



Evaluation of Superior Bread Wheat Lines using the FAI-BLUP Selection Index in the Hot and Dry Climate of Southern Fars Province

Alireza Askari Kalestani^{1✉} | Mohsen Esmaeilzadeh Moghadam²

1. Corresponding Author, Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran. E-mail: ar.askary@areeo.ac.ir
2. Seed and Plant Improvement Department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: esmaeilzadehmohsen@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: September 16, 2024

Received in revised form:

November 11, 2024

Accepted: February 11, 2025

Published online: September

23, 2025

Extended Abstract

Introduction. Identification and selection of plant cultivars possessing an optimal combination of desirable agronomic traits is a fundamental and central objective in plant breeding programs. The development of such elite cultivars directly contributes to enhanced yield, production stability, and overall productivity within agricultural systems. Since selection based solely on a single trait (e.g., high yield) can often lead to a deterioration in quality or resistance of other critical traits, researchers have developed numerous multivariate and composite selection indices to address this challenge. These indices enable plant breeders to evaluate genotypes simultaneously based on multiple key characteristics and to identify the most favorable combinations of these traits. Accordingly, the primary objective of the present study was the screening and identification of tolerant and high-yielding bread wheat lines based on a set of morphological and phenological traits. To achieve this, a novel and powerful statistical method, the Factor Analysis Ideotype with Best Linear Unbiased Prediction (FAI-BLUP) index, was employed.

Materials and Methods. Two independent experiments were conducted during the growing seasons of 2022-2023 and 2023-2024 at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center in Fars. In the first year, 320 pure lines and four control lines were evaluated from 106 selected superior lines. In the second year, these lines were tested under an alpha lattice design with two replications. The wheat lines used in this study were sourced from national research centers and stations (Karaj, Darab, and Zabol) as well as from international sources, including the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Moreover, double haploid (DH) lines developed through the collaboration between the Seed and Plant Improvement Institute and Florimond Desprez were incorporated into the trials. During the first year, 320 pure bread wheat lines, along with four check cultivars (Mehregan, Barat, Sarang, and Chamran-2) were evaluated. The grain yield of the tested lines was assessed and compared with the mean performance of the check cultivars. In the second year, 106 lines selected from the first-year evaluations were tested using an alpha-lattice design (22 × 5) with two replications, accompanied by four check cultivars (Ouj, Mehregan, Barat, and Sarang). Throughout the plant growth stages, agronomic traits, including days to heading (DHE), days to maturity (DME), and plant height (PLH) were recorded. After harvest, additional traits including thousand-kernel weight (TKW), seed filling period (SFP), seed filling rate (SFR), and grain yield (YLD) were evaluated. Descriptive statistics and analysis of variance (ANOVA) were performed using SAS 9.1. To estimate the FAI-BLUP indices, the metan package for multi-environment trials in R 4.2.1 was employed.

Results and Discussion. The results from the first year showed that grain yield and thousand kernel weight had the highest coefficients of variation. In the first year, grain yield ranged from 1.90 t ha⁻¹ (line 33, the lowest-yielding line) to 7.89 t ha⁻¹ (line 312, the highest-yielding line), with an overall mean yield of 5.22 t ha⁻¹ for all tested lines. Ultimately, the mean grain yield of the check cultivars Barat, Chamran-2, Mehregan, and Sarang were 6.17, 4.12, 4.89, and 5.33 t ha⁻¹, respectively, with an average of 5.14 t ha⁻¹. The average grain yield for the selected lines was 6.19 tons per hectare, which was higher than the average yield of the control genotypes and the overall genotypes. The variance analysis results for the second year indicated that the lines significantly differed in terms of days to heading, days to maturity, thousand grain weight, and grain yield. The FAI-BLUP index exhibited a desirable selection differential for all traits under study. Specifically, the highest and lowest selection differentials were observed for thousand-kernel weight (94.4%) and plant height (-2.1%), respectively. Based on this index, sixteen genotypes (numbers 19, 67, 110 [check: Sarang], 93, 27, 16, 39, 4, 21, 63, 107, 8, 65, 9, 64, and 68) were selected as the top-performing genotypes according to their highest FAI-BLUP values. Moreover, the strength and weakness diagram indicated that genotypes 63, 68, 64, 110, 67, 16, 93, 27, 6, 65, and 8 were closest to the ideal genotype in terms of plant height, thousand-kernel weight, and seed filling rate (factor 1). Furthermore, line 21 was superior for days to maturity and grain yield (factor 2), whereas lines 39, 107, and 19 excelled for days to heading and seed filling period (factor 3).

Conclusion. Ultimately, The results of this study indicated that the FAI-BLUP selection index effectively identified superior lines based on the evaluated traits. This index successfully designated the selected lines as top-performing genotypes for subsequent adaptability and stability trials in the 2024–2025 cropping season.

Keywords:

Alpha lattice, selection differential, thousand kernel weight, yield.

Cite this article: Askari Kalestani, A., & Esmaeilzadeh Moghadam, M. (2025). Evaluation of superior bread wheat lines using the FAI-BLUP selection index in the hot and dry climate of southern Fars province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56(3), 21-32. Doi: 10.22059/ijfcs.2025.382035.655102.





انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شماره الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

ارزیابی لاین‌های برتر گندم نان با استفاده از شاخص انتخاب FAI-BLUP در اقلیم گرم و خشک جنوب استان فارس

علی‌رضا عسکری کلستانی^۱ | محسن اسماعیل‌زاده مقدم^۲

- نویسنده مسئول، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، داراب، ایران. رایانامه: ar.askary@areeo.ac.ir
- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران. رایانامه: esmaeilzadehmohsen@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱ کلیدواژه‌ها: آلفا لاتیس، دیفرانسیل انتخاب، عملکرد، وزن هزار دانه.	شناسایی ژنوتیپ‌هایی با خصوصیات زراعی مطلوب یکی از اهداف مهم اصلاح نباتات است؛ از این‌رو، شاخص‌های گزینشی متعددی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برخوردار از مجموعه‌ای از صفات مطلوب زراعی معرفی شده است. در این تحقیق، به منظور شناسایی لاین‌های برتر گندم نان بر اساس برخی صفات مورفو-فنولوژیک از شاخص انتخاب طراحی ایدئوتیپ از طریق پیش‌بینی ناریب بهترین خط (FAI-BLUP) استفاده شد. بدین منظور، دو آزمایش مستقل در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس انجام شد. در سال اول، ۳۲۰ لاین خالص و چهار شاهد بررسی و ۱۰۶ لاین برتر انتخاب و در سال دوم، این لاین‌ها تحت طرح آلفا لاتیس در دو تکرار آزمایش شدند. در سال اول، نتایج نشان داد که عملکرد دانه و وزن هزار دانه بالاترین ضریب تغییرات را داشتند. میانگین عملکرد دانه در لاین‌های انتخاب‌شده ۶/۱۹ تن در هکتار بود که از متوسط عملکرد ژنوتیپ‌های شاهد و مجموع ژنوتیپ‌ها بیشتر بود. نتایج تجزیه واریانس صفات در سال دوم نشان داد که لاین‌ها از نظر صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد انتخاب در این سال برای صفات مختلف بین ۱/۲- تا ۴/۹۴ متغیر بود. در نهایت، لاین‌های انتخابی براساس این شاخص، شامل لاین‌های ۱۹، ۶۷، ۹۳، ۲۷، ۱۶، ۳۹، ۴، ۲۱، ۶۳، ۱۰۷، ۸، ۶۵، ۹، ۶۴ و ۶۸ بودند که برای بررسی‌های تکمیلی مانند آزمایش‌های سازگاری انتخاب شدند.

استناد: عسکری کلستانی، ع. و اسماعیل‌زاده مقدم، م. (۱۴۰۴). ارزیابی لاین‌های برتر گندم نان با استفاده از شاخص انتخاب FAI-BLUP در اقلیم گرم و خشک جنوب استان فارس. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۶(۳)، ۳۲-۲۱.

