

## Interaction effects of genotype × environment using path analysis and mixed models in barley superior lines

Ali Barati<sup>1</sup>, Hassan Zali<sup>\*2</sup>, Alireza Pour-Aboughadareh<sup>1</sup>, Ahmad Gholipour<sup>3</sup>, Shirali Koohkan<sup>4</sup>, Kamal Shahbazi Homounlo<sup>5</sup>, Akbar Marzoghiyan<sup>6</sup>, Mehdi Jabari<sup>2</sup>, Omid Poodineh<sup>4</sup> and Masoome Kheirgo<sup>5</sup>

1. Seed and Plant Improvement Department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj,
2. Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab,
3. Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad,
4. Crop and Horticultural Science Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol,
5. Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan,
6. and Horticultural Science Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz,

(Received: - Accepted:)

### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the yield stability and determine the portion of some morpho-phonological traits in the GEI effect in barley. For this purpose, 20 barley genotypes were investigated at five tropical research stations of Iran during the 2018-2020 cropping seasons in a RCBD with three replications. Stability analysis was performed using two set of stability models including parametric statistics and REML/BLUP-based statistics. The results of parametric were pooled in genotype SIIG as a unique stability index. Morpho-phonological data were analyzed using the path analysis. The days-to heading ( $X_1$ ) and maturity ( $X_2$ ), plant height ( $X_3$ ), and 1000-kernels weight ( $X_4$ ) were considered to be sequential traits for the development of grain yield productivity ( $Y$ ). Based on the results, G6, G2, G3, G5, G13, G17, G11, G12 and G14 genotypes with greater grain yield than average grain yields and high values of stability statistics were identified as desirable genotypes in terms of yield performance and stability. Furthermore, three BLUP-based statistics, HMGV, RPGV and HMRPGV, recognized G20, G6, G2, G3, G11, G12 and G17 genotypes as the high-yielding and stable genotypes. In total, G6, G3 and G11 lines, which were superior in both methods, were selected. The results of path analysis revealed that DHE has a positive relationship with grain yield; therefore more emphasis should be placed on selection based on later spike emergence to improve the yield potential of barley in warm regions of Iran.

**Keywords:** BLUP, morpho-phonological traits, REML, SIIG index, stability analysis.

### بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده تجزیه مسیر و مدل های مخلوط در لاین های برتر جو

علی براتی<sup>۱</sup>، حسن زالی<sup>\*۲</sup>، علیرضا پورابوقداره<sup>۱</sup>، احمد قلی پور<sup>۳</sup>، شیرعلی کوهکن<sup>۴</sup>، کمال شهبازی هومونلو<sup>۵</sup>، اکبر مرزوقیان<sup>۶</sup>، مهدی جباری<sup>۲</sup>، امید پودینه<sup>۴</sup> و معصومه خیرگو<sup>۵</sup>

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ۲- استادیار و مربی پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ۳- مربی پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ۴- استادیار و مربی پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ۶- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۶)

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی پایداری عملکرد و تعیین سهم برخی از صفات مورفو-فنولوژیکی در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در جو انجام شد. به همین منظور، ۲۰ ژنوتیپ طی دو سال زراعی ۹۹ - ۱۳۹۷ در پنج ایستگاه تحقیقاتی واقع در مناطق گرم کشور در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه پایداری با استفاده از دو مجموعه از آماره های پارامتری و پارامترهای مبتنی بر روش REML/BLUP انجام شد. نتایج روش های پارامتری با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG) ادغام شدند و داده های مورفو-فنولوژیکی با استفاده از مدل تجزیه مسیر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. زمان ظهور سنبله و رسیدگی، ارتفاع بوته و وزن هزاردانه به عنوان مهم ترین صفات متوالی برای عملکرد دانه ( $Y$ ) در نظر

گرفته شدند. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که ژنوتیپ‌های شماره G12، G11، G17، G13، G5، G3، G2، G6، G12 و G11 با عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل، جزو ژنوتیپ‌های پایدار بودند. علاوه بر این، آماره‌های مبتنی بر مدل BLUP نیز ژنوتیپ‌های شماره G20، G2، G6، G11، G12، G17 و G3 را به عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری آن از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز نمودند. در کل، لاین‌های شماره G6، G3 و G11 که در هر دو روش برتر بودند انتخاب شدند. نتایج تجزیه مسیر صفات مختلف و عملکرد دانه نشان داد که زمان ظهور سنبله دارای ارتباط مثبتی با عملکرد دانه بود، به طوری که جهت بهبود پتانسیل عملکرد جو در مناطق گرم کشور، تأکید بر گزینش بر مبنای ظهور دیرتر سنبله ضروری به نظر می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** تجزیه پایداری، شاخص SIIG، صفات مورفو-فینولوژیک، BLUP، REML.

## مقدمه

جمله روش‌های تک‌متغیره پارامتری می‌باشند. از مهم‌ترین روش‌های چندمتغیره می‌توان به مدل AMMI (The additive main effect & multiplication interaction) (Gauch, 1992) و تجزیه گرافیکی GGE (Genotype + genotype  $\times$  environment) (Yan *et al.*, 2000) اشاره نمود. Temesgen *et al.* (2015) در بررسی پایداری ارقام لوبیا بیان داشتند که آماره‌های پارامتری  $S^2d_i$ ،  $CV_i$ ،  $b_i$ ،  $S_i^2$ ،  $W_i^2$  و  $\sigma_i^2$  روش‌های مناسبی برای بررسی عملکرد و پایداری می‌باشند و این آماره‌ها می‌توانند به عنوان یک ابزار کمکی در انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد متوسط و پایداری بالا به کار روند.

برای انتخاب ارقام پرمحصول با عملکرد پایدار، استفاده از یک روش به‌تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نشود، ولی با ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل افزایش می‌یابد. بر همین اساس می‌توان از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG; Selection index of ideal genotype) پیشنهاد شده توسط Zali *et al.* (2015) استفاده نمود. در این روش، انواع روش‌های مختلف تجزیه پایداری محاسبه و سپس در قالب یک آماره جدید ترکیب می‌شوند و می‌توان بر اساس آن، روند بهتری برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها ارائه داد.

اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط می‌تواند به دو بخش متقاطع یعنی عدم همبستگی کامل بین صفات در محیط‌های جفت و غیرمتقاطع به دلیل عدم تجانس واریانس ژنتیکی در محیط باشد. این دو بخش از مجموع مربعات دارای کای اسکور نیستند؛ بنابراین

جو (*Hordeum vulgare* L.) از نظر اهمیت اقتصادی پس از گندم، برنج و ذرت در مقام چهارم جهان قرار گرفته است و یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات است (Ferreira *et al.*, 2016). بر اساس آمار منتشره در سال ۲۰۱۹، میزان تولید جو در جهان حدود ۱۵۸/۹ میلیون تن و در ایران ۳/۶ میلیون تن بود (FAO, 2019). جو با درجه سازگاری وسیع‌تر ولی با ارزش اقتصادی کم‌تر، در مناطقی از نواحی خشک که بارندگی برای تولید گندم کافی نیست، می‌تواند جایگزین مناسبی برای گندم باشد (Zali & Barati, 2020). یکی از مواردی که عملکرد جو را تحت تأثیر قرار می‌دهد، واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مختلف است که این موضوع به اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط نسبت داده می‌شود. به همین دلیل، اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات می‌باشد که در توسعه و گسترش ارقام و لاین‌های اصلاح شده دارای اهمیت فراوان است (Farshadfar *et al.*, 2012).

