

## Research Paper

# Evaluation of Genetic Diversity in Two- and Six-Row Barley Genotypes with an Emphasis on the Selection of Superior Genotypes Using Multivariate Methods

Hassan Zali<sup>1</sup> , Alireza Pour-Aboughadareh<sup>2</sup> and Mitra Vanda<sup>3</sup>

1- Assistant Professor, Department of Crop and Horticultural Science Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran, (Corresponding author: hzasli90@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3- Assistant Professor, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran

Received: 5 October, 2024

Revised: 12 November, 2024

Accepted: 2 February, 2025

### Extended Abstract

**Background:** Barley (*Hordeum vulgare* L.) is an ancient and significant cereal crop, ranking fourth in production after wheat, rice, and maize globally. Barley is recognized from other crops due to characteristics such as resistance to various biotic stresses, broad adaptability, and short growth duration. Genetic improvement is accelerated through the investigation of genetic diversity in genetic materials across various environments. Since grain yield is a quantitative and inherited trait, it is largely influenced by genotypic and environmental factors. Hence, indirect selection using other agronomic traits may be useful in identifying superior genotypes. The selection index of ideal genotypes (SIIG) can be used to better rank and compare different genotypes, select the best genotypes, and determine distances between genotypes and their clustering. With the increase in the number of traits or indices, it becomes difficult to select the appropriate genotype. In the SIIG index, all indices or traits become one index, and it becomes easier to rank and identify superior genotypes.

**Methods:** To evaluate the genetic diversity and early screening of superior barley genotypes, an experiment was performed with 108 pure genotypes, along with four check genotypes (Armaghan, Rehan 03, Furat 03, and V Morales) in an augmented design in the Darab Agricultural and Natural Resources Research Station in the 2022-2023 cropping year. The SIIG index and principal component analysis (PCA) were used to select the superior genotypes in terms of grain yield and other measured traits. The genotypes tested were planted in three genotypes of 2.5 m long and 15 cm apart. Seed density was determined as 300 seeds per square. The measured traits included grain yield (GY), thousand-grain weight (TGW), grain filling rate (GFR), plant height (PLH), number of days to heading (DHE), and number of days to physiological maturity (DMA). ACBD software was used to estimate the variance components and the mean comparison test. The SIIG index and PCA were computed with R software.

**Results:** The results of restricted maximum likelihood (REML) analysis showed that the lowest heritability values belonged to TGW (60%) and DMA (66%), while the highest values were found for PLH (96%) and GFR (91%). The grain yield varied between 1600 and 7833 kg ha<sup>-1</sup> across investigated genotypes, indicating a significant difference and a high level of genetic diversity among them. The highest grain yield was recorded for genotypes 83, 57, and 27 with values of 7833, 7300, and 7100 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The highest and lowest TGW values were measured for genotypes 17 (67.1 g) and 56 (36.2 g), respectively. As a result, two-row genotypes showed the highest TGW; thus, the average TGW varied between 52.6 g in two-row genotypes and 45.8 g in six-row genotypes. The average GFR in two-row genotypes (120.7 kg ha<sup>-1</sup>) was higher than that in six-row barley (110.3 kg ha<sup>-1</sup>). Moreover, DHE ranged from 131 to 144 days. On the other hand, the average of DMA was 139 days in two-row barley and 141 days in six-row barley. PCA was used to group genotypes and investigate the relationship among the measured traits. The first and second components justified 0.43 % and 29.7 % of the total phenotypic variation, respectively. In the first PC, the SIIG index and GY and GFP traits had the largest contribution, respectively. In the second PC, DMA, DHE, TGW, and PLH showed the largest contribution. As a result, GY and GFR showed a strong correlation with the SIIG index. Based on the PCA-based



biplot, all investigated genotypes were divided into four groups. The first group consisted of the superior genotypes (57, 83, 63, 66, 25, 68, 60, 61, 48, 27, 23, 1, 3, 34, 25, 12, and 20) with an SIIG index greater than 0.6. The fourth group consisted of genotypes with an SIIG index less than 0.4.

**Conclusion:** The results of this study revealed a high level of genetic diversity among the evaluated barley genotypes. The results show that the SIIG index is a suitable tool for the initial screening of genotypes in the preliminary tests of performance comparison using different traits. Based on the PCA results, the genotypes categorized in the first group (with SIIG values above 0.6) were identified as superior genotypes and can be used for additional tests. Moreover, a high association was found between the results of the SIIG index and PCA in grouping the genetic materials.

**Keywords:** Biplot, Heritability, Principal component analysis, REML analysis, SIIG index

**How to Cite This Article:** Zali, H., Pour-Aboughadareh, A., & Vanda, M. (2025). Evaluation of Genetic Diversity in Two- and Six-Row Barley Genotypes with an Emphasis on the Selection of Superior Genotypes Using Multivariate Methods. *J Crop Breed*, 17(2), 43-55. DOI: 10.61882/jcb.2024.1577



مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع ژنتیکی جوهای دو ردیفه و شش ردیفه با هدف گزینش ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از روش‌های چندمتغیره

حسن زالی<sup>۱</sup>، علیرضا پورابوقداره<sup>۲</sup> و میترا وندآ<sup>۳</sup>

۱- استادیار 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 مسول: hzali90@yahoo.com)

۲- استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
۳- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲  
صفحه: ۴۳ تا ۵۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۴

چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** در میان تمام غلات تولیدشده در جهان، جو (*Hordeum vulgare* L.) پس از گندم، برنج و ذرت، رتبه چهارم را دارد. جو دارای ویژگی‌های بسیار عالی مانند مقاومت به سرما، سازگاری قوی، دوره رشد کوتاه، مقاومت در برابر تنش بالا و عملکرد پایدار است. بهبود ژنتیکی با مطالعه مواد ژنتیکی متنوع در بسیاری از محیط‌ها سرعت می‌گیرد. از آنجایی که عملکرد دانه دارای وراثت کمی است و عمدتاً به عوامل ژنوتیپی و محیطی بستگی دارد، انتخاب غیر مستقیم از طریق سایر صفات زراعی می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مفید باشد. از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و همچنین تعیین فاصله بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده می‌شود. با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، انتخاب ژنوتیپ مناسب دشوار می‌شود. در شاخص SIIG همه شاخص‌ها یا صفات به یک شاخص تبدیل می‌شوند و رتبه‌بندی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر آسان‌تر می‌شود.

**مواد و روش‌ها:** به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی و غربال اولیه ژنوتیپ‌های برتر جو، آزمایشی با ۱۰۸ ژنوتیپ خالص به همراه چهار رقم شاهد (ارمغان، ریحان ۰۳، فرات ۰۳ و V Morales) در یک قالب طرح حجیم شده (آگمنت) در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب انجام شد. به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر روی سه خط به طول ۲/۵ متر به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یک‌دیگر کشت شدند. تراکم بذر مصرفی ۳۰۰ بذر در متر مربع برای هر ژنوتیپ تعیین گردید. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه (GY)، وزن هزار دانه (TGW)، سرعت پرشدن دانه (GFR)، ارتفاع بوته (PLH)، تعداد روز تا ظهور سنبله (DHE) و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DMA) بودند. به منظور برآورد اجزای واریانس و مقایسه میانگین صفات از نرم‌افزار ACBD استفاده شد. برای محاسبه شاخص SIIG و انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار R استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه REML نشان دادند که کمترین میزان وراثت‌پذیری صفات به‌ترتیب مربوط به وزن هزار دانه (۶۰ درصد) و تعداد روز تا رسیدگی (۶۶ درصد) و بیشترین مقدار وراثت‌پذیری به‌ترتیب مربوط به ارتفاع بوته (۹۶ درصد) و سرعت پرشدن دانه (۹۱ درصد) بود. عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بین ۱۶۰۰ تا ۷۸۳۳ کیلوگرم در هکتار بود که این نتایج نشان‌دهنده تفاوت چشمگیر میان ژنوتیپ‌ها و همچنین تنوع ژنتیکی بالا بین آن‌ها بودند. بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۸۳، ۵۷ و ۲۷ به‌ترتیب با مقادیر ۷۸۳۳، ۷۳۰۰ و ۷۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ (۶۷/۱ گرم) و ۵۶ (۳۶/۲ گرم) تعلق داشتند. بیشترین وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های دوردیفه مشاهده شد. در مجموع، نتایج نشان داد که میانگین وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های دوردیفه ۵۲/۶ گرم و در ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه ۴۵/۸ گرم بود. میانگین سرعت پرشدن دانه در جوهای دوردیفه (۱۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار) از میانگین سرعت پرشدن دانه در جوهای شش‌ردیفه (۱۱۰/۳ کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود. تعداد روز تا رسیدگی ژنوتیپ‌ها بین ۱۳۱ تا ۱۴۴ روز بود. میانگین تعداد روز تا رسیدگی در جوهای دوردیفه ۱۳۹ روز و در جوهای شش‌ردیفه ۱۴۱ بود. به منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص SIIG و بررسی ارتباط صفات مورد بررسی، از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. اولین و دومین مؤلفه به‌ترتیب ۴۳/۰ و ۲۹/۷ درصد تغییرات ارتباط بین صفات و دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها را توجیه نمودند. در مؤلفه اول، شاخص SIIG و صفات GY و GFP به‌ترتیب بیشترین سهم را داشتند و صفات DMA، DHE، TGW و PLH به‌ترتیب دارای بیشترین سهم در دومین مؤلفه بودند. نتایج PCA نشان دادند که عملکرد دانه و سرعت پرشدن دانه بیشترین همبستگی را با شاخص SIIG داشتند. بر اساس نتایج PCA، ژنوتیپ‌های مورد بررسی در چهار گروه قرار گرفتند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های برتر (ژنوتیپ‌های شماره ۵۷، ۸۳، ۶۳، ۶۶، ۲۵، ۶۸، ۶۰، ۶۱، ۲۷، ۲۳، ۳، ۳۴، ۲۵، ۱۲ و ۲۰) با شاخص SIIG بزرگتر از ۰/۶ بودند. گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌هایی با شاخص SIIG کمتر از ۰/۴ بودند.

**نتیجه‌گیری کلی:** در مجموع، نتایج این تحقیق نشان از تنوع ژنتیکی بالایی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارند. بر اساس نتایج PCA، ژنوتیپ‌های گروه یک (با مقادیر SIIG بالای ۰/۶) جزو ژنوتیپ‌های برتر در این بررسی بودند و می‌توان از آن‌ها برای انجام آزمایشات تکمیلی استفاده نمود. همچنین انطباق بالایی بین نتایج شاخص SIIG و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشاهده شد.

**واژه‌های کلیدی:** بای‌پلات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه REML، شاخص SIIG، وراثت‌پذیری

مقدمه

ردیفه، هر سه سنبلچه در گره محور سنبله بارور می‌شوند، اما در جو دوردیفه، فقط سنبلچه وسطی بارور می‌شود (Martin et al., 1991). لی گوئیس (Le Gouis, 1992) بیان کرد که انعطاف‌پذیری اجزای عملکرد در واکنش به تغییرات محیطی در جوهای دوردیفه بیشتر از جوهای شش‌ردیفه بود.