DOI: 10.22059/ijfcs.2025.382035.655102



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی شناخته می‌شود. این گیاه به دلیل تنوع بالای ژنتیکی و قابلیت سازگاری با شرایط مختلف محیطی، دارای ارقام متعددی است (Jasem *et al.*, 2017). همچنین گندم به‌عنوان یک منبع اساسی پروتئین و کالری، تأثیر قابل توجهی بر اقتصاد و امنیت غذایی در سطح جهانی دارد. بنابراین، توسعه پایدار ارقام با عملکرد دانه بالا برای تأمین نیازهای غذایی و حفظ امنیت غذایی بسیار حائز اهمیت است (Mondal *et al.*, 2016). در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، سطح زیر کشت گندم در کشور ۶/۹۰۸ میلیون هکتار بود که ۱۳/۲۸۳ میلیون تن تولید داشت. از این سطح، ۲/۳۶۹ میلیون هکتار با تولید ۸/۸۱۰ میلیون تن به کشت گندم آبی و ۴/۵۳۸ میلیون هکتار با تولید ۴/۴۷۳ میلیون تن به کشت گندم دیم اختصاص یافته است (Anonymous, 2023). عملیات به‌نژادی و به‌زراعی از مؤلفه‌های کلیدی برای افزایش عملکرد در واحد سطح به شمار می‌آیند. هدف اصلی برنامه‌های به‌نژادی گندم نان، تولید ارقام زراعی با ویژگی‌های مناسب و عملکرد پایدار است (Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2017). به منظور بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها، بررسی سازگاری از مراحل اولیه آغاز شده است و در مراحل پیشرفته‌تر ادامه می‌یابد. این رویکرد به شناسایی ارقام با عملکرد بالا کمک کرده است و استفاده بهینه از منابع موجود را ممکن می‌سازد (Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2017; Rajaram & Van-Ginkel, 1994). یکی از اهداف اصلاح نباتات، شناسایی ژنوتیپ‌های با خصوصیات زراعی مطلوب و عملکرد دانه بالا است. انتخاب همزمان چندین صفت با کارایی بالا چالش‌برانگیز است (Rocha *et al.*, 2018). برای حل این مشکل، شاخص‌های متعددی توسعه یافته است که یکی از آن‌ها، شاخص کلاسیک اسمیت-هیزل می‌باشد. با این حال، وجود هم‌خطی و فقدان رویه‌ای برای وزن‌دادن به صفات اقتصادی می‌تواند بر تخمین بهره ژنتیکی تأثیر بگذارد (Smith, 1936). هدف این شاخص‌ها انتخاب غیر مستقیم برای عملکرد دانه نیست، بلکه شناسایی ژنوتیپ‌های ایده‌آل از نظر عملکرد و سایر صفات است. یکی از شاخص‌های نوین FAI-BLUP است که بر اساس تحلیل عاملی طراحی شده است و به مقایسه ژنوتیپ‌ها نسبت به یک ژنوتیپ ایده‌آل می‌پردازد. یکی از این شاخص‌ها، شاخص انتخاب FAI-BLUP^۱ است (Rocha *et al.*, 2018). این شاخص بر اساس تحلیل عاملی و فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ طراحی شده و هدف آن ارزیابی و مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف نسبت به یک ژنوتیپ ایده‌آل است. محاسبه این شاخص چندصفتی، با هدف پیش‌بینی اثرات ژنتیکی و به‌کارگیری مدل‌های ترکیبی، نه تنها دقت بالایی را به همراه دارد بلکه قابلیت شناسایی دقیق‌تر و کارآمدتر ژنوتیپ‌های برتر را نیز فراهم می‌آورد. در روش FAI-BLUP، به‌کارگیری روش REML/BLUP برای تخمین مقادیر ژنتیکی به عنوان یک استراتژی مؤثر در بهینه‌سازی انتخاب ژنوتیپ‌ها مطرح می‌شود (da Silva *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019). شاخص چندصفتی جدید دیگری بر اساس تجزیه و تحلیل عاملی و فاصله ژنوتیپ - ایدئوتیپ (MGIDI^۲) معرفی کردند. این شاخص بر انتخاب ژنوتیپ‌های برتر که در آن صفات متعدد اندازه‌گیری شده است، تمرکز دارد. همچنین این شاخص می‌تواند نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های مورد آزمایش را ارزیابی کند (Olivoto & Nardino, 2021). پژوهش حاضر با هدف بررسی اولیه لاین‌های گندم نان و شناسایی لاین‌های برتر جهت انجام آزمایش‌های تکمیلی، برای معرفی ارقام جدید در اقلیم گرم و خشک جنوب استان فارس انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

به منظور ارزیابی رقم‌های جدید گندم نان در اقلیم گرم و خشک جنوب استان فارس، در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس (ایستگاه داراب)، دو آزمایش مستقل در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ انجام شد. لاین‌های مورد استفاده از مراکز و ایستگاه‌های تحقیقاتی داخلی (کرج، داراب و زابل) و بین‌المللی (مرکز بین‌المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT)) تهیه و همچنین لاین‌های دابل هاپلوئید حاصل از همکاری موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر با شرکت فلوریماند دپره به آزمایش اضافه شدند. در سال اول، ۳۲۰ لاین خالص گندم نان به همراه چهار شاهد (مهرگان، برات، سارنگ و چمران ۲)

1. Factor Analysis and Ideotype Design-Best Linear Unbiased Prediction

2. Multi-trait Genotype-Ideotype Distance Index

مورد بررسی قرار گرفتند. عملکرد لاین‌های مورد مطالعه با عملکرد میانگین شاهد‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. در سال دوم ۱۰۶ لاین انتخابی از سال اول به صورت طرح آلفا لاتیس 5×22 به همراه چهار شاهد (اوج، مهرگان، برات و سارنگ) در دو تکرار اجرا شدند. کرت‌های آزمایشی شامل شش خط با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و مساحت کاشت $7/2$ متر مربع بودند. میزان بذر مورد نیاز براساس وزن هزار دانه ۳۵۰ دانه در متر مربع محاسبه شد. همچنین، خاک محل اجرای آزمایش دارای بافتی با اسیدیته معادل $7/7$ در سال اول و $7/8$ در سال دوم و هدایت الکتریکی $1/1$ و $0/9$ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب در سال اول و دوم بود. نتایج آزمون خاک نشان داد که محتوای ماده آلی $0/42$ درصد در سال اول و $0/6$ درصد در سال دوم، فسفر هشت و 11 میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب در سال اول و سال دوم و پتاسیم 170 و 198 میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب در سال اول و سال دوم بود. در نتیجه، میزان اوره 420 و 390 کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در سال اول و دوم، سوپرفسفات تریپل 270 و 180 کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در سال اول و دوم، سولفات پتاسیم 120 کیلوگرم در هکتار در هر دو سال و ریزمغذی به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت ۳-۲ در هزار در هر دو سال استفاده شد. لازم به ذکر است 100 کیلوگرم در هکتار اوره در زمان کاشت استفاده شد. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم، دیسک، لولر و ایجاد فارو در زمین آیش انجام شد. کشت آزمایش‌ها با استفاده از بذرکار خطی وینترشتایگر ساخت اتریش در نیمه اول آذرماه صورت گرفت. آبیاری به‌صورت تحت فشار با نوار تیپ صورت گرفت. برای کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ از سموم علف‌کش اکسیال و بروم‌ایسید استفاده شد. وضعیت دما و بارندگی در طول دوره آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. داده‌های هواشناسی ماهیانه داراب در فصول زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳.