محققین معیارهای متفاوتی را جهت بررسی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط و پایداری ارقام معرفی نموده‌اند. روش‌های تجزیه پایداری در دو گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند. آماره‌های واریانس محیطی ( $S_i^2$ ; Roemer, 1917)، ضریب تغییرات محیطی ( $CV_i$ ; Francis & Kannenberg, 1978)، اکووالانس ریک ( $W_i^2$ ; Wruck, 1962)، واریانس پایداری شوکلا ( $\sigma_i^2$ ; Shukla, 1972)، ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون ( $b_i$ ; Finlay & Wilkinson, 1963)، انحرافات از خط رگرسیون (Eberhart & Russel, 1966) ( $S^2d_i$ ) و ضریب تشخیص پینتوس ( $R_i^2$ ; Pinthus, 1973) از

اجزای عملکرد را ارائه دادند. Tai (1979) یک مدل آماری مبتنی بر رویکرد تجزیه و تحلیل مسیر رایت (Wright) را معرفی کرد که برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط عملکرد و اجزای آن برای مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در طیف وسیعی از محیط‌ها با موفقیت مورد استفاده قرار گرفت. 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  $Y = X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4$ ) و 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  $\times$  محیط در سیب زمینی تحت تنش آبی (Lynch & Tai, 1989) و شرایط تنش گرمایی (Tai et al., 1994) و در گندم تحت سطح مختلف ازت (Ehdaei et al., 1999) و در شرایط دیم (Mohammadi et al., 2016) استفاده شده است. هدف از این تحقیق، تعیین سهم تعدادی از صفات مختلف مورفو-فینولوژیک در اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط در لاین‌های امیدبخش جو و شناسایی لاین‌های دارای عملکرد اقتصادی و پایدار با استفاده از مجموعه‌ای از روش‌های پایداری بود. لاین‌های منتخب در این تحقیق می‌توانند به‌عنوان ارقام جدید جهت کشت در مناطق مختلف گرم و خشک جنوب و گرم و مرطوب شمال کشور معرفی شوند.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق و به‌منظور تجزیه پایداری عملکرد و تعدادی از صفات مورفو-فینولوژیک و همچنین تعیین سهم نسبی آن‌ها در اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط در مناطق 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-95-3 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 ۹۹-

آزمون مستقیم این دو محاسبه شدنی نیست، اما با استفاده از مدل‌های مخلوط (Mixed model) می‌توان هر یک از این اجزا را ارزیابی کرد (Yang, 2002). یکی از روش‌های مهمی که برای تجزیه داده‌های چند محیطی معرفی شده است، روش تجزیه با استفاده از حداکثر درست‌نمایی محدود شده (REML; Restricted maximum likelihood) است. در این روش، محدودیت تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات برای داده‌های نامتعادل و همچنین نامتجانس برطرف می‌شود (Holland, 2006). مدل‌های مخلوط مانند REML برای بدست آوردن اجزای واریانس و بهترین پیش‌بینی نا اریب خطی (BLUP; Best linear unbiased prediction) برای پیش‌بینی مقادیر ژنتیکی و اجزای واریانس استفاده می‌شوند (Resende, 2016).

روش REML/BLUP به‌واسطه در نظر گرفتن مقادیر ژنوتیپی (نه مقادیر فنوتیپی)، دقت بهتری در روند برنامه‌های اصلاحی ایجاد می‌کند و اجازه انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها را می‌دهد. همچنین این روش می‌تواند از طریق میانگین هارمونیک عملکرد نسبی ارزش ژنتیکی (MHPRVG-BLUP; Harmonic mean of the relative performance of predicted genetic values-BLUP) ژنوتیپ‌ها را بر اساس ارزش ژنتیکی ارزیابی نماید (Resende, 2004). آماره‌های میانگین هارمونیک ارزش ژنوتیپی (HMGV; Harmonic mean of genetic values) کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی (RPGV; Relative performance of genetic values) و HMRPGV به‌عنوان مهم‌ترین آماره‌های پایداری مبتنی بر مدل BLUP شناسایی شده‌اند. پیش از این Alipour et al. (2018) و Coan et al. (2018) با استفاده از این آماره‌ها قادر به شناسایی ارقام پایدار گندم شده‌اند.

تنش‌های محیطی که در طول رشد متوالی اجزای عملکرد ایجاد می‌شوند، ترکیبات اصلی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط عملکرد را تشکیل می‌دهند. چندین محقق (Thomas et al., 1971; Tai, 1979; Lynch & Tai, 1989; Tai et al., 1994; Ehdaei et al., 1999; Mohammadi et al., 2016) مفهوم روند رشد متوالی

۱۳۹۷ ارزیابی شدند.

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی طی سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۷

Table 1. Names and pedigrees of the investigated barley genotypes during the 2018-2020 cropping seasons

Code	Name	Pedigree
G1	Nimrooz (Sahra)	Trompillo (L.B.LRAN/Una8271//Glorias"s"Com)
G2	Auxin	Rojo/Sahra
G3	WB-97-3	Nadawa/Rhn-03/3/Lignee527/Rihane//Arar
G4	WB-97-4	Productive/Rihane-03//Nosrat/3/Rhn-03
G5	WB-97-5	CHAMICO/TOCTE//CONGONA/5/CIRU/3/AGAVE/SUMBARD400//MARCO/4/PETUNIA 1
G6	WB-97-6	CHAMICO/TOCTE//CONGONA/5/CIRU/3/AGAVE/SUMBARD400//MARCO/4/PETUNIA 1
G7	WB-97-7	Yousef 2*/6/BLS-3(Sadik-10=(3896/1-3/4/1246/1-3/3/3887/28//3892/1-3/5/Grivita))
G8	WB-97-8	Beecher-sell//Gloria"s"/Copal"s" Deir Alla 106//Hem/Bc/3/Rihane"s" /4/Rhn-03//L.527/NK1272/5/FAJR30
G9	WB-97-9	Yousef/1-BC-80152
G10	WB-97-10	LACEY/9/MOLA/BERMEJO//NISPERO/5/CM67-B/RYE//CAM-B/3/ROW906.73/4/GLORIA-COME/6/LINO/7/PINON/8/PETUNIA 1CBSS04B00140S-1M-0Y-0M-2Y-0M-0AP
G11	WB-97-11	Productive/Rihane-03//Nosrat/3/Rhn-03
G12	WB-97-12	111 F4 90-91((202 F3 89-90 (47 F2 88-89))
G13	WB-97-13	CHAMICO/TOCTE//CONGONA/3/fajr30
G14	WB-97-14	POA/HJO//QJINA/4/Lignee527/NK1272//JLB70-063/3/Barjouj
G15	WB-97-15	F6 ZABOL(92-93)
G16	WB-97-16	Productive/Rihane-03//Nosrat/3/Rhn-03
G17	WB-97-17	CHAMICO/TOCTE//CONGONA/5/CIRU/3/AGAVE/SUMBARD400//MARCO/4/PETUNIA 1
G18	WB-97-18	SD729/POR-B/3/APM/ATHS-B//GVA/4/ORE/5/BLLU/6/CIRU/7/Sahra/8/Rhn-03
G19	WB-97-19	Beecher-sell//Gloria"s"/Copal"s" /4/Karoon/Kavir/Rhodes"s"//Tb/Chzo/3/Gloria"s" /5/CANADA20
G20	WB-95-3	Dash//EBC(a)/Badia/3/Sahra

محیطی، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون فیئلی و ویلکینسون و انحرافات از خط رگرسیون و ضریب تشخیص پینتوس با استفاده از نرم‌افزار STABLITYSOFT محاسبه شد (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019). از آماره‌های مبتنی بر مدل مخلوط REML/BLUP شامل میانگین هارمونیک ارزش‌های ژنوتیپی (HMGV)، کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی (RPGV) و میانگین هارمونیک کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی (HMRPGV) (روابط ۱، ۲ و ۳) استفاده شد (Resende, 2004):

$$\text{HMGV}_i = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \text{GV}_{ij}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{RPGV}_i = \frac{\sum_{j=1}^n \text{GV}_{ij}}{nM_j} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{HMRPGV}_i = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\text{RPGV}_{ij}}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این روابط،  $n$ : تعداد محیط،  $\text{GV}_{ij}$ : ارزش ژنوتیپی ژنوتیپ  $i$  در محیط  $j$  که به‌عنوان نسبت میانگین در این محیط‌ها بیان می‌شود و  $M$ : میانگین عملکرد دانه در محیط  $j$  است. از روش  $\text{HMRPGV}_i$  برای انتخاب همزمان عملکرد و پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. در همه این روش‌ها، بیشترین مقدار، نشان دهنده ژنوتیپ پایدار است. علاوه بر این، تجزیه