تنوع ژنتیکی و بررسی لاین‌های پیشرفته جو نقش مهمی در پیش‌برد اهداف برنامه‌های به‌زادگی دارند. بنابراین، بررسی لاین‌های جدید جو با خصوصیات مورفولوژیک مطلوب، از جمله

جو (*Hordeum vulgare* L.) پس از گندم، برنج و ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات است و از نظر اهمیت اقتصادی در مقام چهارم جهان قرار گرفته است (Pour-Aboughadareh et al., 2023). جو با توجه به ساختار سنبله به دو گروه دوردیفه و شش‌ردیفه تقسیم می‌شود. جوهای دوردیفه و شش‌ردیفه دو گروه متمایز و مشخص ژنتیکی و مورفولوژیکی در درون گونه *H. vulgare* هستند. در جو شش

شش‌ردیفه بیشترین فراوانی (به ترتیب ۴۹ و ۴۶ درصد) و جوهای دوردیفه کمترین فراوانی (۴/۵ درصد) را داشتند. در ارزیابی تنوع ژنتیکی ۲۷۸ اکوتیپ جو زراعی بومی مناطق گرم و خشک، مشخص شد که طول سنبله و تعداد سنبلچه در جوهای دوردیفه (*H. vulgare* subsp. *distichum*) و ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه (*H. vulgare* subsp. *hexasticum*) وجه تمایز این دو گونه بودند که در اکوتیپ‌های دوردیفه کمیت بالاتری داشتند (Shahmoradi et al., 2011).

در یک بررسی توسط شاهمرادی و همکاران (Shahmoradi et al., 2022) بر روی صفات آگرونومیک، مورفولوژیک و فنولوژیک در ۷۰۷ ژنوتیپ جو زراعی دوردیفه و شش‌ردیفه، مشخص گردید که دامنه متغیر تنوع ژنتیکی در صفات متفاوت بود. براساس نتایج این تحقیق، تیپ‌های دوردیفه و شش‌ردیفه دارای واکنش متفاوتی در کنترل فرایندهای نموی بودند و این امر باعث تفاوت در صفات کاربرد شاخص SIIG در گیاهان مختلف از جمله گندم دوروم (Dastfall et al., 2022)، آفتابگردان (Golestani, 2024)، کاملینا (Amiri et al., 2023)، کلزا (Sadat et al., 2023)، پنبه (Vanda et al., 2022) و جو (Zali et al., 2023a; Sabzi et al., 2024)؛ (Shirzad et al., 2022; Barati et al., 2021) گزارش شده است.

روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده (REML)<sup>۵</sup> یکی از روش‌های مهم برای تجزیه داده‌ها 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 روش‌هایی مناسب برای محاسبه اجزای واریانس و بهترین پیش‌بینی نارایب خطی (BLUP)<sup>۶</sup> هستند که برای پیش‌بینی مقادیر ژنتیکی و اجزای واریانس استفاده می‌شوند (Resende, 2016). یکی از مزایای BLUP، تخمین میانگین‌ها با دقت بالا در مدل‌های مخلوط است و زمانی که اثر مخلوط خطی وجود داشته باشد این روش پیش‌بینی دقیق‌تری از اثرات تصادفی را فراهم می‌کند (Smith et al., 2015).

هدف از این تحقیق، بررسی تنوع ژنتیکی در جوهای دوردیفه و شش‌ردیفه و غربال اولیه ژنوتیپ‌های برتر جو براساس تعدادی از صفات مورفولوژیک با استفاده از شاخص SIIG و تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) بود.

#### مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی جوهای دو و شش‌ردیفه و غربال اولیه ژنوتیپ‌های برتر جو، تهیه شده از مرکز تحقیقات بین‌المللی کشاورزی برای مناطق خشک (ایکاردا) و در قالب بیست و سومین خزانه بین‌المللی مشاهده‌ای جو بهاره (23-IBON; 23- International Spring Barely) (Observation Nursery)، آزمایشی با ۱۰۸ ژنوتیپ خالص (جدول ۱) در قالب طرح بدون تکرار آگمنت همراه با چهار

روش‌های مناسب برای دستیابی به معیارهای انتخاب در جهت بهبود عملکرد و اصلاح و معرفی ارقام تجاری است که نهایتاً منجر به افزایش تولید جو خواهد شد (Zali et al., 2021). روش‌های مختلفی برای برآورد تنوع ژنتیکی در گونه‌های گیاهی وجود دارند. از آنجایی که روش‌های چندمتغیره به‌طور همزمان چندین اندازه‌گیری را مدنظر قرار می‌دهند، لذا در تجزیه و تحلیل تنوع ژنتیکی بر پایه داده‌های مورفولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی کاربرد وسیعی دارند (Mohammadi & Prasanna, 2003).

هدادو و همکاران (Hadado et al., 2009) طی تحقیقی هشت صفت مورفولوژیک سنبله را در ۱۳۰ جمعیت محلی بررسی کردند. نتایج آنها نشان دادند که تنوع در جو دیم رابطه‌ای پیچیده با گستردگی در محیط اکوسیستم زراعی داشت. در این تحقیق، جوهای با تعداد ردیف نامنظم و فنولوژیک و آگرونومیک این دو گونه جو زراعی شد که قابلیت سازگاری آن‌ها را در شرایط مختلف محیطی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در سال‌های اخیر، شاخص‌های انتخاب جدیدی معرفی شده‌اند که بر پایه انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از عملکرد و صفات مختلف به‌طور هم‌زمان هستند. از آن جمله می‌توان به شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)<sup>۱</sup> (Zali et al., 2015)، شاخص پایداری چند صفتی (MTSI)<sup>۲</sup> (Olivoto et al., 2019)، شاخص فاصله ژنوتیپ ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI)<sup>۳</sup> (Olivoto and Nardino, 2020) و شاخص تحلیل عاملی و طراحی ایدئوتیپ از طریق پیش‌بینی نارایب بهترین خط (FAI-BLUP)<sup>۴</sup> (Rocha et al., 2018) اشاره کرد.

شاخص SIIG یک شاخص چندصفتی است که توسط زالی و همکاران (Zali et al., 2015) برای اولین بار به‌منظور ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی معرفی شد. در این شاخص، صفات مختلف یا شاخص‌های مختلف در قالب یک آماره جدید ترکیب می‌شوند و می‌توان بر اساس آن روند بهتری برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها ارائه داد (Zali et al., 2023b). شاخص SIIG ژنوتیپ‌های برتر را براساس کمترین فاصله از ژنوتیپ برتر و بیشترین فاصله از ژنوتیپ غیر برتر شناسایی می‌کند. از آنجایی که مقدار SIIG بین ۰ تا ۱ است، این شاخص قادر است فاصله بین ژنوتیپ‌ها را از نظر صفات مورد بررسی نشان دهد (Zali et al., 2015).

زالی و براتی (Zali & Barati, 2020) از شاخص SIIG برای دسته‌بندی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر جو با استفاده از تعدادی از صفات مورفولوژیک استفاده نمودند. در نهایت، آنها ۳۳ ژنوتیپ جو را با استفاده از شاخص SIIG انتخاب و برای آزمایشات تکمیلی معرفی نمودند. آن‌ها روش SIIG را در دسته‌بندی و تعیین فاصله بین ژنوتیپ‌ها موثر معرفی نمودند.

<sup>۴</sup>- Factor analysis and ideotype design via best linear unbiased prediction

<sup>۵</sup>- Restricted maximum likelihood

<sup>۶</sup>- Best linear unbiased prediction

<sup>۱</sup>- Selection index of ideal genotype

<sup>۲</sup>- Multi-trait stability index

<sup>۳</sup>- The multi-trait genotype-ideotype distance index

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۳- پیدا کردن ژنوتیپ برتر و ژنوتیپ غیر برتر (ضعیف) برای هر شاخص یا صفت: در این مرحله، با توجه به نوع شاخص مشخص شد که مقدار بالای یک شاخص برتر است یا مقادیر پایین آن.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ‌های برتر ( $d_i^+$ ) و ژنوتیپ‌های ضعیف ( $d_i^-$ ): در این مرحله برای هر ژنوتیپ، فاصله از ژنوتیپ‌های برتر ( $d_i^+$ ) و ژنوتیپ‌های ضعیف ( $d_i^-$ ) به ترتیب با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۵)}$$

در روابط ۴ و ۵،  $r_{ij}$  مقدار استاندارد شده ژنوتیپ  $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) در رابطه با شاخص  $j$ ام ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) است.  $r_j^+$  و  $r_j^-$  به ترتیب مقادیر استاندارد شده ژنوتیپ‌های برتر و ژنوتیپ‌های ضعیف برای هر شاخص  $j$ ام ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) است.

۵- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG): در آخرین مرحله، برای محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای هر ژنوتیپ از رابطه ۶ استفاده شد:

$$\text{SIIG}_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad 0 \leq \text{SIIG}_i \leq 1 \quad \text{رابطه (۶)}$$

مقدار  $\text{SIIG}_i$  بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه موردنظر به ژنوتیپ برتر نزدیک‌تر باشد مقدار  $\text{SIIG}_i$  آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. بر اساس این روش، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های برتر و دورترین از ژنوتیپ‌های ضعیف است (Zali et al., 2015; Zali et al., 2023b).

به‌منظور محاسبه مدل‌های خطی و اجزای واریانس از مدل‌های زیر استفاده شد:

$$Y_{ij} = \mu + \text{Block}_i + \text{Entry}_j + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$Y_{ij} = \mu + \text{Block}_i + \text{IDCheck} + \text{Gen} + \text{Check} + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این روابط،  $\mu$  میانگین صفت مربوطه،  $\text{Block}_i$  اثر بلوک  $i$ ام، و  $\text{Entry}_j$  اثر اینتری  $j$ ام هستند (رابطه ۷). در رابطه ۸، تفاوت در اثر اینتری  $j$ ام است که به  $\text{IDCheck}$ ،  $\text{Gen}$ ، و  $\text{Check}$  که به ترتیب مربوط به اثر شناسه شاهد، ژنوتیپ‌های بدون تکرار و شاهدهایی که در هر بلوک تکرار می‌شوند تقسیم می‌شود. اثر بلوک به‌عنوان اثر ثابت فرض شده است. هنگام محاسبه  $\text{Blue}$ ها، اثرات  $\text{IDCheck}$ ،  $\text{Entry}$ ،  $\text{Gen}$  و  $\text{Check}$  به‌عنوان اثرات ثابت در نظر گرفته می‌شوند و هنگام محاسبه

ژنوتیپ شاهد (ارمغان، ریحان ۰۳، فرات ۰۳ و V Morales) در چهار بلوک در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب انجام شد. اطلاعات هواشناسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

زمین مورد کشت تحت تناوب غلات آیش بود و عملیات تهیه زمین شامل یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت شخم قبل از کاشت، دو نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم، کودپاشی و ایجاد فارو بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از سیاهک پنهان و بیماریهای بذرزاد با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت سه در هزار ضد عفونی گردیدند. میزان بذر مصرفی با در نظر گرفتن وزن هزار دانه و بر اساس ۳۰۰ بذر در متر مربع برای هر ژنوتیپ تعیین گردید. ژنوتیپ‌های مورد بررسی در پانزدهم آذر ماه بر روی سه خط به‌طول ۲/۵ متر به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یک دیگر کشت و به‌صورت تیپ آبیاری شدند. کودهای مورد استفاده شامل سولفات پتاس (۵۰ کیلوگرم در هکتار)، فسفات آمونیوم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. کودهای پتاس و فسفر به صورت پایه و کود اوره به‌صورت سرک به مصرف رسید. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ، مخلوطی از علف‌کش‌های 2-4-D و اکسیال در مرحله شروع پنجه‌زنی استفاده شد. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، وزن هزار دانه، سرعت پرشدن دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بودند.