2022-2023					2023-2024			
Month	Rainfall (mm)	Temp. (°C)			Rainfall (mm)	Temp. (°C)		
		Min	Max	Mean		Min	Max	Mean
Oct	0.00	15.63	29.37	23.33	0.00	16.93	30.17	24.30
Nov	12.10	11.10	22.17	16.97	23.00	10.87	21.40	16.87
Dec	2.80	5.40	16.23	11.50	7.00	5.03	16.53	11.37
Jan	142.90	1.50	10.73	6.77	0.00	5.83	15.97	11.90
Feb	47.10	3.50	12.70	8.63	40.00	5.63	15.10	11.37
Mar	9.40	8.31	20.00	14.55	72.00	5.41	16.59	11.76
Apr	0.70	9.67	22.27	16.73	133.00	9.68	20.06	15.35
May	6.30	15.53	29.07	23.20	47.00	13.61	24.84	20.00
June	0.80	21.61	35.26	29.48	0.00	21.29	35.19	29.39

در طول مراحل رشد گیاه، یادداشت‌برداری از صفات زراعی شامل تعداد روز تا گلدهی (DHE: Number of days to heading)، تعداد روز تا رسیدگی (DME: Number of days to maturity) و ارتفاع بوته (PLH: Plant height) انجام شد. پس از برداشت محصول، صفات دیگری همچون وزن هزار دانه (TKW: Thousand kernel weight)، طول دوره پر شدن (SFP: Seed Filling Period)، سرعت پر شدن دانه (SFR: Seed Filling Rate) و عملکرد دانه (YLD: Grain yield) مورد بررسی قرار گرفتند. طول دوره پر شدن از تفاضل تعداد روز رسیدگی از تعداد روز گرده‌افشانی به‌دست آمد. همچنین سرعت پر شدن دانه از طریق تقسیم حداکثر وزن دانه بر طول دوره پر شدن دانه حاصل می‌گردد (Egli, 2004).

برای رتبه‌بندی لاین‌ها از شاخص FAI-BLUP و نمودار قوت و ضعف شاخص MGIDI استفاده شد. این شاخص بر اساس اطلاعات صفات مورد بررسی محاسبه می‌شود (Olivoto & Nardino, 2021).

شاخص FAI-BLUP: مراحل محاسبه این شاخص به‌صورت زیر می‌باشد:

۱- تحلیل عاملی: برای محاسبه کاهش ابعاد داده‌ها و ساختار روابط انجام شد.

۲- طراحی ایدئوتیپ‌ها: تغییر مقیاس صفات: X_{ij} یک جدول دوطرفه با i ردیف یا ژنوتیپ و j ستون یا صفت می‌باشد که به‌صورت 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 ، η_{nj} و φ_{nj} به ترتیب مقادیر جدید حداقل و حداکثر برای صفت j و θ_{ij} مقدار اصلی برای صفت j از ژنوتیپ i ام.

۳- تعیین تعداد ایدئوتیپ: تعداد ایدئوتیپ‌ها بر اساس ترکیب صفات دارای دیفرانسیل انتخاب مطلوب و نامطلوب برای هدف انتخاب تعریف شد. تعداد ایدئوتیپ‌ها بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$NI = 2^n \quad \text{[رابطه ۲]}$$

که در آن NI تعداد ایدئوتیپ‌ها و n تعداد عامل‌ها است.

در نهایت، پس از تعیین ژنوتیپ ایده‌آل، فاصله بین ژنوتیپ ایده‌آل و هر ژنوتیپ برآورد شد. سپس آن را به احتمال مکانی خاصی تبدیل گردید تا بتوان ژنوتیپ‌ها را رتبه‌بندی کرد. فرمول محاسبه شاخص FAIBLUP به شرح زیر است (Rocha et al., 2019):

$$P_{ij} = \frac{\frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{i=1:n, j=1:m} \frac{1}{d_{ij}}} \quad \text{[رابطه ۳]}$$

که در آن P_{ij} احتمال مشابه بودن ژنوتیپ i ام با ژنوتیپ ایده‌آل j ام، d_{ij} فاصله ژنوتیپ ایده‌آل از ژنوتیپ i ام تا ژنوتیپ ایده‌آل j ام بر اساس فاصله اقلیدسی است.