شاهد اول (صحرا/نیمروز) در دو اقلیم شمال و جنوب مشترک نبود و فقط برای مقایسه لاین‌های جدید با رقم رایج منطقه استفاده شده بود و در نتیجه حذف و تجزیه‌ها با استفاده از نوزده ژنوتیپ انجام شد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی در اوایل آذر ماه در شش خط به طول شش متر و به‌فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر کشت و به‌صورت نشتی آبیاری شدند. میزان بذر مصرفی بر مبنای ۳۰۰ دانه در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر لاین یا رقم تعیین شد. در طول فصل زراعی، کلیه عملیات‌های زراعی مرسوم انجام شد و در طول دوره رشد، صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی و ارتفاع بوته اندازه‌گیری شدند. در زمان برداشت نیز عملکرد دانه و وزن هزار دانه هر یک از ژنوتیپ‌های مورد بررسی در واحد سطح محاسبه شد.

پس از جمع‌آوری داده‌های آزمایشی، ابتدا تجزیه واریانس ساده به‌طور جداگانه برای هر محیط (سال × مکان) صورت گرفت. سپس آزمون بارتلت به‌منظور بررسی یکنواختی خطاهای آزمایش محیط‌های مختلف انجام و پس از آن تجزیه واریانس مرکب انجام شد. هم‌چنین به‌منظور تجزیه پایداری عملکرد لاین‌ها، برخی از روش‌های پایداری مانند ضریب تغییرات

$a_2, a_3, \dots, a_{10}$  به ترتیب ضرایب مسیر بین  $X_1, X_2, X_3$  و  $X_4$  و  $Y$  (عملکرد دانه) می‌باشند.

در روش تایی، عملکرد ژنوتیپ  $i$  در محیط  $j$  به صورت رابطه ۵ نشان داده می‌شود:

$$Y_{ij} = \mu w_i + V_{1j}r_{1j} + V_{2j}r_{2j} + V_{3j}r_{3j} + V_{4j}r_{4j} + e_{ij} \quad (5)$$

در این رابطه، عملکرد یک ژنوتیپ در یک محیط  $(Y_{ij})$ ، حاصل اثر میانگین ژنوتیپ در محیط‌های مختلف  $(\mu w_i)$ ، چهار اثر ضرب‌پذیر، آثار متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط که به وسیله چهار جزو ژنوتیپی  $V_{1j}, V_{2j}, V_{3j}$  و  $V_{4j}$  نشان داده می‌شود می‌باشد.  $r_{1j}, r_{2j}, r_{3j}$  و  $r_{4j}$  چهار جزو محیطی و  $e_{ij}$  خطا می‌باشند. چهار جزو ژنوتیپی، نشان‌دهنده کارایی ژنوتیپ برای استفاده از اجزای محیطی در طول دوره رشد برای تشکیل عملکرد می‌باشند و هر یک از اجزای محیطی، بیانگر اهمیت نسبی آن عامل محیطی بر جزو عملکرد مربوطه است که در هر محیط ثابت می‌باشد. هرچه قدر مطلق  $r$  برای صفتی بیشتر باشد، یعنی آن صفت بیشتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد و ناپایدار است. در واقع از این روش برای تعیین این که کدام ژنوتیپ در کدام مرحله رشد بیشترین حساسیت را به عوامل محیطی دارد، استفاده می‌شود.

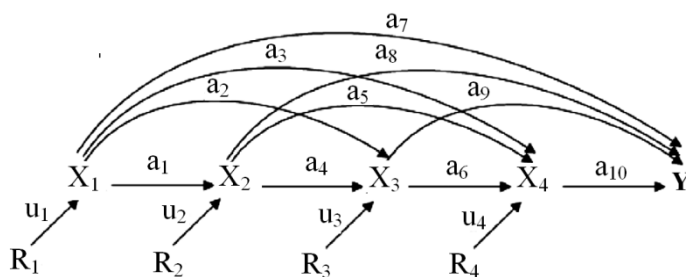
واریناس بر اساس مدل Eberhart & Russell (1966) جهت تشریح اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط انجام شد. تجزیه‌های فوق از طریق کنسول 'metan' و با استفاده از نرم‌افزار R محاسبه شدند (Olivoto et al., 2020).

برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری و افزایش کارایی انتخاب لاین‌های پایدار از روش SIIG (Zali et al., 2015) استفاده شد (رابطه ۴):

$$SIIG_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

که در آن،  $d_i^+$  فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و  $d_i^-$  فاصله از ژنوتیپ‌های ضعیف است.

در این تحقیق با استفاده از مدل Tai (1979) و تجزیه پایداری بر مبنای تجزیه ضرایب مسیر، سهم هر یک از صفات در اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط تعیین شد. در این مدل فرض بر آن است که ترتیب رشد صفات از  $X_1$  (تعداد روز تا ظهور سنبله) به  $X_2$  (تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی)، سپس به  $X_3$  (ارتفاع بوته) و در نهایت به  $X_4$  (وزن هزار دانه) می‌باشد. همچنین 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 شده است.  $u_1, u_2, u_3$  و  $u_4$  ضرایب به ترتیب از  $R_1$  به  $X_1, X_2$  به  $R_2, X_3$  به  $R_3, X_4$  و  $R_4$  به  $X_4$  و  $a_1$



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

Figure 1. Causality diagram showing the growth relationships among  $X_1$  (days to heading),  $X_2$  (days to physiological maturity),  $X_3$  (plant height),  $X_4$  (1000-kernals weight) and  $Y$  (grain yield) traits

نشده است) که نشان داد واریانس اشتباه آزمایش‌های جداگانه، غیریکنواخت است. با توجه به این که تبدیل داده‌ها منجر به از دست رفتن قسمتی از اطلاعات و نتیجه‌گیری نادرست در تجزیه پایداری می‌شود، از اینرو برخی از محققان آن را توصیه نمی‌کنند (Hugh

## نتایج و بحث

به منظور انجام آزمون بارلت، در ابتدا تجزیه واریانس ساده بر روی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر مکان انجام شد (نتایج نشان داده نشده است). این آزمون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (نتایج نشان داده

بیان کردند چون تبدیل داده‌ها منجر به از دست رفتن بخشی از اطلاعات می‌شود، از تبدیل داده‌ها استفاده نکردند. نتایج مشابهی توسط Zarei *et al.* 2012 گزارش شده است. تجزیه واریانس عملکرد دانه در ده محیط انجام شد و نتایج آن اختلاف معنی‌داری را برای اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط نشان داد (جدول ۲).

