

Selection of barley Superior Promising Lines using Selection Indexes of multi-trait

Alireza Pour-Aboughadareh¹, Hassan Zali^{2*}, Ahmad Gholipour³, Shirali Koohkan⁴, Ali Barati¹, Mehdi Jabari², Masoome Kheirgo⁵, Akbar Marzoghiyan⁵

Received: 22 November 2021 Accepted: 22 September 2022

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

2-Assist. Prof. and Res. Instructor, Crop and Horticultural Science Research Dept., Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran.

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

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

5-Assist. Prof., Crop and Horticultural Science Research Dept., Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

*Corresponding Author Email: Hzali90@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives: The aim of this study was to select of the barley superior lines based on some morpho-phenological traits using various indices based on REML/BLUP model and as well as the SIIG index and comparison of these indices.

Materials and Methods: A set of 17 promising lines along two checks were evaluated in a RCBD with three replications at three research stations including Zabol, Darab, and Gonbad Kavous during the 2020-2021 cropping year.

Results: The results showed that there was a significant difference between the test regions and genotypes in terms of all measured traits. The results obtained by REML model indicated that the highest and lowest heritability values were related to 1000-grain weight and grain filling period, respectively. The MTSI index identified lines G9, G2 and G3 as superior lines, while the FAI-BLUP index identified G13, G11 and G3 as the best lines based on their traits and grain yield. Based on the SIIG index, lines G7, G2, G8 and G17 were identified as the most superior lines.

Conclusion: In general, by comparing the results obtained from different indices, selected lines with SIIG index due to high grain yield and high 1000-grain weight were chosen as selected genotypes for complementary tests. In addition, the selected genotypes using FAI-BLUP and MGIDI indices were early maturity and had a high 1000-grain weight, but their grain yield were lower than both checks of experiment.

Keywords: Genetic Parameters, Ideal Genotype, Mixed Model, Selection Indexes, REML/BLUP Method

انتخاب لاین‌های امیدبخش برتر جو با استفاده از شاخص‌های گزینشی مبتنی بر صفات مختلف

علیرضا پورابوقداره^۱، حسن زالی^{۲*}، احمد قلی‌پور^۳، شیرعلی کوهکن^۴، علی براتی^۱، مهدی جباری^۱، معصومه خیرگو^۳، اکبر مرزوقیان^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۳۱

۱-استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
 ۲-استادیار و مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران
 ۳-مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران
 ۴-استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
 ۵-استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
 * مسئول مکاتبه: Email: hzali90@yahoo.com

چکیده

اهداف: هدف از این تحقیق انتخاب لاین‌های برتر جو بر اساس تعدادی از صفات مورفو-فنولوژیکی با استفاده از شاخص‌های مختلف مبتنی بر مدل REML/BLUP و همچنین شاخص SIIG و مقایسه این شاخص‌ها بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق تعداد ۱۷ لاین امیدبخش به‌همراه دو ژنوتیپ شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه ایستگاه تحقیقاتی شامل زابل، داراب و گنبد کاووس در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ارزیابی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بین مناطق و لاین‌های مورد بررسی از نظر همه صفات ارزیابی شده اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج REML نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار وراثت‌پذیری به‌ترتیب مربوط به وزن هزاردانه و دوره پر شدن دانه است. شاخص MSTI سه ژنوتیپ G9، G2 و G3 و شاخص FAI-BLUP و MGIDI لاین‌های G13، G11 و G3 را به‌عنوان برترین لاین‌ها از سایر لاین‌ها و ژنوتیپ‌های شاهد متمایز کردند. بر اساس نتایج شاخص SIIG، لاین‌های G7، G2، G8 و G17 جزو لاین‌های برتر بودند و همچنین عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با شاخص SIIG نشان داد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی با مقایسه نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های مختلف، لاین‌های انتخابی با شاخص SIIG به‌دلیل عملکرد دانه بالا و وزن هزاردانه بیشتر به‌عنوان لاین‌های منتخب برای آزمایشات تکمیلی (مانند ارزیابی سازگاری و پایداری) انتخاب شدند. علاوه براین، لاین‌های انتخابی با استفاده از شاخص‌های FAI-BLUP و MGIDI زودرس و دارای وزن هزار دانه بالا بودند اما عملکرد آنها از هر دو شاهد آزمایش پایین‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای ژنتیکی، ژنوتیپ ایده‌آل، شاخص‌های انتخاب، روش REML/BLUP، مدل مخلوط

مقدمه

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. بر اساس آمار منتشره در سال ۲۰۱۹، در جهان میزان تولید جو حدود ۱۵۸/۹ میلیون تن و در ایران ۳/۶ میلیون تن بود (فائو ۲۰۱۹).

برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول در برنامه‌های اصلاحی، ژنوتیپ‌های برتر باید با دقت بالایی انتخاب شوند. عملکرد تحت تأثیر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط قرار می‌گیرد و از نظر بسیاری از محققین برای چنین صفاتی، انتخاب غیرمستقیم از طریق سایر صفات که همبستگی بالایی با عملکرد دارند از کارایی مطلوبی برخوردار است (ریبعی و همکاران ۲۰۰۴). در سال‌های اخیر شاخص‌های انتخاب جدیدی، که بر پایه انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از عملکرد و صفات مختلف به‌طور همزمان، معرفی شده است که از آن جمله می‌توان به شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)^۱ (زالی و همکاران ۲۰۱۵)، شاخص گزینش مبتنی بر چند صفت (MTSI)^۲ (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b)، شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI)^۳ (اولیوتو و ناردینو ۲۰۲۰) و شاخص FAI-BLUP^۴ (روچا و همکاران، ۲۰۱۸) اشاره کرد.

بهره ژنتیکی^۵ جزء مهمی در اصلاح نباتات است و از این رو نقش کلیدی در توسعه برنامه‌های اصلاحی ایفا می‌کند. انتخاب تنها بر اساس یک صفت به‌طور کلی مناسب‌ترین استراتژی در نظر گرفته نمی‌شود، زیرا هیچ اطمینانی از دستاوردهای ژنتیکی در سایر صفات مهم وجود ندارد (جوفر و کاسلر ۲۰۱۵). از این رو، اصلاح‌کنندگان اغلب سعی می‌کنند صفات مطلوب مختلف را در یک ژنوتیپ جدید جمع‌آوری کنند که منجر به عملکرد بالا شود (اولیوتو و ناردینو ۲۰۲۰). برای این منظور، چندین شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر

پیشنهاد شده است. در این رویکردها، بیان ارزش اقتصادی این گونه صفات و تبدیل آنها به وزندهی اقتصادی واقعی، چالش‌های اصلی است که اغلب اصلاح‌کنندگان را در انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها محدود می‌کند (بیزاری و همکاران ۲۰۱۷). برای غلبه بر این محدودیت، اولیوتو و ناردینو (۲۰۲۰) یک شاخص چند صفتی جدیدی بر اساس تجزیه و تحلیل عاملی و فاصله از ایدئوتیپ (MGIDI) معرفی کردند. این شاخص بر انتخاب ژنوتیپ‌های برتر که در آن صفات متعدد اندازه‌گیری شده است، تمرکز دارد. اولیوتو و همکاران (۲۰۲۱)، پورابوقداره و پوکزای (۲۰۲۱) و پورابوقداره و همکاران (۲۰۲۱) از شاخص MGIDI برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در توت فرنگی، گندم‌های وحشی و جو زراعی استفاده کردند. آنها همچنین نشان دادند که این شاخص می‌تواند به‌طور همزمان بسیاری از صفات و یا شاخص‌ها را در نظر بگیرد و همچنین نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های مورد آزمایش را ارزیابی کند.

شاخص FAI-BLUP یک شاخص جدید می‌باشد که توسط روچا و همکاران (۲۰۱۸) پیشنهاد شده است. FAI-BLUP یک شاخص چند صفتی مبتنی بر تحلیل عاملی است و بر اساس فاصله هر کدام از ژنوتیپ‌ها از ایدئوتیپ برآورد می‌شود. محاسبه چنین شاخص چند صفتی، اثرات ژنتیکی را با مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی می‌کند و محاسبه مقادیر ژنتیکی با استفاده از مدل‌های ترکیبی مانند REML/BLUP (ریسند ۲۰۱۶) استراتژی مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها است. در سایر تحقیقات کارایی شاخص FAI-BLUP گزارش شده است (سیلوا و همکاران ۲۰۱۸، اولیویرا و همکاران ۲۰۱۹، روچا و همکاران ۲۰۱۹، وویان و همکاران ۲۰۱۹).