شاخص MGIDI: مراحل ۱ و ۲ در محاسبه این شاخص، مشابه با شاخص FAI-BLUP می‌باشد. در مرحله بعد، فاصله اقلیدسی بین نمرات ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ایده‌آل به عنوان شاخص MGIDI با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$MGIDI = \sum_{i=1}^f [(\gamma_{ij} - \gamma_j)^2]^{0.5} \quad \text{[رابطه ۴]}$$

γ_{ij} امتیاز i امین ژنوتیپ در فاکتور j ام، t و f به ترتیب تعداد ژنوتیپ‌ها و عامل‌ها و γ_j نمره j ام ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشد. شاخص‌های آمار توصیفی و تجزیه واریانس‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS9.1 اندازه‌گیری شد. برای برآورد شاخص‌های FAI-BLUP و MGIDI از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی metan (Olivoto & Lúcio, 2020) در نرم‌افزار R4.2.1 استفاده شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

با توجه به نتایج به دست آمده در سال اول آزمایش که با استفاده از ۳۲۰ لاین جدید به همراه چهار شاهد منطقه انجام شد، با مقایسه عملکرد هر لاین با شاهد‌ها، تعداد ۱۰۶ لاین برتر انتخاب شد. شاخص‌های آمار توصیفی و ویژگی‌های مهم لاین‌های مورد بررسی به همراه شاهد‌ها و لاین‌های انتخابی در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، میانگین صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، طول دوره پر شدن و سرعت پر شدن دانه در لاین‌های انتخابی از مجموع لاین‌های اولیه بیشتر بود و در مورد بقیه صفات کمتر بود. بیشترین مقدار ضریب تغییرات فنوتیپی در مجموع لاین‌ها و لاین‌های انتخابی مربوط به صفات عملکرد دانه و وزن هزار دانه و کمترین آنها به ترتیب مربوط به دو صفت تعداد روز تا رسیدگی و تعداد روز تا گلدهی بود. بر این اساس، شاید بتوان نتیجه گرفت عملکرد دانه و وزن هزار دانه می‌توانند معیارهای مناسبی برای انتخاب لاین‌های برتر باشد. میزان عملکرد در سال اول از ۱/۹۰ تن در هکتار (لاین شماره ۳۳) برای ضعیف‌ترین لاین تا ۷/۸۹ تن در هکتار (لاین شماره ۳۱۲) برای بهترین لاین متغیر بود و میانگین عملکرد کلیه لاین‌های مورد آزمایش برابر ۵/۲۲ تن در هکتار بود (نتایج نشان داده نشده است).

همچنین میانگین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های شاهد برات، چمران ۲، مهرگان و سارنگ به ترتیب ۶/۱۷، ۴/۱۲، ۴/۸۹ و ۵/۳۳ تن در هکتار با میانگین عملکرد ۵/۱۴ تن در هکتار به دست آمد (جدول ۲). نتایج کلیه صفات اندازه‌گیری شده نیز نشان‌دهنده این می‌باشد که در لاین‌های انتخابی، نسبت به مجموع لاین‌ها و شاهد‌های منطقه میزان صفات اندازه‌گیری شده بهبود یافته است. نتایج سایر تحقیقات نشان داد که صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و ارتفاع بوته در بین ارقام مختلف گندم نان دارای تنوع بسیار بالایی می‌باشند (Keshavarznia et al., 2023; Shifaraw et al., 2023; Sönmezoğlu et al., 2012).

جدول ۲. شاخص‌های آمار توصیفی لاین‌های گندم نان در فصل زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

Traits	Average lines in first year experiment					Check genotypes				Average selected lines in second year experiments				
	Mean	STD	CV	Min	Max	Barat	Chamran 2	Mehregan	Sarang	Mean	STD	CV	Min	Max
DHE	100.62	2.07	2.05	96	105	102.5	103	100.5	101.25	99.39	1.68	1.69	96	104
DME	139.25	2.65	1.9	131	144	142.25	142.5	139	139	138.56	2.73	1.97	131	144
PLH	108.18	6.43	5.94	75	127	111	107.75	101.25	104.25	107.83	6.73	6.13	75	125
TKW	38.5	6.38	16.58	18.75	52.27	38.95	33.53	40.66	38.9	40.97	7.14	17.43	24.21	52.27
YLD	5.21	0.94	17.99	1.9	7.89	6.17	4.12	4.89	5.38	6.19	0.45	7.34	5.64	7.89
SFP	38.62	2.16	5.59	31	44	39.75	39.5	38.5	37.75	39.16	2.28	5.81	31	44
SFR	1	0.17	16.57	0.48	1.98	0.98	0.85	1.02	1.03	1.05	0.18	17.56	0.58	1.98
Total average grain yield			5.21			5.14				6.19				

DHE: تعداد روز تا گلدهی، DME: تعداد روز تا رسیدگی، PLH: ارتفاع بوته، TKW: وزن هزار دانه، SFP: طول دوره پر شدن، SFR: سرعت پر شدن دانه و YLD: عملکرد دانه.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس ۱۱۰ ژنوتیپ گندم نان در فصل زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲.