#### محاسبه شاخص SIIG

به‌منظور ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در جدول ۲، از شاخص SIIG استفاده شد که نحوه محاسبه این شاخص به شرح ذیل است (Zali et al., 2015; Zali et al., 2023b):

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها: ماتریس داده‌ها به‌صورت رابطه ۱ تشکیل شد (ماتریس D).

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این ماتریس،  $x_{ij}$  مقدار ژنوتیپ  $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) در رابطه با صفت (شاخص)  $j$ ام ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) است. به‌عبارت دیگر، ردیف‌ها را ژنوتیپ‌ها و ستون‌ها را صفات/شاخص‌ها تشکیل می‌دهند.

۲- تبدیل ماتریس داده‌های اولیه (ماتریس D) به یک ماتریس استاندارد (ماتریس R): از رابطه ۲ برای استاندارد کردن داده‌ها (بدون واحد کردن داده‌ها) استفاده شد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۲، بعد از استاندارد نمودن داده‌های اولیه (ماتریس D)، ماتریس R به‌صورت رابطه ۳ تعریف گردید:

اصلی استفاده شد. به منظور برآورد اجزای واریانس و مقایسه میانگین صفات از نرم‌افزار ACBD استفاده شد (Rodríguez *et al.*, 2017). برای محاسبه شاخص SIIG از برنامه تهیه شده در محیط برنامه‌نویسی R (Zali *et al.*, 2023) و برای رسم نمودار شاخص SIIG نیز از برنامه تهیه شده در محیط برنامه‌نویسی R استفاده شد. برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات از بسته factoextra در محیط برنامه‌نویسی R استفاده شد (Kassambara & Mundt, 2020).

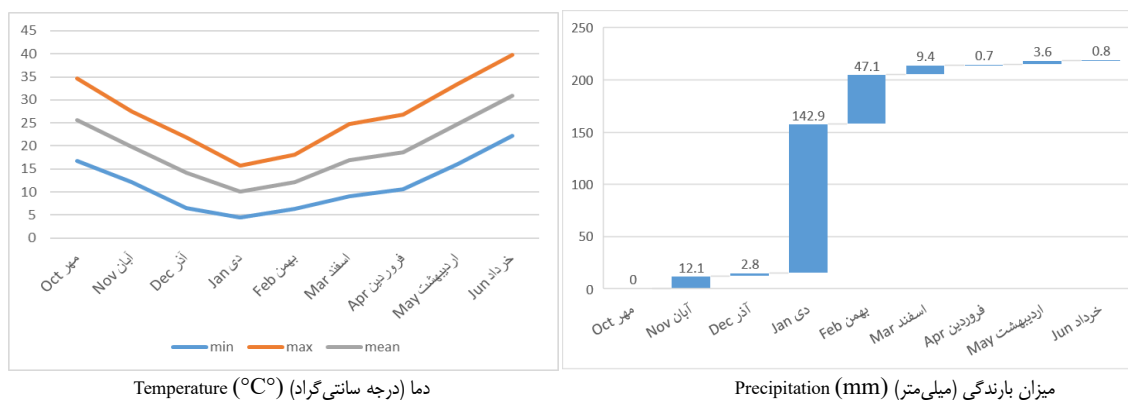
Blupها و وراثت‌پذیری عمومی، این اثرات تصادفی در نظر گرفته می‌شوند (Rodríguez *et al.*, 2017).

برای محاسبه LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ از رابطه ۹ استفاده شد:

$$LSD = t_{(1-0.05, df_{error})} \times ASED \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه ۹،  $t$  توزیع  $t$  استودنت تجمعی و  $ASED$  میانگین خطای استاندارد بین دو جفت میانگین هستند (Rodríguez *et al.*, 2017).

به منظور بررسی تنوع ژنتیکی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر جو از شاخص SIIG (Zali *et al.*, 2015) و تجزیه به مؤلفه‌های



شکل ۱- داده‌های هواشناسی ماهیانه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در داراب

Figure 1. Monthly meteorological data in the 2022-2023 cropping year in Darab

جدول ۱- شجره‌های ژنوتیپ‌های مورد بررسی دوردیفه و شش ردیفه جو در فصل زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Table 1. Pedigrees of two-row and six-row barley genotypes studied in the 2022-2023 cropping season

| ردیف<br>Row<br>type | شجره<br>Pedigree   | کد<br>ژنوتیپ‌ها<br>Genotypes<br>code | شماره<br>ژنوتیپ‌ها<br>Genotypes<br>no. |
|---------------------|--|--------------------------------------|--|
| 1                   | 11M031/MP30  | L2                                   | 1                                      |
| 1                   | 11M071/UC1322/MP103MQ  | L3                                   | 2                                      |
| 1                   | 29IBON20// COORS 393 / ND 22202-C  | L4                                   | 3                                      |
| 1                   | 29IBON20//ORCA/ND 22202  | L5                                   | 4                                      |
| 1                   | Bodrga/Nawair-01   | L6                                   | 5                                      |
| 1                   | BUTTA12/MP179  | L7                                   | 6                                      |
| 1                   | Cocktail/Alanda-01   | L8                                   | 7                                      |
| 1                   | Frontier/RD2668  | L9                                   | 8                                      |
| 1                   | HB120/DWR28  | L11                                  | 9                                      |
| 1                   | HB120/Harmal   | L12                                  | 10                                     |
| 1                   | Mauritia/DWRUB52   | L13                                  | 11                                     |
| 1                   | MP103MQ/MP30   | L14                                  | 12                                     |
| 1                   | MP103R/MP6   | L15                                  | 13                                     |
| 1                   | MP30/UC1323  | L16                                  | 14                                     |
| 1                   | MSEL / ND 22202  | L17                                  | 15                                     |
| 1                   | P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/BRS180/7/MSEL//LIMON/BICHY2000  | L18                                  | 16                                     |
| 2                   | P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/CIRU/7/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/P                       | L19                                  | 17                                     |
| 2                   | ETUNIA1/6/ IBTA80/8/LIMON/BICHY2000//CANELA/3/MSEL   | L21                                  | 18                                     |
| 2                   | P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/LEGACY/7/MADRE SELVA  | L22                                  | 19                                     |
| 2                   | P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/LEGACY/7/MERIT,B//CLE150/W89.11369/3/CANELA                             | L23                                  | 20                                     |
| 2                   | ROLAND-BAR/RD2668  | L24                                  | 21                                     |
| 2                   | SHYRI X LAUREL 5 (Both parents BYDV-RMV resistant)   | L25                                  | 22                                     |
| 2                   | S.LLO/ROBUST//QUINA/3/CALI92/4/LEGACY/7/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA1/6/M9846//CCXX14.ARZ3/PACO/3/PALTON | L26                                  | 23                                     |
| 2                   | STANDER-BAR//CALI92/ROBUST/3/ESTANZUELA JACARANDA/LOGAN-BAR//CANELA  | L27                                  | 24                                     |
| 2                   | STANDER-BAR//CALI92/ROBUST/3/LOGAN-BAR/MSEL//AZAF  | L28                                  | 25                                     |
| 2                   | Tocada/DWRUB52   | L29                                  | 26                                     |
| 2                   | Tocada/DWRUB52   | L31                                  | 27                                     |
| 2                   | Z068R0551 /CIMMYT 7862 (BUSCH AG CROSS)  | L32                                  | 28                                     |
| 2                   | ZARZA//ATAH92/GOB/3/JACARANDA/ENCINO/TOCTE   | L33                                  | 29                                     |
| 2                   | ZARZA//ATAH92/GOB/3/KASKADE/LEGACY   | L34                                  | 30                                     |
| 2                   | 29IBON20/CB122   | L35                                  | 31                                     |
| 2                   | Arta/3/Legia/Laurel'S//Aleli/4/Arar/H.spont.19-15//Hml/3/H.spont.41-1/Tadmor/5/Zanbakian/6/Arta/WI3167                       | L36                                  | 32                                     |
| 2                   | BEKA/PL 172  | L37                                  | 33                                     |
| 2                   | Butta 12//11MQ51/MP20  | L38                                  | 34                                     |
| 2                   | Cerise/Shyri//Aleli/3/Mpyt169-1Y/Laurel/Olmo/4/Canela/5/Harmal   | L39                                  | 35                                     |
| 2                   | DWR28/RD2668   | L41                                  | 36                                     |
| 2                   | Frontier/RD2668  | L42                                  | 37                                     |
| 2                   | Gobernadora/Nawair-1   | L43                                  | 38                                     |
| 2                   | H.spont.41-1/NT 113//Hml/4/Weeah11//W12291/Bgs/3/ER/Apm//AC253   | L44                                  | 39                                     |
| 2                   | Kny/K-273/5/W12291/Tadmor/4/ChiCm/An5//Albert/3/Alger/Ceres362-1-1   | L45                                  | 40                                     |
| 2                   | Leb71/CBB3//Leb71/CBB29/3/Lignee527/Chn-01/6/W12291/4/7028/2759/3/69-82//Ds/Apro/5/Zanbaka/3/ER/Apm//Lignee131               | L46                                  | 41                                     |
| 2                   | Moroc9-75/Hml/5/Roho/4/Zanbaka/3/ER/Apm//Lignee131/6/W12291/3/CI03309/Attiki//Hja33/4/Gustoe/5/Arar/H.spont.19-15//          | L47                                  | 42                                     |
| 2                   | Hml/3/H.spont.41-1/Tadmor  | L48                                  | 43                                     |
| 2                   | Onslow/Tipper/5/Roho//Alger/Ceres362-1-1/3/Kantara/4/Tipper  | L49                                  | 44                                     |
| 2                   | San cristobal/DWR28  | L51                                  | 45                                     |
| 2                   | SHYRI X LAUREL 5 (Both parents BYDV-RMV resistant)   | L52                                  | 46                                     |
| 2                   | Soffet no.9//SLB21-81//SLB22-74  | L53                                  | 47                                     |
| 2                   | T-6669//Arda/Moroc9-75   | L54                                  | 48                                     |
| 2                   | T-6669//Moroc9-75/ArabiAswad/6/CI07117-9/DeirAlla106//Bda/3/Arar/5/11012-2/Impala//Birence/3/ArabiAbiad/4/5604/1025          |                                      |  |
| 2                   | WI2198/Hml-02//INRA55-86-2/Rt1703/3/Hml/4/Weeah11//W12291/Bgs/3/ER/Apm//AC253  |                                      |  |