(Guch, 1988; Haider Shah *et al.*, 2009)؛ بنابراین در این تحقیق، تبدیل داده‌ها صورت نگرفت اما با این حال و به منظور تصمیم‌گیری درست در کنار روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس و تجزیه رگرسیون، از مدل‌های مخلوط (Resende, 2004) استفاده شد. بررسی تجزیه پایداری ارقام گندم نان مشاهده نمودند که آزمون بارتلت در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است، اما

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مختلف

Table 2. Combined variance analysis of barley genotypes grain yield in the different environments

S.O.V	df	Mean of squares
Env	9	58.37**
Rep (Env)	20	1.55**
Gen	18	4.39**
Gen $\times$ Env	162	1.049**
Error	360	0.449

در بین ژنوتیپ‌ها، بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های شماره G6 و G20 بود و در مقابل ژنوتیپ‌های شماره G7، G10، G19 و G7 کمترین مقدار عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. تفاوت عملکرد سایر ژنوتیپ‌ها با متوسط کل اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

با توجه به جدول تجزیه رگرسیون که بر مبنای روش ابره‌ه‌ارت و راسل محاسبه شده است (جدول ۴)، بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بر اساس این روش، مجموع انحرافات از رگرسیون معنی‌دار نشد که نزدیکی نقاط مربوط به عملکرد ژنوتیپ‌ها را در اطراف خط رگرسیون نشان می‌دهد و همه ژنوتیپ‌ها حول محور  $b = 1$  قرار گرفتند. از این‌رو، ژنوتیپ‌های شماره G11، G17 و G14 به علت داشتن کمترین میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون و ضریب رگرسیون نزدیک به یک ( $1 \sim bi$ ) (جدول ۵)، به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شدند؛ همچنین ژنوتیپ‌های منتخب دارای بالاترین ضریب تشخیص بودند. ژنوتیپ‌های شماره G15، G20، G17 و G19 نیز با داشتن بیشترین مقدار انحراف از خط رگرسیون و ضریب تشخیص پایین، جزو ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بودند. نتایج ضریب تغییرات ( $CV_i$ ) نشان داد که ژنوتیپ شماره G12 با کمترین مقدار

معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط در سطح یک درصد نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی در محیط‌های مختلف، عملکرد متفاوتی داشته‌اند؛ بنابراین لازم است با استفاده از روش‌های آماری، اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط تجزیه شود تا بتوان ژنوتیپ‌های پایدار را معرفی کرد.

مقایسه میانگین دو ساله با استفاده از آزمون LSD نشان داد که در ایستگاه اهواز، ژنوتیپ‌های شماره G12، G15، G14 و G3 با عملکردهای به ترتیب ۴/۳۷، ۴/۲۱، ۴/۱۲ و ۴ تن در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند. ژنوتیپ‌های شماره G6، G5، G16، G11، G4 و G3 به ترتیب با عملکردهای ۶/۲۷، ۵/۸۱، ۵/۸۰، ۵/۷۴، ۵/۷۳ و ۵/۵۲ تن در هکتار ژنوتیپ‌های برتر در داراب بودند. در زابل ژنوتیپ شماره G20 با عملکرد ۵/۶۶ تن در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت. ژنوتیپ‌های شماره G6 و G3 به ترتیب با عملکرد ۵/۷۴ و ۵/۶۲ تن در هکتار جزو ژنوتیپ‌های برتر در گنبد بودند. در مغان ژنوتیپ‌های شماره G17، G6، G13، G5 و G2 به ترتیب با عملکرد ۶/۲۸، ۶/۲۳، ۶/۲۱، ۶/۱۶ و ۶/۱۰ تن در هکتار بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داده بودند. بر اساس میانگین عملکرد دانه در پنج مکان، اغلب ژنوتیپ‌ها عملکرد بالاتری از متوسط عملکرد کل (۴/۵۶ تن در هکتار) نشان دادند.

ژنوتیپ‌های G11، G12، G14، G16، G17 و G13 جزو ژنوتیپ‌های پایدار بودند. از طرفی ژنوتیپ‌های G15، G19 و G8، G20 با توجه به داشتن بالاترین مقدار  $W_i^2$  و  $\sigma_i^2$  به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۵).

$CV_i$  جزو ژنوتیپ‌های پایدار بود و ژنوتیپ‌های شماره G4، G5، G6 و G7 با بیشترین مقدار  $CV_i$  جزو ژنوتیپ‌های ناپایدار از نظر عملکرد دانه نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بر اساس مقادیر پایین واریانس شوکلا ( $\sigma_i^2$ ) و اکووالانس ریک ( $W_i^2$ )،

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های جو در مکان‌های مختلف طی دو سال زراعی

Table 3. Mean comparison of barley genotypes grain yield in the different locations during two cropping years

Genotypes code	Ahvaz		Darab		Zabol		Gonbad		Moghan		Mean	
	(t ha <sup>-1</sup> )	Rank	(t ha <sup>-1</sup> )	Rank	(t ha <sup>-1</sup> )	Rank	(t ha <sup>-1</sup> )	Rank	(t ha <sup>-1</sup> )	Rank	(t ha <sup>-1</sup> )	Rank
G2	3.902	7	5.187	11	4.840	2	4.374	15	6.102	5	4.881	3
G3	4.009	4	5.524	6	3.477	15	5.619	2	5.402	10	4.806	5
G4	3.285	17	5.727	5	3.488	14	4.874	7	4.881	15	4.451	13
G5	3.679	13	5.809	2	4.000	5	4.418	12	6.162	4	4.813	4
G6	3.617	14	6.271	1	3.912	7	5.741	1	6.234	2	5.155	1
G7	2.983	18	4.336	16	3.134	19	3.664	19	4.748	17	3.773	18
G8	3.933	6	5.513	7	3.928	6	4.166	17	5.858	7	4.679	9
G9	3.393	16	5.353	10	3.400	16	4.648	9	5.285	12	4.416	14
G10	3.576	15	3.789	19	3.167	18	3.910	18	4.356	19	3.760	19
G11	3.722	12	5.740	4	3.701	11	5.116	5	5.361	11	4.728	7
G12	4.215	2	5.048	12	4.106	3	4.391	14	5.466	9	4.645	10
G13	3.890	8	4.982	13	3.868	8	4.804	8	6.211	3	4.751	6
G14	4.123	3	4.931	14	3.769	9	4.208	16	5.908	6	4.588	11
G15	4.373	1	3.962	18	3.706	10	5.144	4	4.718	18	4.381	15
G16	3.770	11	5.801	3	3.576	12	4.456	11	5.054	13	4.531	12
G17	3.802	10	5.391	9	3.572	13	4.531	10	6.285	1	4.716	8
G18	3.837	9	4.658	15	3.206	17	5.244	3	4.917	14	4.372	16
G19	2.546	19	4.299	17	4.019	4	4.394	13	4.792	16	4.010	17
G20	3.958	5	5.413	8	5.657	1	4.955	6	5.585	8	5.114	2
Mean	3.716		5.144		3.817		4.666		5.438		4.556	
MSE	0.739		0.638		0.773		0.441		0.705		0.449	
LSD <sub>0.05</sub>	0.851		0.735		0.889		0.508		0.811		0.340	
CV (%)	19.9		12.4		20.24		9.46		12.96		9.85	

MSE: میانگین مربعات خطا

MSE: Mean of squares error

$S_1^{(3)}$ ،  $S_1^{(6)}$ ،  $NP_1^{(2)}$ ،  $NP_1^{(3)}$ ،  $NP_1^{(4)}$  و TOP دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری بودند، ولی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل، در نظر گرفتن کلیه روش‌های آماری ضروری می‌باشد. Vaezi *et al.* (2019) در مطالعه دیگری جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار جو از مجموعه‌ای از آماره‌های پایداری و تحلیل گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GGE) استفاده کردند و بر اساس نتایج به‌دست آمده اظهار داشتند که ترکیب مدل‌های گرافیکی و آماره‌های پایداری مناسب‌ترین روش برای گزینش ارقام پایدار و برخوردار از بالاترین عملکرد دانه است.

در این راستا و به‌منظور انتخاب هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های جو از شاخص SIIG استفاده شد.