S.O.V	df	Mean of Squares						
		Traits						
		DHE	DME	PLH	TKW	YILD	SFP	SFR
Reps	1	51.07**	0.01 ^{n.s}	165.82 ^{n.s}	3002.40**	601670.50 ^{n.s}	50.11**	2.74**
Blk(ADJ)	8	5.73 ^{n.s}	4.30 ^{n.s}	34.12 ^{n.s}	90.68 ^{n.s}	288170.26 ^{n.s}	6.80 ^{n.s}	0.04 ^{n.s}
Line(ADJ)	109	16.08*	14.37**	7.42 ^{n.s}	71.34**	11953661.71**	5.37 ^{n.s}	0.05 ^{n.s}
Error	101	6.01	3.34	48.44	72.92	703607.2	5.83	0.05

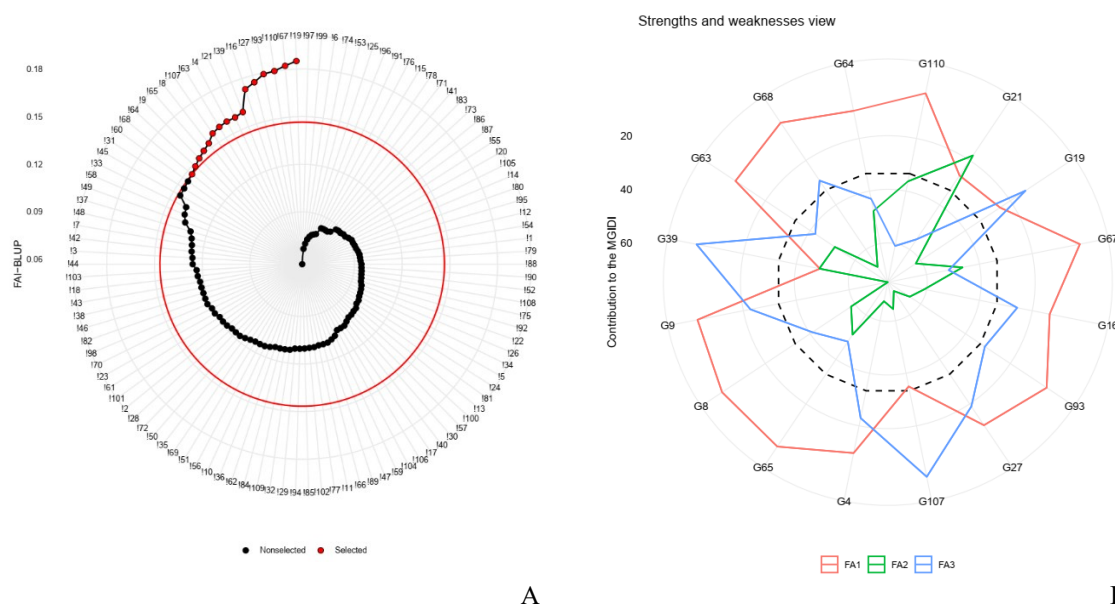
^{n.s}، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد. DHE: تعداد روز تا گلدهی، DME: تعداد روز تا رسیدگی، PLH: ارتفاع بوته، TKW: وزن هزار دانه، SFP: طول دوره پر شدن، SFR: سرعت پر شدن دانه و YLD: عملکرد دانه.

نتایج تجزیه واریانس صفات در سال دوم نشان داد که لاین‌ها از نظر صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری داشتند؛ اما بین صفات ارتفاع بوته، سرعت پر شدن دانه و دوره پر شدن دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

