- استادیار و مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران
۶- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹
صفحه: ۱۷۹ تا ۱۹۲

## چکیده

**ارزیابی ژنوتیپ‌ها در چندین محیط پیش‌شرط توسعه ژنوتیپ‌های پایدار و برتر برای تولید پایدار جو در شرایط مختلف محیطی است. به‌منظور بررسی پایداری عملکرد و تعیین سهم صفات مختلف مورفو-فنولوژیک در اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در لاین‌های جو، ۱۷ لاین امیدبخش جو همراه با سه شاهد شامل ارقام نیمروز/صحرا و اکسین و لاین WB-94-3 در طی دو سال زارعی ۹۸ -۱۳۹۶ در پنج ایستگاه منطقه گرم کشور شامل ایستگاه‌های اهواز، داراب، زابل، گنبد و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های مختلف ناپارامتری انجام شد و نتایج آماره‌های ناپارامتری با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) ادغام شدند. داده‌های مورفو-فنولوژیک با استفاده از مدل تجزیه مسیر که از یک اثر اصلی و چهار اثر ضربی تشکیل شده است، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. زمان گلدهی ($X_1$)، زمان رسیدگی ($X_2$)، ارتفاع بوته ($X_3$) و وزن هزار دانه ($X_4$) به‌عنوان صفات متوالی برای توجیه عملکرد دانه (Y) در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. براساس بیشتر روش‌های ناپارامتری (شاخص SIIG) ژنوتیپ‌های شماره‌ی G10، G18، G19، G16 و G15 جزء ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل بودند. همبستگی مثبت شاخص SIIG با اجزاء ژنوتیپی تعداد روز تا گلدهی ($V_1$) و وزن هزار دانه ($V_4$) نشان داد که وزن هزار دانه و تعداد روز تا گلدهی نقش اصلی را در اثر متقابل ژنوتیپ× محیط جو در مناطق گرم دارند.**

**واژه‌های کلیدی: تجزیه پایداری، روش‌های ناپارامتری، شاخص SIIG**

## مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات است و از نظر اهمیت اقتصادی پس از گندم، برنج و ذرت در مقام چهارم جهان قرار گرفته است (۱۴). براساس آمار منتشره در سال ۲۰۱۹، میزان تولید جو در جهان حدود ۱۵۸/۹ میلیون تن و در ایران ۳/۶ میلیون تن گزارش شده است (۹). در مجموع جو با درجه سازگاری وسیع‌تر ولی با ارزش اقتصادی کم‌تر، در مناطقی از نواحی خشک که بارندگی برای تولید گندم کافی نیست، جایگزین گندم می‌شود (۴۲). یکی از مواردی که عملکرد جو را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مختلف است که این موضوع به اثر متقابل ژنوتیپ× محیط نسبت داده می‌شود.

به‌همین دلیل اثر متقابل ژنوتیپ× محیط یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات می‌باشد که در توسعه و گسترش ارقام و لاین‌های اصلاح شده دارای اهمیت فراوان است (۱۲،۸).

روش‌های ناپارامتری متعددی به‌منظور 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 (۱۲). معیارهای ناپارامتری دارای مزایایی در مقایسه با روش‌های پارامتری هستند.

آماره‌های میانگین تفاوت قدرمطلق ($S_i^{(1)}$) و واریانس یا انحراف استاندارد ($S_i^{(2)}$) جزء آماره‌های ناپارامتری هستند که توسط ناسار و هیون (۲۹) برای برآورد اثرات متقابل ژنوتیپ× محیط و پایداری فنوتیپی (پایداری ژنوتیپ‌ها در همه‌ی محیط‌ها) به‌کار برده شده است. تنارازو (۳۷) چهار روش ناپارامتری $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ را بر مبنای رتبه‌های تصحیح شده پیشنهاد کرد. کاربرد این آماره‌ها در گزینش ارقام مناسب برای گیاهان جو (۳۹،۱،۱۹)، گلرنگ (۲۳)، گندم دوروم (۲۴)، گندم نان (۴۳) و لوبیا (۳۶) نیز گزارش شده است.

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

پایداری از دو دیدگاه استاتیک و دینامیک (۳۲) مورد بررسی قرار می‌گیرد. پایداری استاتیک یا بیولوژیک به‌عدم پاسخ ژنوتیپ به هر محیطی اشاره دارد و معمولاً مربوط به ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین است در حالی‌که پایداری دینامیک یا اگرونومیکی به این واقعیت بر می‌گردد که ژنوتیپ به‌طور قابل پیش‌بینی به‌شرایط رشدی مناسب پاسخ خواهد داد و مفهوم اگرونومیک با پتانسیل خوب تکمیل می‌گردد (۲۳،۲۵). مقدم و پورداد (۲۳) چندین معیار پارامتری و ناپارامتری را در ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد بیش‌تر روش‌های ناپارامتری هیون (۱۷) و تنارازو (۳۷) از مفهوم پایداری ایستا بهره می‌برند. محمدی و امری (۲۵) در تحقیقی که به‌منظور مقایسه روش‌های مختلف تجزیه پایداری انجام دادند بیان نمودند که آماره‌های هیون ($S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$) و آماره $NP_i^{(1)}$ تنارازو هیچ‌کدام با عملکرد همبستگی معنی‌داری نداشتند. در کل این پارامترها ژنوتیپ‌هایی با سازگاری به محیط‌هایی با شرایط نامناسب رشد را معرفی می‌کنند. از طرفی آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(1)}$ و $NP_i^{(3)}$ دارای مفهوم پایداری دینامیکی بودند. بنابراین ژنوتیپ‌های معرفی شده توسط این پارامترها مناسب شرایط رشد مطلوب می‌باشند.

برای انتخاب ارقام پرمحصول با عملکرد پایدار استفاده از یک روش به‌تنهایی ممکن است منجر به‌نتایج مطلوبی نگردد، ولی با ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های پایدار افزایش می‌یابد. شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل[1] (SIIG) با ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری، دقت ارزیابی ژنوتیپ‌ها را افزایش می‌دهد (۴۱،۴۰). روش SIIG، برای اولین بار توسط زالی و همکاران (۴۰) برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری معرفی شد. از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از ویژگی‌های روش SIIG این است که برای محاسبه آن از همه روش‌های تجزیه پایداری به‌طور هم‌زمان (۴۰) یا شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی به‌طور هم‌زمان (۴۱) و یا صفات مختلف (۴۲) استفاده نمود و کارایی انتخاب را افزایش داد. از آن‌جایی‌که ممکن است هر ژنوتیپی از نظر یک شاخص یا صفتی ژنوتیپ برتر باشد و در نهایت با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، ممکن است انتخاب ژنوتیپ مناسب برای محقق دشوار شود، ولی به‌کمک روش SIIG تمام شاخص‌ها و صفات به‌صورت یک شاخص درآمده، رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (۴۰).

گرافیوس و توماس (۱۵) روشی را برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ× محیط ارائه دادند. آنها بیان داشتند که ظهور یک صفت اقتصادی مانند عملکرد در یک گیاه زراعی نتیجه یک‌سری فعالیت‌های فیزیولوژیکی در طول دوره رشد آن است و هر صفتی از اجزاء متفاوت تشکیل یافته که تحت‌تأثیر ژنوتیپ، محیط و یا اثر متقابل آن‌ها قرار دارد و روش تای (۳۴) بر همین اساس از تجزیه ضرایب مسیر برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و تعیین سهم اجزاء ژنوتیپی و اجزاء محیطی در شکل‌گیری آن استفاده نمود. لذا عوامل محیطی آثار متفاوتی را بر اجزاء عملکرد دارند که این عوامل، اجزاء محیطی موثر بر اجزاء عملکرد نامیده می‌شوند. تنش‌های محیطی که در طول رشد متوالی اجزای عملکرد ایجاد می‌شوند، ترکیبات اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را برای عملکرد تشکیل می‌دهند (۲۶). چندین محقق (۳۸،۳۵،۳۴،۲۲،۷) مفهوم روند رشد متوالی اجزای عملکرد را ارائه دادند. دو فرض مهم برای این مدل وجود دارد: اولاً توالی زمانی رشد اجزای عملکرد از $X_1$ به $X_2$ سپس به $X_3$ و در نهایت به $X_4$ است و عملکرد (Y) محصول ضرب نهایی فرآیند توسعه متوالی این اجزاء است (یعنی $Y = X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4$). ثانیاً پاسخ محیطی را می‌توان به گروه‌های مستقلی مانند $R_1$، $R_2$، $R_3$ و $R_4$ تقسیم کرد. روش تجزیه و تحلیل مسیر برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در سیب‌زمینی تحت تنش آبی (۲۲) و شرایط تنش گرمایی (۳۵) و در گندم تحت سطح مختلف ازت (۷) و در گندم دوروم تحت شرایط دیم (۲۶) استفاده شده است.

فرشادفر (۱۰) از روش تجزیه مسیر برای تعیین سهم اجزای عملکرد در لاین‌های جایگزین شده کروموزومی گندم استفاده کرد و نتیجه گرفت که سهم نسبی تعداد دانه در سنبله در اثر متقابل ژنوتیپ× محیط بیشتر از سهم نسبی تعداد سنبله در بوته و وزن دانه می‌باشد. همچنین مشاهده کرد که حساسیت تعداد دانه در سنبله به تغییرات محیطی کمتر از دو جزء دیگر یعنی تعداد سنبله در بوته و وزن دانه می‌باشد و بنابراین نقش بیشتری در پایداری فنوتیپی گندم در شرایط بررسی داشته است.

هدف از این تحقیق، تعیین سهم تعدادی از صفات مختلف مورفو–فنولوژیک در اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در لاین‌های امیدبخش جو و شناسایی و معرفی لاین‌های دارای عملکرد اقتصادی و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های گرم و خشک جنوب و اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور بود.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق به‌منظور تجزیه پایداری عملکرد و تعدادی از صفات مورفو–فنولوژیک و تعیین سهم نسبی آن‌ها در اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در اقلیم‌های گرم جنوب و شمال کشور، تعداد ۱۷ لاین امیدبخش (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی همراه با سه شاهد صحرا/نیمروز، اکسین و WB-94-3 در مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس (ایستگاه داراب)، خوزستان (اهواز)، سیستان (زابل)، اردبیل (ایستگاه مغان) و گلستان (ایستگاه گنبد) طی سال‌های زراعی ۹۸–۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به‌این‌که رقم شاهد اول (صحرا/نیمروز) در همه محیط‌ها مشترک نبود و فقط برای مقایسه لاین‌های جدید با رقم رایج منطقه استفاده شده بود، در نتیجه حذف و تجزیه‌ها با استفاده از نوزده ژنوتیپ باقی‌مانده انجام شد.