| تعداد ردیف<br>Row type | شجره<br>Pedigree  | کد<br>ژنوتیپها<br>Genotypes code | شماره<br>ژنوتیپها<br>Genotypes no. |
|------------------------|---|----------------------------------|------------------------------------|
| 2                      | WI2291/Nawair-1   | L55                              | 49                                 |
| 6                      | 221BYT7 / UC 1047 // UC 1108  | L56                              | 50                                 |
| 6                      | 221BYT7 // UC 1116 / UC 1047  | L57                              | 51                                 |
| 6                      | 221BYT7 // UC 1116 / YUMA   | L58                              | 52                                 |
| 6                      | 221BYT7 // UC 1134 / UC 1047  | L59                              | 53                                 |
| 6                      | LEGACY/3/PETUNIA/1/CHEVRON-BAR//TOCTE/4/PENCO/CHEVRON-BAR/5/STANDER-BAR/CAL192/ROBUST/6/JACARANDA// ENCINO/TOCTE  | L61                              | 54                                 |
| 6                      | PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA 1/6/BRS180/7/CIRU/BLU  | L62                              | 55                                 |
| 6                      | PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA 1/6/BRS180/7/MSEL//LIMON/BICHY2000   | L63                              | 56                                 |
| 6                      | PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA1/6/BRS180/7/PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA1/6/ CIRU  | L64                              | 57                                 |
| 6                      | PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA1/6/CIRU/7/PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA1/6/ IBTA80/8/CABUYA   | L65                              | 58                                 |
| 6                      | PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA 1/6/LEGACY/7/DOÑA JOSEFA   | L66                              | 59                                 |
| 6                      | PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA 1/6/LEGACY/7/MADRE SELVA   | L67                              | 60                                 |
| 6                      | SLO/ROBUST//QUINA/3/CAL192/4/LEGACY/5/MSEL//LIMON/BICHY2000   | L68                              | 61                                 |
| 6                      | UC 1116 / UC 1047   | L69                              | 62                                 |
| 6                      | UC 1116 / UC 1047   | L71                              | 63                                 |
| 6                      | UC 1134 / UC 1047   | L72                              | 64                                 |
| 6                      | UC1118 // UC1116 / YUMA   | L73                              | 65                                 |
| 6                      | UC1134UC1231  | L74                              | 66                                 |
| 6                      | UC933 / BELLA UNION   | L75                              | 67                                 |
| 6                      | X // INDIAN BBARLEY/3*NK 1272   | L76                              | 68                                 |
| 6                      | ZACATECAS 4 (LEGACY/CHAMICO)/5/EXCEL-BAR/4/GLORIA-BAR/COME//LIGNEE640/3/S.P-B   | L77                              | 69                                 |
| 6                      | ZARZA/ATAH92/GOB/7/GLORIA-BAR/COPAL/6/PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA 1  | L78                              | 70                                 |
| 6                      | ZARZA/ATAH92/GOB/7/GLORIA-BAR/COPAL/6/PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA 1  | L79                              | 71                                 |
| 6                      | ZARZA/ATAH92/GOB/7/PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA 1/6/PSTO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLU/5/PETUNIA 1  | L81                              | 72                                 |
| 6                      | Alanda//Lignee527/Arar/6/Multan/M23/4/HopRo/3/Md/AT//CM/5/24569/7/U/Sask 1766/Api/Cel/3/Weeah/4/Arar/5/Aths   | L82                              | 73                                 |
| 6                      | Arig8/Imperial/M7/3/Rt013/4/Alanda-01//Lignee527/NK1272/JLB70_063/3/1PA99   | L83                              | 74                                 |
| 6                      | Aths/Lignee686/4/Avt/Attiki//Aths/3/Giza121/Pue/6/Lignee527/Chn-01//Alanda/5/Arizona5908/Aths//Avt/Attiki/3/S.T.Barley/4/Aths/Lignee686                                       | L84                              | 75                                 |
| 6                      | Avt/Attiki/M-Att-73-337-1/3/Aths/Lignee686/4/Kabaa/5/Alanda-01/3/Alanda//Lignee527/Arar   | L85                              | 76                                 |
| 6                      | AwBlack/Aths/Arar/3/9C279-07/Roho/6/Alanda-01/5/C101021/4/CM67/U.Sask.1800/Pro/CM67/3/DL70/7/ArabiAbiad/Arar//H.spont.41-5/ Tadmor/3/Sara                                     | L86                              | 77                                 |
| 6                      | Bda/4/SICB-105935/3/Hma-02//11012-2/CM67/5/Lignee527/NK1272/4/Avt/Attiki//Aths/3/Giza121/Pue  | L87                              | 78                                 |
| 6                      | H.spont.41-3/SLB34-40/7/Lignee527//Bahtim/DL71/3/Api/CM67//Mzq/5/Alanda-01/4/WI2291/3/Api/CM67//L2966-69/6/Lignee527/Chn-01// Arar/Rhn-03                                     | L88                              | 79                                 |
| 6                      | Hma-02//11012-2/CM67/3/Alanda/5/Rhn-03//Lignee527/NK1272/4/Lignee527/Chn-01/3/Alanda/6/Rhn-03/Eldorado/5/Rhn-03//Lignee527/ NK1272/4/Lignee527/Chn-01/3/Alanda                | L89                              | 80                                 |
| 6                      | Lignee527//Bahtim/DL71/3/Api/CM67//Mzq/5/Alanda-01/4/WI2291/3/Api/CM67//L2966-69/6/Lignee527/Chn-01//Arar/Rhn-03/7/Rum/4/Rhn-03/Mr25-84/Att/Mari/Aths*3-02                    | L91                              | 81                                 |
| 6                      | Lignee527/Chn-01//Alanda/3/As57/Kc/6/Lignee527/Chn-01//Alanda/5/Arizona5908/Aths//Avt/Attiki/3/S.T.Barley/4/Aths/Lignee686  | L92                              | 82                                 |
| 6                      | Lignee527/NK1272/JLB70-063/3/1PA99/5/Arig8/Imperial/M7/3/Rt013/4/Alanda-01  | L93                              | 83                                 |
| 6                      | Lignee527/NK1272/JLB70-063/3/Rhn-03/6/Rhn-03/Eldorado/5/Rhn-03/Lignee527/NK1272/4/Lignee527/Chn-01/3/Alanda   | L94                              | 84                                 |
| 6                      | QB813-2/5/Aths/Lignee686/4/Rhn-03/3/Be/Rhn/Ky63-1294/7/Rhn-03/3/Mr25-84/Att/Mari/Aths*3-02/6/Lignee527//Bahtim/DL71/3/Api/CM67//Mzq/5/Alanda-01/4/WI2291/3/Api/CM67//L2966-69 | L95                              | 85                                 |
| 6                      | Rhn-03/Eldorado/5/Rhn-03//Lignee527/NK1272/4/Lignee527/Chn-01/3/Alanda/6/Rhn-03/Eldorado/5/Rhn-03//Lignee527/NK1272/4/ Lignee527/Chn-01/3/Alanda                              | L96                              | 86                                 |
| 6                      | Rihane-03/3/As46/Aths*2//Aths/Lignee686/6/Rhn-03/Eldorado/5/Rhn-03//Lignee527/NK1272/4/Lignee527/Chn-01/3/Alanda  | L97                              | 87                                 |
| 6                      | Rum/4/Rhn-03/3/Mr25-84/Att/Mari/Aths*3-02/6/Arig8/Imperial/M7/3/Rt013/5/Aths/Lignee686/3/DeirAlla106//Sv.Asa/Attiki/4/Cen/Bglo/S  | L98                              | 88                                 |
| 6                      | SLB21-81/SLB22-74//Soffel no.9  | L99                              | 89                                 |
| 6                      | Tadmor/Roho/Mazurka/3/Tadmor/5/Arig8/Imperial/M7/3/Rt013/4/Martin   | L101                             | 90                                 |
| 6                      | Zanbaka/H.spont.41-2/4/Arar/H.spont.19-15/Hml/3/H.spont.41-1/Tadmor/5/Zanbakian/7/Lignee527//Bahtim/DL71/3/Api/CM67   | L102                             | 91                                 |
| 6                      | //Mzq/5/Alanda-01/4/WI2291/3/Api/CM67//L2966-69/6/Lignee527/Chn-01//Arar/Rhn-03   | L103                             | 92                                 |
| 6                      | 10HBSN26 // MADERA / UC937  | L104                             | 93                                 |
| 6                      | 11HB13 // UC 1134/ UC 1047  | L105                             | 94                                 |
| 6                      | 11HB13//UC1134/1047   | L106                             | 95                                 |
| 6                      | Atahualpa/ICNB93-369  | L107                             | 96                                 |
| 6                      | BF891M-617//Aths/Lignee 686/4/Ssn/Badia//Arar/3/Gloria'S//Copal'S   | L108                             | 97                                 |
| 6                      | Giza130/4/Alanda-01//Gerbel/Harma/3/Gloria'S/Celo'S//Teran78  | L109                             | 98                                 |
| 6                      | ISHI / 11HBSN44   | L110                             | 99                                 |
| 6                      | NB1054/Aleli//Gairdnaer/3/DD-21/WI3257  | L111                             | 100                                |
| 6                      | TAMALPAIS / 11HBSN44  | L112                             | 101                                |
| 6                      | UC 1047 / 11HB44  | L113                             | 101                                |
| 6                      | UC 1134 / UC 1047   | L114                             | 102                                |
| 6                      | UC1115 / 11HBSN44   | L115                             | 103                                |
| 6                      | UC1134/11HB44   | L116                             | 104                                |
| 6                      | WI3167/4/ALISO/C13909-2//HB602/3/MOLA/SHYRI//ARUPO*2/JET/5/NB1054/Aleli//Gairdnaer  | L117                             | 105                                |
| 6                      | WI3167/6/ANCA/2469//TOJI/3/SHYRI/4/ATACO/5/ALELI/7/BKFMaguelone1604/3/Apro//Sv.021109/Mari/4/Giza119/5/Shyri  | L118                             | 106                                |
| 6                      | WI3167/6/ANCA/2469//TOJI/3/SHYRI/4/ATACO/5/ALELI/7/Hml/Tadmor   | L119                             | 107                                |
| 6                      | WI3167/6/ANCA/2469//TOJI/3/SHYRI/4/ATACO/5/ALELI/7/Hml/Tadmor   | L120                             | 108                                |
| 6                      | شاهد Check  | Armaghan                         | 109                                |
| 6                      | شاهد Check  | Rihan 03                         | 110                                |
| 2                      | شاهد Check  | Furat 03                         | 111                                |
| 6                      |   | شاهد Check V Morales             | 112                                |

## نتایج و بحث

بیشترین مقدار وراثت‌پذیری به ترتیب مربوط به ارتفاع بوته (۹۶ درصد) و سرعت پرشدن دانه (۹۱ درصد) بودند. در مجموع، مقدار وراثت‌پذیری همه صفات مورد بررسی بالا بود (جدول ۱). براتی و همکاران (Barati et al., 2021) با تجزیه REML نشان دادند که میزان وراثت‌پذیری عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی در ژنوتیپ‌های جو در چهار منطقه اهواز، داراب، زابل و گنبد به ترتیب ۴۴، ۷۱، ۶۳ و ۶۵ درصد بودند. جالاتا و همکاران (Jalata et al., 2011) میزان وراثت‌پذیری را برای وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های جو ۸۵/۶ درصد گزارش نمودند.