شاخص MTSI برای شناسایی ژنوتیپ‌های پربازده و مطلوب از نظر صفات زراعی در آزمایشات چند محیطی (MTEs)^۶ به‌عنوان یکی از جدیدترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های آماری معرفی شده است (اولیوتو و

^۴ Factor analysis and ideotype design via best linear unbiased prediction

^۵ Genetic gain

^۶ Multi-environment trials

^۱ Selection index of ideal genotype

^۲ Multi-trait stability index

^۳ The multi-trait genotype-ideotype distance index

قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار همراه با دو شاهد رقم اکسین و لاین WB-97-5 در مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان (زابل)، فارس (ایستگاه داراب)، گلستان (ایستگاه گنبد کاووس) در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ ارزیابی شدند. آمار هوشناسی ایستگاه‌های تحقیقاتی در جدول ۲ نشان داده شده است. لاین‌های مورد بررسی در اواسط آذر ماه در شش خط به طول شش متر به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یک-دیگر کشت و به صورت نشتی آبیاری شدند. میزان بذر مصرفی بر مبنای ۳۰۰ دانه در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزاردانه برای هر لاین تعیین گردید. در طول فصل زراعی، کلیه عملیات‌های زراعی مرسوم انجام شد. در طول دوره رشد و زمان برداشت، صفاتی شامل تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، طول دوره پر شدن دانه، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند.

شاخص MGIDI

برای رتبه‌بندی لاین‌ها از شاخص MGIDI شد. این شاخص بر اساس اطلاعات صفات مورد بررسی محاسبه می‌شود (اولیوتو و ناردينو ۲۰۲۰). مراحل محاسبه آن به صورت زیر می‌باشد:

۱- تغییر مقیاس صفات: X_{ij} یک جدول دو طرفه با آرديف یا ژنوتیپ و Z ستون یا صفت می‌باشد. مقدار تغییر مقیاس یافته برای ردیف i و ستون j (rX_{ij}) به صورت رابطه ۱ محاسبه شد:

$$rX_{ij} = \frac{\eta_{nj} - \varphi_{nj}}{\eta_{oj} - \varphi_{oj}} \times (\theta_{ij} - \eta_{oj}) + \eta_{nj} \quad \text{رابطه (۱)}$$

η_{oj} و φ_{oj} به ترتیب مقادیر اصلی حداقل و حداکثر برای صفت j هستند. η_{nj} و φ_{nj} به ترتیب مقادیر جدید حداقل و حداکثر برای صفت j پس از تغییر مقیاس^۲ هستند و θ_{ij} مقدار اصلی برای صفت j از ژنوتیپ i است. برای تغییر مقیاس مقادیر η_{nj} و φ_{nj} به صورت زیر محاسبه شدند: برای صفاتی که در آنها مقدار بالا مورد نظر است، φ_{nj} برابر با صفر و η_{nj} برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود، در حالی که برای صفاتی که در

همکاران ۲۰۱۹b). در این شاخص برای انتخاب ژنوتیپ-های مطلوب، علاوه بر عملکرد دانه، صفات دیگر نیز در نظر گرفته می‌شوند که چنانچه همبستگی آنها با عملکرد بالا باشد انتخاب به نحو موثرتری انجام خواهد شد. این شاخص بر مبنای تجزیه عاملی معرفی شده است که در آن عملکرد دانه و همه صفات اندازه‌گیری شده دیگر و پایداری آنها به طور همزمان ارزیابی می‌شوند. در یک مطالعه به منظور غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش‌های شوری و خشکی سویا از شاخص MTSI در یک آزمایش چند محیطی استفاده شد. نتایج نشان داد این شاخص به طور همزمان ژنوتیپ‌های متحمل به هر دو تنش خشکی و شوری را از سایر ژنوتیپ‌ها با دقت بالاتری متمایز نموده است (زوفو و همکاران ۲۰۲۰). حسین و همکاران (۲۰۲۱) نیز کارایی بالای شاخص MTSI را در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی خود را در قالب آزمایشات MET گزارش کردند.

برای انتخاب ارقام پرمحصول با خصوصیات زراعی مطلوب استفاده از روش‌هایی که بتواند این صفات را ادغام نماید و احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل را افزایش دهد یک ضرورت محسوب می‌شود. شاخص SIIG^۱ پیشنهاد شده توسط زالی و همکاران (۲۰۱۵) یکی از این روش‌ها می‌باشد. 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. استفاده از شاخص SIIG در برخی تحقیقات نیز گزارش شده است (امامی و همکاران ۲۰۱۹، نجفی میرک و همکاران ۲۰۱۸، حقیقت نیا و الهانی ۲۰۲۰، براتی و همکاران ۲۰۲۱).

هدف از این تحقیق، مقایسه شاخص‌های مختلف انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس عملکرد دانه و تعدادی از صفات مورفو-فنولوژیک برای انجام آزمایشات سازگاری در سال‌های بعد بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور ارزیابی عملکرد دانه و تعدادی از صفات مورفو-فنولوژیک در مناطق گرم جنوب و شمال کشور، تعداد ۱۷ لاین امیدبخش جو (جدول ۱) در

^۲ Rescaling

^۱ Selection index of ideal genotype

شاخص MSTI

شاخص MSTI براساس چند صفت با استفاده از نمرات به دست آمده از یک تجزیه عامل انجام شد. تخمین MSTI بر طبق رابطه ۴ انجام شد (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹ا):

$$\text{MSTI}_i = \left[\sum_{j=1}^f (F_{ij} - F_j)^2 \right]^{0.5} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه ۴، F_{ij} نمره F_j نمره F_j ایدئوتیپ است. ژنوتیپ‌هایی با کمترین مقدار MSTI به ایدئوتیپ نزدیک‌تر هستند.

شاخص FAI-BLUP

شاخص FAI-BLUP یک شاخص چند صفتی مبتنی بر تحلیل عاملی است و بر اساس فاصله هر کدام از ژنوتیپ‌ها از ایدئوتیپ برآورد می‌شود. پس از تعیین ایدئوتیپ، فواصل هر ژنوتیپ بر اساس ایدئوتیپ (فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ) برآورد و به احتمال خاصی^۲ تبدیل شده و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را امکان‌پذیر می‌کند. برای محاسبه شاخص FAI-BLUP از رابطه ۵ استفاده شد:

$$P_{ij} = \frac{1}{\sum_{i=1; j=1}^{i=n; j=m} d_{ij}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن P_{ij} احتمال مشابه بودن ژنوتیپ i ام ($i=1, 2, \dots, n$) با ایدئوتیپ j ام ($j=1, 2, \dots, m$); d_{ij} فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ از ژنوتیپ i ام تا ایدئوتیپ j ام بر اساس میانگین استاندارد فاصله اقلیدسی است (روچا و همکاران ۲۰۱۸).

شاخص SIIG

به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از صفات مورفو-فنولوژیک از روش SIIG استفاده شد که نحوه محاسبه این شاخص به شرح زیر می‌باشد (زالی و همکاران ۲۰۱۵):

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها: ماتریس داده‌ها به صورت رابطه ۶ تشکیل شد (ماتریس D).

آنها مقدار پایین مورد نظر است، φ_{nj} برابر با ۱۰۰ و η_{nj} برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. در جدول دو طرفه تغییر مقیاس یافته (rX_{ij})، هر ستون دارای محدوده ۰-۱۰۰ است که مفهوم انتخاب مورد نظر (افزایش یا کاهش) را در نظر می‌گیرد و ساختار همبستگی مجموعه اصلی متغیرها را حفظ می‌کند.

۲- تجزیه به عامل‌ها: در مرحله بعد، تحلیل عاملی (FA) برای محاسبه کاهش ابعاد داده‌ها و ساختار روابط انجام شد. این تحلیل بر اساس رابطه ۲ انجام شد:

$$F = Z(A^T R^{-1})^T \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن F یک ماتریس $g \times f$ با مقادیر عامل‌ها است، Z یک ماتریس $g \times p$ با میانگین استاندارد شده (تغییر مقیاس یافته) است، A یک ماتریس $p \times f$ از بارگذاری متعارف^۱ است و R یک ماتریس همبستگی $p \times p$ بین صفات است. علاوه بر این g ، f و p به ترتیب تعداد ژنوتیپ‌ها، عامل‌های باقیمانده (عامل‌هایی که مقدار ویژه آنها از یک بیشتر است) و شاخص‌های محاسبه‌شده را نشان می‌دهند.

۳- تعریف ایدئوتیپ: طبق تعریف معادله (۱)، ایدئوتیپ دارای بالاترین مقدار تغییر مقیاس (۱۰۰) برای همه صفات مورد بررسی است. بنابراین، ایدئوتیپ را می‌توان با یک بردار $I [1 \times p]$ تعریف کرد به طوری که I برابر ۱۰۰، ۱۰۰، ...، ۱۰۰ باشد. نمرات I نیز بر اساس رابطه (۲) تخمین زده می‌شود.