1- Slection index of ideal genotype

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

ژنوتیپ‌های مورد بررسی در اواخر آذر ماه در شش خط به‌طول شش متر به‌فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یک‌دیگر و ۲ سانتی‌متر فاصله بوته‌ها روی ردیف کشت و به‌صورت نشتی آبیاری شدند. میزان بذر مصرفی برمبنای ۳۰۰ دانه در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر ژنوتیپ تعیین گردید. در طول فصل زراعی، کلیه عملیات‌های زراعی مرسوم انجام شد. در طول دوره رشد، یادداشت‌برداری‌های زراعی لازم شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدگی، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته صورت گرفت و در زمان برداشت عملکرد دانه در واحد سطح با برداشت کامل هر کرت محاسبه شد.

در این تحقیق به‌منظور تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها، از روش‌های ناپارمتری $S_i^{(1)}$ ، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(4)}$ معرفی شده توسط ناسار و هیون (۲۹) و هیون (۱۷) و چهار روش ناپارامتری $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ معرفی شده توسط تنارازو (۳۷) استفاده شد. به‌منظور آزمون اثر اصلی به روش ناپارامتری از سه روش بریدینکامپ (۴)، هیلدییراند (۱۶) و دی کرون/وان دیرلان (۵) استفاده شد.

**روش بریدینکامپ**

در روش بریدینکامپ (۴) ارزش عملکرد دانه ($X_{ijk}$) برای کلیه ژنوتیپ‌ها ( i = 1, 2, …, l)، محیط‌ها ( j = 1, 2, …, m) و تکرارها (k = 1,2, …, n) رتبه‌بندی انجام می‌شود. با استفاده از ارزش رتبه‌بندی شده ($R_{ijk}$) این اثرها به‌صورت روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند.

(روابط ۱، ۲ و ۳)

$$\chi^2_{(G)} = \frac{12l}{N^2(N+1)}\sum_{i=1}^{l} R_{i..}^2 - 3(N+1)$$

$$\chi^2_{(E)} = \frac{12m}{N^2(N+1)}\sum_{j=1}^{m} R_{.j.}^2 - 3(N+1)$$

$$\chi^2_{GE} = \frac{12lm}{N^2(N+1)}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\left(R_{ij.}^2 - \frac{1}{m^2}R_{i..}^2 - \frac{1}{l^2}R_{.j.}^2\right) + 3(N+1)$$

**روش هیلدییراند**

در روش هیلدییراند (۱۶) برای آزمون اثر ژنوتیپ ارزش $X_{ijk}$ ابتدا به ارزش $X^*_{ijk}$ به‌صورت رابطه ۴ تبدیل می‌شود:

$$\left(X^*_{ijk} = X_{ijk} - \bar{X}_{ij.} + \bar{X}_{i..}\right) \quad \text{(رابطه ۴)}$$

سپس با استفاده از این ارزش رتبه‌بندی انجام می‌شود و آزمون معنی‌داری اثر اصلی ژنوتیپ به‌صورت رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$\chi^2_{(G)} = \frac{12}{l(N+1)}\sum_{i=1}^{l}\left(\bar{R}_{i..} - \bar{R}_{...}\right)^2 \quad \text{(رابطه ۵)}$$

برای آزمون اثر محیط ارزش $X_{ijk}$ ابتدا به ارزش $X^*_{ijk}$ به رابطه ۶ تبدیل می‌شود:

$$\left(X^*_{ijk} = X_{ijk} - \bar{X}_{ij.} + \bar{X}_{.j.}\right) \quad \text{(رابطه ۶)}$$

سپس با استفاده از این ارزش رتبه‌بندی انجام و آزمون معنی‌داری اثر اصلی محیط به‌صورت رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$\chi^2_{(E)} = \frac{12}{m(N+1)}\sum_{j=1}^{m}\left(\bar{R}_{.j.} - \bar{R}_{...}\right)^2 \quad \text{(رابطه ۷)}$$

در این روش ارزش $X_{ijk}$ ابتدا به ارزش $X^*_{ijk}$ به‌صورت رابطه ۸ تبدیل می‌شود:

$$\left(X^*_{ijk} = X_{ijk} - \bar{X}_{i..} - \bar{X}_{.j.} + 2\bar{X}_{...}\right) \quad \text{(رابطه ۸)}$$

با استفاده از این ارزش رتبه‌بندی انجام و آزمون معنی‌داری اثر متقابل به‌صورت رابطه ۹ محاسبه می‌شود:

$$\chi^2_{(GE)} = \frac{12}{lm(N+1)}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\left(\bar{R}_{ij.} - \bar{R}_{i..} - \bar{R}_{.j.} + \bar{R}_{...}\right)^2 \quad \text{(رابطه ۹)}$$

**روش دی کرون/وان‌دیرلان**

در روش دی کرون/وان‌دیرلان (۵) ارزش‌های عملکرد ($X_{ijk}$) برای هر محیط به‌طور جداگانه رتبه‌بندی می‌شود و آزمون معنی‌داری اثر اصلی ژنوتیپ از طریق رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$\chi^2_{(G)} = \frac{12}{lmn^2(ln+1)}\sum_{i=1}^{l} R_{i..}^2 - 3m(ln+1) \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

برای آزمون معنی‌داری اثر اصلی محیط ارزش‌های عملکرد ($X_{ijk}$) برای هر ژنوتیپ به‌طور جداگانه رتبه‌بندی می‌شود و آزمون معنی‌داری اثر اصلی به‌شکل رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$\chi^2_{(E)} = \frac{12}{lmn^2(mn+1)}\sum_{j=1}^{m} R_{.j.}^2 - 3l(mn+1) \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

برای آزمون اثر متقابل ژنوتیپ× محیط، همانند آزمون اثر اصلی ژنوتیپ، ارزش‌های عملکرد ($X_{ijk}$) برای هر محیط به‌طور جداگانه رتبه‌بندی می‌شود. سپس این آزمون با فرض عدم تغییر رتبه ژنوتیپ‌ها در سراسر محیط (اثر متقابل متقاطع) محاسبه می‌شود (رابطه ۱۲):

(رابطه ۱۲)

$$\chi^2_{GE} = \frac{12}{ln^2(ln+1)}\left(\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m} R_{ij.}^2 - \frac{l}{m}\sum_{i=1}^{l} R_{i..}^2\right)$$

**آماره‌های ناپارامتری ناسار و هیون**

چهار آماره‌ی ناپارامتری $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ به‌ترتیب به‌صورت روابط ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ محاسبه می‌شوند:

(روابط ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶)

$$S_i^{(1)} = 2\sum_{j=1}^{m-1}\sum_{(j'=j+1)}^{m}\left|r_{ij}^* - r_{ij'}^*\right| / [m(m-1)]$$

$$S_i^{(2)} = \sum_{j=1}^{m-1}\left(r_{ij}^* - \bar{r}_{i.}^*\right)^2 / (m-1)$$

$$S_i^{(3)} = \frac{\sum_{j=1}^{m}\left|r_{ij} - \bar{r}_{i.}\right|}{\bar{r}_{i.}}$$

$$S_i^{(6)} = \frac{\sum_{j=1}^{m-1}\left(r_{ij} - \bar{r}_{i.}\right)^2}{\bar{r}_{i.}}$$

آزمون معنی‌دار بودن بر پایه توزیع نرمال برای این $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ به‌صورت رابطه ۱۷ تعیین می‌شود:

(رابطه ۱۷)

$$Z_i^{(c)} = \frac{\left[s_i^{(c)} - E\left(s_i^{(c)}\right)\right]}{v\left(s_i^{(c)}\right)}$$

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

$E(S_i^{(c)})$ و $V(S_i^{(c)})$ از روابط ۱۸، ۱۹ و ۲۰ محاسبه می‌شوند.
(روابط ۱۸، ۱۹ و ۲۰)

$$E(S_i^{(1)}) = \frac{k^2-1}{3k} \qquad E(S_i^{(2)}) = \frac{k^2-1}{12}$$

$$Var(S_i^{(1)}) = \left[\frac{(k^2-1)[(k^2-4)(N+3)+30}{45k^2N(N-1)}\right]$$

$$Var(S_i^{(2)}) = \frac{(k^2-1)[2(k^2-4)(N-1)+5(k^2-1)]}{360N(N-1)}$$

**آماره‌های ناپارامتری تنارازو**

آماره‌های ناپارامتری تنارازو (۳۷) براساس روابط ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۲۴ محاسبه می‌شوند:
(روابط ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۲۴)

$$NP_i^{(1)} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\left|r_{ij}^* - M_{di}^*\right|$$

$$NP_i^{(2)} = \frac{1}{m}\left(\sum_{j=1}^{m}\left|r_{ij}^* - M_{di}^*\right| / M_{di}\right)$$

$$NP_i^{(3)} = \frac{\sqrt{\sum\left(r_{ij}^* - \bar{r}_{i.}^*\right)^2 / m}}{\bar{r}_{i.}}$$

$$NP_i^{(4)} = \frac{2}{m(m-1)}\left(\sum_{j=1}^{m-1}\sum_{j'=j+1}^{m}\left|r_{ij}^* - r_{ij'}^*\right| / \bar{r}_{i.}\right)$$

دراینجا $M_{di}$ و $\bar{r}_{i.}$ به‌ترتیب میانه و میانگین رتبه ژنوتیپ‌های i ام در محیط jام است که از عملکرد تصحیح نشده بدست می‌آیند و $M^*_{di}$ و $\bar{r}^*_{i.}$ نیز میانه و میانگین رتبه‌های ژنوتیپ iام است که از عملکرد تصحیح شده بدست می‌آیند.

برای ادغام روش‌های ناپارامتری و افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار از روش SIIG (۴۰) استفاده شد که نحوه محاسبه این شاخص به‌شرح ذیل می‌باشد:

**تشکیل ماتریس داده‌ها:** با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها به‌صورت رابطه ۲۵ تشکیل می‌شود (ماتریس D).

رابطه (۲۵)

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

در این ماتریس $x_{ij}$ مقدار ژنوتیپ iام ($i = 1, 2, \ldots n$) در رابطه با صفت jام ($j = 1, 2, \ldots m$) می‌باشد. به‌عبارت دیگر ردیف‌ها را ژنوتیپ‌ها و ستون‌ها را صفات تشکیل می‌دهند.

**تبدیل ماتریس داده‌های اولیه (ماتریس D) به یک ماتریس نرمال (ماتریس R):** از رابطه ۲۶ برای نرمال کردن داده‌ها (بدون واحد کردن داده‌ها) استفاده می‌شود:

رابطه (۲۶)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2}}$$

بنابراین بعد از نرمال نمودن داده‌های اولیه (ماتریس D)، ماتریس R به‌صورت رابطه ۲۷ تعریف می‌شود:

رابطه (۲۷)

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

**پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیرایده‌آل (ضعیف) برای هر صفت (شاخص):** در این مرحله با توجه به نوع صفت و نظر محقق برای هر صفت به‌طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ (ایده‌آل) و ضعیف‌ترین (غیرایده‌آل) انتخاب می‌شود. به‌عنوان مثال در مورد عملکرد، حداکثر مقدار عملکرد یک ژنوتیپ مقدار ایده‌آل و پایین‌ترین مقدار عملکرد به‌عنوان ژنوتیپ غیرایده‌آل (ضعیف) در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین در مورد تعداد روز تا رسیدگی (DMA; Days to maturity)، چنانچه زودرسی ژنوتیپ‌ها مهم باشد، مقدار ایده‌آل برابر کم‌ترین مقدار DMA و مقدار ضعیف برابر با حداکثر مقدار DMA برای ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

**محاسبه فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل ($d_i^+$) و ژنوتیپ‌های ضعیف ($d_i^-$):** در این مرحله برای هر ژنوتیپ، فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل ($d_i^+$) و ژنوتیپ‌های ضعیف ($d_i^-$) به‌ترتیب با استفاده از روابط ۲۸ و ۲۹ محاسبه می‌شود.