جهت شناسایی و گزینش ارقام و ژنوتیپ‌های پایدار در جو و سایر گیاهان زراعی، استفاده از انواعی از مدل‌های پایداری در بسیاری از مطالعات گزارش شده است. در یک مطالعه انجام شده توسط Vaezi *et al.* (2018) از مجموعه‌ای از آماره‌های پارامتری و ناپارامتری برای شناسایی ارقام پایدار جو استفاده شد و در نهایت این محققان گزارش کردند گزینش ژنوتیپ‌های پربازده و پایدار بایستی با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای پایداری صورت گیرد، زیرا بررسی پایداری ارقام تنها بر اساس یک مجموعه از آماره‌ها، ممکن است نتایج کاملاً منطقی ارائه ندهد. Khalili & Pour-Aboughadareh (2016) نیز در بررسی عملکرد و پایداری ۴۰ لاین دابل هاپلوئید جو اظهار داشتند که اگرچه در بین آماره‌های پایداری شاخص‌هایی همچون

جدول ۴- تجزیه واریانس پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو بر اساس مدل ابرهارت و راسل

Table 4. Variance analysis of grain yield stability in barley genotypes based on Eberhart and Russell's model

S.O.V	Df	Sum of squares	Mean of squares
Total	189	775	4.10
Gen	18	79.8	4.43**
Env + (Gen × Env)	171	696	4.07
Env (linear)	1	526	526
Gen × Env (linear)	18	24.3	1.35ns
Pooled deviation	152	146	0.958
G2	8		0.833ns
G3	8		0.997*
G4	8		0.963*
G5	8		0.585ns
G6	8		0.647ns
G7	8		0.784ns
G8	8		1.56**
G9	8		1.13**
G10	8		0.659ns
G11	8		0.513ns
G12	8		0.338ns
G13	8		0.640ns
G14	8		0.625ns
G15	8		2.15**
G16	8		0.604ns
G17	8		0.807ns
G18	8		1.15**
G19	8		1.18**
G20	8		0.659ns
Pooled error	380	161	0.425

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

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

جدول ۵- روش‌های مختلف تجزیه پایداری مبتنی بر روش‌های تجزیه واریانس و تجزیه رگرسیون به همراه شاخص SIIG در ۱۹ ژنوتیپ جو

Table 5. Different variance analysis and regression-based methods of stability along with SIIG index in the 19 barley genotypes

Genotypes code	Methods based on regression analysis			Methods based on variance analysis			SIIG	Rank
	S <sup>2</sup> d <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	R <sub>i</sub> <sup>2</sup>	CV <sub>i</sub>	W <sub>i</sub> <sup>2</sup>	σ <sub>i</sub> <sup>2</sup>		
G2	0.32	0.94	0.784	21.91	2.26	0.26	0.806	7
G3	0.38	1.05	0.793	24.83	2.68	0.31	0.734	11
G4	0.37	1.17	0.830	29.14	2.83	0.33	0.711	13
G5	0.22	1.41	0.921	30.85	3.10	0.36	0.732	12
G6	0.25	1.38	0.911	28.39	3.05	0.36	0.737	10
G7	0.30	1.20	0.863	34.58	2.46	0.28	0.743	9
G8	0.59	1.00	0.688	25.98	4.16	0.50	0.489	17
G9	0.43	1.03	0.763	26.90	3.02	0.35	0.673	14
G10	0.25	0.64	0.681	20.81	2.98	0.35	0.751	8
G11	0.19	1.01	0.872	23.08	1.36	0.15	0.925	2
G12	0.13	0.76	0.854	17.86	1.44	0.16	0.973	1
G13	0.24	1.22	0.889	27.49	2.14	0.24	0.833	5
G14	0.24	1.00	0.848	24.04	1.66	0.19	0.883	4
G15	0.82	0.56	0.338	22.41	7.48	0.91	0.127	19
G16	0.23	1.00	0.850	24.14	1.61	0.18	0.891	3
G17	0.31	1.07	0.830	25.18	2.20	0.25	0.808	6
G18	0.44	0.91	0.713	24.96	3.15	0.37	0.656	15
G19	0.45	0.83	0.667	25.53	3.42	0.40	0.621	16
G20	0.77	0.85	0.551	22.66	5.63	0.68	0.282	18

CV<sub>i</sub>: ضریب تغییرات، W<sub>i</sub><sup>2</sup>: اکووالانس ریک، σ<sub>i</sub><sup>2</sup>: واریانس شوکلا، S<sup>2</sup>d<sub>i</sub>: انحراف از رگرسیون، b<sub>i</sub>: ضریب رگرسیون، R<sub>i</sub><sup>2</sup>: ضریب تشخیص.CV<sub>i</sub>: coefficient of variation, W<sub>i</sub><sup>2</sup>: Wruck's equivalence, σ<sub>i</sub><sup>2</sup>: Shukla's variance, S<sup>2</sup>d<sub>i</sub>: deviation from regression, b<sub>i</sub>: regression coefficient, R<sub>i</sub><sup>2</sup>: detection coefficient.

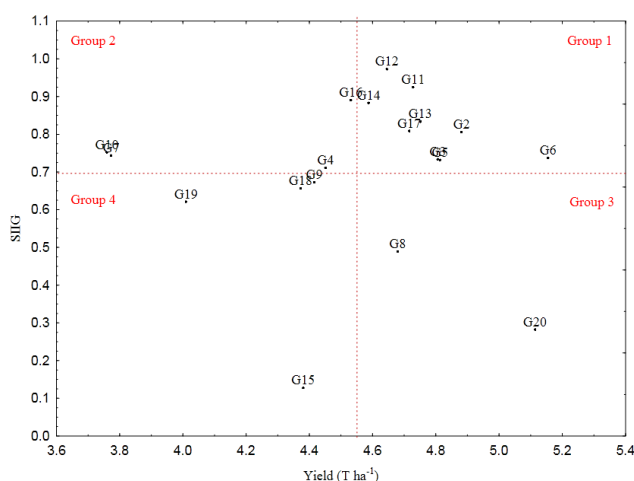
نشان دهنده مقدار SIIG است. نقطه چین افقی در این نمودار نشان‌دهنده میانگین SIIG است. از آنجا که میزان تغییرات SIIG بین صفر تا یک می‌باشد، هر چه SIIG به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده ایده‌آل‌تر

همان‌گونه که اشاره شد، این شاخص با انواع روش‌های پایداری، تأثیر مهمی در گزینش ارقام پایدار و پر بازده دارد. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، محور افقی نشان‌دهنده میانگین عملکرد دانه و محور قائم



G2، G11، G12، G14 و ژنوتیپ شاهد G2 (اکسین) جزو ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل بودند. ژنوتیپ G15 با کمترین مقدار SIIG و عملکرد پایین‌تر از متوسط کل، یکی از ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در این تحقیق بود.

بودن آن ژنوتیپ است (Zali et al., 2017). ژنوتیپ‌ها بر اساس شکل ۲ به چهار گروه تقسیم شدند؛ ژنوتیپ‌های گروه یک علاوه بر پایداری عملکرد بالا (برمبنای بیشتر روش‌های پارامتری تک متغیره جدول ۵)، دارای عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل هستند. بنابراین ژنوتیپ‌های G6، G3، G5، G13،



شکل ۲- پراکنش ۱۹ ژنوتیپ جو بر اساس عملکرد دانه و شاخص SIIG  
Figure 2. Distribution of 19 barley genotypes based on grain yield and SIIG index

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، عملکرد دانه (جدول ۲) و صفات مورد بررسی (نتایج نشان داده نشده است) از تجزیه مسیر و مدل‌های بیان شده جهت بررسی علت معنی‌دار بودن آن و سهم هر یک از صفات مورفوفنولوژیک در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده شد. در این روش،  $V_1$ : سهم تعداد روز تا ظهور سنبله،  $V_2$ : 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 ۷ آورده شده است. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف از نظر صفات مورد بررسی واکنش‌های پایداری متفاوتی نشان دادند. در واقع بزرگتر بودن مقدار جزء پایداری، نشان‌دهنده نقش بیشتر آن از جزء عملکرد در بیان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد، زیرا آن جزء پایداری در مرحله تکوینی خود اثر متقابل بیشتری با عوامل محیطی نشان داده است. نتایج نشان داد که مقدار  $V_1$  در ژنوتیپ‌های G2، G3، G4، G5، G6، G11، G12، G13، G14، G16 و G17 بیشتر از سایر اجزاء بود که

با توجه به ناهمگن بودن خطای آزمایشی (نتایج نشان داده نشده است) و به منظور انتخاب همزمان عملکرد و پایداری، از مدل‌های مخلوط استفاده شد. روش REML/BLUP با توجه به این‌که مقادیر ژنوتیپی را در نظر می‌گیرد و به علت دقت بالاتر در برنامه‌های اصلاحی، اجازه انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها را می‌دهد (Resende, 2004). به همین منظور از آماره‌های مبتنی بر مدل BLUP مانند HMGV، RPGV و HMRPGV در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری استفاده شد. در این روش‌ها ژنوتیپی پایدار است که بیشترین مقدار عددی را داشته باشد؛ بنابراین با توجه به هر سه آماره HMGV، RPGV و HMRPGV ژنوتیپ‌های G20، G6، G2، G3، G11، G12 و G17 با بیشترین مقدار از نظر پایداری و عملکرد دانه نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند. از طرفی ژنوتیپ‌های G7، G10، G19، G4، G18 و G9 با کمترین مقدار آماره های HMGV، RPGV و HMRPGV جزو ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و پایداری بودند (جدول ۶).