۴- محاسبه شاخص MGIDI: در مرحله آخر، فاصله اقلیدسی بین نمرات ژنوتیپ‌ها و ایدئوتیپ به عنوان شاخص MGIDI با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$\text{MGIDI} = \sum_{i=1}^f [(y_{ij} - \gamma_j)^2]^{0.5} \quad \text{رابطه (۳)}$$

γ_j امتیاز i امین ژنوتیپ در فاکتور j ام است ($i = 1, 2, \dots, f$) که t و f به ترتیب تعداد ژنوتیپ‌ها و عامل‌ها است، γ_j نمره j ام ایدئوتیپ است. ژنوتیپ‌هایی با کمترین مقدار MGIDI به ایدئوتیپ نزدیک‌تر هستند و بنابراین مقادیر مطلوب را برای همه شاخص‌های محاسبه شده نشان می‌دهد. دیفرانسیل انتخاب برای همه صفات با در نظر گرفتن شدت انتخاب ۱۵ درصد انجام شد.

^۲ spatial probability^۱ Canonical loadings

در رابطه ۷، بعد از استاندارد نمودن داده‌های اولیه (ماتریس D)، ماتریس R به صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۸)}$$

۳- پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیرایده‌آل (ضعیف) برای هر صفت: در این مرحله با توجه به نوع صفت و نظر محقق مشخص می‌شود مقدار بالای یک صفت ایده‌آل است یا مقادیر پایین آن.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d_i^+) و ژنوتیپ‌های ضعیف (d_i^-): در این مرحله برای هر ژنوتیپ، فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d_i^+) و ژنوتیپ‌های ضعیف (d_i^-) به ترتیب با استفاده از روابط ۹ و ۱۰ محاسبه شد.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

۵- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG): در آخرین مرحله برای محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای هر لاین یا ژنوتیپ از رابطه ۱۱ استفاده شد:

$$SIIG_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad 0 \leq SIIG_i \leq 1 \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

درست‌نمایی محدود شده برای هر یک از صفات اندازه-گیری شد (اولیوتو و ناردینو ۲۰۲۰). برای برآورد شاخص‌های MTSI، MGIDI و FAI-BLUP و پارامترهای ژنتیکی از بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی (metan)^۱ در نرم‌افزار R استفاده شد (اولیوتو و لوسیو ۲۰۲۰). به منظور انجام تجزیه واریانس مرکب و همبستگی بین صفات از نرم‌افزار SAS ver.9.1 استفاده شد و در نهایت تمام مراحل محاسبه شاخص SIIG با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد (زالی و همکاران ۲۰۱۵).

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این ماتریس X_{ij} مقدار ژنوتیپ i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با صفت j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) بود. به عبارت دیگر ردیف‌ها را ژنوتیپ‌ها و ستون‌ها را صفات تشکیل دادند. ۲- تبدیل ماتریس داده‌های اولیه (ماتریس D) به یک ماتریس استاندارد شده (ماتریس R): از رابطه ۷ برای استاندارد کردن داده‌ها (بدون واحد کردن داده‌ها) استفاده شد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در روابط ۹ و ۱۰، مقدار استاندارد شده ژنوتیپ i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با شاخص (صفت) j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) است. r_j^+ و r_j^- به ترتیب مقادیر استاندارد شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های ضعیف برای هر شاخص (صفت) j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) است.

مقدار $SIIG_i$ بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار $SIIG_i$ آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. بر اساس این روش، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ-های ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ‌های ضعیف است (زالی و همکاران ۲۰۱۵).

در این تحقیق پارامترهای ژنتیکی شامل واریانس ژنتیکی، واریانس ژنوتیپ در محیط، واریانس باقیمانده، واریانس فنوتیپی، وراثت‌پذیری عمومی، وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی، ضریب تغییرات ژنوتیپی و ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده با استفاده از روش حداکثر

^۱ Multi environment trial analysis

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

کد ژنوتیپ‌ها	شجره
G1	Auxin (Check)
G2	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/ Briges
G3	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Lignee527/NK1272//JLB70-63
G4	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Rihane-03
G5	Ashar/Beecher/4/Arar/3/Cr.115/Por//Giza 121/5/Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"
G6	LIMON/BICHY2000//DEFRA/DESCONOCIDA-BAR CBSS01M00375T-0TOPY-30M-1M-1Y-1M-0Y-0AP-0TR-0AREC
G7	Zarjau/80-5151//OK84817 ICBH94-0402-0AP-0AP-17AP-0AP-12AP-11AP-0AP-0TR-0TR-0AREC
G8	Zarjau/80-5151//OK84817 ICBH94-0402-0AP-0AP-17AP-0AP-12AP-16AP-0AP-0TR-0TR-0AREC
G9	Harmal-02/ArabiAbiad*2/4/Soufara-02/3/RM1508/Por//WI2269 ICB91-0343-0AP-0AP-0AP-470AP-0AP-0TR-0TR-0AREC
G10	Avt/Attiki//M-Att-73-337-1/3/Aths/Lignee686/4/Kabaa
G11	AwBlack/Aths//Arar/3/9Cr279-07/Roho/6/Alanda-01/5/CI01021/4/CM67/U.Sask.1800//Pro/CM67/3/DL70
G12	BREA/DL70//3*TOCTE/3/6B03-4452
G13	Rhn-03/Eldorado/5/Rhn-03//Lignee527/NK1272/4/Lignee527/Chn-01/3/Alanda/6/Maknusa
G14	NISKA/H00057
G15	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/3/Rhn-03//Lignee527/As45
G16	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/3/Rhn-03//Lignee527/As45
G17	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/3/Rhn-03//Lignee527/As45
G18	KAROON/KAVIR//Rhodes'S'//Tb/Chzo/3/Gloria'S' /4/Sahra/5/Yousef
G19	WB-97-5 (Check)

جدول ۲- داده‌های هواشناسی ماهیانه در فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مناطق زابل، گنبد کاووس و داراب

ماه	داراب			زابل			گنبد			
	بارندگی (mm)	دما (سانتی‌گراد)		بارندگی (mm)	دما (سانتی‌گراد)		بارندگی (mm)	دما (سانتی‌گراد)		
		کمینه	بیشینه		کمینه	بیشینه		کمینه	بیشینه	
مهر	۰	۲۴/۷	۳۲/۴	۱۶/۰	۲۹/۰	۱۵/۴	۰	۲۰/۴	۳۲/۶	۸/۱
آبان	۷	۱۸/۷	۲۷/۳	۱۶/۲	۲۴/۱	۸/۷	۲/۶	۱۹/۴	۳۷/۲	۱/۵
آذر	۴۰/۶	۱۴/۲	۲۰/۹	۱۰/۴	۱۷/۱	۳/۶	۱/۴	۸/۰	۲۰	-۴
دی	۲	۱۰/۸	۱۹/۴	۷/۶	۱۵/۸	-۰/۶	۰	۱۳/۳	۲۹/۶	-۳/۱
بهمن	۴/۱	۱۳/۷	۲۲/۸	۱۳/۲	۲۲/۷	۳/۷	۰	۱۳/۱	۳۰/۱	-۳/۹
اسفند	۱۷/۲	۱۷/۲	۲۴/۶	۱۸/۴	۲۶/۹	۱۰/۰	۰	۱۵/۱	۳۵/۹	-۵/۷
فروردین	۰/۹	۲۲/۶	۳۱/۵	۱۷/۲	۲۴/۵	۳۲/۹	۱۷/۲	۱۸/۵	۳۴/۳	۲/۶
اردیبهشت	۱/۹	۲۲/۶	۳۴/۸	۲۸/۸	۳۶/۵	۲۱/۱	۰	۲۸/۰	۸۴۳	۱۲/۲
خرداد	۰	۳۲/۷	۴۲	۳۵/۳	۴۳/۳	۲۷/۲	۰	۳۰/۷	۴۶/۵	۱۴/۸
مجموع	۷۳/۷			۲۱/۲				۲۴۶/۱		

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و سایر صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۳ نشان داده شده

است. نتایج نشان داد که از نظر کلیه صفات اختلاف بسیار معنی‌داری بین مکان‌های اجرای آزمایش وجود دارد. اختلاف بین لاین‌ها و اثرات متقابل نیز از نظر تمامی

صفات بسیار معنی دار بود. وجود اختلاف معنی دار بین مکان‌ها از نظر صفات مختلف بیانگر تأثیر شرایط محیطی مختلف می‌باشد. به عبارت دیگر وجود تنوع ژنتیکی برای این صفات سبب خواهد شد تا بتوان ژنوتیپ‌های مطلوبی از نظر تطبیق با هر یک شرایط محیطی پیدا کرد. این نتیجه به طور مشخصی با پاسخ متفاوت هر یک از ژنوتیپ‌ها و همچنین اثر متقابل آن‌ها با محیط قابل توجیه می‌باشد. یکی از روش‌های مهمی که برای تجزیه داده‌ها معرفی شده، روش تجزیه با استفاده از حداکثر درست‌نمایی محدود شده (REML)^۱ است. در این روش محدودیت تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات برای داده‌های نامتعادل و همچنین نامتجانس برطرف می‌شود (هولند ۲۰۰۶). مدل‌های مخلوط مانند REML برای بدست آوردن اجزای واریانس و بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (BLUP)^۲ برای پیش‌بینی مقادیر ژنتیکی و اجزای واریانس استفاده می‌شوند (ریسند ۲۰۱۶). تعدادی از پارامترهای ژنتیکی محاسبه شده با استفاده از روش REML در جدول ۳ نشان داده است. نتایج نشان داد