رابطه (۲۸)

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij} - r_j^+\right)^2} \qquad i = 1, \ldots, n$$

رابطه (۲۹)

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij} - r_j^-\right)^2} \qquad i = 1, \ldots, n$$

در روابط فوق $r_{ij}$ مقدار نرمال شده ژنوتیپ iام ($i = 1, 2, \ldots n$) در رابطه با شاخص (صفت) jام ($j = 1, 2, \ldots m$) می‌باشد. $r_j^+$ و $r_j^-$ به‌ترتیب مقدار نرمال شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های ضعیف برای هر شاخص (صفت) jام ($j = 1, 2, \ldots m$) است.

**محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG):** در آخرین مرحله برای محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای هر ژنوتیپ از رابطه ۳۰ استفاده می‌شود:

رابطه (۳۰)

$$SIIG_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \qquad i = 1, 2 \ldots, n$$

مقدار $SIIG_i$ بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هرچه گزینه موردنظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. بر اساس این روش بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ، به‌ترتیب نزدیک‌ترین و دورترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل است (۴۱،۴۰).

در این تحقیق با استفاده از مدل تای (۳۴) و تجزیه پایداری بر مبنای تجزیه ضرایب مسیر، سهم هر یک از صفات در اثر متقابل ژنوتیپ× محیط تعیین شد. در این مدل فرض بر آن است که ترتیب رشد صفات از $X_1$ (تعداد روز تا گل‌دهی) به $X_2$ (تعداد روز تا رسیدگی) سپس $X_3$ (ارتفاع بوته) و در نهایت به $X_4$ (وزن هزاردانه) می‌باشد همچنین

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

فرض بر آن است که منابع محیطی را می‌توان به چهار گروه مستقل $R_1$، $R_2$، $R_3$ و $R_4$ تجزیه کرد. روابط مسیر بین عملکرد دانه و چهار صفت در شکل ۱ نشان داده شده‌است. $u_1$، $u_2$، $u_3$ و $u_4$ ضرایب مسیر به‌ترتیب از $R_1$ به $X_1$، $R_2$ به $X_2$، $R_3$ به $X_3$ و $R_4$ به $X_4$ هستند و $a_1$، $a_2$، $a_3$، ... $a_{10}$ به‌ترتیب ضرایب مسیر بین $X_1$، $X_2$، $X_3$، $X_4$ و Y (عملکرد دانه) هستند.

در روش تای عملکرد ژنوتیپ i در محیط j به‌صورت رابطه ۳۱ نشان داده می‌شود:

رابطه (۳۱)

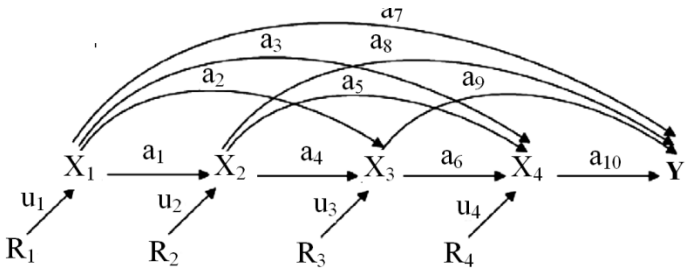
$$Y_{ij} = \mu w_i + V_{1j}r_{1j} + V_{2j}r_{2j} + V_{3j}r_{3j} + V_{4j}r_{4j} + e_{ij}$$

در رابطه ۳۱ عملکرد یک ژنوتیپ در یک محیط ($Y_{ij}$) حاصل اثر میانگین ژنوتیپ در محیط‌های مختلف ($\mu w_i$)، چهار اثر ضرب‌پذیر آثار متقابل ژنوتیپ× محیط که به‌وسیله چهار جزء ژنوتیپی $V_{1j}$، $V_{2j}$، $V_{3j}$ و $V_{4j}$ نشان داده می‌شود. $r_{1j}$، $r_{2j}$، $r_{3j}$ و $r_{4j}$ چهار جزء محیطی و $e_{ij}$ خطا می‌باشد.

چهار جزء ژنوتیپی نشان‌دهنده کارایی ژنوتیپ برای استفاده از اجزاء محیطی در طول دوره رشد برای تشکیل عملکرد می‌باشند و هر یک از اجزای محیطی، بیانگر اهمیت نسبی آن عامل محیطی بر جزء عملکرد مربوط است که در هر محیط ثابت می‌باشد و هرچه قدرمطلق r برای صفتی بیشتر باشد، یعنی آن صفت بیشتر تحت‌تأثیر محیط قرار می‌گیرد و ناپایدار است. در واقع از این روش برای تعیین این که کدام ژنوتیپ در کدام مرحله رشد بیشترین حساسیت را به‌عوامل محیطی دارد، استفاده می‌شود.

به‌منظور بررسی آثار متقابل با استفاده از تجزیه مسیر، ضرایب همبستگی بین عملکرد و صفات مورد مطالعه (اجزاء) برای ژنوتیپ‌های مختلف به‌طور جداگانه تعیین و آثار مستقیم صفات بر عملکرد، آثار منابع محیطی بر عملکرد و اجزای آن برای هر ژنوتیپ محاسبه شد. در نهایت اجزای ژنوتیپی پایداری برای اجزای عملکرد هر ژنوتیپ و اجزای محیطی تأثیرگذار بر آنها در طی مراحل رشد تعیین شدند (۳۴).

در این مطالعه جهت تجزیه داده‌ها با استفاده از تجزیه مسیر از نرم‌افزارهای Excel و Matrix Calculator pro استفاده شد. برای محاسبه آماره‌های ناپارامتری از نرم‌افزار STABILITYSOFT (۳۰) و برای انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS، برای محاسبه SIIG از نرم‌افزار Excel و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Statistica استفاده شد.




شکل ۱- نمودار مسیر نشان‌دهنده رابطه رشدی صفات $X_1$ (تعداد روز تا گل‌دهی)، $X_2$ (تعداد روز تا رسیدگی)، $X_3$ (ارتفاع بوته)، $X_4$ (وزن هزار دانه) و Y (عملکرد دانه)

Figure 1. Causality diagram showing the growth relationship of $X_1$ (days to flowering), $X_2$ (days to maturity), $X_3$ (plant height), $X_4$ (1000-kernal weight) and Y (grain yield) traits

جدول ۱- شجره ارقام ولاین‌های امیدبخش جو مورد بررسی در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۶

Table 1. Name and pedigree of investigated barley cultivars and promising lines s in 2017-2019 cropping years

| شماره ژنوتیپ‌ها | کد ژنوتیپ‌ها | شجره | منشاء |
|---|---|---|---|
| G1 | Nimrooze/ Sahra | Trompillo L.B.LRAN/Una-QL-//Glorias"s"Com | بین المللی |
| G2 | Auxin | Rojo/Sahra | کراس داخلی |
| G3 | WB-96-3 | Yousef/3/Rhn-03//L.527/NK1272 | کراس داخلی |
| G4 | WB-96-4 | Lignee 527/Chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//Dl71/Strain 205/5/Teran78 | کراس داخلی |
| G5 | WB-96-5 | Lignee 527/Chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//Dl71/Strain 205/5/Teran78 | کراس داخلی |
| G6 | WB-96-6 | Rhn-03//L.527/NK1272/4/Arar/3/Cr.115/por//Giza 121 | کراس داخلی |
| G7 | WB-96-7 | Ashar/Victoria//CWB117-5-9-6/5/Yousef/6/Nosrat/3/D-10(Rhn-03//L.527/NK1272) | کراس داخلی |
| G8 | WB-96-8 | Novosadski-444/3/Lignee 527/NK1272//JLB 70-63 | کراس داخلی |
| G9 | WB-96-9 | Lignee527/Aths//Lignee527/NK1272 | بین‌المللی |
| G10 | WB-96-10 | BLLU/KASOTA | بین‌المللی |
| G11 | WB-96-11 | MELUSINE/ALELI/3/MATICO/JET//SHYRI/4/...ARUPO/K8755//MORA/3/CANELA/5/Arbaya | کراس داخلی |
| G12 | WB-96-12 | PINON/TOCTE//CHAMICO/3/Lignee 527/NK1272//JLB 70-63 | کراس داخلی |
| G13 | WB-96-13 | Gob96Dh/3/ND10277/Shyri/ND11231/Shyri/4/Azaf/5/Sahra | کراس داخلی |
| G14 | WB-96-14 | Zabol-11 | کراس داخلی |
| G15 | WB-96-15 | Fajr30/3/Rhn-03//L.527/NK1272 | کراس داخلی |
| G16 | WB-96-16 | Sahra/Torsh | کراس داخلی |
| G17 | WB-96-17 | Nosrat/3/D-10(Rhn-03//L.527/NK1272)/4/Lignee 527/NK1272//JLB 70-63 | کراس داخلی |
| G18 | WB-96-18 | Nosrat/3/D-10(Rhn-03//L.527/NK1272)/4/Lignee 527/NK1272//JLB 70-63 | کراس داخلی |
| G19 | WB-96-19 | 354/14-TF | بین‌المللی |
| G20 | WB-94-3 | P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/Lignee 527/NK1272//JLB 70-63 | کراس داخلی |

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

## نتایج و بحث

به‌منظور بررسی اثرات ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از روش‌های مختلف ناپارامتری (جدول ۳) و روش تجزیه واریانس مرکب (جدول ۲) استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد که اثرات ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. اثر متقابل ژنوتیپ× محیط ۲۴/۲ درصد از مجموع مربعات کل را به‌خود اختصاص داد، در حالی‌که این مقدار برای ژنوتیپ و محیط به‌ترتیب برابر با ۵/۰ و ۷۰/۷ درصد بود (جدول ۲). کم بودن اثر ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل می‌باشد که در سال‌های گذشته در برنامه‌های اصلاحی ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد انتخاب شده و تنوع کاهش پیدا کرده است و این ژنوتیپ‌های برتر در آزمایشات چند محیطی نسبت به محیط و اثرمتقابل ژنوتیپ× محیط نقش کم‌تری در توجیه تنوع موجود داشته‌اند (۸).