نشان داد تعداد روز تا ظهور سنبله اصلی ترین جزء در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط نسبت به سایر صفات مورد بررسی در این ژنوتیپ‌ها بوده است.

جدول ۶- آماره‌های مختلف پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در ۱۰ محیط بر مبنای مدل REML/BLUP  
Table 6. Different yield stability statistics of barley genotypes in 10 environments based on REML/BLUP model

Genotypes code	Methods based on Mixed model							
	HMGV	HMGV-R	RPGV	RPGV-Y	RPGV-R	HMRPGV	HMRPGV-Y	HMRPGV-R
G2	4.64	3	1.07	4.88	3	1.07	4.85	3
G3	4.50	4	1.05	4.78	4	1.04	4.75	4
G4	4.14	16	0.972	4.43	14	0.967	4.40	13
G5	4.41	10	1.04	4.74	5	1.03	4.71	5
G6	4.76	2	1.11	5.07	2	1.11	5.05	2
G7	3.51	19	0.833	3.80	19	0.824	3.76	19
G8	4.43	8	1.03	4.68	9	1.02	4.64	10
G9	4.18	14	0.971	4.42	15	0.966	4.40	14
G10	3.66	18	0.846	3.86	18	0.842	3.84	18
G11	4.48	5	1.04	4.72	6	1.03	4.71	6
G12	4.47	6	1.03	4.68	10	1.02	4.66	9
G13	4.43	9	1.03	4.71	7	1.03	4.69	7
G14	4.36	11	1.01	4.59	11	1.00	4.58	11
G15	4.23	13	0.977	4.45	13	0.964	4.39	15
G16	4.29	12	0.995	4.53	12	0.992	4.52	12
G17	4.46	7	1.03	4.70	8	1.03	4.69	8
G18	4.15	15	0.964	4.39	16	0.958	4.37	16
G19	3.77	17	0.889	4.05	17	0.880	4.01	17
G20	4.86	1	1.12	5.11	1	1.11	5.06	1
Mean	4.30		1.00	4.56		0.99	4.53	

HMGV: آماره‌های میانگین هارمونیک ارزش ژنوتیپی؛ RPGV: کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی؛ MHPRVG: میانگین هارمونیک عملکرد نسبی ارزش ژنتیکی؛ HMGV-R: رتبه HMGV-R؛ RPGV-Y: عملکرد تصحیح شده با RPGV؛ RPGV-R: رتبه RPGV؛ HMRPGV-Y: عملکرد تصحیح شده با HMRPGV؛ HMRPGV-R: رتبه HMRPGV.

HMGV: Harmonic mean of genetic values; RPGV: Relative performance of genetic values; MHPRVG: Harmonic mean of the relative performance of predicted genetic values; HMGV-R: Rank of HMGV-R; RPGV-Y: RPGV-corrected yield; RPGV-R: Rank of RPGV; HMRPGV-Y: HMRPGV-corrected yield; HMRPGV-R: Rank of HMRPGV.

ضریب همبستگی بین میانگین عملکرد دانه، واریانس پایداری و اجزای ژنوتیپی در جدول ۸ نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، همبستگی معنی-داری بین عملکرد دانه و واریانس پایداری وجود نداشت؛ بنابراین روند مثبتی بین عملکرد دانه بالا و پایداری عملکرد در بیشتر مواد ژنتیکی مورد بررسی مشاهده نشد. واریانس پایداری، همبستگی منفی با جزء  $V_1$  (۰/۵۴۹-) و همبستگی مثبت با جزء  $V_2$  (۰/۳۴۰) نشان داد. هرچه فاصله بین ظهور سنبله تا رسیدگی بیشتر باشد، پایداری رقم بیشتر است. همبستگی مثبت جزء  $V_1$  با عملکرد دانه نیز نشان از اهمیت ظهور سنبله در تولید عملکرد دانه تحت شرایط گرم دارد. در بررسی Mohammadi *et al.* (2016) همبستگی مثبت بین واریانس پایداری با جزء  $V_4$  نشان داد که وزن دانه، عامل اصلی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط برای عملکرد دانه در گندم دوروم در شرایط دیم است.

بیشتر بودن مقدار  $V_2$  در ژنوتیپ‌های G8، G10 و G15 نشان داد که صفت تعداد روز تا رسیدگی، بیشترین تأثیر را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط برای عملکرد دانه در این ژنوتیپ‌ها داشت. مطابق با همه اجزای ژنوتیپی ( $V_1$ ،  $V_2$ ،  $V_3$  و  $V_4$ )، ژنوتیپ‌های G10 و G12 بیشترین تحمل را نسبت به شرایط محیطی داشتند، در حالی که ژنوتیپ‌های G13، G19 و G14 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط محیطی بودند. در ارقام با عملکرد بالا نیز جزء  $V_1$  دارای سهم بیشتری در اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط نسبت به سایر اجزاء داشت (جدول ۷). این مطلب نشان‌دهنده آن است که ظهور سنبله، سهم بیشتری نسبت به سایر صفات در اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط در این تحقیق دارد. بنابراین ارقام پرمحصول، حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات محیطی در مرحله ظهور سنبله دارند و چنانچه شرایط محیطی در این زمان مساعد باشد، این ژنوتیپ‌ها پتانسیل عملکرد خوبی را از خود نشان خواهند داد.

جدول ۷- میانگین عملکرد دانه و اجزای ژنوتیپی ( $V_1, V_2, V_3, V_4$ ) اثر متقابل ژنوتیپ × محیط  
Table 7. Mean grain yield and genotypic components ( $V_1, V_2, V_3$  and  $V_4$ ) of GE interaction

Genotypes code	Genotypes name	Yield mean	Genotypic components of GE interaction			
			$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$
G2	Auxin	4.881	0.447	0.302	-0.452	0.358
G3	WB-97-3	4.806	0.843	0.412	0.104	0.629
G4	WB-97-4	4.451	0.720	0.542	0.450	0.318
G5	WB-97-5	4.813	0.771	0.403	0.313	0.628
G6	WB-97-6	5.155	1.044	0.226	0.533	0.284
G7	WB-97-7	3.773	0.721	0.117	-0.128	1.241
G8	WB-97-8	4.679	0.332	0.532	0.240	0.201
G9	WB-97-9	4.416	0.761	0.406	0.121	0.162
G10	WB-97-10	3.760	0.270	0.345	-0.089	0.264
G11	WB-97-11	4.728	0.728	0.371	-0.565	0.086
G12	WB-97-12	4.645	0.467	-0.028	-0.088	0.164
G13	WB-97-13	4.751	0.692	0.467	-0.208	1.998
G14	WB-97-14	4.588	0.826	-0.122	-1.344	-0.218
G15	WB-97-15	4.381	0.187	0.612	-0.286	-0.549
G16	WB-97-16	4.531	0.537	0.228	-0.356	1.100
G17	WB-97-17	4.716	0.932	0.277	-0.398	0.427
G18	WB-97-18	4.372	0.828	0.107	-0.221	-0.393
G19	WB-97-19	4.010	0.429	0.518	-0.350	1.322
G20	WB-94-3	5.114	0.260	-0.001	-0.630	0.966
<b>Mean</b>		<b>4.556</b>	<b>0.621</b>	<b>0.301</b>	<b>-0.177</b>	<b>0.473</b>