نسبت واریانس ژنوتیپ، واریانس ژنوتیپ × محیط و واریانس باقیمانده به واریانس فنوتیپی برای عملکرد دانه به ترتیب ۲۷، ۲۶ و ۴۷ درصد بود. بیشترین مقدار وراثت-پذیری عمومی مربوط به وزن هزاردانه (۰/۷۳۵) و کمترین مقدار وراثت‌پذیری عمومی به ترتیب مربوط به دوره پر شدن دانه (۰/۰۶۹)، تعداد روز تا رسیدگی (۰/۱۰۴) و ارتفاع بوته (۰/۱۸۸) بود. برآورد وراثت‌پذیری عمومی بر اساس میانگین لاین‌ها برای همه صفات به جزء طول دوره پر شدن دانه و تعداد روز تا رسیدگی بالا بود و به ترتیب از ۰/۲۴۵ تا ۰/۹۲۵ برای طول دوره پر شدن دانه و وزن هزار دانه متغیر بود. این مقادیر به طور کلی بیشتر از تخمین‌های وراثت‌پذیری عمومی بود که نشان می‌دهد صفات ارزیابی شده را می‌توان برای ارزیابی تنوع ژنتیکی و پیش‌بینی مجموعه لاین‌ها استفاده نمود. مایر و همکاران (۲۰۲۱) نیز نتایج مشابهی را در ژنوتیپ-های گندم گزارش کردند. در تحقیق آنها نیز وراثت‌پذیری بر اساس میانگین ژنوتیپ‌ها از وراثت‌پذیری عمومی بالاتر بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب و پارامترهای ژنتیکی در مدل مخلوط با استفاده از روش REML برای عملکرد دانه و صفات

مورد بررسی							
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد روز تا گل‌دهی	تعداد روز تا رسیدگی	دوره پر شدن دانه	ارتفاع بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه
منطقه	۲	۱۰۹۴۹**	۷۷۹۷**	۳۳۲**	۲۹۸۴**	۱۲۲/۰**	۱۱۷۳۶۷۸۲**
تکرار در منطقه	۶	۵/۷۲	۱۵/۹۴	۷/۶۴	۱۵۸/۳	۱۱/۱	۴۰۱۵۵
ژنوتیپ	۱۸	۳۴/۰**	۲۳/۳**	۱۸/۲**	۱۹۳/۵**	۱۳۰/۱**	۲۹۲۱۵۱۳**
اثر متقابل ژنوتیپ × منطقه	۳۶	۱۰/۳**	۱۵/۹**	۱۳/۸**	۷۹/۴**	۹/۷**	۹۹۳۰۶۶**
خطای ۲	۱۰۸	۴/۳۰	۲/۶۵	۳/۱۲	۴۲/۱۴	۱/۵۴	۳۷۲۰۷۳
CV (%)		۱/۹۳	۱/۱۴	۴/۹۹	۷/۱۳	۴/۰۴	۱۴/۰۶
واریانس ژنتیکی		۲/۶۴	۰/۸۲۱	۰/۴۹۶	۱۲/۷	۱۳/۴	۲۱۴۲۷۲ (۲۷) ^۰
واریانس ژنوتیپ × محیط		۱/۹۹	۴/۴۲	۳/۵۵	۱۲/۴	۲/۴۴	۲۰۶۹۹۸ (۲۶)
واریانس باقیمانده		۴/۳۰	۲/۶۵	۳/۱۲	۴۲/۱	۲/۳۸	۳۷۲۰۷۳ (۴۷)
واریانس فنوتیپی		۸/۹۳	۷/۸۸	۷/۱۷	۶۷/۲	۱۸/۱	۷۹۳۳۴۲
وراثت‌پذیری عمومی		۰/۲۹۵	۰/۱۰۴	۰/۰۶۹	۰/۱۸۸	۰/۷۳۵	۰/۲۷۰
وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی		۰/۶۹۸	۰/۳۱۷	۰/۲۴۵	۰/۵۹	۰/۹۲۵	۰/۶۶۰
ضریب تغییرات ژنوتیپی (%)		۱/۵۱	۰/۶۳۵	۱/۹۹	۳/۹۱	۹/۵۷	۱۱/۱
ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده (%)		۱/۹۳	۱/۱۴	۴/۹۹	۷/۱۳	۴/۰۴	۱۴/۰۶

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

^۰: اعداد داخل پرانتز به ترتیب، نسبت واریانس ژنوتیپ، واریانس ژنوتیپ در محیط و واریانس باقیمانده به واریانس فنوتیپی برای عملکرد دانه می‌باشد.

^۲ Best linear unbiased prediction

^۱ Restricted maximum likelihood

معیارهای گزینش در نظر گرفته شد (جدول ۶). برای صفات وزن هزاردانه و عملکرد دانه مقادیر بالا در انتخاب لاین‌های مطلوب مدنظر بود. با در نظر گرفتن الگوی مطلوبیت صفات از نظر کمترین و بیشترین مقادیر، شاخص MTSI محاسبه شد. در شکل ۱a دایره قرمز نشان دهنده نقطه برش MTSI با توجه به شدت انتخاب می‌باشد. در واقع این خط به‌عنوان معیار گزینش لاین‌ها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، همان‌گونه که مشاهده شد سه لاین شماره‌ی G1، G2 و G3 به‌ترتیب با کمترین مقدار MTSI به‌عنوان برترین لاین‌ها انتخاب شدند.

FAI-BLUP نیز یک شاخص چند صفتی است که در این بررسی از حالت مدل مختلط به‌عنوان داده ورودی استفاده شده است. به‌طور پیش فرض، انتخاب برای افزایش ارزش صفات تعداد روز تا پرشدن دانه، وزن هزاردانه و عملکرد دانه و کاهش طول دوره گل‌دهی، رسیدگی و ارتفاع بوته انجام شد (جدول ۶). دایره قرمز در شکل ۱b نشان دهنده نقطه برش FAI-BLUP با توجه به شدت انتخاب می‌باشد. بنابراین، همان‌گونه که مشاهده می‌شود سه لاین شماره‌ی G11، G13 و G3 به‌ترتیب با بیشترین مقدار FAI-BLUP به‌عنوان برترین لاین‌ها انتخاب شدند. کارایی شاخص FAI-BLUP در انتخاب لاین‌های سویا توسط ولپاتو و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شده است. آنها بیان کردند شاخص FAI-BLUP یک ابزار مناسب برای انتخاب همزمان صفات مهم برای اصلاح سویا است.

بین شاخص FAI-BLUP و MTSI تفاوت‌هایی وجود دارد از جمله این‌که در شاخص FAI-BLUP فقط بر پایه نمود متغیرها، گزینش لاین‌ها را انجام می‌دهد، در حالی که در شاخص MTSI، هم نمود متغیرها و هم الگوی پایداری آنها مدنظر می‌باشد (روچا و همکاران ۲۰۱۸، اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a). لازم به توضیح است که در این تحقیق پایداری لاین‌ها مدنظر نبوده است.