نتایج بررسی اثرات ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط با استفاده از روش‌های مختلف ناپارامتری نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در هر سه روش دی‌کرون و وان‌دیرلان (۵)، هیلدبراند (۱۶) و بریدینکاپ (۴) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). این مطلب نشانگر وجود اثر متقابل ژنوتیپ× محیط غیرمتقاطع براساس آزمون‌های هیلدبراند (۱۶) و بریدینکاپ (۴) و وجود اثر متقابل ژنوتیپ× محیط به‌صورت متقاطع (غیرافزایشی) براساس آزمون دی‌کرون و وان‌دیرلان (۵) است. اکبر پور و همکاران (۲) در جو و فرشادفر و همکاران در نخود (۱۲) از آزمون‌های ناپارامتری برای تعیین ضرب‌پذیر بودن یا افزایشی بودن اثرات متقابل ژنوتیپ× محیط استفاده کردند.

در تحقیق نجفی میرک و همکاران (۲۸) اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با روش‌های ناپارامتری بریدینکاپ (به‌جزء اثر ژنوتیپ) و هیلدبراند برای عدم وجود اثر متقابل غیرمتقاطع (بدون تغییر در رتبه) و آزمون دی‌کرون و وان‌دیرلان (به‌جزء اثر متقابل ژنوتیپ× محیط) برای عدم وجود اثر متقابل متقاطع (تغییر در رتبه) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. جمشیدی مقدم و پورداد (۱۸) اثر معنی‌داری را برای ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط با دو روش دی‌کرون و وان‌دیرلان (۵) و هیلدبراند (۱۶) گزارش کردند اما در تحقیق آن‌ها اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در گلرنگ در روش هیلدبراند (۱۶) معنی‌دار نبود. عبدی پور و همکاران (۱) اثر معنی‌داری را برای اثر متقابل ژنوتیپ× محیط با هر سه روش در جو گزارش کردند. اکبرپور و همکاران (۲) با استفاده از داده‌های چند-مکانی جو، معنی‌داری اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط را با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری دی‌کرون و وان‌دیرلان (۵)، هیلدبراند (۱۶) و بریدینکاپ (۴) آزمون نمودند. نتایج نشان‌داد که برای اثر ژنوتیپ فقط آزمون هیلدبراند (افزایشی و غیرضربی) معنی‌دار شد و سایر آزمون‌ها معنی‌داری اثر ژنوتیپ را نشان ندادند. آماره‌های ناپارامتری پایداری مورد مطالعه برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار جو براساس معیارهای پیشنهادی هیون (۱۷) و تنارازو (۳۷) به‌ترتیب در جدول ۴ ارائه شده است. در همه‌ی روش‌های تجزیه پایداری ناپارامتری استفاده شده در این تحقیق، ژنوتیپی از نظر تولید عملکرد دانه پایدار محسوب می‌شود که کم‌ترین مقدار این آماره‌ها را داشته باشد.

با توجه به میانگین و واریانس آماره‌های ناسار و هیون (۲۹) در جدول ۴ می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های با مقادیر $S_i^{(1)}$ کمتر از میانگین $S_i^{(1)}$ یا ۶/۳۲ = $E(S_i^{(1)})$ در گروه ژنوتیپ‌های پایدار قرار می‌گیرند و مقادیر بیشتر از میانگین در گروه ارقام ناپایدار قرار می‌گیرند، در مورد $S_i^{(2)}$ نیز ژنوتیپ‌های با مقادیر $S_i^{(2)}$ کمتر از ۳۰ =$E(S_i^{(2)})$ در گروه ژنوتیپ‌های پایدار و بیشتر از این مقدار در گروه ارقام ناپایدار قرار می‌گیرند. با توجه به مقادیر واریانس و میانگین این دو آماره و محاسبه ضریب تغییرات آنها می‌توان گفت که دقت آماره $S_i^{(1)}$ در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار بیشتر است. زیرا براساس روابط ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ امید ریاضی $S_i^{(1)}$ بزرگتر از امید ریاضی $S_i^{(2)}$ و واریانس $S_i^{(1)}$ کوچکتر از واریانس $S_i^{(2)}$ می‌باشد، لذا $S_i^{(2)}$ حساس‌تر و دقیق‌تر می‌باشد. براساس معیار $S_i^{(1)}$ ژنوتیپ‌های شماره‌ی G20، G14، G5، G16، G4، G10، G18 و G13 جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

ناسار و هیون (۲۹) برای آزمون پایداری بین ژنوتیپ‌ها، مقادیر $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ را به‌صورت انفرادی برای هر ژنوتیپ پیشنهاد دادند. در این تحقیق نیز مقادیر $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ برای تمام ژنوتیپ‌ها محاسبه شد، سپس این مقادیر برای آزمون $\chi^2$ روی تمام ارقام و ژنوتیپ‌ها جمع زده شدند که نتایج در جدول ۴ ذکر شده است. مقادیر $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌ها بزرگتر از ۷/۸۸ = $\chi^2_{Z1, Z2}$ نبود بنابراین مقادیر $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نشد که مشابه نتایجی است که در گندم نان (۲۱)، عدس (۲۰) و گلرنگ (۲۳) گزارش شده است. همچنین مقادیر مجموع Zها (۲۱/۷۳ = $\sum Z_i^{(1)}$ و ۱۷/۵۲ = $\sum Z_i^{(2)}$) برای کلیه ژنوتیپ‌ها در هر دو آماره $Z_i^{(1)}$ و $Z_i^{(2)}$ کم‌تر از مقادیر $\chi^2$ جدول (۳۰/۱ = $\chi^2_{sum(Z1.Z2)}$) با درجه آزادی ۱۹ بود.

براساس معیار $S_i^{(3)}$ ژنوتیپ‌های شماره‌ی G1، G10، G16، G14، G18 ، G5 و G2 جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و براساس معیار $S_i^{(6)}$ ژنوتیپ‌های شماره‌ی G20، G10، G18، G16، G2 و G9 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. با توجه به معیار ناپارامتری $NP_i^{(1)}$ ژنوتیپ‌های شماره‌ی G20، G16، G5، G19، G10 و G14، با توجه به معیار $NP_i^{(2)}$ ژنوتیپ‌های شماره‌ی G20، G19، G16، G2، G10 و G18، با توجه به معیار $NP_i^{(3)}$ ژنوتیپ‌های شماره‌ی G20، G15، G10، G2، G19 و G18 و با توجه به معیار $NP_i^{(4)}$ ژنوتیپ‌های شماره‌ی G20، G10، G2، G18، G16 و G19 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. ژنوتیپ‌های شماره‌ی G9، G12 و G13 با توجه به آماره‌های تنارازو جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری عملکرد دانه بودند. جمشیدی مقدم و پورداد (۱۸) نشان دادند که آماره‌های ناپارامتری هیون (۱۷) و تنارازو (۳۷) جزء مفهوم ایستایی

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

پایداری هستند و ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس این روش‌ها از عملکرد بالایی برخوردار نیستند. در نهایت نتایج نشان داد که آماره‌های تنارازو (۳۷) جزء مفهوم پایداری ایستایی هستند و ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شده براساس این روش‌ها ممکن است از عملکرد بالایی برخوردار نباشند. نتایج مشابهی در جو (۱، ۱۹ و ۳۹)، گندم دوروم (۲۵)، گلرنگ (۲۳)، عدس (۳۲) و گندم نان (۲۱) گزارش شده است.

نتایج همبستگی بین میانگین عملکرد دانه و روش‌های مختلف ناپارامتری نشان داد که آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ همبستگی منفی بالایی با عملکرد دانه دارند از طرفی $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نداشتند. عبادی سقرلو و همکاران (۶) نشان دادند که آماره‌های $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ دارای همبستگی منفی با عملکرد دانه نخود بودند و آماره‌های $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نداشتند. سوقی و همکاران (۳۳) در بررسی پایداری ارقام گندم بیان نمودند که روش‌های تنارازو (۳۷) و هیون (۱۷) اغلب بیانگر جنبه بیولوژیک پایداری است و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های گندم با عملکرد بالا و پایدار نیست.

با توجه به آماره‌های هیون (۱۷) و تنارازو (۳۷) مشخص است که مفاهیم پایداری در این روش‌ها بیشتر بر مفاهیم بیولوژیکی و استاتیکی بوده و در این روش‌ها معمولاً ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی می‌شوند. بنابراین در این تحقیق روش‌های مختلف ناپارامتری با استفاده از شاخص SIIG ادغام شد (جدول ۴) و در یک نمودار دو بعدی که یک بعد آن عملکرد دانه است ژنوتیپ‌ها نقطه‌یابی شدند (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مختلف در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۶

Table 2. Grain yield variance analysis of barley genotypes in different environments in 2017-2019 cropping years

| منابع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | درصد توجیه SS |
|---|---|---|---|---|
| تیمار | ۱۸۹ | ۵۶۹۱۳۳۵۸۴ | ۳۰۱۱۲۸۹$^{**}$ | |
| ژنوتیپ | ۱۸ | ۲۸۷۲۴۰۳۶ | ۱۵۹۵۷۸۰$^{**}$ | ۵/۰ |
| محیط | ۹ | ۴۰۲۴۰۷۰۳۳ | ۴۴۷۱۱۸۹۳$^{**}$ | ۷۰/۷ |
| ژنوتیپ × محیط | ۱۶۲ | ۱۳۸۰۰۲۵۱۵ | ۸۵۱۸۶۷$^{**}$ | ۲۴/۲ |
| خطا | ۳۸۰ | ۱۲۱۷۱۳۰۹۴ | ۳۲۰۲۹۸ | |

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

جدول ۳- نتایج روش‌های مختلف آماری برای آزمون معنی‌داری اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه ۱۹ ژنوتیپ جو در ۱۰ محیط

Table 3. Results of the different statistical test methods of grain yield of 19 barley genotypes in 10 environments

| | | $\chi^2$ | | |
|---|---|---|---|---|
| منابع تغییرات | درجه آزادی | دی کرون و وان‌دیرلان | هیلدبراند | بریدینکاپ |
| ژنوتیپ‌ها | ۱۸ | ۵۱/۲۱$^{**}$ | ۱۵۹/۷۶$^{**}$ | ۳۴/۱۱$^{*}$ |
| محیط‌ها | ۹ | ۴۴۱۸/۴$^{**}$ | ۲۸۹/۴$^{**}$ | ۳۰۸/۶۶$^{**}$ |
| ژنوتیپ × محیط | ۱۶۲ | ۲۴۱/۸۸$^{**}$ | ۵۶۵/۷۳$^{**}$ | ۳۶۰۷/۳۶$^{**}$ |

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

‡ فرض صفر برای روش‌های ناپارامتری بریدینکاپ (۴) و هیلدبراند (۱۶) عدم وجود اثر متقابل غیرمتقاطع (بدون تغییر در رتبه) و برای آزمون دی‌کرون و وان‌دیرلان (۵) عدم وجود اثر متقابل متقاطع (تغییر در رتبه) است.