از روش حداکثر درستیایی محدودشده (REML) برای برآورد اجزای واریانس صفات مورد بررسی استفاده شد. از مزایای روش REML بازدهی بالا برای طرح‌های بدون تکرار آگمنت و همچنین کاهش تعداد برآوردهای منفی پارامترهای ژنتیکی، که به دلیل مشکلاتی مانند مناسب نبودن طرح آزمایشی که در روش‌های کلاسیک ایجاد می‌شود، اشاره نمود (Holland, 2006). نتایج تجزیه REML نشان دادند که کمترین میزان وراثت‌پذیری صفات به ترتیب مربوط به وزن هزار دانه (۰/۶۰ درصد) و تعداد روز تا رسیدگی (۶۶ درصد) و

جدول ۲- برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده برای صفات مورفولوژیک

Table 2. Estimated variance components for morphological traits using the Restricted Maximum Likelihood (REML) method.

| SIIG  | صفات مورفولوژیک Morphological traits |        |        |       |       |       | Statistics                   | آمارها                                  |
|-------|--------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|------------------------------|---|
|       | TGW                                  | GY     | GFR    | PLH   | DMA   | DHE   |                              |   |
| 0.927 | 0.60                                 | 0.84   | 0.91   | 0.96  | 0.66  | 0.84  | Heritability Gen             | وراثت‌پذیری ژنوتیپ‌ها                   |
| 0     | 0.75                                 | 0.75   | 0.73   | 0.98  | 0.90  | 0.92  | Heritability Check           | وراثت‌پذیری شاهد‌ها                     |
| 0.013 | 8                                    | 972630 | 632.21 | 8.611 | 71.0  | 5.94  | Genotype Variance            | واریانس ژنوتیپ‌ها                       |
| 0     | 10.84                                | 131973 | 76.12  | 3.948 | 223.4 | 5.23  | Check Variance               | واریانس شاهد‌ها                         |
| 0.027 | 8.48                                 | 219396 | 1562   | 0.784 | 38.6  | 1.105 | Avg Std Err (BLUP/BLUE)      | خطای استاندارد میانگین (BLUP/BLUE)      |
| 0.045 | 3.24                                 | 611    | 11.234 | 0.828 | 8.545 | 1.506 | Avg Std Err Difference Gen   | اختلاف خطای استاندارد میانگین ژنوتیپ‌ها |
| 0     | 2.68                                 | 295    | 7.46   | 0.45  | 7.19  | 0.96  | Avg Std Err Difference Check | اختلاف خطای استاندارد میانگین شاهد‌ها   |

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدگی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ TGW: وزن هزار دانه؛ GFR: سرعت پرشدن دانه؛ GY: عملکرد دانه؛ DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; TGW: Thousand-grain weight; GFR: Grain filling rate; GY: Grain yield

به جو شش‌ردیفه کاملاً منطقی است و با گزارشات سایر محققان هم مطابقت دارد (Le Gouie *et al.*, 1999؛ Shahmoradi, 2022). در این تحقیق، بیش از نیمی از ژنوتیپ‌ها، که بیشتر آن‌ها دوردیفه بودند، میانگین وزن هزار دانه بیشتری نسبت به هر چهار شاهد آزمایش داشتند (جدول ۲).

بیشترین مقدار سرعت پرشدن دانه به ترتیب در ژنوتیپ‌های شماره ۸۳، ۲۷، ۵۷، ۴۸، ۳، ۱، ۲۳، ۶۳، ۲۵، ۳۴، ۸۲، ۶۶، ۶۰، ۶۵ و ۶۸ با مقادیر ۱۹۶، ۱۸۲، ۱۷۸، ۱۷۴، ۱۷۲، ۱۶۵، ۱۶۴، ۱۶۱، ۱۵۶، ۱۵۱، ۱۴۸، ۱۴۷، ۱۴۵، ۱۴۴ و ۱۴۲ کیلوگرم در روز برآورد شد که از میانگین همه ژنوتیپ‌های شاهد بالاتر بود. کمترین مقادیر سرعت پرشدن دانه به ترتیب در ژنوتیپ‌های ۹۹، ۹۰، ۷۲، ۱۰۸، ۹۱، ۹۴ و ۷۶ با مقادیر ۴۶، ۴۶، ۴۸، ۵۰، ۵۴، ۶۱ و ۶۲ کیلوگرم در روز مشاهده شدند. از طرفی، میانگین سرعت پرشدن دانه در جوهای دوردیفه (۱۲۰/۷) کیلوگرم در هکتار) از میانگین سرعت پرشدن دانه در جوهای شش‌ردیفه (۱۱۰/۳) کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود (جدول ۲).

نتایج نشان دادند که تعداد روز تا رسیدگی ژنوتیپ‌ها بین ۱۳۱ تا ۱۴۴ روز بود. از طرفی میانگین تعداد روز تا رسیدگی در جوهای دوردیفه ۱۳۹ روز و در جوهای شش‌ردیفه ۱۴۱ بود. بنا بر این، در مجموع جوهای دوردیفه کمی زودتر از جوهای شش‌ردیفه بودند (جدول ۲). یکی از چالش‌های مهم در برنامه‌های اصلاح نباتات، توجه به زودرسی ژنوتیپ‌ها است (Barati *et al.*, 2022). زودرسی به‌منظور فرار از تنش دمایی بالا به‌عنوان یک روش سازگار عالی در مناطقی که با گرمای انتهایی فصل مواجه هستند، مورد توجه است (Mondai *et al.*, 2016). زمان ظهور سنبله و رسیدگی از مهمترین صفات مرتبط با سازگاری ژنوتیپ‌های مختلف با محیط‌های خاص هستند که نقش مهمی در میزان عملکرد دانه گیاهان زراعی در مناطق تحت تنش دارند (Bavei *et al.*, 2011). دمای بالا ممکن است طول دوره‌های فنولوژیک را با کاهش دوره زندگی گیاه کاهش دهد، که در نتیجه آن تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی و دوره‌های پرشدن دانه کاهش می‌یابد و تأثیر منفی بر عملکرد دانه خواهد داشت (Nahar *et al.*, 2010). ژنوتیپ‌هایی که با تنظیم مراحل فنولوژیک و با رسیدگی زودتر، دوره‌ی پر شدن دانه را زودتر آغاز کنند، در دوره پرشدن دانه

نتایج مقایسه میانگین صفات مختلف ژنوتیپ‌های مورد بررسی با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ در جدول ۲ ارائه شده‌اند. نتایج نشان دادند که دامنه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بین ۱۶۰۰ تا ۷۸۳۳ کیلوگرم در هکتار بود که بیانگر تفاوت چشمگیر میان ژنوتیپ‌ها به‌واسطه تنوع ژنتیکی بین آن‌ها است. بیشترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۹۳، ۶۴، ۳۱، ۵۴، ۴، ۲، ۳۸، ۷۱، ۲۶، ۷۶ و ۶۷ با مقادیر ۷۸۳۳، ۶۴۰۰، ۷۳۰۰، ۷۱۰۰، ۶۸۰۰، ۶۶۰۰، ۶۵۳۳، ۶۴۰۰، ۶۴۰۰، ۶۱۰ کیلوگرم و ۶۰۶۷ و ۶۰۳۳ کیلوگرم در هکتار بود. در این میان، اختلاف میانگین ژنوتیپ‌های شماره ۹۳، ۶۴، ۳۱، ۵۴ و ۲ نسبت به همه ژنوتیپ‌های شاهد معنی‌دار بود. همچنین، ژنوتیپ‌های شماره ۹۳، ۶۴، ۷۱، ۷۶ و ۶۷ شش‌ردیفه و ژنوتیپ‌های شماره ۳۱، ۵۴، ۴، ۲، ۳۸ و ۲۶ دوردیفه بودند. در مجموع، میانگین عملکرد دانه جوهای دوردیفه ۴۶۹۳ کیلوگرم در هکتار و میانگین عملکرد جوهای شش‌ردیفه ۴۴۲۴ بود. همچنین، ژنوتیپ‌های مورد بررسی شامل ۵۰ ژنوتیپ دوردیفه و ۶۲ ژنوتیپ شش‌ردیفه بودند که در این میان، نیمی از ژنوتیپ‌های دوردیفه (۲۵ ژنوتیپ) دارای عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل (یعنی ۴۶۱۰ کیلوگرم در هکتار) و تنها ۲۲ ژنوتیپ شش‌ردیفه دارای عملکرد دانه بالاتر از متوسط کل بودند (جدول ۲). در مجموع، این اختلاف میانگین، پتانسیل بالای جوهای دوردیفه را در تولید ژنوتیپ‌های پر محصول نشان می‌دهد.

بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۵۶ (۶۷/۱ گرم) و ۱۷ (۳۶/۲ گرم) بودند. بیشترین وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های دوردیفه مشاهده شد. در این میان، تعداد کمی از ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه (مانند ژنوتیپ‌های شماره ۸۲ و ۷۴) دارای وزن هزار دانه بیشتر از ژنوتیپ‌های دوردیفه بودند. در مجموع، نتایج نشان دادند که میانگین وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های دوردیفه ۵۲/۶ گرم و در ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه ۴۵/۸ گرم بود (جدول ۲). جو دوردیفه معمولاً با قابلیت پنجه‌زنی بیشتر و وزن هزار دانه بالاتر، تعداد دانه در سنبله کمتر را تعدیل می‌کند (Le Gouie *et al.*, 1999). از طرفی، وزن دانه در جو شش‌ردیفه، یکنواختی کمتری دارد، چرا که گلچه‌های جانبی در سنبلچه‌ها، دانه کوچکتری نسبت به گلچه‌های وسطی تولید می‌کنند (Maidl *et al.*, 1996). بنا بر این، وزن هزار دانه بیشتر در جو دوردیفه نسبت

۹۴، ۷۶، ۱۰۲، ۳۸، ۸۰ و ۸۶ به ترتیب با کمترین مقدار شاخص SIIG جزو ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در این تحقیق بودند. در ضمن، عملکرد دانه و سرعت پرشدن دانه در همه این ژنوتیپ‌ها از ژنوتیپ‌های شاهد و سایر ژنوتیپ‌ها پایین‌تر بودند. میانگین شاخص SIIG در ژنوتیپ‌های دوردیفه (۰/۴۹۰) بیشتر از میانگین ژنوتیپ‌های شش ردیفه (۰/۴۳۵) بود که این مطلب حاکی از پتانسیل ژنوتیپ‌های دوردیفه نسبت به ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه است.

زالی و براتی (Zali & Barati, 2020) از شاخص SIIG برای دسته‌بندی و انتخاب برترین لاین‌های جو از بین ۱۰۸ لاین با استفاده از تعدادی از صفات مورفولوژیک استفاده نمودند. در نهایت، ۳۳ لاین جو را با استفاده از شاخص SIIG انتخاب و برای آزمایشات بعدی معرفی نمودند. آن‌ها روش SIIG را موثر در دسته‌بندی و تعیین فاصله بین لاین‌ها معرفی نمودند. کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در سایر گیاهان مانند گندم دوروم (Najafi Mirak *et al.*, 2018)، چغندر قند (Mirzaei Haghghatnia and Hemayati, 2021) و کلزا (Alhani, 2020) و کلزا (Abdollahi Hesar *et al.*, 2020) گزارش شده است.

کمتر در معرض عوامل نامساعد آخر فصل به‌ویژه گرما و خشکی قرار می‌گیرند و در نتیجه از عملکرد بالاتری برخوردار خواهند بود (Blum, 2005).