جدول ۸- ضریب همبستگی پیرسون بین اجزای ژنوتیپی میانگین عملکرد دانه و واریانس پایداری  
Table 8. Pearson's correlation coefficients among genotypic components of mean grain yield and stability variance

	Genotypic components of GE interaction				$G^2$
	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	
$V_2$	-0.193 <sup>ns</sup>				
$V_3$	0.167 <sup>ns</sup>	0.504 <sup>ns</sup>			
$V_4$	-0.001 <sup>ns</sup>	0.095 <sup>ns</sup>	0.059 <sup>ns</sup>		
$G^2$	-0.549 <sup>ns</sup>	0.340 <sup>ns</sup>	0.112 <sup>ns</sup>	-0.228 <sup>ns</sup>	
Yield	0.259 <sup>ns</sup>	-0.138 <sup>ns</sup>	0.035 <sup>ns</sup>	-0.039 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>

ns: عدم معنی داری.

ns: Non significant.

روش مشخص شد که تعداد دانه در غلاف، بیشترین نقش را در پایداری فنوتیپی عملکرد دانه در نخود دارد (Farshadfar *et al.*, 2017).

در این تحقیق،  $T_1$ : سهم تعداد روز تا ظهور سنبله،  $T_2$ : سهم تعداد روز تا رسیدگی،  $T_3$ : سهم ارتفاع بوته و  $T_4$ : سهم وزن هزار دانه در محیط است. هر قدر مقدار  $T$  برای صفی بیشتر باشد، یعنی آن صفت بیشتر تحت تأثیر محیط قرار گرفته است و پایداری کمتری دارد. برآورد چهار جزء محیطی  $T_1, T_2, T_3$  و  $T_4$  در ده محیط در جدول ۹ نشان داده شده است. اجزای محیطی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد که در همه محیط-ها، مقدار  $T_1$  و  $T_2$  از سایر اجزای محیطی بیشتر است؛ بنابراین صفات ظهور سنبله و رسیدگی بیشتر تحت تأثیر محیط قرار گرفته و پایداری کمتری دارند و نشان داد که در مناطق گرم و خشک، بیشترین حساسیت محیطی در مرحله ظهور سنبله و رسیدگی

Farshadfar (2013) با استفاده تجزیه مسیر سازگاری بر روی شاخص‌های حساسیت به خشکی نشان داد که بیشتر QTL‌های کنترل کننده تحمل و یا حساسیت به خشکی در جو روی کروموزوم‌های 3H و 6H قرار دارند. Mahtabi *et al.* (2014) در ژنوتیپ‌های نخود بیان کردند که جزء ژنوتیپی  $V_2$  (تعداد دانه در غلاف) مهم‌ترین جزء تأثیرگذار پایداری فنوتیپی عملکرد دانه است. Mohammadi *et al.* (2016) با بررسی سهم اجزای ژنوتیپی  $V_1$  (تعداد روز تا ظهور سنبله)،  $V_2$  (تعداد روز تا رسیدگی)،  $V_3$  (ارتفاع بوته) و  $V_4$  (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 ظهور سنبله زودتر ( $V_1$ ) است. بنابراین برای بهبود پتانسیل عملکرد گندم دوروم در شرایط مناطق کوهستانی دیم ایران باید بر این صفت تأکید بیشتری شود. در تحقیقی دیگر با استفاده از این

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 اجزای 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.

است و هر گونه تنش در این مراحل می‌تواند باعث کاهش عملکرد دانه به مقدار قابل توجهی شود. این موضوع اهمیت این دو صفت را برای فرار از خشکی و گرمای انتهای فصل نشان می‌دهد. در مجموع، یک روند مشخصی بین اجزای محیطی  $r_1$ ،  $r_2$ ،  $r_3$  و  $r_4$  و مناطق گرم خشک جنوب و مناطق گرم شمال مشاهده نشد. (Mohammadi *et al.* 2016) بیان کردند

جدول ۹- صفات فنولوژیک و مورفولوژیک به همراه اجزای محیطی ( $r_1$ ،  $r_2$ ،  $r_3$  و  $r_4$ ) اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط در ۱۰ محیط مورد بررسی

Table 9. Phonological and morphological traits and environmental components of GE interaction in the 10 environments

Env. code	Environments	Environmental components of GE interaction				Morphological traits				
		$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	DHE	DMA	PLH	TKW	Yield
Ah1	Ahvaz first year	3.805	2.261	-1.071	-0.209	81	112	84	33	2.879
Ah2	Ahvaz second year	5.851	3.01	-0.177	0.54	85	120	110	39	4.266
Da1	Darab first year	5.474	2.845	-1.22	1.059	77	106	78	40	4.408
Da2	Darab second year	5.957	4.423	-0.95	0.245	86	127	110	36	4.881
Za1	Zabol first year	7.451	4.519	-1.231	0.761	102	146	100	42	5.866
Za2	Zabol second year	5.098	4.728	-1.231	0.344	68	106	69	37	4.631
Go1	Gonbad first year	7.745	4.442	-0.627	0.7	82	120	101	38	5.869
Go2	Gonbad second year	2.538	4.096	-1.569	0.398	52	89	91	32	3.201
Mo1	Moghan first year	5.683	4.404	-0.439	0.214	87	130	110	39	4.526
Mo2	Moghan second year	6.169	3.827	-1	0.628	89	132	95	40	4.944
Mean						81	119	95	38	4.547

$r_1$ ،  $r_2$ ،  $r_3$  و  $r_4$ : به ترتیب اجزای محیطی تأثیرگذار بر صفات تعداد روز ظهور سنبله (DHE)، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (DPM)، ارتفاع بوته (PLH) و وزن هزاردانه (TKW) می‌باشد.

$r_1$ ،  $r_2$ ،  $r_3$  and  $r_4$ : Environmental components affecting the number of days to heading (DHE), number of days to physiological maturity (DPM), plant height (PLH) and 1000-kernal weight (TKW), respectively.

همچنین G6 تنها ژنوتیپی بود که نسبت به دو رقم شاهد دارای عملکرد و پایداری بالاتری بود. با توجه به هر سه آماره HMGV، RPGV و HMRPGV، ژنوتیپ‌های G20، G6، G2، G3، G11، G12 و G17 با بیشترین مقدار، جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه بودند. در کل لاین‌های G6، G3 و G11 که در هر دو روش برتر بودند، به‌عنوان لاین‌های امیدبخش برای تحقیقات تکمیلی انتخاب شدند. بر اساس نتایج اجزای ژنوتیپی، ژنوتیپ‌های G10 و G12 بیشترین تحمل را نسبت به شرایط محیطی داشتند، در حالی که ژنوتیپ‌های G13، G19 و G14 حساس-ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط محیطی بودند. با توجه به سهم بالای  $V_1$  در ژنوتیپ‌های پرمحصول، بنابراین این ژنوتیپ‌ها حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات محیطی در مرحله ظهور سنبله دارند و اگر چنانچه شرایط محیطی در طول دوره ظهور سنبله

نتایج همبستگی بین اجزای محیطی و میانگین عملکرد دانه در جدول ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت بین جزء  $r_1$  با جزء  $r_4$  (۰/۵۰۵) مشاهده شد که نشان از روند مثبت بین تاریخ ظهور سنبله و وزن هزار دانه در محیط‌های مورد بررسی داشت. همبستگی بالای جزء  $r_1$  با میانگین عملکرد دانه، نشان‌دهنده تأثیر تاریخ ظهور سنبله بر راندمان افزایش عملکرد دانه بود. البته همبستگی اجزای  $r_2$  و  $r_4$  با عملکرد دانه بالا بود، اما از نظر آماری معنی‌دار نشد که این نتایج اهمیت صفات ظهور سنبله، رسیدگی و وزن هزاردانه را در افزایش عملکرد دانه نشان می‌دهد.