در شاخص FAI-BLUP به‌طور پیش‌فرض، انتخاب برای افزایش ارزش صفات سرعت پر شدن دانه، تعداد روز تا پر شدن دانه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، کاهش طول دوره گلدهی، رسیدگی و ارتفاع بوته انجام شد. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌هایی با بیشترین مقدار جزء ژنوتیپ‌های برتر و ایده‌آل می‌باشند (جدول ۴). دایره قرمز در شکل ۱-الف نشان‌دهنده نقطه برش FAI-BLUP با توجه به شدت انتخاب می‌باشد. بنابراین، همان‌گونه که مشاهده می‌شود ۱۶ ژنوتیپ شماره ۱۹، ۶۷، ۱۱۰ (شاهد: سارنگ)، ۹۳، ۲۷، ۱۶، ۳۹، ۴، ۲۱، ۶۳، ۱۰۷، ۸، ۶۵، ۹، ۶۴ و ۶۸ به‌ترتیب با بیشترین مقدار FAI-BLUP به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند (شکل ۱-الف و جدول ۴). Rocha *et al.* (2018) با استفاده از شاخص FAI-BLUP نشان داد که ژنوتیپ‌های انتخابی بیشترین پتانسیل را برای برنامه‌های اصلاحی گندم نشان می‌دهند، زیرا صفات نزدیک‌تر به ایدئوتیپ، پنجه‌های بارور و وزن هزار دانه بالایی را دارا بودند. دیفرانسیل انتخاب شاخص FAI-BLUP برای تمامی صفاتی که مقادیر بالاتر آنها مطلوب است، مثبت و برای صفاتی که مقادیر کمتر آنها مورد توجه است، منفی به‌دست آمده است. شاخص FAI-BLUP دیفرانسیل انتخاب مطلوبی را برای تمامی صفات مورد مطالعه نشان داد. بیشترین و کمترین درصد دیفرانسیل انتخاب به‌ترتیب مربوط به صفات وزن هزار دانه (۴/۹۴ درصد) و ارتفاع بوته (۱/۲- درصد) بودند (جدول ۵). نتایج دیفرانسیل انتخاب نشان داد که این شاخص در انتخاب برای عملکرد دانه کم‌اثر است، اما اجزای عملکرد مانند وزن هزار دانه دیفرانسیل انتخاب بالاتری نسبت به سایر صفات دارند. علت کم‌اثر بودن ژنوتیپ در توجه این سه صفت را این‌طور می‌توان این‌طور توضیح داد که در انتخاب‌های برنامه‌های اصلاحی سال‌های گذشته، ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند و این ژنوتیپ‌ها از لحاظ این صفات نزدیک به یکدیگر می‌باشند (Arief *et al.*, 2015). شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG^۳) به‌عنوان یک روش کارآمد و ساده برای شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها مطرح شده است. این شاخص، ویژگی‌های گوناگون را در قالب یک آماره جدید ادغام می‌کند و به محققان کمک می‌کند تا ارزیابی دقیق‌تری از عملکرد ژنوتیپ‌ها داشته باشند (Zali *et al.*, 2023). مقایسه شاخص انتخاب FAI-BLUP با دو شاخص انتخاب SIIG و MGIDI نشان داد که شاخص‌های FAI-BLUP، MGIDI و SIIG به‌ترتیب هفت، شش و پنج شش صفت از هفت صفت مورد مطالعه، دیفرانسیل انتخاب مورد نظر مطلوب را ارائه کردند که نشان‌دهنده میزان موفقیت ۱۰۰ درصدی شاخص FAI-BLUP نسبت به دو شاخص دیگر در انتخاب صفات با مقادیر مورد نظر بود. صفت عملکرد دانه در شاخص MGIDI و صفات وزن هزار دانه و ارتفاع بوته در شاخص انتخاب SIIG دارای دیفرانسیل انتخاب نامطلوب بودند. همچنین دیفرانسیل انتخاب مطلوب مثبت به‌ترتیب در شاخص‌های FAI-BLUP، MGIDI و SIIG ۶/۰۲، ۵/۴۱ و ۳/۵۸ بود. همچنین دیفرانسیل انتخاب مطلوب منفی در همین شاخص‌ها به‌ترتیب ۴/۳۷، ۴/۰۱ و ۳/۵۶ بود (نتایج گزارش نشده است). با توجه به نتایج این تحقیق، شاخص انتخاب FAI-BLUP نسبت به دو شاخص انتخاب دیگر برتری داشته و جهت انتخاب و معرفی لاین‌های برتر استفاده شد. شاخص FAI-BLUP یک ابزار مناسب برای انتخاب همزمان صفات مهم برای اصلاح گندم است (Meier *et al.*, 2021). Woyann *et al.* (2019)، Oliveira *et al.* (2019) و Rocha *et al.* (2019) کارایی این شاخص را در انتخاب گیاهان مختلف گزارش کرده‌اند.

در شکل ۱-ب، وضعیت قوت و ضعف لاین‌های انتخابی با استفاده از شاخص FAI-BLUP بر اساس MGIDI به تصویر کشیده شده است. در این شکل، خط‌چین نمایانگر مقادیر نظری است که در آن فرض بر این است که تمامی عوامل به یک اندازه تأثیر دارند. نسبت‌های بزرگ‌تر که توسط یک عامل تجزیه شده و به لبه داخلی نزدیک‌تر هستند، نشان‌دهنده این است که صفت مربوطه درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل کمتر مطابقت دارد. برعکس، نسبت‌های کوچک‌تر که تحت تأثیر یک عامل مشخص قرار دارند و به لبه خارجی نزدیک‌ترند، بیانگر این موضوع هستند که صفت درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است (Olivoto & Nardino, 2021). در نمودار قوت و ضعف، ژنوتیپ‌های ۶۳، ۶۸، ۶۴، ۱۱۰، ۶۷، ۱۶، ۹۳، ۲۷، ۶، ۶۵، ۸ و ۹ بیشتر از لحاظ عامل اول یعنی از نظر صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و سرعت پر شدن دانه به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر هستند (شکل

۱-ب؛ بنابراین این عامل به درستی لاین‌های برتر را انتخاب کرده است. نتایج عامل دوم نشان داد که لاین شماره ۲۱ بیشتر از لحاظ دو صفت تعداد روز تا رسیدگی و عملکرد دانه قوی و برجسته‌تر بوده و به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیکتر می‌باشند. همچنین نتایج عامل سوم نشان داد که لاین شماره ۳۹، ۱۰۷ و ۱۹ بیشتر از لحاظ صفات تعداد روز تا گلدهی و دوره پر شدن دانه قوی و برجسته‌تر بوده و به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیکتر می‌باشند (شکل ۱-ب). در بین ۱۶ لاین انتخابی، تعداد هشت لاین به شماره‌های ۲۷، ۶۷، ۸، ۳۹، ۱۶، ۶۳، ۲۱ و ۱۹ و ۵۰ دارای عملکرد بالاتر از لاین‌های انتخاب‌نشده، میانگین لاین‌های انتخاب‌شده و ژنوتیپ‌های شاهد بود. همچنین هشت لاین دیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای از لحاظ عملکرد با لاین‌های انتخاب‌نشده، میانگین لاین‌های انتخاب‌شده و ژنوتیپ‌های شاهد نداشتند که این مطلب بیانگر این می‌باشد که استفاده از شاخص FAI-BLUP منجر به انتخاب کامل لاین‌هایی با عملکرد بالا شده است (جدول ۶). Al-Ashkar *et al.* (2023) در تحقیق خود شش عامل را در نمودار قوت و ضعف ژنوتیپ‌های مورد بررسی شناسایی کردند. عامل اول چهار صفت، عامل دوم، دو صفت، عامل سوم سه صفت، عامل چهارم، پنجم و ششم هر کدام جداگانه دو صفت را توجیه کردند که از این روش می‌توان به عنوان یک ابزار قدرتمند برای شناسایی نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های گندم جهت استفاده هدفمند در برنامه‌های اصلاحی آتی استفاده کرد.