به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی از شاخص SIIG (Zali *et al.*, 2015; Zali *et al.*, 2023) استفاده شد. شاخص SIIG بر مبنای بالابودن مقدار عملکرد دانه، وزن هزار دانه و سرعت پرشدن و از طرفی کمترین مقدار تعداد روز تا رسیدگی، تعداد روز تا گل‌دهی و ارتفاع بوته محاسبه شد. در جدول ۳، نتایج مقادیر شاخص SIIG نشان می‌دهند که بیشترین و کمترین مقادیر SIIG به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۵۷ (۰/۷۵۴) و ۹۹ (۰/۱۳۵) هستند. این مقدار اختلاف شاخص SIIG نشان از تنوع موجود بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی دارد. در مجموع، ژنوتیپ‌های شماره ۵۷، ۸۳، ۴۸، ۲۷، ۲۳، ۱، ۳، ۳۴، ۶۶، ۶۵، ۲۵، ۱۲، ۶۸ و ۶۰ با بیشترین مقدار SIIG (بیشتر از ۰/۶) جزو ژنوتیپ‌های برتر در این تحقیق بودند. در ضمن، عملکرد دانه و سرعت پرشدن دانه در این ژنوتیپ‌ها از سایر ژنوتیپ‌ها و همچنین ژنوتیپ‌های شاهد بالاتر بودند. از طرفی، ژنوتیپ‌های شماره ۹۹، ۷۲، ۹۰، ۱۰۸، ۹۲، ۹۱

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و شاخص SIIG در ژنوتیپ‌های دوردیفه و شش‌ردیفه و ژنوتیپ‌های شاهد جو

Table 3. Mean comparisons of morphological traits and the SIIG index in two-row and six-row barley genotypes

| شماره ژنوتیپ‌ها<br>Genotype no. | کد ژنوتیپ‌ها<br>Genotype code | صفات مورفولوژیک Morphological traits |      |      |     |     |     |    | SIIG  |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|------|-----|-----|-----|----|-------|
|                                 |                               | GPP                                  | GY   | TGW  | DHE | DMA | PLH | RT |       |
| 1                               | L2                            | 165                                  | 6600 | 49.2 | 99  | 111 | 139 | 2  | 0.697 |
| 2                               | L3                            | 107                                  | 4267 | 56.3 | 100 | 107 | 140 | 2  | 0.452 |
| 3                               | L4                            | 172                                  | 6533 | 50.3 | 100 | 118 | 138 | 2  | 0.695 |
| 4                               | L5                            | 111                                  | 4333 | 58.0 | 99  | 128 | 138 | 2  | 0.442 |
| 5                               | L6                            | 139                                  | 5433 | 42.7 | 99  | 117 | 138 | 2  | 0.547 |
| 6                               | L7                            | 97                                   | 3300 | 48.9 | 108 | 108 | 142 | 2  | 0.342 |
| 7                               | L8                            | 112                                  | 4833 | 47.7 | 98  | 95  | 141 | 2  | 0.493 |
| 8                               | L9                            | 113                                  | 4767 | 48.3 | 101 | 65  | 143 | 2  | 0.533 |
| 9                               | L11                           | 117                                  | 4800 | 60.4 | 100 | 123 | 141 | 2  | 0.498 |
| 10                              | L12                           | 104                                  | 3933 | 50.2 | 99  | 124 | 137 | 2  | 0.380 |
| 11                              | L13                           | 126                                  | 4933 | 47.8 | 99  | 103 | 138 | 2  | 0.522 |
| 12                              | L14                           | 135                                  | 5533 | 49.3 | 99  | 72  | 140 | 2  | 0.626 |
| 13                              | L15                           | 129                                  | 5300 | 43.9 | 100 | 80  | 141 | 2  | 0.571 |
| 14                              | L16                           | 121                                  | 4367 | 49.2 | 102 | 115 | 138 | 2  | 0.458 |
| 15                              | L17                           | 139                                  | 5567 | 48.0 | 99  | 110 | 139 | 2  | 0.583 |
| 16                              | L18                           | 133                                  | 5067 | 55.6 | 99  | 105 | 137 | 2  | 0.568 |
| 17                              | L19                           | 88                                   | 3433 | 67.1 | 98  | 111 | 137 | 2  | 0.397 |
| 18                              | L21                           | 117                                  | 4667 | 49.8 | 101 | 108 | 141 | 2  | 0.480 |
| 19                              | L22                           | 80                                   | 3200 | 55.5 | 100 | 113 | 140 | 2  | 0.317 |
| 20                              | L23                           | 142                                  | 5267 | 52.8 | 100 | 99  | 137 | 2  | 0.604 |
| 21                              | L24                           | 128                                  | 4867 | 52.9 | 97  | 110 | 135 | 2  | 0.528 |
| 22                              | L25                           | 106                                  | 3933 | 58.7 | 101 | 105 | 138 | 2  | 0.440 |
| 23                              | L26                           | 165                                  | 6100 | 55.8 | 101 | 104 | 138 | 2  | 0.708 |
| 24                              | L27                           | 101                                  | 4133 | 44.1 | 101 | 114 | 142 | 2  | 0.381 |
| 25                              | L28                           | 161                                  | 5800 | 56.8 | 98  | 126 | 134 | 2  | 0.643 |
| 26                              | L29                           | 95                                   | 3600 | 56.1 | 97  | 125 | 135 | 2  | 0.358 |
| 27                              | L31                           | 182                                  | 7100 | 45.8 | 104 | 115 | 143 | 2  | 0.717 |
| 28                              | L32                           | 104                                  | 3967 | 56.4 | 99  | 104 | 137 | 2  | 0.432 |
| 29                              | L33                           | 127                                  | 4833 | 56.8 | 99  | 105 | 137 | 2  | 0.542 |
| 30                              | L34                           | 138                                  | 5400 | 51.8 | 101 | 125 | 140 | 2  | 0.557 |
| 31                              | L35                           | 132                                  | 5533 | 51.5 | 100 | 122 | 142 | 2  | 0.555 |
| 32                              | L36                           | 93                                   | 3533 | 50.6 | 100 | 114 | 138 | 2  | 0.344 |
| 33                              | L37                           | 93                                   | 3700 | 60.5 | 101 | 138 | 141 | 2  | 0.360 |
| 34                              | L38                           | 156                                  | 6400 | 52.2 | 99  | 125 | 140 | 2  | 0.653 |
| 35                              | L39                           | 83                                   | 3467 | 57.0 | 99  | 122 | 141 | 2  | 0.331 |
| 36                              | L41                           | 88                                   | 3267 | 46.1 | 105 | 114 | 142 | 2  | 0.299 |
| 37                              | L42                           | 124                                  | 5067 | 52.4 | 100 | 124 | 141 | 2  | 0.507 |
| 38                              | L43                           | 72                                   | 2800 | 52.3 | 102 | 122 | 141 | 2  | 0.250 |
| 39                              | L44                           | 104                                  | 4067 | 58.1 | 104 | 125 | 143 | 2  | 0.411 |
| 40                              | L45                           | 103                                  | 3800 | 59.0 | 96  | 121 | 133 | 2  | 0.405 |
| 41                              | L46                           | 139                                  | 5267 | 54.0 | 101 | 133 | 139 | 2  | 0.545 |
| 42                              | L47                           | 111                                  | 4567 | 50.0 | 102 | 108 | 143 | 2  | 0.459 |
| 43                              | L48                           | 123                                  | 4433 | 41.3 | 103 | 127 | 139 | 2  | 0.429 |
| 44                              | L49                           | 132                                  | 4500 | 51.4 | 103 | 134 | 137 | 2  | 0.473 |
| 45                              | L51                           | 115                                  | 4033 | 62.7 | 97  | 130 | 132 | 2  | 0.447 |
| 46                              | L52                           | 109                                  | 4667 | 53.3 | 98  | 112 | 141 | 2  | 0.466 |
| 47                              | L53                           | 88                                   | 3533 | 53.4 | 99  | 112 | 139 | 2  | 0.346 |
| 48                              | L54                           | 174                                  | 6800 | 50.4 | 99  | 115 | 138 | 2  | 0.718 |
| 49                              | L55                           | 119                                  | 4633 | 52.9 | 99  | 112 | 138 | 2  | 0.487 |
| 50                              | L56                           | 111                                  | 4333 | 50.6 | 104 | 94  | 143 | 6  | 0.467 |
| 51                              | L57                           | 117                                  | 4667 | 48.1 | 104 | 93  | 144 | 6  | 0.497 |
| 52                              | L58                           | 112                                  | 4367 | 44.6 | 105 | 80  | 144 | 6  | 0.476 |
| 53                              | L59                           | 116                                  | 4633 | 45.3 | 103 | 98  | 143 | 6  | 0.477 |
| 54                              | L61                           | 118                                  | 4500 | 42.6 | 101 | 105 | 139 | 6  | 0.456 |
| 55                              | L62                           | 133                                  | 5200 | 45.9 | 103 | 110 | 142 | 6  | 0.537 |
| 56                              | L63                           | 113                                  | 4733 | 36.2 | 100 | 96  | 142 | 6  | 0.457 |