در مجموع نتایج نشان داد که بر اساس بیشتر روش-های پارامتری (شاخص SIIG)، ژنوتیپ‌های G2، G6، G3، G5، G13، G17، G11 و G12 با عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل، جزء ژنوتیپ‌های پایدار بودند؛

از خود نشان خواهند داد. البته لازم به توضیح است  
 از خود نشان خواهند داد. البته لازم به توضیح است  
 که برای تعیین سهم صفات مختلف در اثر متقابل  
 ژنوتیپ  $\times$  محیط نیاز به تحقیقات بیشتر است.

جدول ۱۰- ضریب همبستگی پیرسون بین اجزای محیطی میانگین عملکرد دانه و واریانس پایداری

Table 10. Pearson's correlation coefficients among environmental components of mean yield and stability variance

	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>
r <sub>2</sub>	0.366			
r <sub>3</sub>	0.457	-0.092		
r <sub>4</sub>	0.505	0.132	-0.067	
Grain yield	0.939**	0.621	0.234	0.586

r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> و r<sub>4</sub>: به ترتیب اجزای محیطی تاثیرگذار بر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله (DHE)، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (DPM)، ارتفاع بوته (PLH) و وزن هزاردانه (TKW) می باشد.

\*\* معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> and r<sub>4</sub>: Environmental components affecting the number of days to heading (DHE), number of days to physiological maturity (DPM), plant height (PLH) and 1000-kernal weight (TKW), respectively.

\*\* Significant at 1% of probability level.

صفات مورد بررسی همکاری مفید و موثری داشته‌اند  
 تشکر و قدردانی می‌شود.

### سپاسگزاری

از همه همکاران مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع  
 طبیعی فارس که نسبت به اجرا و یادداشت‌برداری

## REFERENCES

- Alipour, H., Abdi, H., Rahimi, Y. & Bihanta, M. R. (2021). Genotype-by-year interaction for grain yield of Iranian wheat cultivars and its interpretation using Vrn and Ppd functional markers and environmental covariables. *Cereal Research Communications*, <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00130-8>.
- Coan, M. M. D., Marchioro, V. S., Franco, F. D. A., Pinto, R. J. B., Scapim, C. A. & Baldissera, J. N. C. (2018). Determination of genotypic stability and adaptability in wheat genotypes using mixed statistical models. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20, 1525-1540.
- Eberhart, S. A. & Russel, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.
- Ehdaei, B., Shakiba, M. R. & Waines, J. G. (1999). Path analysis of genotype x environment interactions of wheats to nitrogen. *Agronomie*, 19, 45-56.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Ayeneh, G. A. L. A., Akbari Moghadam, H., Mahmoudi, K., Sayyahfar, M., Tabib Ghaffari, S. M. & Zali, H. (2018). Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research*, 8(3), 333-344 (In Persian)
- FAO. (2019). Statistical data. [www.Fao.org/faostat](http://www.Fao.org/faostat).
- Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H. & Zali, H. (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.
- Farshadfar, E. (2013). Path analysis of genotype  $\times$  environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Acta Agronomica Hungarica*, 61(4), 255-266.
- Farshadfar, E., Mahtabi, E. & Jowkar, M. M. (2017). Evaluation of genotype  $\times$  environment interaction in chickpea genotypes using path analysis. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 5(4), 168-173.
- Ferreira, J. R., Pereira, J. F., Turchetto, C., Minella, E., Consoli, L. & Delatorre, C. A. (2016). Assessment of genetic diversity in Brazilian barley using SSR markers. *Genetics and molecular biology*, 39(1), 86-96.
- Finlay, K. W. & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in plant-breeding programs. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, 742-754.
- Francis, T. R. & Kannenberg, L. W. (1978). Yield stability studies in short-season maize. 1. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 58, 1029-1034.
- Gauch, H. G. (1992). Statistical analysis of regional trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 287p.

14. Haider Shah, S., Munavar Shah, S., Inayat Khan, M., Ahmed, M., Hussain, I., & Eskridge. (2009). Non parametric methods in combined heteroscedastic experiments for assessing stability of wheat genotypes in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 41, 711-730.
15. Holland, J. B. (2006). Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop Science*, 46, 642-654.
16. Hugh, G. & Gauch, G. H. (1988). Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 44, 705-715.
17. Khalili, M. & Pour-Aboughadareh, A. (2016). Parametric and Non-parametric Measures for Evaluating Yield Stability and Adaptability in Barley Doubled Haploid Lines. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(3), 789-803.
18. Lynch, D. R. & Tai, G. C. C. (1989). Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. *Crop Science*, 29, 1207-1207.
19. Mahtabi, E., Farshadfar, E. & Jowkar, M. M. (2014). Stability analysis of yield components in chickpea genotypes. *Agricultural Communications*, 2(4), 1-8.
20. Mohammadi, R., Farshadfar, E. & Amri, A. (2016). Path analysis of genotype  $\times$  environment interactions in rainfed durum wheat, *Plant Production Science*, 19(1), 43-50.
21. Mohammadi Nezhad, G. H. & Rezaei, A. (2007). Analysis of genotype  $\times$  environment interaction (crop management) in oat cultivars based regression analysis and path. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 1, 187-198 (In Persian)
22. Pinthus, M. J. (1973). Estimate of genotypic value: A proposed method. *Euphytica*, 22, 121- 123.
23. Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P. & Siddique, K. H. M. (2019). STABILITYSOFT: a new online program to calculate parametric and non- parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Science*, 7(1), e1211.
24. Olivoto, T. & Lucio, A.D. (2020). metan: an R package for multi-environment trial analysis. *Methods Ecology Evolution*, 11, 783-789.
25. Resende, M. D. V. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16, 330–339.
26. Resende, M. D. V. (2004). Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo, Embrapa Florestas. Embrapa Florestas, Colombo, PR.
27. Roemer, J. (1917). Sinde die ertagdreichen Sorten ertagssicherer? *DLG-Mitteilungen*, 32, 87-89.
28. Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29, 237-245.
29. Tai, G.C.C. (1979). Analysis of genotype-environment interaction of potato yield. *Crop Science*, 19, 434-438.
30. Tai, G. C. C., Levy, D. & Coleman, W. K. (1994). Path analysis of genotype-environment interactions of potatoes exposed to increasing warm-climate constraints. *Euphytica*, 75, 49-61.
31. Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T. & Jarso, M. (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3, 258-268.
32. Thomas, R. C., Grafius, J. E. & Hahn, S. K. 1971. Stress: An analysis of its source and influence. *Heredity*, 27, 423-432.
33. Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H. & Siddique, K. H. M. (2019). Integrating different stability models to investigate genotype  $\times$  environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*, 63, 1-18.
34. Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Mohammadi, R., Armion, M. & Dorri, M. (2018). 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.
35. Wrick, G. 1962. Über eine Methode zür Erfassung der Okologischen Streubreite in Feldresuchen. *Z. Pflanzenzuchtg*, 47, 92-96.
36. Yan, W., Hunt, L. A., Sheny, Q. & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597- 605.
37. Yang, R. C. (2002). Likelihood-based analysis of genotype–environment interactions. *Crop Science*, 42, 1434-1440.
38. Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A. & Hoseini, S. M. (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.

39. Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A. & Zeinalabedini, M. (2017). Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding* 8(20), 77-90 (In Persian)
40. Zali, H. & Barati, A. (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)
41. Zarei, L., Farshadfar, E., Haghparast, R., Rajabi, R., Mohammadi Sarab Badiéh, M. & Zali, H. (2012). Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. *Electronic Journal of Crop Breeding*, 5 (3), 81-97 (In Persian)