در این تحقیق علاوه بر استفاده از تک‌تک آماره‌های تجزیه پایداری ناپارامتری، به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر ثبات عملکرد در محیط‌های مختلف، از شاخص SIIG نیز استفاده شد و همه آماره‌های تجزیه پایداری ناپارامتری ادغام شده و تبدیل به یک شاخص واحد یعنی SIIG شدند (جدول ۴). میزان تغییرات SIIG بین صفر تا یک می‌باشد و هرچه SIIG به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده ایده‌آل‌تر بودن آن ژنوتیپ است (۴۰،۴۱). با توجه به شاخص SIIG، ژنوتیپ های شماره‌ی G20، G16، G10، G18، G5، G2، G19، G04، G19 و G15 به‌ترتیب با بیشترین مقدار SIIG (۱/۰۰، ۰/۸۳، ۰/۸۰، ۰/۷۶، ۰/۷۳، ۰/۷۲، ۰/۷۱، ۰/۷۰، ۰/۶۸ و ۰/۶۷) جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها براساس بیشتر روش‌های تجزیه ناپارامتری بودند. ژنوتیپ‌های شماره‌ی G9، G12 و G13 به‌ترتیب با کمترین مقدار SIIG (۰/۱۵، ۰/۴۳ و ۰/۴۹) جزء ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. نتایج همبستگی بین شاخص SIIG و عملکرد دانه نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین این شاخص و عملکرد دانه وجود دارد و بنابراین انتخاب براساس این شاخص منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا خواهد شد (جدول ۵).

به‌منظور انتخاب هم‌زمان عملکرد و پایداری از نمودار دو بعدی (شکل ۲) استفاده شد. در این نمودار، محور افقی نشان‌دهنده میانگین عملکرد و محور قائم نشان‌دهنده مقدار SIIG است. نقطه‌چین افقی در این نمودار نشان‌دهنده میانگین SIIG است. ژنوتیپ‌هایی که در بالای محور نقطه چین افقی قرار دارند از پایداری عملکرد بالایی از نظر بیش‌تر آماره‌های ناپارامتری برخوردار هستند. بنابراین ژنوتیپ‌های شماره‌ی G10، G18، G19، G16 و G15 و ژنوتیپ‌های شاهد شماره‌ی G2 (اکسین) و G20 (WB-94-3) جزء ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل بودند. ژنوتیپ‌های شماره‌ی G9 و G12 با کمترین مقدار SIIG و عملکرد پایین‌تر از متوسط کل جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در این تحقیق بودند.

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

جدول ۴- تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو براساس روش‌های ناپارامتری در ۱۰ محیط (۹۸-۱۳۹۶)

Table 4. Stability analysis of grain yield of barley genotypes based on nonparametric methods in 10 environments (2017-2019)

| کد ژنوتیپ‌ها | آماره‌های هیون | | | | | | آماره‌های تنارازو | | | | شاخص SIIG | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $S_i^{(1)}$ | $Z_i^{(1)}$ | $S_i^{(2)}$ | $Z_i^{(2)}$ | $S_i^{(3)}$ | $S_i^{(6)}$ | $NP_i^{(1)}$ | $NP_i^{(2)}$ | $NP_i^{(3)}$ | $NP_i^{(4)}$ | SIIG | رتبه |
| G2 | ۶/۴۲ | ۰/۰۴ | ۳۴/۷ | ۰/۰۲ | ۲۱/۲ | ۳/۲۸ | ۴/۳ | ۰/۳۶ | ۰/۳۷ | ۰/۴۴ | ۰/۷۲ | ۶ |
| G3 | ۷/۳۸ | ۰/۴۲ | ۳۸/۸ | ۰/۲۸ | ۳۴/۳ | ۵/۳۳ | ۵/۶ | ۰/۶۵ | ۰/۶۱ | ۰/۷۲ | ۰/۵۱ | ۱۶ |
| G4 | ۵/۳۱ | ۱/۴۱ | ۲۰/۷ | ۱/۴۱ | ۲۱/۴ | ۴/۴۸ | ۴/۸ | ۰/۴۶ | ۰/۶۳ | ۰/۶۱ | ۰/۶۸ | ۹ |
| G5 | ۵/۰۰ | ۲/۱۳ | ۱۸/۵ | ۱/۹۲ | ۱۸/۸ | ۳/۷۵ | ۴/۰ | ۰/۴۵ | ۰/۶۳ | ۰/۵۶ | ۰/۷۳ | ۵ |
| G6 | ۶/۳۳ | ۰/۰۸ | ۳۱/۶ | ۰/۰۳ | ۳۶/۹ | ۵/۳۲ | ۴/۴۰ | ۰/۵۴ | ۰/۷۱ | ۰/۸۲ | ۰/۵۳ | ۱۴ |
| G7 | ۶/۷۸ | ۰/۰۱ | ۳۳/۸ | ۰/۰۰ | ۲۹/۰ | ۴/۱۰ | ۴/۹ | ۰/۵۴ | ۰/۶۱ | ۰/۶۵ | ۰/۶۰ | ۱۱ |
| G8 | ۶/۷۱ | ۰/۰۰ | ۳۲/۴ | ۰/۰۱ | ۳۱/۷ | ۵/۰۴ | ۴/۹ | ۰/۵۸ | ۰/۶۳ | ۰/۷۳ | ۰/۵۶ | ۱۲ |
| G9 | ۵/۹۱ | ۰/۴۳ | ۳۰/۷ | ۰/۰۶ | ۴۹/۴ | ۷/۲۱ | ۵/۸ | ۱/۸۰ | ۱/۱۰ | ۱/۰۶ | ۰/۱۵ | ۱۹ |
| G10 | ۵/۶۰ | ۰/۸۶ | ۲۴/۷ | ۰/۶۵ | ۱۵/۲ | ۲/۴۷ | ۴/۳ | ۱/۴۰ | ۰/۳۵ | ۰/۳۸ | ۰/۸۰ | ۳ |
| G11 | ۷/۷۳ | ۰/۹۲ | ۴۳/۳ | ۰/۹۰ | ۳۶/۱ | ۵/۱۹ | ۵/۰ | ۰/۴۷ | ۰/۵۴ | ۰/۷۲ | ۰/۵۴ | ۱۳ |
| G12 | ۷/۰۷ | ۰/۱۴ | ۳۶/۵ | ۰/۰۹ | ۳۹/۱ | ۵/۸۱ | ۵/۵ | ۱/۸۰ | ۰/۷۴ | ۰/۸۴ | ۰/۴۳ | ۱۸ |
| G13 | ۶/۱۳ | ۰/۲۱ | ۲۸/۹ | ۰/۱۷ | ۳۴/۳ | ۵/۴۲ | ۴/۵ | ۱/۸۰ | ۰/۷۲ | ۰/۸۱ | ۰/۴۹ | ۱۷ |
| G14 | ۴/۶۰ | ۳/۳۰ | ۱۴/۸ | ۰/۰۴ | ۱۶/۸ | ۳/۹۵ | ۴/۳ | ۰/۶۴ | ۰/۶۲ | ۰/۵۸ | ۰/۷۰ | ۸ |
| G15 | ۶/۸۰ | ۰/۰۲ | ۳۳/۱ | ۰/۰۰ | ۲۳/۳ | ۳/۴۴ | ۵/۵ | ۰/۴۰ | ۰/۵۰ | ۰/۵۳ | ۰/۶۷ | ۱۰ |
| G16 | ۵/۱۳ | ۱/۸۰ | ۱۹/۶ | ۱/۶۶ | ۱۵/۳ | ۳/۲۲ | ۳/۲ | ۰/۳۲ | ۰/۳۴ | ۰/۴۵ | ۰/۸۳ | ۲ |
| G17 | ۸/۱۳ | ۱/۷۳ | ۴۷/۵ | ۱/۸۱ | ۳۵/۰ | ۴/۷۹ | ۶/۶ | ۰/۵۴ | ۰/۶۰ | ۰/۶۷ | ۰/۵۱ | ۱۵ |
| G18 | ۵/۹۳ | ۰/۴۰ | ۲۶/۵ | ۰/۴۱ | ۱۷/۷ | ۲/۹۶ | ۴/۸ | ۰/۴۰ | ۰/۴۲ | ۰/۴۴ | ۰/۷۶ | ۴ |
| G19 | ۶/۶۰ | ۰/۰۰ | ۳۴/۳ | ۰/۰۱ | ۲۲/۹ | ۳/۴۱ | ۴/۱ | ۰/۳۲ | ۰/۳۹ | ۰/۴۹ | ۰/۷۱ | ۷ |
| G20 | ۳/۴۹ | ۷/۸۴ | ۹/۴ | ۴/۰۷ | ۶/۸ | ۱/۹۲ | ۲/۸ | ۰/۲۳ | ۰/۲۷ | ۰/۲۸ | ۱/۰۰ | ۱ |

| تست آماری | |
|---|---|
| $\sum Z_i^{(1)}$ = ۲۱/۷۳ | $\sum Z_i^{(2)}$ = ۱۷/۵۲ |
| $E(S_i^{(1)})$ = ۶/۳۲ | $E(S_i^{(2)})$ = ۳۰ |
| $V(S_i^{(1)})$ = ۱/۱۷ | $V(S_i^{(2)})$ = ۹۳/۹۸ |
| $\chi^2_{sum(Z1.Z2)}$ = ۳۰/۱ | $\chi^2_{Z1, Z2}$ = ۷/۸۸ |

$S_i^{(1)}$: میانگین تفاوت قدر مطلق ژنوتیپ × محیط‌ها؛ $S_i^{(2)}$: واریانس مشترک انحراف از رتبه‌ها؛ $S_i^{(3)}$: واریانس بین رتبه‌ها در محیط‌ها؛ $S_i^{(6)}$: مجموع انحراف مطلق‌ها؛ $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$: آماره‌های ناپارامتری تنارازو؛ SIIG: شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل

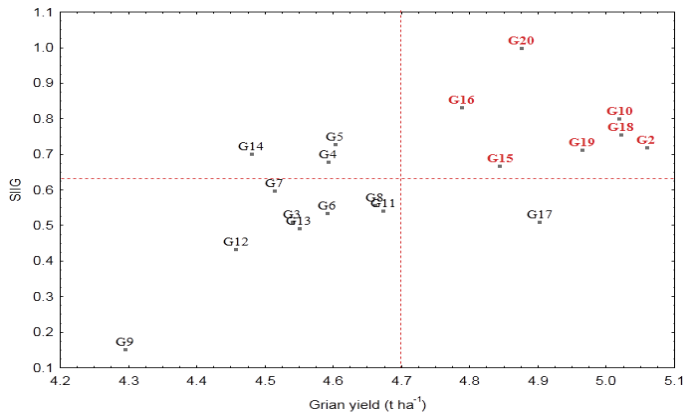
جدول ۵- همبستگی رتبه بین آماره‌های مختلف ناپارامتری و میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو

Table 5. Rank correlation among different nonparametric statistics and grain yield of barley genotypes

| | $S_i^{(1)}$ | $S_i^{(2)}$ | $S_i^{(3)}$ | $S_i^{(6)}$ | $NP_i^{(1)}$ | $NP_i^{(2)}$ | $NP_i^{(3)}$ | $NP_i^{(4)}$ | SIIG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $S_i^{(2)}$ | ۰/۹۷** | | | | | | | | |
| $S_i^{(3)}$ | ۰/۶۹** | ۰/۷۰** | | | | | | | |
| $S_i^{(6)}$ | ۰/۴۷* | ۰/۴۶* | ۰/۹۱** | | | | | | |
| $NP_i^{(1)}$ | ۰/۷۵** | ۰/۶۸** | ۰/۷۷** | ۰/۶۸** | | | | | |
| $NP_i^{(2)}$ | ۰/۳۲ | ۰/۲۸ | ۰/۷۴** | ۰/۹۱** | ۰/۶۸** | | | | |
| $NP_i^{(3)}$ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۷۱** | ۰/۸۷** | ۰/۴۹* | ۰/۸۷** | | | |
| $NP_i^{(4)}$ | ۰/۴۴ | ۰/۴۱ | ۰/۹۱** | ۰/۹۸** | ۰/۶۶** | ۰/۹۰** | ۰/۹۰** | | |
| SIIG | -۰/۶۱** | -۰/۶۰ | -۰/۹۴** | -۰/۹۶** | -۰/۸۰** | -۰/۸۸** | -۰/۷۹** | -۰/۹۴** | |
| Yield | -۰/۰۱ | ۰/۰۳ | -۰/۵۳* | -۰/۷۶** | -۰/۳۶ | -۰/۸۰** | -۰/۸۰** | -۰/۷۷** | ۰/۶۶** |

$S_i^{(1)}$: میانگین تفاوت قدر مطلق ژنوتیپ × محیط‌ها؛ $S_i^{(2)}$: واریانس مشترک انحراف از رتبه‌ها؛ $S_i^{(3)}$: واریانس بین رتبه‌ها در محیط‌ها؛ $S_i^{(6)}$: مجموع انحراف مطلق‌ها؛ $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$: آماره‌های ناپارامتری تنارازو؛ SIIG: شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل؛ Yield: عملکرد دانه

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد




شکل ۲- نمودار دو بعدی پراکنش ۱۹ ژنوتیپ جو براساس عملکرد دانه و روش SIIG

Figure 2. Two-dimensional graph of distribution of 19 barley genotypes based on grain yield and SIIG method

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه (جدول ۲ و ۳) و صفات مورد بررسی (نتایج نشان داده نشده است)، لذا با استفاده از تجزیه مسیر و مدل‌های بیان شده، علت معنی‌دار بودن آن و سهم هر یک از صفات مورفو–فنولوژیک در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه اثر متقابل به‌روش تجزیه مسیر برمبنای همبستگی صفات با عملکرد استوار است، بنابراین ابتدا ضرایب همبستگی بین عملکرد و صفات مورفو–فنولوژیک برای همه ژنوتیپ‌ها محاسبه شد (نتایج نشان داده نشده است). در این روش $V_1$ سهم تعداد روز تا گل‌دهی، $V_2$ سهم تعداد روز تا رسیدگی، $V_3$ سهم ارتفاع بوته و $V_4$ سهم صفت وزن هزار دانه در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است. اجزای ژنوتیپی پایداری ($V_1$، $V_2$، $V_3$ و $V_4$) در جدول ۶ آورده شده است. نتایج نشان‌داد که ژنوتیپ‌های مختلف از نظر صفات مورد بررسی واکنش‌های پایداری متفاوتی نشان دادند. در واقع بزرگتر بودن مقدار جزء پایداری نشان‌دهنده نقش بیشتر آن جزء عملکرد در بیان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد، زیرا آن جزء پایداری در مرحله تکوینی خود اثر متقابل بیشتری با عوامل محیطی نشان‌داده است (۳۴). نتایج نشان‌داد مقدار $V_1$ در ژنوتیپ‌های شماره‌ی G7، G11 و G17 بیشتر از سایر اجزاء بود که نشان‌داد تعداد روز تا گل‌دهی اصلی‌ترین جزء در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت به سایر صفات مورد بررسی در این ژنوتیپ‌ها بوده است. برخلاف $V_1$، همه ژنوتیپ‌ها (به‌جزء ژنوتیپ شماره‌ی G17) برآورد مثبت $V_2$ و $V_4$ را نشان دادند. بنابراین بهره‌وری عملکرد بیشتر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر اجزای $V_2$ و $V_4$ است. بیشتر بودن مقدار $V_2$ و $V_4$ در ژنوتیپ‌های G3، G5، G12 و G16 نشان داد که صفات تعداد روز تا رسیدگی و وزن هزار دانه بیشترین تأثیر را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه در این ژنوتیپ‌ها دارند. در بیشتر ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا مانند ژنوتیپ‌های شماره‌ی G10، G18 و G20 سهم تعداد روز تا رسیدگی بیشتر از سایر اجزاء ژنوتیپی بود. مقایسه چهار جزء ژنوتیپی $V_1$، $V_2$، $V_3$ و $V_4$ نشان داد پایداری ژنوتیپ‌های شماره‌ی G20، G16، G10، G18، 510، G2، G19 و G14 بیشتر مربوط به تعداد روز تا رسیدگی و وزن هزار دانه می‌باشد (به‌جزء ژنوتیپ شماره‌ی G19 که سهم $V_3$ بیشتر از بقیه اجزاء ژنوتیپی بود). مقادیر اجزای $V_2$ و $V_4$ در بیشتر ژنوتیپ‌ها بزرگتر از جزء $V_1$ بود (به‌جزء ژنوتیپ‌های شماره‌ی G7، G11 و G17). بنابراین بیشتر ژنوتیپ‌ها در مرحله رسیدگی و پر شدن دانه نسبت به تنش‌های محیطی حساس بودند. تنش گرمایی انتهای فصل یکی از تنش‌های محیطی مهم در مناطق گرم و خشک جنوب می‌باشد که باعث رسیدگی زودتر جو و چروکیده و کوچک شدن شدن دانه و کاهش وزن هزار دانه در جو و در نتیجه کاهش عملکرد خواهد شد (۳۱).

مطابق با همه اجزای ژنوتیپی ($V_1$، $V_2$، $V_3$ و $V_4$) ژنوتیپ شماره‌ی G20 (WB-94-3) بیشترین تحمل را نسبت به تنش‌های محیطی داشت در حالی‌که ژنوتیپ‌های شماره‌ی G3 و G7 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش‌های محیطی بودند (جدول ۶). در ارقام با عملکرد بالا نیز جزء $V_2$ دارای سهم بیشتری در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت به سایر اجزاء است. این مطلب نشان‌دهنده‌ی آن است که رسیدگی سهم بیشتری نسبت به سایر صفات در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این تحقیق دارد. بنابراین ارقام پرمحصول حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات محیطی در مرحله رسیدگی دانه دارند و اگر چنان‌چه شرایط محیطی در انتهای فصل مساعد باشد و باعث طولانی‌تر شدن دوره پرکردن دانه در مناطق گرمسیر شود این ژنوتیپ‌ها پتانسیل عملکرد خوبی را از خود نشان خواهند داد.

ضریب همبستگی بین میانگین عملکرد دانه، شاخص SIIG و اجزاء ژنوتیپی در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین عملکرد دانه و شاخص SIIG مشاهده شد؛ بنابراین روند مثبتی بین عملکرد دانه بالا و پایداری عملکرد در بیشتر مواد ژنتیکی مورد بررسی وجود داشت. همبستگی معنی‌داری بین اجزاء ژنوتیپی و شاخص SIIG مشاهده نشد ولی بیشترین همبستگی را اجزاء $V_1$ و $V_4$ با شاخص SIIG داشتند که نشان از اهمیت بیشتر وزن هزار دانه و تعداد روز تا گل‌دهی در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه بود (جدول ۷). در بررسی محمدی و همکاران (۲۶) همبستگی مثبت بین واریانس پایداری با جزء $V_4$ نشان داد که وزن دانه عامل اصلی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه در گندم دوروم در شرایط دیم است.

مهتابی و همکاران (۲۷) از تجزیه مسیر به روش تای در ژنوتیپ‌های نخود بیان کردند که جزء ژنوتیپی $V_2$ (تعداد دانه در غلاف) مهم‌ترین جزء تأثیرگذار پایداری فنوتیپی عملکرد دانه است. فرشادفر و همکاران (۱۰) سهم نسبی وزن هزار دانه ($V_3$) در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بیشتر از سهم نسبی تعداد سنبله در بوته ($V_1$) و تعداد دانه در سنبله ($V_2$) در گندم نان بیان کرد. عسگری‌نیا و همکاران (۳) در بررسی اجزای محیطی در ارقام مختلف گندم بیان کردند که مراحل تشکیل دانه حساس‌ترین مراحل رشد ارقام به عوامل محیطی بودند. از طرفی جزء ژنوتیپی وزن دانه به‌عنوان مهم‌ترین جزء تأثیرگذار بر عملکرد دانه و پایداری بود همچنین بیان کردند در ارقام ناپایدار بیشترین سهم اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ناشی از تعداد سنبله در واحد سطح است. محمدی و همکاران (۲۶) با بررسی سهم اجزاء ژنوتیپی $V_1$ (تعداد روز تا گل‌دهی)، $V_2$ (تعداد روز تا رسیدگی)، $V_3$ (ارتفاع بوته) و $V_4$ (صفت وزن هزار دانه) در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان دادند که عملکرد دانه بالاتر با وزن دانه بیشتر ($V_4$) مرتبط است که ناشی از گل‌دهی زودتر ($V_1$) است و بنابراین برای بهبود پتانسیل عملکرد گندم دوروم در شرایط مناطق کوهستانی دیم ایران باید بر این صفت تأکید بیشتری شود. فرشادفر (۱۱) با استفاده تجزیه مسیر سازگاری بر روی شاخص‌های حساسیت به خشکی نشان داد که بیشتر QTLهای کنترل‌کننده تحمل و یا حساسیت به خشکی در جو روی کروموزوم‌های 3H و 6H قرار دارند. در تحقیقی دیگر با استفاده از این روش مشخص شد که تعداد دانه در غلاف بیشترین نقش را در پایداری فنوتیپی عملکرد دانه در نخود دارد (۱۳).