| شماره ژنوتیپ‌ها<br>Genotype no. | کد ژنوتیپ‌ها<br>Genotype code | صفات مورفولوژیک Morphological traits |      |      |       |       |       |    | SIIG  |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|----|-------|
|                                 |                               | GFP                                  | GY   | TGW  | DHE   | DMA   | PLH   | RT |       |
| 57                              | L64                           | 178                                  | 7300 | 45.1 | 100   | 95    | 141   | 6  | 0.754 |
| 58                              | L65                           | 119                                  | 4533 | 46.7 | 100   | 102   | 138   | 6  | 0.477 |
| 59                              | L66                           | 107                                  | 4167 | 40.9 | 104   | 100   | 143   | 6  | 0.411 |
| 60                              | L67                           | 147                                  | 6033 | 38.7 | 97    | 97    | 138   | 6  | 0.613 |
| 61                              | L68                           | 134                                  | 5633 | 44.2 | 99    | 87    | 141   | 6  | 0.595 |
| 62                              | L69                           | 123                                  | 4933 | 43.4 | 102   | 80    | 142   | 6  | 0.532 |
| 63                              | L71                           | 164                                  | 6400 | 46.3 | 105   | 113   | 144   | 6  | 0.666 |
| 64                              | L72                           | 133                                  | 5200 | 47.2 | 104   | 101   | 143   | 6  | 0.554 |
| 65                              | L73                           | 145                                  | 5800 | 49.2 | 104   | 86    | 144   | 6  | 0.647 |
| 66                              | L74                           | 148                                  | 5900 | 52.8 | 104   | 103   | 144   | 6  | 0.648 |
| 67                              | L75                           | 102                                  | 4400 | 47.2 | 100   | 113   | 143   | 6  | 0.411 |
| 68                              | L76                           | 144                                  | 6067 | 46.0 | 99    | 105   | 141   | 6  | 0.624 |
| 69                              | L77                           | 135                                  | 5267 | 42.6 | 101   | 104   | 140   | 6  | 0.546 |
| 70                              | L78                           | 102                                  | 4500 | 43.1 | 94    | 90    | 138   | 6  | 0.446 |
| 71                              | L79                           | 94                                   | 3933 | 37.0 | 99    | 105   | 141   | 6  | 0.353 |
| 72                              | L81                           | 48                                   | 1967 | 40.2 | 99    | 116   | 140   | 6  | 0.149 |
| 73                              | L82                           | 104                                  | 4367 | 45.0 | 98    | 118   | 140   | 6  | 0.401 |
| 74                              | L83                           | 125                                  | 5267 | 57.2 | 100   | 127   | 142   | 6  | 0.531 |
| 75                              | L84                           | 98                                   | 4100 | 46.6 | 100   | 102   | 142   | 6  | 0.399 |
| 76                              | L85                           | 62                                   | 2600 | 47.9 | 99    | 113   | 141   | 6  | 0.223 |
| 77                              | L86                           | 116                                  | 5000 | 47.4 | 97    | 107   | 140   | 6  | 0.495 |
| 78                              | L87                           | 121                                  | 4733 | 46.2 | 99    | 118   | 138   | 6  | 0.470 |
| 79                              | L88                           | 136                                  | 5433 | 46.8 | 97    | 117   | 137   | 6  | 0.554 |
| 80                              | L89                           | 83                                   | 3233 | 43.1 | 102   | 120   | 141   | 6  | 0.267 |
| 81                              | L91                           | 100                                  | 3900 | 46.8 | 98    | 135   | 137   | 6  | 0.344 |
| 82                              | L92                           | 151                                  | 5300 | 61.0 | 98    | 135   | 133   | 6  | 0.588 |
| 83                              | L93                           | 196                                  | 7833 | 50.9 | 100   | 133   | 140   | 6  | 0.730 |
| 84                              | L94                           | 133                                  | 5467 | 45.8 | 100   | 113   | 141   | 6  | 0.550 |
| 85                              | L95                           | 138                                  | 5367 | 46.0 | 99    | 119   | 138   | 6  | 0.548 |
| 86                              | L96                           | 73                                   | 3133 | 46.8 | 101   | 108   | 144   | 6  | 0.275 |
| 87                              | L97                           | 115                                  | 4700 | 43.0 | 101   | 100   | 142   | 6  | 0.470 |
| 88                              | L98                           | 136                                  | 5700 | 49.1 | 98    | 115   | 140   | 6  | 0.579 |
| 89                              | L99                           | 97                                   | 3967 | 49.7 | 99    | 128   | 140   | 6  | 0.357 |
| 90                              | L101                          | 46                                   | 1933 | 48.4 | 100   | 125   | 142   | 6  | 0.156 |
| 91                              | L102                          | 54                                   | 2200 | 54.6 | 98    | 125   | 139   | 6  | 0.208 |
| 92                              | L103                          | 68                                   | 2600 | 42.4 | 105   | 125   | 143   | 6  | 0.181 |
| 93                              | L104                          | 100                                  | 4000 | 39.3 | 100   | 109   | 140   | 6  | 0.368 |
| 94                              | L105                          | 61                                   | 2433 | 41.2 | 99    | 107   | 139   | 6  | 0.208 |
| 95                              | L106                          | 97                                   | 3600 | 44.8 | 100   | 109   | 137   | 6  | 0.349 |
| 96                              | L107                          | 85                                   | 3333 | 43.0 | 99    | 98    | 138   | 6  | 0.323 |
| 97                              | L108                          | 138                                  | 5367 | 43.8 | 102   | 133   | 141   | 6  | 0.519 |
| 98                              | L109                          | 98                                   | 4100 | 42.8 | 101   | 117   | 143   | 6  | 0.364 |
| 99                              | L111                          | 46                                   | 1600 | 49.3 | 96    | 145   | 131   | 6  | 0.135 |
| 100                             | L112                          | 113                                  | 4867 | 40.1 | 101   | 115   | 144   | 6  | 0.446 |
| 101                             | L113                          | 122                                  | 5233 | 41.0 | 101   | 118   | 144   | 6  | 0.488 |
| 102                             | L114                          | 70                                   | 2867 | 42.0 | 103   | 106   | 144   | 6  | 0.245 |
| 103                             | L115                          | 119                                  | 4767 | 42.3 | 104   | 125   | 144   | 6  | 0.444 |
| 104                             | L116                          | 83                                   | 3567 | 41.4 | 100   | 119   | 143   | 6  | 0.287 |
| 105                             | L117                          | 101                                  | 3533 | 49.6 | 96    | 150   | 131   | 6  | 0.321 |
| 106                             | L118                          | 122                                  | 4400 | 51.5 | 96    | 114   | 132   | 6  | 0.474 |
| 107                             | L119                          | 106                                  | 4033 | 54.8 | 102   | 150   | 140   | 6  | 0.375 |
| 108                             | L120                          | 50                                   | 2033 | 46.2 | 102   | 116   | 143   | 6  | 0.170 |
| 109                             | Armaghan                      | 117                                  | 4778 | 45.3 | 103   | 130   | 143   | 6  | 0.442 |
| 110                             | Rihan 03                      | 127                                  | 5078 | 49.0 | 102   | 128   | 142   | 6  | 0.499 |
| 111                             | Furat 03                      | 93                                   | 3811 | 48.8 | 98    | 95    | 139   | 2  | 0.390 |
| 112                             | V Morales                     | 134                                  | 5367 | 38.7 | 101   | 110   | 141   | 6  | 0.521 |
| میانگین جوهای<br>دور ردیفه      | Mean of two-row barley        | 120.7                                | 4693 | 52.6 | 100.1 | 113.4 | 139   | 2  | 0.490 |
| میانگین جوهای<br>شش ردیفه       | Mean of six-row barley        | 110.3                                | 4424 | 45.8 | 100.4 | 111.6 | 141   | 6  | 0.435 |
| میانگین<br>ژنوتیپ‌ها            | Mean genotypes                | 102.1                                | 4610 | 47.5 | 100.3 | 112.9 | 140.2 |    | 0.398 |
| میانگین شاهدها<br>برای LSD      | Mean check                    | 105.7                                | 4713 | 46.8 | 100.8 | 116.5 | 140.9 |    | 0.403 |
| ژنوتیپ‌ها<br>برای LSD           | LSD for genotypes             | 22.25                                | 1210 | 6.42 | 2.98  | 16.93 | 1.64  |    | 0.09  |
| شاهدها<br>برای LSD              | LSD for checks                | 14.77                                | 585  | 5.30 | 1.90  | 14.23 | 0.90  |    | -     |

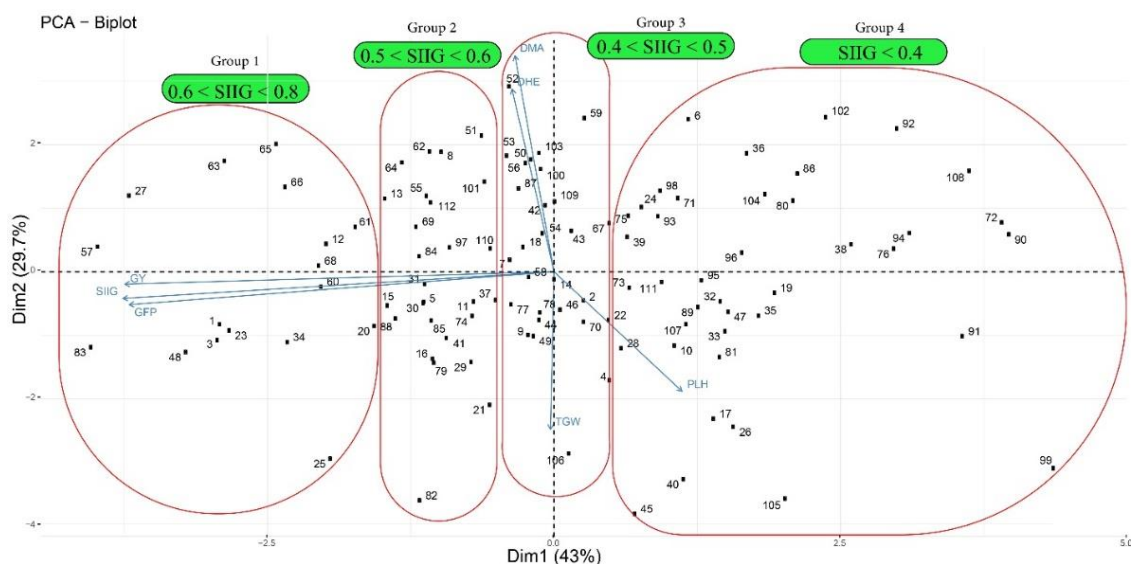
DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدگی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ TGW: وزن هزار دانه؛ GFR: سرعت پرشدن دانه؛ GY: عملکرد دانه؛ RT: تعداد ردیف  
DHE: Number of days to heading; DMA: Number of days to maturity; PLH: Plant height; TGW: Thousand-grain weight; GFR: Grain filling rate; GY: Grain yield; RT: Row type

دانه و سرعت پرشدن دانه بیشترین همبستگی را با شاخص SIIG داشتند (شکل ۲). بنابراین، در شرایط این تحقیق، شاخص SIIG ژنوتیپ‌ها را بیشتر بر اساس مقدار بالای عملکرد دانه و سرعت پرشدن دانه رتبه‌بندی نموده‌است. بر اساس نتایج PCA، ژنوتیپ‌ها در چهار گروه قرار گرفتند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌هایی بودند که مقدار شاخص SIIG آن‌ها بزرگتر از ۰/۶ و کوچک‌تر از ۰/۸ بود. ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه در این گروه شامل ژنوتیپ‌های شماره ۵۷، ۸۳، ۶۳، ۶۶، ۲۵، ۶۸، ۶۰ و ۶۱ بودند و ژنوتیپ‌های دور ردیفه این گروه شامل ژنوتیپ‌های شماره ۴۸، ۲۷، ۲۳، ۱، ۳، ۳۴، ۲۵، ۱۲ و ۲۰

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص SIIG و بررسی ارتباط صفات مورد بررسی از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. اولین و دومین مولفه به ترتیب ۴۳/۰ و ۲۹/۷ درصد تغییرات ارتباط بین صفات و دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها را توجیه نمودند. در مولفه اول، شاخص SIIG و صفات عملکرد دانه (GY) و سرعت پرشدن دانه (GFP) به ترتیب بیشترین سهم را داشتند و صفات تعداد روز تا رسیدگی (DMA)، تعداد روز تا گل‌دهی (DHE)، وزن هزار دانه (TGW) و ارتفاع بوته (PLH) به ترتیب دارای بیشترین سهم در دومین مولفه بودند. نتایج PCA نشان دادند که عملکرد

این گروه شامل ژنوتیپ‌های شماره ۵۱، ۷۷، ۱۰۱، ۵۸، ۵۳، ۵۲، ۱۰۶، ۴۴، ۷۸، ۵۰، ۵۶، ۵۴، ۷۰، ۱۰۰، ۱۰۳، ۱۰۹، ۱۰۹، ۶۷، ۳۹ و ۷۳ بودند و ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۷، ۴۹، ۱۸، ۸۷، ۴۶، ۴۲، ۱۴، ۲، ۴۵، ۴، ۲۲، ۲۸، ۴۳ و ۴۰ جزو ژنوتیپ‌های دوردیفه این گروه بودند. گروه چهارم مربوط به ژنوتیپ‌هایی بود که مقدار شاخص SIIG آن‌ها کمتر از ۰/۴ بود. از ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌های این گروه می‌توان به ژنوتیپ‌های شماره ۹۹، ۷۲، ۹۰، ۱۰۸، ۹۲، ۹۱ و ۹۴ اشاره کرد (شکل ۱).