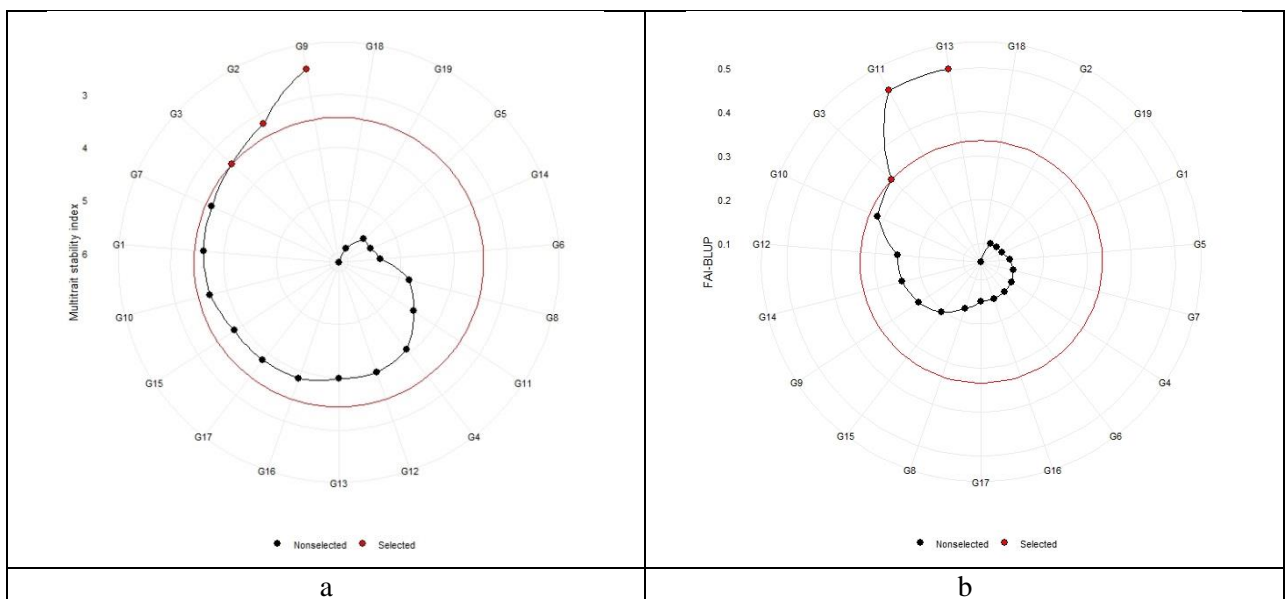
بیشترین مقدار وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی هم به-ترتیب در صفات وزن هزاردانه (۰/۹۲۵)، تعداد روز تا گل‌دهی (۰/۶۹۸) و عملکرد دانه (۰/۶۶۰) مشاهده شد. برآورد وراثت‌پذیری صفات و دقت پیش‌بینی نقش مهمی در پیشرفت برنامه‌های به‌نژادی در جهت شناسایی و توصیه ژنوتیپ‌ها دارد (بناکاهالی و همکاران ۲۰۲۱، اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a).

میانگین عملکرد دانه و سایر صفات اندازه‌گیری شده در سه منطقه داراب، زابل و گنبد کاووس در جدول ۴ نشان داده شده است. با بررسی روند تغییرات در هر یک از صفات مشخص شد کمترین تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی برای همه لاین‌ها مربوط به داراب بودند و از طرفی بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی در لاین‌های گنبد کاووس مشاهده شد اما کوتاه‌ترین طول دوره پر شدن مربوط به گنبد کاووس بود. کمترین ارتفاع بوته و وزن هزاردانه به‌ترتیب متعلق به لاین‌های داراب و زابل بود. با وجود این تغییرات میانگین عملکرد لاین‌ها در زابل از هر دو منطقه گنبد کاووس و داراب بالاتر بود. با وجود طولانی بودن طول دوره رشد در گنبد کاووس نسبت به زابل و داراب، ولی به‌دلیل طول کوتاه دوره پر شدن دانه در گنبد کاووس و افزایش بیماری‌ها (نتایج آورده نشده است)، عملکرد دانه آن کمتر از زابل بود. از طرفی یکی از علل افزایش عملکرد زابل نسبت به داراب شاید طول دوره رشد طولانی‌تر است و در کل این مطلب نشان می‌دهد که زابل یک اقلیم مناسب برای کشت جو می‌باشد.

در زراعت آبی پاکوتاهی می‌تواند یک صفت کلیدی برای مقابله با خوابیدگی ساقه باشد. از طرف دیگر در اصلاح برای مقاومت به تنش خشکی صفت زودرسی نقش مهمی در بهبود عملکرد دانه دارد. با توجه به این‌که لاین‌های ارزیابی شده در این پژوهش در مناطق گرمی مانند زابل، داراب و گنبد کاووس بررسی شده‌اند لذا در انتخاب لاین‌های ایده‌آل علاوه بر عملکرد بالا، پاکوتاهی، زودرسی و افزایش طول دوره پر شدن دانه به‌عنوان

جدول ۴- میانگین صفات اندازه‌گیری شده در مناطق زابل، گنبد کاووس و داراب در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

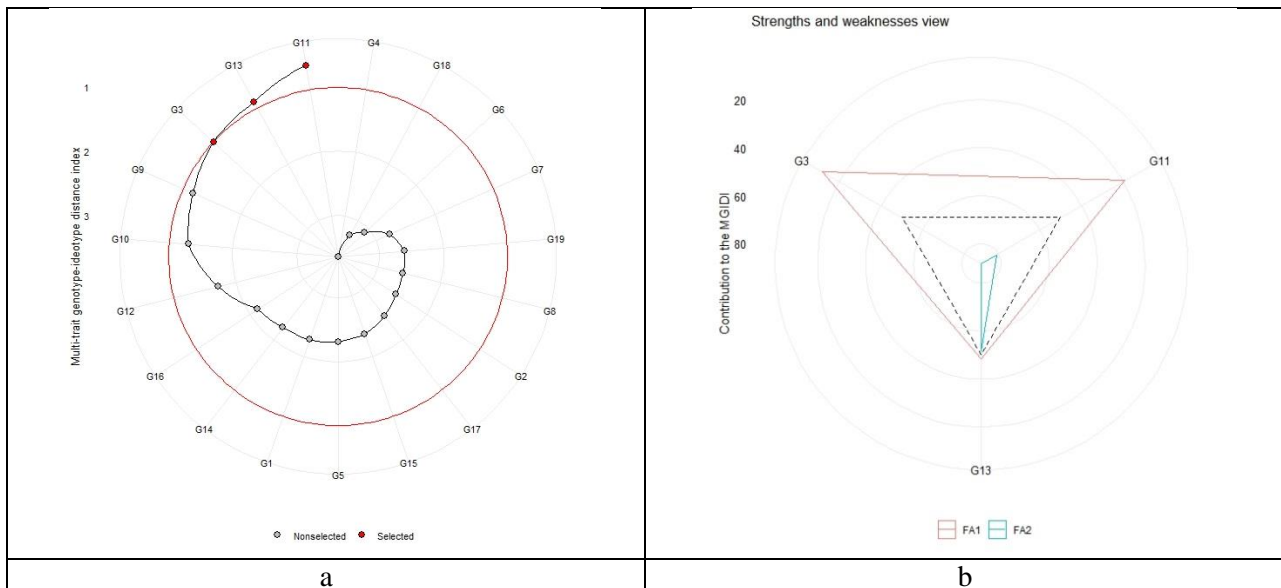
ژنوتیپ	تعداد روز تا گل‌دهی (day)			تعداد روز تا رسیدگی (day)			دوره پر شدن دانه (day)			ارتفاع بوته (cm)			وزن هزاردانه (g)			عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	
	داراب	گنبد	زابل	داراب	گنبد	زابل	داراب	گنبد	زابل	داراب	گنبد	زابل	داراب	کن	زا	گنبد	زابل
G1	۹۷	۱۲۳	۱۰۵	۱۳۴	۱۵۴	۱۴۳	۳۷	۳۱	۳۸	۸۵	۹۱	۱۰۰	۳۹	۳۶	۳۵	۴۴۵۰	۴۲۵۱
G2	۹۴	۱۲۲	۱۰۵	۱۳۴	۱۵۴	۱۴۳	۴۱	۳۳	۳۸	۸۳	۹۵	۹۰	۴۰	۳۹	۳۵	۴۷۵۲	۵۶۱۰
G3	۹۰	۱۲۱	۱۰۴	۱۲۶	۱۵۴	۱۴۰	۳۶	۳۳	۳۶	۸۱	۸۹	۹۱	۴۳	۴۶	۴۲	۳۹۹۰	۴۴۵۳
G4	۹۶	۱۲۳	۱۱۰	۱۳۳	۱۵۵	۱۴۶	۳۷	۳۳	۳۶	۷۲	۹۲	۹۵	۳۷	۳۳	۳۴	۴۵۱۴	۵۸۰۵
G5	۹۸	۱۱۹	۱۰۷	۱۳۳	۱۵۳	۱۴۶	۳۵	۳۴	۳۹	۹۹	۹۲	۱۰۰	۴۱	۴۱	۳۷	۳۸۵۳	۳۳۳۳
G6	۹۶	۱۲۵	۱۱۲	۱۳۰	۱۵۶	۱۴۵	۳۴	۳۱	۳۳	۶۸	۹۳	۱۰۷	۴۲	۴۴	۴۳	۳۹۳۶	۴۳۵۱
G7	۹۶	۱۲۲	۱۰۷	۱۳۳	۱۵۵	۱۴۲	۳۶	۳۳	۳۵	۹۴	۹۷	۱۰۷	۴۴	۴۲	۴۲	۴۸۵۷	۵۲۶۷
G8	۹۶	۱۱۹	۱۰۸	۱۳۳	۱۵۲	۱۴۰	۳۷	۳۳	۳۲	۹۰	۹۷	۱۰۵	۴۴	۴۳	۴۳	۴۷۲۱	۵۲۴۵
G9	۹۲	۱۲۱	۱۰۲	۱۲۹	۱۵۴	۱۳۹	۳۷	۳۳	۳۷	۸۶	۹۰	۱۰۰	۴۵	۴۵	۴۲	۳۹۹۹	۴۶۵۲
G10	۸۹	۱۲۱	۱۰۳	۱۲۹	۱۵۵	۱۴۳	۳۹	۳۴	۴۰	۸۶	۸۹	۹۷	۳۶	۳۷	۳۳	۳۷۳۷	۳۸۱۵
G11	۹۰	۱۲۰	۱۰۳	۱۲۴	۱۵۴	۱۴۰	۳۴	۳۴	۳۷	۸۳	۹۴	۹۴	۴۲	۳۵	۳۶	۳۸۲۶	۴۰۱۶
G12	۹۳	۱۲۲	۱۰۵	۱۳۲	۱۵۴	۱۳۹	۳۹	۳۳	۳۴	۸۲	۸۹	۸۹	۳۸	۳۵	۳۲	۳۵۳۷	۵۱۲۰
G13	۹۱	۱۲۱	۱۰۴	۱۲۵	۱۵۴	۱۴۲	۳۴	۳۳	۳۸	۷۱	۹۱	۸۸	۳۴	۳۲	۳۳	۳۷۳۴	۴۸۶۵
G14	۹۴	۱۲۲	۱۰۴	۱۳۲	۱۵۵	۱۴۶	۳۷	۳۳	۴۲	۷۸	۹۳	۹۱	۳۴	۳۵	۳۳	۳۲۶۵	۳۰۶۴
G15	۹۳	۱۲۰	۱۰۴	۱۳۱	۱۵۳	۱۴۶	۳۸	۳۳	۴۲	۸۴	۹۰	۸۸	۳۷	۳۳	۳۴	۴۳۳۴	۴۶۲۱
G16	۹۵	۱۲۳	۱۰۸	۱۳۱	۱۵۵	۱۴۵	۳۵	۳۱	۳۷	۷۸	۸۷	۹۵	۴۲	۳۶	۴۱	۴۰۵۳	۴۴۹۵
G17	۹۲	۱۲۳	۱۰۷	۱۲۹	۱۵۶	۱۴۳	۳۷	۳۲	۳۶	۹۴	۹۶	۱۰۰	۴۲	۳۹	۴۲	۳۳۸۷	۵۴۵۳
G18	۹۷	۱۲۱	۱۱۲	۱۳۵	۱۵۴	۱۴۴	۳۸	۳۳	۳۲	۸۷	۱۰۱	۱۰۶	۴۱	۳۵	۳۳	۳۸۵۵	۴۶۱۵
G19	۹۵	۱۲۳	۱۰۶	۱۳۶	۱۵۴	۱۴۰	۴۰	۳۱	۳۴	۸۰	۹۱	۱۰۴	۳۷	۳۲	۳۲	۳۲۳۸	۵۸۶۰
میانگین	۹۴	۱۲۲	۱۰۶	۱۳۱	۱۵۴	۱۴۳	۳۷	۳۳	۳۷	۸۳	۹۲	۹۷	۴۰	۳۸	۳۷	۴۰۰۰	۴۶۸۷
LSD _{0.05}		۱/۹۴		۹/۵						۶/۱			۱/۴			۵۷۰	