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

با توجه به اینکه $r_1$ سهم تعداد روز تا گل‌دهی، $r_2$ سهم تعداد روز تا رسیدگی، $r_3$ سهم ارتفاع بوته و $r_4$ سهم وزن هزار دانه در محیط است. هر قدر مقدار r برای صفتی بیشتر باشد یعنی آن صفت بیشتر تحت‌تأثیر محیط قرار گرفته و پایداری کمتری دارد. برآورد چهار جزء محیطی $r_1$، $r_2$، $r_3$ و $r_4$ در ده محیط در جدول ۸ نشان داده شده است. اجزاء محیطی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد که در همه محیط‌ها مقدار $r_2$ از سایر اجزای محیطی بیشتر است. بنابراین تعداد روز تا رسیدگی بیشتر تحت‌تأثیر محیط قرار گرفته و پایداری کمتری دارد و نشان‌داد که در مناطق گرم و خشک بیشترین حساسیت محیطی در مرحله رسیدگی است و هر گونه تنش در این مرحله می‌تواند باعث کاهش عملکرد دانه به‌مقدار قابل توجهی گردد. در مجموع، یک روند مشخصی بین اجزاء محیطی $r_1$، $r_2$، $r_3$ و$r_4$ و مناطق گرم خشک جنوب و مناطق گرم شمال مشاهده نشد تنها در مناطق گرم شمال بیشترین مقدار جزء $r_2$ را نسبت به مناطق گرم جنوب (به جزء Ah2) مشاهده شد. این موضوع اهمیت تعداد روز تا رسیدگی را برای فرار خشکی و گرمای انتهای فصل نشان می‌دهد. محمدی و همکاران (۲۶) بیان کردند دو جزء محیطی $r_1$ و $r_3$ بیشترین مقدار قدرمطلق را نسبت به $r_2$ و $r_4$ در بیشتر محیط‌های دیم مورد بررسی داشتند و در کل اجزاء محیط روند مشخص را که نشان از ارتباط با تنش‌های محیطی باشد را نشان ندادند. در مجموع جزء $r_3$ بیشترین تأثیر را روی بهبود عملکرد دانه داشت. نتایج همبستگی بین اجزاء محیطی و میانگین عملکرد دانه در جدول ۹ نشان داده شده است. نتایج نشان‌داد که همبستگی مثبت بالایی بین جزء $r_1$ با جزء $r_3$ (۰/۸۹۰$^{**}$) مشاهده شد که نشان از روند مثبت بین ارتفاع بوته و تاریخ گل‌دهی در محیط‌های مورد بررسی بود.

**نتیجه‌گیری کلی**

در مجموع نتایج نشان‌داد که براساس بیشتر روش‌های ناپارامتری (شاخص SIIG) ژنوتیپ‌های شماره‌ی G10، G18، G19، G16 و G15 جزء ژنوتیپ‌های پایدار و عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل بودند. ژنوتیپ‌های شماره‌ی G9 و G12 با کمترین مقدار SIIG و عملکرد پایین‌تر از متوسط کل جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در این تحقیق بودند. براساس نتایج اجزای ژنوتیپی ژنوتیپ شماره‌ی G20 (WB-94-3) بیشترین تحمل را نسبت به تغییرات محیطی داشت در حالی‌که ژنوتیپ‌های شماره‌ی G3 و G7 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش‌های محیطی بودند. با توجه به سهم بالای $V_2$ در ژنوتیپ‌های پرمحصول، بنابراین این ژنوتیپ‌ها حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات محیطی در مرحله رسیدگی دانه دارند و اگر چنان‌چه شرایط محیطی در انتهای فصل مساعد باشد و باعث طولانی‌تر شدن دوره پرشدن دانه در مناطق گرمسیر شود این ژنوتیپ‌ها پتانسیل عملکرد خوبی را از خود نشان خواهند داد. همبستگی مثبت شاخص SIIG با اجزاء $V_1$ و $V_4$ نشان داد که تعداد روز تا گل‌دهی و وزن هزار دانه نقش اصلی را در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط جو نسبت به سایر صفات در مناطق گرم دارند.

جدول ۶- میانگین عملکرد دانه و اجزاء ژنوتیپی ($V_1$، $V_2$، $V_3$ و $V_4$) اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای ۱۹ ژنوتیپ در ۱۰ محیط

Table 6. Mean grain yield and genotypic components of GE interaction ($V_1$, $V_2$, $V_3$ and $V_4$) for 19 genotypes across 10 environments

| شماره ژنوتیپ‌ها | کد ژنوتیپ‌ها | میانگین عملکرد | اجزای ژنوتیپی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $V_4$ |
| G2 | Auxin | ۵/۰۶ | -۰/۰۶۲ | ۰/۲۱۰ | -۰/۱۸۹ | ۰/۴۰۳ |
| G3 | WB-96-3 | ۴/۵۴ | -۰/۲۶۶ | ۰/۴۰۷ | -۰/۰۴۸ | ۰/۴۰۰ |
| G4 | WB-96-4 | ۴/۵۹ | ۰/۰۷۸ | ۰/۲۰۷ | ۰/۰۱۱ | ۰/۳۱۰ |
| G5 | WB-96-5 | ۴/۶۰ | ۰/۰۵۸ | ۰/۲۴۲ | -۰/۱۲۸ | ۰/۲۴۴ |
| G6 | WB-96-6 | ۴/۵۹ | ۰/۲۰۲ | ۰/۳۸۵ | ۰/۲۳۷ | ۰/۰۸۳ |
| G7 | WB-96-7 | ۴/۵۱ | -۰/۴۶۸ | ۰/۲۱۳ | ۰/۳۹۱ | ۰/۴۴۵ |
| G8 | WB-96-8 | ۴/۶۶ | -۰/۱۰۱ | ۰/۲۵۱ | ۰/۳۷۲ | ۰/۰۵۷ |
| G9 | WB-96-9 | ۴/۲۹ | -۰/۱۴۹ | ۰/۲۰۶ | ۰/۲۹۳ | ۰/۲۷۲ |
| G10 | WB-96-10 | ۵/۰۲ | ۰/۲۱۱ | ۰/۲۶۵ | ۰/۱۰۵ | ۰/۱۲۰ |
| G11 | WB-96-11 | ۴/۶۷ | ۰/۲۶۹ | ۰/۲۲۰ | -۰/۲۲۹ | ۰/۱۴۸ |
| G12 | WB-96-12 | ۴/۴۶ | ۰/۰۸۷ | ۰/۳۱۶ | -۰/۰۶۶ | ۰/۲۹۲ |
| G13 | WB-96-13 | ۴/۵۵ | -۰/۰۷۴ | ۰/۲۵۷ | ۰/۲۶۷ | ۰/۰۰۷ |
| G14 | WB-96-14 | ۴/۴۸ | -۰/۱۲۱ | ۰/۱۷۸ | ۰/۰۷۳ | ۰/۱۹۳ |
| G15 | WB-96-15 | ۴/۸۴ | -۰/۰۳۸ | ۰/۱۶۶ | ۰/۲۵۱ | ۰/۰۲۲ |
| G16 | WB-96-16 | ۴/۷۹ | ۰/۰۷۶ | ۰/۲۱۱ | ۰/۰۳۴ | ۰/۲۲۵ |
| G17 | WB-96-17 | ۴/۹۰ | -۰/۲۳۸ | ۰/۱۳۲ | -۰/۰۶۸ | -۰/۰۴۲ |
| G18 | WB-96-18 | ۵/۰۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۲۹۷ | ۰/۲۰۷ | ۰/۱۵۱ |
| G19 | WB-96-19 | ۴/۹۷ | ۰/۱۵۵ | ۰/۲۸۷ | ۰/۴۸۳ | ۰/۰۹۴ |
| G20 | WB-94-3 | ۴/۸۷ | ۰/۰۱۹ | ۰/۱۰۵ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۶۸ |
| میانگین | | ۴/۷۰ | -۰/۰۱۵ | ۰/۲۴۰ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۸۴ |

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

جدول ۷- ضریب همبستگی پیرسون بین اجزاء ژنوتیپی میانگین عملکرد دانه و شاخص SIIG

Table 7. Pearson correlation coefficients between genotypic components of mean grain yield and SIIG index

| | میانگین عملکرد | اجزاء ژنوتیپی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $V_4$ |
| $V_1$ | ۰/۱۱۹ | | | | |
| $V_2$ | ۰/۲۱۷ | ۰/۳۶۲ | | | |
| $V_3$ | -۰/۳۰۲ | -۰/۱۷۲ | ۰/۱۳۰ | | |
| $V_4$ | ۰/۱۷۷ | -۰/۱۴۹ | ۰/۱۵۶ | -۰/۲۴۶ | |
| SIIG | ۰/۶۶۰ | ۰/۳۲۲ | ۰/۲۱۴ | -۰/۰۹۱ | ۰/۳۲۰ |

جدول ۸- صفات مورفو-فنولوژیک و اجزاء محیطی ($r_1$، $r_2$، $r_3$ و $r_4$) اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ۱۰ محیط مورد بررسی

Table 8. Morpho-phenological traits and environmental components of GE interaction for 10 test environments

| کد محیط‌ها | محیط‌ها | صفات مورفولوژیک | | | | | اجزای محیطی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DHE | DMA | PLH | TKW | YLD | $r_1$ | $r_2$ | $r_3$ | $r_4$ |
| Ah1 | اهواز سال اول | ۹۴ | ۱۴۰ | ۷۸ | ۳۷ | ۲۴۷۱ | -۱/۷۲ | ۱۲/۶۲ | -۰/۲۹ | ۰/۹۳ |
| Ah2 | اهواز سال دوم | ۱۰۳ | ۱۴۸ | ۹۸ | ۴۴ | ۳۹۵۶ | -۱/۴۰ | ۲۲/۴۰ | -۰/۰۳ | ۲/۰۰ |
| Da1 | داراب سال اول | ۱۰۵ | ۱۴۲ | ۹۴ | ۴۴ | ۴۰۹۴ | -۱/۷۷ | ۱۵/۵۶ | -۰/۶۰ | ۰/۱۲ |
| Da2 | داراب سال دوم | ۱۰۴ | ۱۴۱ | ۱۱۰ | ۴۲ | ۴۰۷۲ | -۱/۴۳ | ۱۵/۱۹ | ۰/۷۹ | -۰/۲۹ |
| Za1 | زابل سال اول | ۱۰۹ | ۱۴۳ | ۸۳ | ۳۷ | ۳۶۲۴ | -۲/۹۹ | ۱۴/۴۱ | -۰/۸۲ | -۰/۶۹ |
| Za2 | زابل سال دوم | ۱۰۷ | ۱۳۶ | ۷۸ | ۳۹ | ۴۱۷۴ | -۰/۹۴ | ۱۳/۴۲ | ۰/۳۹ | ۲/۸۷ |
| Go1 | گنبد سال اول | ۱۲۳ | ۱۶۱ | ۹۳ | ۴۲ | ۴۷۴۷ | ۳/۳۳ | ۱۷/۱۶ | ۰/۴۲ | ۰/۹۳ |
| Go2 | گنبد سال دوم | ۱۱۸ | ۱۵۹ | ۱۰۶ | ۳۸ | ۴۷۰۸ | -۰/۲۰ | ۱۸/۹۴ | ۱/۰۱ | -۱/۷۳ |
| Mo1 | مغان سال اول | ۱۰۴ | ۱۵۶ | ۱۰۵ | ۴۴ | ۵۵۳۱ | -۰/۵۷ | ۱۹/۵۸ | ۰/۳۴ | ۲/۱۲ |
| Mo2 | مغان سال دوم | ۱۰۳ | ۱۴۹ | ۹۸ | ۴۴ | ۶۳۲۱ | -۱/۴۴ | ۲۲/۴۸ | -۰/۰۳ | ۲/۰۷ |

$r_1$، $r_2$، $r_3$ و $r_4$ به‌ترتیب اجزای محیطی تاثیرگذار بر صفات تعداد روز تا گل‌دهی (DHE)، تعداد روز تا رسیدگی (DMA)، ارتفاع بوته (PLH) و وزن هزاردانه (TKW) می‌باشد.