بودند. ژنوتیپ‌هایی که مقدار شاخص SIIG آن‌ها بین ۰/۵ تا ۰/۶ بود در دو گروه دو قرار داشتند. ژنوتیپ‌های شماره ۸۲، ۸۸، ۶۴، ۷۹، ۸۴، ۸۵، ۶۹، ۵۵، ۶۲، ۷۴، ۱۱۲، ۹۷ و ۱۱۰ جزو ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه بودند و در گروه دو قرار داشتند و ژنوتیپ‌های دوردیفه گروه دو شامل ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۳، ۱۶، ۳۰، ۳۱، ۵، ۴۱، ۲۹، ۸، ۲۱، ۱۱ و ۳۷ بودند. ژنوتیپ‌های گروه سه شامل ژنوتیپ‌هایی بودند که مقدار شاخص SIIG آن‌ها بزرگ‌تر از ۰/۴ و کوچک‌تر از ۰/۵ بود. ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه



شکل ۲- بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص SIIG در ژنوتیپ‌های جو.

Figure 2. (A) The biplot of principal component analysis and grouping of genotypes based on the SIIG index in barley genotypes.

DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدگی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ TGW: وزن هزار دانه؛ GFR: سرعت پرشدن دانه؛ GY: عملکرد دانه؛ Grain yield

بالای ۰/۶) جزو ژنوتیپ‌های برتر در این بررسی بودند و می‌توان از آن‌ها برای انجام آزمایشات تکمیلی مانند آزمایشات مقدماتی مقایسه عملکرد استفاده نمود. همچنین، ژنوتیپ‌های گروه چهارم (با مقادیر پایین‌تر از ۰/۴) جزو ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی مخصوصاً صفات عملکرد دانه و سرعت پرشدن دانه بودند. در ضمن، شاخص SIIG روش مناسبی برای بررسی تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. از طرفی، شاخص SIIG ابزاری مناسب برای غربال اولیه ژنوتیپ‌ها در آزمایشات مقایسه عملکرد با استفاده از صفات مختلف است. همچنین، انطباق بالایی بین نتایج شاخص SIIG و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشاهده شد.

#### سپاسگزاری

پژوهش حاضر حاصل نتایج پروژه مصوب موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر به شماره ۰۱۰۸۴۶-۰۱-۱۲۱-۰۳-۰۳-۰۳ است. نویسندگان مقاله از موسسه مزبور به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی در اجرای پروژه فوق و همچنین همکاران ایستگاه داراب که در اجرای این پروژه یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

امامی و همکاران (Emami *et al.*, 2019) به‌منظور بررسی تحمل تنش اسمزی در لاین‌های پیشرفته گندم دوروم از شاخص SIIG استفاده کردند و بیان نمودند که نتایج شاخص SIIG با نتایج تجزیه خوشه‌ای انطباق بالایی داشت. شیرزاد و همکاران (Shirzad *et al.*, 2022) در بررسی ژنوتیپ‌های امیدبخش جو با استفاده از شاخص SIIG بیان نمودند که یک انطباق نسبی بین شاخص SIIG و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی وجود داشت.

نتایج نشان دادند که در مجموع میانگین عملکرد دانه، وزن هزار دانه و سرعت پرشدن دانه در ژنوتیپ‌های دوردیفه بیشتر از ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه بود. در ضمن، شاخص SIIG در ژنوتیپ‌های دوردیفه (۰/۴۹۰) بیشتر از میانگین ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه (۰/۴۳۵) بود که این مطلب حاکی از پتانسیل بالای ژنوتیپ‌های دوردیفه نسبت به ژنوتیپ‌های شش‌ردیفه است.

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان از تنوع ژنتیکی بالایی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارند، به طوری که ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص SIIG و PCA در چهار گروه دسته‌بندی شدند. بر اساس نتایج PCA، ژنوتیپ‌های گروه یک (با مقادیر SIIG

## References

- Amiri, R., Rostami-Ahmadvandi, H., & Sayyahfar, M. (2023). Evaluation of the genetic variation of oil-rich camelina advanced lines under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 15(47), 152-164. <https://doi.org/10.52547/jcb.15.47.152>. [In Persian]
- Barati, A., Zali, H., Marzoqian, A., Koohkan, S., & Gholipour, A. (2021). Selection of barley pure lines with high yield and desirable agronomic characteristics in warm areas of Iran. *Journal of Crop Production*, 14(1), 199-218. <https://doi.org/10.22069/EJCP.2021.18845.2403>. [In Persian]
- Barati, A., Zali, H., Koohkan, Sh., Marzoqian, A., & Golipor, A. (2022). Evaluation of the application of SIIG index in the selection of barley pure lines with high yield and desirable agronomic characteristics in warm areas of Iran. *Environmental Stresses in Crop Science*, 15(3), 801-815. <https://doi.org/20.1001.1.22287604.1401.15.3.18.6>. [In Persian]
- Bavei, V., Vaezi, B., Abdipour, M., Kamali, M.R.J., & Roustaii, M. (2011). Screening of tolerant spring barleys for terminal heat stress: Different importance of yield components in barleys with different row type. *International Journal of Plant Breeding and Genetic*, 5, 175-193. <https://doi.org/10.3923/ijpb.2011.175.193>
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential: Are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, 1159-1168. <https://doi.org/10.1071/AR05069>
- Dastfal, M., Aghae-Sarbarzeh, M., & Zali, H. (2022). Genetic diversity and selection of durum wheat pure lines with desirable agronomy traits using SIIG index. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1), 161-174. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.298388.654691>. [In Persian]
- Golestani, M. (2024). Selection index of ideal genotype (SIIG) in order to evaluate drought stress tolerance in some sunflower cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 15(48), 31-39. <https://doi.org/10.61186/jcb.15.48.31>. [In Persian]
- Hadado, T., Rau, D., Bitocchiand, E., & Pado, R. (2009). Genetic diversity of barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces from the central highlands of Ethiopia: comparison between the Belg and Meher growing seasons using morphological traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, 1131-1148. <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9437-z>
- Haghighatnia, H., & Alhani, F. (2020). Evaluation of irrigation water salinity tolerance indices in new cultivars and lines of safflower. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(7), 1181-1821. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.299239.668552>. [In Persian]
- Jalata, Z., Ayana, A., & Zeleke, H. (2011). Variability, heritability and genetic advance for some yield and yield related traits in Ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces and crosses. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 5(1), 44-52. <https://doi.org/10.3923/ijpb.2011.44.52>
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. R Package Version 1.0.7.
- Le Gouis, J. (1992). A comparison between two- and six-row winter barley genotypes for above-ground dry matter production and distribution. *Agronomy*, 12(2), 163-171.
- Maidl, F. X., Panse, A., Dennert, J., Ruser, R., & Fischbeck, G. (1996). Effect of varied N rates and N timings on yield, N uptake and fertilizer N use efficiency of a six-row and a two-row winter barley. *Journal of Agronomy*, 5, 247-257. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(96\)02023-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02023-0)
- Martin, J.M., Blake, T.K., & Hockett, E.A. (1991). Diversity among North American spring barley cultivars based on coefficients of parentage. *Crop Science*, 31, 1131-1137. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100050009x>
- Mohammadi, S. A., & Prasanna, B. M. (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants- Salient statistical tools and considerations. *Crop Science*, 43, 1235-1248. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1235>
- Nahar, K., Ahamed, K. U., & Fujita, M. (2010). Phenological variation and its relation with yield in several wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under normal and late sowing mediated heat stress condition. *Notulae Scientia Biologicae*, 2, 51-56. <https://doi.org/10.15835/nsb.2.3.4723>
- Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., & Jost, E. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), 2949-2960. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>
- Olivoto, T., & Nardino, M. (2020). MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *Bioinformatics*, 1-22. <https://doi.org/10.1101/2020.07.23.217778>
- Pour-Aboughadareh, A., Barati, A., Gholipour, A., Zali, H., Marzoghian, A., Koohkan, S. A., Shahbazi-Homonloo, K., & Houseinpour, A. (2023). Deciphering genotype-by-environment interaction in barley genotypes using different adaptability and stability methods. *Journal of Crop Breeding and Biotechnology*, 26, 547-562. <https://doi.org/10.1007/s12892-023-00199-z>
- Resende, M.D.Vd. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16, 330-339. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>
- Rocha, J.R.do A.S.de C., Machado, J.C., & Carneiro, P.C.S. (2018). Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: Proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. *Global Change Biology Bioenergy*, 10(1), 52-60. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12443>

- Rodríguez, F., Alvarado, G., Pacheco, Á., & Burgueño, J. (2017). ACBD-R. Augmented complete block design with R for windows. Version 3.0. <https://hdl.handle.net/11529/10855>. CIMMYT Research Data & Software Repository Network.
- Sabzi, Z., Fazeli, A., & Vaezi, B. (2024). Application of drought tolerance indices for grouping advanced barley cultivars and lines. *Journal of Crop Breeding*, 15(48), 189-200. <https://doi.org/10.61186/jcb.15.48.189>. [In Persian]
- Sadat Hashemi, P., Mohammadi, A., Alizadeh, B., Mostafavi, K., & Amiri Oghan, H. (2023). Simultaneous selection of oil yield and other agronomic characteristics in winter rapeseed hybrids. *Journal of Crop Breeding*, 15(45), 60-68. <https://doi.org/10.61186/jcb.15.45.60>. [In Persian]
- Shahmoradi, S., Shafaoddin, S., & Yousefi, A. (2011). Phenotypic diversity of arid- zone ecotypes in barley collection of national plant gene bank of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 1(4), 495-515. <https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.111079>. [In Persian]
- Shahmoradi Sh. (2022). Analysis of traits of two-row and six-row barley with emphasis on climatic conditions of origin. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(4), 35-44. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.292355.654657>. [In Persian]
- Shirzad, A., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. (2022). Selection of barley superior lines with desirable agronomic characteristics using the selection index of ideal genotype (SIIG). *Journal of Crop Production and Processing*, 12(1), 97-117. <https://doi.org/10.47176/jcpp.12.1.32902>. [In Persian]
- Smith, A.B., Cullis, B.R., & Thompson, R. (2005). The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: An overview of current mixed model approaches. *Journal of Agriculture Science*, 143(1), 449-462. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005587>
- Vanda, M., Hekmat, M., & Alishah, O. (2022). Investigation of genetic diversity and identification of superior cotton cultivars (*Gossypium Hirsutum* L.) using SIIG index. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), 181-189. <https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.181>
- Zali, H., & 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. <https://doi.org/10.29252/jcb.12.34.93>. [In Persian]
- Zali, H., Barati, A., Jabari, M. (2021). Evaluation of variation at barley inbred lines (*Hordeum vulgare* L.) using SIIG index. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 179-194. <https://doi.org/10.52547/jcb.13.39.179>. [In Persian]
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., & Hoscini, 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.
- Zali, H., Barati, A., & Pour-Aboughadareh, A. (2023a). Screening of barley elite genotypes using different selection indices based on multi-traits. *Journal of Crop Production*, 15(4), 159-182. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.20071.2498>. [In Persian]
- Zali, H., Barati, A., Pour-Aboughadareh, A., Gholipour, A., Koohkan, S., Marzoghiyan, A., Bocianowski, J., Bujak, H., & Nowosad, K. (2023b). Identification of superior barley genotypes using selection index of ideal genotype (SIIG). *Plants*, 12, 1843. <https://doi.org/10.3390/plants12091843>