شکل ۱- الگوی رتبه‌بندی و لاین‌های انتخاب شده بر اساس شاخص (a) MTSI و شاخص (b) FAI-BLUP. لاین‌های انتخاب شده بر اساس هر شاخص با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. دایره قرمز مرکزی نقطه برش را با توجه به شدت انتخاب نشان می‌دهد.

صفات ممکن است خیلی موثر در شرایط این تحقیق نباشد. با این حال، لاین‌های انتخاب شده با استفاده از شاخص MGIDI عبارت بودند از لاین‌های شماره‌ی G11، G13 و G3 (شکل ۲a)؛ همچنین نقاط قوت و ضعف لاین‌های انتخابی در شکل ۲b نشان داده شده است. کاربرد شاخص MGIDI در انتخاب لاین‌های برتر در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (پورابوقداره و پوکزای ۲۰۲۱، الیوتو و ناردینو ۲۰۲۰ و الیوتو و ناردینو ۲۰۲۱)

شاخص MGIDI برای انتخاب لاین‌ها با در نظر گرفتن تمام صفات اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شد. در واقع در این تحقیق، ارزش لاین‌ها بر اساس عملکرد دانه، وزن هزاردانه و طول دوره پر شدن دانه بالا و از طرفی پاکوتاه، تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی کم تعیین شدند (جدول ۶). با توجه به پایین بودن مقدار وراثت‌پذیری عمومی در بیشتر صفات (به‌جز وزن هزاردانه) (جدول ۳) همه صفات انتخاب شده با مقدار وراثت‌پذیری پایین ارزیابی شدند که نشان داد انتخاب این



شکل ۲- (a) الگوی رتبه‌بندی و لاین‌های انتخاب شده بر اساس شاخص MGIDI. لاین‌های انتخاب شده بر اساس این شاخص با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. دایره قرمز مرکزی نقطه برش را با توجه به شدت انتخاب نشان می‌دهد. (b) نقاط قوت و ضعف لاین‌های انتخاب‌شده، به‌عنوان نسبت هر عامل در شاخص MGIDI محاسبه‌شده نشان داده شده است. نسبت‌های کوچک‌تر که توسط یک عامل توضیح داده می‌شوند (نزدیک‌تر به لبه خارجی) نشان می‌دهند که صفت درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است. نقطه چین نشان‌دهنده مقادیر تئوری است در صورتی‌که همه عوامل به یک اندازه نقش داشته باشند.

تحقیق، فرض بر این بود که لاین‌های با عملکرد دانه، وزن هزاردانه و طول دوره پر شدن دانه بالا و از طرفی پاکوتاه و زودرس انتخاب شوند. بنابراین محاسبات شاخص SIIG بر اساس این فرضیات انجام شد. بر اساس نتایج شاخص SIIG، لاین‌های شماره‌ی G8، G2، G7 و G17 به‌ترتیب با بیشترین مقدار SIIG (۰/۷۶۲، ۰/۸۳۵)

به‌منظور انتخاب برترین لاین‌ها برای هر سه منطقه از نظر عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی به‌طور هم‌زمان، از شاخص SIIG استفاده شد. شاخص SIIG بر اساس میانگین صفات تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره پر شدن، ارتفاع بوته، وزن هزاردانه و عملکرد دانه محاسبه شد (جدول ۶). در واقع در این

دیگری، به منظور ارزیابی ۲۲ ژنوتیپ کلزا با استفاده از صفات مختلف مورفولوژیک، از شاخص SIIG استفاده شد و در نهایت برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از یک نمودار دو بعدی عملکرد و شاخص SIIG استفاده شد (عبداللهی حصار و همکاران ۲۰۲۰). میرزایی و حمایتی (۲۰۲۱) به منظور انتخاب بهترین هیبرید در چغندر قند از شاخص SIIG استفاده نمودند و آن را روشی مناسب در انتخاب ژنوتیپ‌های هیبرید چغندر قند معرفی نمودند.

۰/۷۱۲ و ۰/۷۰۴) جزو لاین‌های برتر در مجموع سه منطقه گنبد، داراب و زابل بودند. مقدار عملکرد این لاین‌ها به ترتیب برابر با ۴۷۶۷، ۵۰۴۰، ۴۳۵۵ و ۴۳۶۳ کیلوگرم در هکتار بود. قلی‌زاده و همکاران (۲۰۲۱) برای گزینش هیبریدهای جدید آفتابگردان از نظر عملکرد و تعدادی صفات مورفولوژیک از شاخص SIIG استفاده نمودند و با این روش هیبریدهای ایده‌آل را معرفی نمودند. در تحقیق

جدول ۶- میانگین صفات مورد بررسی و نتایج شاخص‌های مختلف گزینش و رتبه آنها در لاین‌های جو در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰

کد ژنوتیپ‌ها	تعداد گل‌دهی روز تا (day)	تعداد روز تا رسیدگی (day)	ارتفاع بوته (cm)	دوره پر شدن دانه (day)	وزن هزار دانه (g)	شاخص‌های مختلف انتخاب و رتبه آنها				
						عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	SIIG	MGIDI	FAI-BLUP	MSTI
G1	۱۰۸	۱۴۳	۹۲	۳۵	۳۷	۴۲۸۱	۰/۵۹۷	۲/۳۱	۰/۱۱۲	۳/۶۱
G2	۱۰۷	۱۴۴	۸۹	۳۷	۳۸	۵۰۴۰	۰/۷۶۲	۲/۴۲	۰/۱۰۶	۳/۲۱
G3	۱۰۵	۱۴۰	۸۷	۳۵	۴۴	۲۸۱۷	۰/۵۶۰	۱/۰۲	۰/۳۳۴	۳/۴۴
G4	۱۱۰	۱۴۵	۸۶	۳۵	۳۵	۴۹۶۳	۰/۶۷۰	۲/۲۹	۰/۱۴۳	۴/۰۸
G5	۱۰۸	۱۴۴	۹۷	۳۶	۴۰	۳۷۱۸	۰/۴۹۵	۲/۲۸	۰/۱۲۵	۵/۵۳
G6	۱۱۱	۱۴۴	۸۹	۳۳	۴۳	۳۸۰۲	۰/۵۳۷	۲/۸۵	۰/۱۴۵	۵/۳۹
G7	۱۰۸	۱۴۳	۹۹	۳۵	۴۳	۴۷۶۷	۰/۷۳۵	۲/۹۱	۰/۱۳۴	۳/۵۶
G8	۱۰۸	۱۴۲	۹۷	۳۴	۴۳	۴۳۵۵	۰/۷۱۲	۲/۵۵	۰/۱۷۱	۴/۸۰
G9	۱۰۵	۱۴۱	۹۲	۳۶	۴۴	۴۱۷۱	۰/۶۶۹	۱/۱۵	۰/۲۲۸	۲/۴۷
G10	۱۰۴	۱۴۲	۹۱	۳۸	۳۵	۲۸۴۸	۰/۴۷۹	۱/۳۷	۰/۳۱۵	۳/۶۷
G11	۱۰۴	۱۳۹	۹۱	۳۵	۳۸	۳۶۷۱	۰/۴۴۳	۰/۵۸	۰/۵۰۱	۴/۴۹
G12	۱۰۷	۱۴۲	۸۷	۳۵	۳۵	۴۱۹۶	۰/۵۴۶	۱/۲۵	۰/۲۵۰	۳/۹۷
G13	۱۰۵	۱۴۰	۸۳	۳۵	۳۳	۳۹۶۴	۰/۴۶۵	۰/۶۲	۰/۵۰۳	۳/۹۷
G14	۱۰۷	۱۴۴	۸۸	۳۸	۳۴	۲۶۲۰	۰/۲۳۲	۲/۰۳	۰/۲۴۴	۵/۵۲
G15	۱۰۶	۱۴۳	۸۷	۳۸	۳۵	۴۶۸۹	۰/۶۴۸	۲/۱۷	۰/۲۰۵	۳/۸۲
G16	۱۰۹	۱۴۳	۸۷	۳۵	۴۰	۳۹۲۲	۰/۵۳۷	۲/۰۳	۰/۱۴۸	۳/۸۶
G17	۱۰۸	۱۴۳	۹۷	۳۵	۴۱	۴۳۶۳	۰/۷۰۴	۲/۱۷	۰/۱۵۰	۳/۸۴
G18	۱۱۰	۱۴۴	۹۸	۳۴	۳۶	۴۳۵۶	۰/۶۰۷	۲/۳۱	۰/۰۵۹	۶/۱۸
G19	۱۰۸	۱۴۳	۹۲	۳۵	۳۴	۴۷۹۴	۰/۶۴۰	۲/۵۰	۰/۱۰۸	۵/۸۸

*: اعداد داخل پرانتز رتبه‌بندی لاین‌ها بر اساس شاخص‌های مورد بررسی می‌باشد.

صفات و شاخص‌های دیگر همبستگی معنی‌داری را نشان نداد. همبستگی شاخص MGIDI با FAI-BLUP و SIIG در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین همبستگی MGIDI با صفات مورد بررسی به ترتیب مربوط به تعداد روز تا گل‌دهی (**۰/۸۳۹)، تعداد روز تا

نتایج همبستگی بین صفات مورد بررسی و شاخص‌های مختلف در جدول ۷ نشان داده شده است. در بین شاخص‌ها بیشترین و کمترین مقدار همبستگی با عملکرد دانه به ترتیب مربوط به شاخص SIIG (**۰/۸۵۱) و MSTI (-۰/۲۱۶) بود. در بین شاخص‌ها، MSTI با هیچ‌کدام از

اساس نتایج شاخص SIIG، لاین‌های شماره‌ی G2، G7، G8 و G17 به ترتیب با بیش‌ترین مقدار SIIG جزو لاین‌های برتر در مجموع سه منطقه گنبد، داراب و زابل بودند. مقایسه شاخص‌های مختلف نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد دانه لاین‌های انتخابی مربوط به شاخص SIIG و MSTI بود و کمترین مقدار میانگین عملکرد دانه لاین‌های انتخابی مربوط به شاخص‌های MGIDI و FAI-BLUP بود (جدول ۸). همبستگی شاخص SIIG با عملکرد دانه در بسیاری از تحقیقات نشان داده شده است (براتی و همکاران ۲۰۲۱، زالی و براتی ۲۰۲۰، عبدالمی حسار ۲۰۲۰) ولی سایر شاخص‌ها نیاز به بررسی‌های بیشتر دارند. با توجه به همبستگی بالای شاخص‌های MGIDI و FAI-BLUP با صفات تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی (جدول ۷)، هر سه لاین انتخابی (G11، G13 و G3) با این روش‌ها جزء زودرس‌ترین لاین‌ها بودند اما عملکرد آنها از هر دو شاهد آزمایش پایین‌تر بود (جدول ۶). در بین لاین‌های انتخابی با استفاده از شاخص MSTI، لاین‌های شماره‌ی G9 و G3، جزء لاین‌های زودرس بودند اما عملکرد دانه آنها از هر دو شاهد آزمایش پایین‌تر بود. اما لاین شماره‌ی G2 دارای عملکرد دانه بالاتر از هر دو شاهد آزمایش بود ولی نسبت به سایر لاین‌ها دیررس‌تر بود و وزن هزاردانه پایینی‌تری داشت. در مقابل هر چهار لاین انتخابی با روش SIIG، دارای عملکرد دانه بالا (حداقل بالاتر از یکی از شاهد‌ها) و همچنین وزن هزاردانه بالاتر (به جزء لاین شماره G2) نسبت به بیشتر لاین‌ها بودند اما هر چهار لاین انتخابی از سایر لاین‌ها دیررس‌تر بودند. بنابراین در مجموع شاخص SIIG، لاین‌هایی با عملکرد دانه و هزار دانه بالا و از طرفی کمی دیررس‌تر را انتخاب کرده است و شاخص‌های MGIDI و FAI-BLUP لاین‌های زودرس‌تر اما با عملکرد دانه پایین‌تر را انتخاب نموده‌اند.

در کل با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص‌های مختلف انتخاب، می‌توان لاین‌های انتخاب شده توسط شاخص SIIG را به دلیل عملکرد دانه بالا (حداقل از یکی از دو شاهد آزمایش) و وزن هزاردانه بالا به عنوان لاین‌های کاندید برای بررسی‌های تکمیلی (مانند ارزیابی سازگاری) در برنامه‌های به‌نژادی مورد توجه قرار داد.

رسیدگی (**/۷۲۹۰) و عملکرد دانه (*۰/۵۶۸) بود. نتایج مشابهی نیز در مورد شاخص FAI-BLUP مشاهده شد با این تفاوت که همبستگی‌ها منفی بود.

برآورد وراثت‌پذیری عمومی با استفاده از REML نشان داد بیشترین مقدار وراثت‌پذیری مربوط به وزن هزاردانه و کمترین مقدار وراثت‌پذیری به ترتیب مربوط به دوره پر شدن دانه، تعداد روز تا رسیدگی و ارتفاع بوته بود. هر چند عملکرد دانه صفت مهمی در انتخاب ارقام می‌باشد و انتخاب نهایی بسیاری از ارقام بر اساس عملکرد دانه انجام می‌شود ولی انتخاب بر اساس صفات مختلف می‌تواند در بهبود روند برنامه‌های به‌نژادی مؤثر واقع شود. به عنوان مثال در مناطق گرمسیر انتخاب تنها بر مبنای بالا بودن عملکرد ممکن است نتایج مطلوبی به همراه نداشته باشد. در واقع بهتر است در این مناطق به زودرسی، طول دوره پر شدن دانه و همچنین ارتفاع بوته توجه نمود. یکی از مزایای استفاده از شاخص‌های انتخاب بر اساس چند صفت مانند FAI-BLUP، MGIDI، MTSI و SIIG در نظر گرفتن تمام صفات اندازه‌گیری شده و موثر بودن اثرات آن در انتخاب ژنوتیپ‌ها است. به عبارت دیگر در این روش‌ها صفات مختلف در انتخاب ژنوتیپ‌ها به طور مستقیم سهم خواهند بود.