جدول ۹- ضریب همبستگی پیرسون بین اجزاء محیطی و میانگین عملکرد دانه

Table 9. Pearson correlation coefficients between environmental components and grain yield mean

| | $r_1$ | $r_2$ | $r_3$ | $r_4$ |
|---|---|---|---|---|
| $r_2$ | ۰/۲۹۳ | | | |
| $r_3$ | ۰/۸۹۰* | ۰/۱۸۳ | | |
| $r_4$ | ۰/۱۴۶ | ۰/۱۵۹ | ۰/۰۷۳ | |
| میانگین عملکرد | -۰/۱۱۳ | ۰/۳۱۴ | ۰/۱۱۹ | -۰/۲۴۱ |

r1، r2، r3 و r4 به‌ترتیب اجزای محیطی تاثیرگذار بر صفات تعداد روز تا گل‌دهی (DHE)، تعداد روز تا رسیدگی (DMA)، ارتفاع بوته (PLH) و وزن هزاردانه (TKW) می‌باشد.

## منابع


1. Abdipour, M., B. Vaezi, M. Younessi-Hamzekhanlu, S.H. R.Ramazani. 2017. Nonparametric phenotypic stability analysis in advanced barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. Journal of Crop Science and Biotechnology, 20(4): 305-314.
2. Akbarpour, O.A., H. Dehghani, B. Sorkheh Lalelu and M.S. Kang. 2016. A SAS macro for computing statistical tests for two-way table and stability indices of nonparametric method from genotype-by-environment interaction. Acta Scientiarum Agronomy, 38(1): 35-50.
3. Askarinia, P., G. Saeidi and A. Rezai. 2008. Assessment genotype × environment interaction in ten wheat cultivars with regression and path coefficient analysis. Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding, 1(1): 64-81 (In Persian).
4. Bredenkamp, J. 1974. Nonparametrische prüfung von wechselwirkungen. Psychologische Beiträge, 16: 398-416.
5. De Kroon, J.P.M. and P. Van der Laan. 1981. Distribution-free test procedures in two-way layouts: a concept of crossover-interaction. Statistica Neerlandica, 35: 189-213.
6. Ebadi Segherloo, A., S.H. Sabaghpour, H. Dehghani and M. Kamrani. 2008. Non-parametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Euphytica, 162: 221-229.
7. Ehdaei, B., M.R. Shakiba and J.G. Waines. 1999. Path analysis of genotype x environment interactions of wheats to nitrogen. Agronomie, 19: 45-56.
8. Esmaeilzadeh Moghaddam, M., S. Tahmasebi, G.A.L.A. Ayeneh, H. Akbari Moghadam, K. Mahmoudi, M. Sayyahfar, S.M. Tabib Ghaffari and H. Zali. 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. Cereal Research, 8(3): 333-344 (In Persian).
9. FAO. 2019. Statistical data. WWW. Fao. org/faostat.
10. Farshadfar, E., V. Rasoli, R. Mohhamadi and Z. Veusi. 2012. Path analysis of phenotypeic stability and drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Plant Breeding, 6(2): 106-112.
11. Farshadfar, E. 2013. Path analysis of genotype × environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. Acta Agronomica Hungarica, 61(4): 255-266.


[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

12. Farshadfar, E., S.H. Sabaghpour and H. Zali. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. Australian Journal of Crop Science, 6(3): 514-524.
13. Farshadfar, E., E. Mahtabi and M.M. Jowkar. 2017. Evaluation of genotype × environment interaction in chickpea genotypes using path analysis. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 5(4): 168-173.
14. Ferreira, J.R., J.F. Pereira, C. Turchetto, E. Minella, L. Consoli and C.A. Delatorre. 2016. Assessment of genetic diversity in Brazilian barley using SSR markers. Genetics and Molecular Biology, 39(1): 86-96.
15. Grafius, J.E. and R.L. Thomas. 1971. The case for indirect genetic control of sequential traits and the strategy of deployment of environmental resources by the palm. Heredity, 27: 433-442.
16. Hildebrand, H. 1980. Asymptotisch verteilungsfreie Rangtests in linearen Modellen. Medizinische Informatik und Statistik, 17: 344-349.
17. Huehn, V. M. 1990. Non-parametric measures of phenotypic stability. Part I: Theory. Euphytica, 47: 189-194.
18. Jamshidimoghaddam, M. and S.S. Pourdad. 2013. Evaluation of seed yield adaptability of spring safflower genotypes using nonparametric parameters and GGE biplot method in rain-fed conditions. Seed and Plant Improvement Journal, 19(1): 45-63 (In Persian).
19. Khalili, M. and A. Pour-Aboughadareh. 2016. Parametric and non-parametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. Journal of Agricultural and Science Technology, 18: 789-803.
20. Karimizadeh, R., M. Safikhani, M. Mohammadi, F. Seyyedi, A. Mahmoodi and B. Rostami. 2008. Determining rank and stability of lentil in rainfed condition by nonparametric statistics. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 43(1): 93-103 (In Persian).
21. Kaya, Y. and S. Taner. 2003. Estimating genotypic ranks by nonparametric stability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Central European Agriculture, 4(1): 47-53.
22. Lynch, D.R. and G.C.C. Tai. 1989. Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. Crop Science, 29: 1207-1207.
23. Moghaddam, M.J. and S.S. Pourdad. 2009. Comparison of parametric and nonparametric methods for analysing genotype× environment interactions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agricultural Science, Cambridge, 147: 601-612.
24. Mohammadi, R., A. Abdulahi, R. Haghparast and M. Armion. 2007. Interpreting genotype× environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. Euphytica, 157: 239-251.
25. Mohammadi, R. and A. Amri. 2008. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. Euphytica, 159(3): 419-432.
26. Mohammadi, R., E. Farshadfar and A. Amri. 2016. Path analysis of genotype× environment interactions in rainfed durum wheat, Plant Production Science, 19(1): 43-50.
27. Mahtabi, E., E. Farshadfar and M.M. Jowkar. 2014. Stability analysis of yield components in chickpea genotypes. Agricultural Communications, 2(4): 1-8.
28. Najafi Mirak, T., M. Dastfal, B. Andarzian, H. Farzadi, M. Bahari and H. Zali. 2018. Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). Iranian Journal of Crop Sciences, 19(2): 126-138 (In Persian).
29. Nassar, R. and M. Huehn. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for non-parametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45-53.
30. Pour-Aboughadareh, A., M. Yousefian, H. Moradkhani, P. Poczai, and K. H. M. Siddique. 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Applications in Plant Sciences, 7(1): 1-6.
31. Oraki, A., M.R. Siahpoosh, A. Rahnama and I. Lakzadeh. 2016. The effects of terminal heat stress on yield, yield components and some morpho-phenological traits of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) in Ahvaz weather conditions. Iranian Journal of Filed Crop Science, 47(1): 29-41 (In Persian).
32. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S.H. Sabaghpour. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. Crop Science, 46: 1100-1106.
33. Soughi, H.A., N.A. Babaeian Jelodar, G.A. Ranjbar and M. Hadi Pahlevani. 2016. Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. Journal of Crop Breeding, 8(18): 119-125 (In Persian).
34. Tai, G.C.C. 1979. Analysis of genotype-environment interaction of potato yield. Crop Science, 19: 434-438.
35. Tai, G.C.C., D. Levy and W.K. Coleman. 1994. Path analysis of genotype-environment interactions of potatoes exposed to increasing warm-climate constraints. Euphytica, 75: 49-61.
36. Temesgen, T., G. Keneni, T. Sefera and M. Jarso. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. The Crop Journal, 3: 258-268.

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

37. 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.
38. Thomas, R.C., J.E. Grafius and S.K. Hahn. 1971. Stress: An analysis of its source and influence. Heredity, 27: 423-432.
39. Vaezi, B., A. Pour-Aboughadareh, A. Mehraban, T. Hossein-Pour, R. Mohammadi, M. Armion and M. Dorri. 2017. The use of parametric and non-parametric measures for selecting stable and adapted barley lines. Archives of Agronomy and Soil Science, 64(5): 597-611.
40. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asgharii and S.M. Hoseini. 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. Biological Forum – An International Journal, 7(2): 703-711.
41. Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. Journal of Crop Breeding, 8(20): 77-90 (In Persian).
42. Zali, H. and A. Barati. 2020. Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. Journal of Crop Breeding, 12(34): 93-104 (In Persian).
43. Zarei, L., E. Farshadfar, R. Haghparast, R. Rajabi, M. Mohammadi Sarab Badieh and H. Zali. 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).

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]
[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]

# Path Analysis of Genotype× Environment Interaction and Evaluation of Grain Yield Stability of Barley Promising Lines in Warm Zones

**Ali Barati[1], Hassan Zali[2], Iraj Lakzadeh[3], Shirali Koohkan[4], Jabbar Jafarby[5], Mehdi Jabari[2], Arash Hosseinpour[6], Akbar Marzoghiyan[3], Ahmad Gholipour[5], Omid Poodineh[4] and Masoome Kheirgo[5]**

1- Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2- Assistant Prof. and Res. Instructor, Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran (Corresponding author: Hzali90@yahoo.com)

3- Res. Instructor and Assistant Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

4- Assistant Prof. and Res. Instructor, Crop and Horticultural Science Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran

5- Assistant Prof. and Res. Instructor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran

6- Assistant Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran

Received: April 17, 2021 Accepted: May 19, 2021

## Abstract

Evaluation of genotypes under multiple environments is the prerequisite for the development of stable and superior genotypes for sustainable barley production in different environmental conditions. In order to evaluate the yield stability and determine the portion of different morpho-phonologic traits in the interaction of genotype × environment in promising barley lines, 17 barley promising lines with three checks including Nimrooze/Sahra and Auxin cultivars and WB-94-3 line) were evaluated in two years (2017 – 2019) using RCBD with three replications in five stations of warm zone including Ahvaz, Darab, Zabol, Gonbad and Moghan. Stability analysis was performed using different nonparametric methods. The results of the nonparametric methods were integrated using selction index of ideal genotype (SIIG). The morpho-phonologic data were analyzed by path analysis model which is composed of a main effect and four multiplicative effects. The flowering time ($X_1$), maturity time ($X_2$), plant height ($X_3$), and 1000-kernel weight ($X_4$) were assumed to be sequential characters to justify grain yield productivity (Y) in barley. The results of analysis of variance of grain yield using parametric and non-parametric methods showed that the effect of genotype, environment and genotype × environment interaction was significant at the level of 1% probability. The results showed that based on the nonparametric methods (SIIG index), lines no. G10, G18, G19, G16 and G15 were stable lines and higher than average grain yield. The positive correlation of SIIG with genotypic components of flowering time ($V_1$) and 1000-kernal weight ($V_4$) indicated that the 1000-kernal weight and flowering time are the main contributor towards GE interaction for grain yield in warm zone barley.

**Keywords:** Nonparametric methods, SIIG index, Stability analysis

[ Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2024-04-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.22286128.1400.13.38.20.8 ]

[ DOI: 10.52547/jcb.13.38.179 ]