اصلاح‌گران اغلب سعی می‌کنند چندین صفت مورد نظر را در یک ژنوتیپ جدید ترکیب کنند تا عملکرد بالایی تولید کنند. هنگام اندازه‌گیری صفات چندگانه، اغلب انتخاب یک ژنوتیپ از بین ژنوتیپ‌های ایده‌آل دشوار است. در این راستا، روش‌های چند متغیره مختلفی مانند تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تحلیل عاملی و تجزیه خوشه‌ای به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند (بندری و همکاران ۲۰۱۷). برای آسان‌تر کردن انتخاب ژنوتیپ‌هایی با چندین ویژگی، شاخص‌های FAI-BLUP، MGIDI، MST و SIIG روش‌های جدیدی برای انتخاب ژنوتیپ بر اساس اطلاعات چند صفت است که در این تحقیق از همه آنها استفاده شد. شاخص MTSI با در نظر گرفتن اثرات کلیه صفات اندازه‌گیری شده، سه لاین شماره‌ی G2، G9 و G3 را به عنوان برترین لاین‌ها انتخاب کرد و علاوه بر این شاخص FAI-BLUP و MGIDI لاین‌های شماره‌ی G11، G13 و G3 به عنوان برترین لاین‌ها انتخاب شدند. بر

در کنار خصوصیات مطلوب زراعی، به عملکرد دانه هم که صفت مهمی است باید توجه داشت.

عملکرد دانه در لاین‌های انتخابی با روش‌های MGIDI، MSTI و FAI-BLUP از هر دو شاهد آزمایش کمتر بودند بنابراین هیچ‌کدام انتخاب نشدند (به‌جز لاین G2)؛ چون

جدول ۷- همبستگی شاخص‌های مختلف چند محیطی با صفات مختلف در لاین‌های جو در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

وزن هزارانه	ارتفاع بوته	تعداد روز تا پر شدن دانه	تعداد روز تا رسیدگی	تعداد روز تا گل‌دهی	SIIG	MSTI	FAI-BLUP	MGIDI	FAI-BLUP
									-.۰/۸۳۵**
									MSTI
									SIIG
					۰/۳۰۷	۰/۴۱۹	-.۰/۷۷۲**	۰/۸۳۹**	تعداد روز تا گل‌دهی
				۰/۷۲۳**	۰/۱۲۷	۰/۳۷۶	-.۰/۷۴۵**	۰/۷۲۹**	تعداد روز تا رسیدگی
			۰/۱۳۶	-.۰/۵۱۲*	-.۰/۰۹۷	-.۰/۳۴۸	۰/۱۳۱	-.۰/۲۷۸	تعداد روز تا پر شدن دانه
		-.۰/۱۸۳	۰/۱۰۵	۰/۲۱۱	۰/۴۰۲	۰/۰۹۶	-.۰/۴۸۶*	۰/۴۵۴	ارتفاع بوته
	۰/۳۹۱	-.۰/۳۴۵	-.۰/۲۱۷	۰/۰۷۹	۰/۳۶۷	-.۰/۳۷۲	-.۰/۰۴۹	۰/۰۴۰	وزن هزارانه
-.۰/۱۳۲	۰/۱۶۰	۰/۰۰۷	۰/۲۲۸	۰/۳۲۸	۰/۸۵۱**	-.۰/۲۱۶	-.۰/۵۶۱*	۰/۵۶۸*	عملکرد دانه

جدول ۸- میانگین لاین‌های انتخابی در هر سه منطقه با استفاده از شاخص‌های مختلف در لاین‌های جو در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

میانگین لاین‌های انتخابی بر اساس شاخص‌های مختلف در سه منطقه							لاین‌های انتخابی	شاخص‌های انتخاب
عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	وزن هزارانه (g)	ارتفاع بوته (cm)	تعداد روز تا پر شدن دانه (d)	تعداد روز تا رسیدگی (d)	تعداد روز تا گل‌دهی (d)	لاین‌های انتخابی		
۴۱۲۷	۲۸	۸۷	۳۵	۱۴۰	۱۰۵	G3 .G13 .G11	MGIDI	
۴۴۰۴	۴۲	۸۹	۳۶	۱۴۲	۱۰۶	G3 .G2 .G9	MST	
۴۱۲۷	۲۸	۸۷	۳۵	۱۴۰	۱۰۵	G3 .G11 .G13	FAI-BLUP	
۴۶۳۱	۴۱	۹۶	۳۵	۱۴۳	۱۰۸	G17 .G8 .G2 .G7	SIIG	
۴۱۷۶	۳۵	۹۱	۳۵	۱۴۳	۱۰۷		میانگین کل	

گلستان (گنبد) جهت همکاری و کمک در اجرای آزمایشات و یادداشت‌برداری صفات مورد بررسی، تشکر و قدردانی به‌عمل آوردند.

سپاسگزاری نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از تمامی همکاران مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های فارس (ایستگاه داراب)، سیستان و بلوچستان (زابل) و

منابع مورد استفاده

Abdollahi Hesar A, Sofalian O, Alizadeh B, Asghari A and Zali H. 2020. Evaluation of some autumn canola genotypes based on agronomy traits and SIIG index. Journal of Crop Breeding, 12(34): 93-104. (In Persian)..

- Barati A, Zali H, Marzoqian A, Koohkan Sh and 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. (In Persian)..
- Benakanahalli NK, Sridhara S, Ramesh N, Olivoto T, Sreekantappa G, Tamam N, Abdelbacki AMM, Elansary HO and Abdelmohsen SAM. 2021. A framework for identification of stable genotypes based on MTSI and MGDII Indexes: an example in guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). *Agronomy*, 11: 1221.
- Bhandari H, Bhanu A, Srivastava K, Singh M and Shreya HA. 2017. Assessment of genetic diversity in crop plants-an overview. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 7(3):279-286.
- Bizari EH, Pedroso Val BH, Pereira EM, Di Mauro AO and Uneda-Trevisoli S. 2017. Selection indices for agronomic traits in segregating populations of soybean. *Revista Ciencia Agronomica*, 48:110-117
- Emami S, Asghari A, Mohammaddoust Chamanabad H, Rasoulzadeh A and Ramzi E. 2019. Evaluation of osmotic stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* L.) advanced lines. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12 (3): 697-707. (In Persian).
- FAO. 2019. Statistical data. www.Fao.Org/faostat.
- Gholizadeh A, Ghaffari M and Shariati F. 2021. Use of selection index of ideal genotype (SIIG) in order to select new high yielding sunflower hybrids with desirable agronomic characteristics. *Journal of Crop Breeding*, 13 (38): 116-123. (In Persian)..
- Holland JB. 2006. Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop Science*, 46: 642-654.
- Hussain T, Akram Z, Shabbir G, Manaf A and Ahmed M. 2021. Identification of drought tolerant chickpea genotypes through multi trait stability index. *Saudi Journal of Biological Sciences*, doi:10.1016/j.sjbs.2021.07.056
- Haghighatnia H and 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. (In Persian)..
- Jahufer MZZ and Casler MD. 2015. Application of the Smith-Hazel selection index for improving biomass yield and quality of switch grass. *Crop Science*, 55:1212-1222.
- Meier C, Marchioro VS, Daniela Meira D, Olivoto T, Klein LA. 2021. Genetic parameters and multiple-trait selection in wheat genotypes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 51: e67996.
- Mirzaei MR and Hemayati, SS. 2021. The effect of environment and maternal plant on germination traits of sugar beet seeds and an approach to select the superior genotype. *Agricultural Research*, <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00607-2>
- Najafi Mirak T, Dastfal M, Andarzian B, Farzadi H, Bahari M and Zali H. 2018. Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production and Processing*, 8 (2): 79-96. (In Persian).
- Oliveira ICM, Marcal TDS, Bernardino KDC, Ribeiro PCDO, Parrella RADC, Carneiro PCS, Schaffert RE and Carneiro JEDS. 2019. Combining ability of biomass sorghum lines for agroindustrial characters and multitrait selection of photosensitive hybrids for energy cogeneration. *Crop Science*, 59(1): 1554-1566.
- Olivoto T, Licio ADC, da Silva JAG, Sari BG and Diel MI. 2019a. Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6): 2961-2969.
- Olivoto T, Licio ADC, da Silva JAG, Marchioro VS, de Souza VQ and Jost E. 2019b. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6): 2949-2960.
- Olivoto T and Lucio AD. 2020. Metan: an R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11: 783-789

- Olivoto T and Nardino M. 2020. MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *Bioinformatics*, 1–22.
- Olivoto T and Nardino M. 2021. MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, 37: 1383–1389.
- Pour-Aboughadareh A. and Poczaib P. 2021. Dataset on the use of MGIDI index in screening drought-tolerant wild wheat accessions at the early growth stage. *Data in Brief*, 36: 107596.
- Pour-Aboughadareh A. and Poczaib P. 2021. A dataset on multi-trait selection approaches for screening desirable wild relatives of wheat. *Data in Brief*, 39: 107541.
- Pour-Aboughadareh A, Sanjani S, Nikkhah-Chamanabad H, Mehrvar MR, Asadi A, Amini A. 2021. Identification of salt-tolerant barley genotypes using multi-traits index and yield performance at the early growth and maturity stage. *Bulletin of the National Research Centre*, 45:1-16.