شکل ۱. (A) الگوی رتبه‌بندی لاین‌های انتخابی بر اساس شاخص FAI-BLUP - گوی رنگ قرمز: ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده و (B) بای‌پلات قوت و ضعف لاین‌های انتخابی براساس شاخص FA1-MGIDI: عامل اول (ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و سرعت پر شدن دانه) (قرمز)، FA2: عامل دوم (تعداد روز تا رسیدگی و عملکرد دانه) (سبز) و FA3: عامل سوم (تعداد روز تا گلدهی و دوره پر شدن دانه) (آبی).

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که میانگین عملکرد ۱۰۶ لاین انتخابی در سال دوم به تقریبی ۶/۴۹ تن در هکتار رسیده است که نسبت به عملکرد همین لاین‌ها در سال اول، افزایشی حدود ۳۰۰ کیلوگرم را نشان می‌دهد (جدول ۶). داده‌های هواشناسی از مهرماه تا خردادماه به‌صورت روزانه در دو سال از ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد داراب دریافت شد. تجزیه و تحلیل این داده‌ها نشان داد که یکی از عوامل اصلی این افزایش عملکرد، کاهش دما و افزایش بارش در اردیبهشت سال دوم (۳۲۲ میلی‌متر) نسبت به سال اول (۲۷۰ میلی‌متر) است که منجر به افزایش وزن هزاردانه از ۳۸/۵۰ گرم در سال اول به ۵۱/۰۶ گرم در سال دوم شد (جدول ۱ و جدول ۶). عوامل اقلیمی تأثیر زیادی بر این تغییرات گذاشته‌اند و به همین دلیل در سال دوم، هر دو ویژگی مهم عملکرد دانه و وزن هزاردانه نسبت به سال اول افزایش یافته است (جدول ۶). در این تحقیق، هوای خنک انتهای فصل به علت بارش و دماهای پایین‌تر در سال دوم نسبت به سال اول، از بروز تنش خشکی در پایان فصل جلوگیری کرده و این امر به بهبود پر شدن دانه‌های گندم و در نتیجه افزایش وزن هزاردانه انجامیده است (جدول ۱). تحلیل شجره لاین‌های انتخاب‌شده نشان می‌دهد که در شش

لاین برتر، یک والد مشترک به نام WBL1 و در سه لاین دیگر والد مشترکی به نام PFAU وجود دارد (جدول ۷). این والدین احتمالاً نقشی اساسی در موفقیت این لاین‌ها در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایش شده ایفا کرده‌اند.

بررسی لاین‌های انتخابی نشان داد که لاین‌های شماره ۴، ۸ و ۹ حاصل از برنامه تلاقی منطقه گرم و خشک دزفول و داراب، لاین‌های شماره ۱۶، ۱۹، ۲۱ و ۲۷ حاصل انتخاب از برنامه خزانه بین‌المللی گندم سیمیت مکزیکی (54IBWSN)، لاین شماره ۳۹ حاصل انتخاب از خزانه بین‌المللی گندم‌های منطقه نیمه‌خشک دنیا (39SAWSN)، لاین‌های شماره ۶۳ و ۶۴ حاصل انتخاب از خزانه بین‌المللی گندم‌های آزمایش‌شده در شرایط دمای بالا در نقاط مختلف دنیا (20HTWYT)، لاین‌های شماره ۶۵، ۶۷ و ۶۸ حاصل از انتخاب از آزمایش‌های بین‌المللی مقایسه عملکرد گندم در مناطق نیمه‌خشک در نقاط مختلف دنیا (29SAWYT) و دو لاین انتخابی ۹۱ و ۱۰۷ حاصل از برنامه دبل‌هاپلوئید بود. مقاومت به تنش‌های محیطی یکی از ویژگی‌های بارز این لاین‌ها است. تحقیقات نشان داده‌اند که انتخاب گیاهانی با توانایی تحمل خشکی و گرما می‌تواند بقاء گیاه را تحت شرایط جوی نامناسب افزایش دهد و انرژی کمتری را برای مقابله با این تنش‌ها مصرف کند (Ahmed et al., 2023). علاوه بر مقاومت به شرایط سخت، عملکرد دانه بالا یکی دیگر از مزایای مهم این لاین‌ها است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ویژگی‌های اصلاحی مانند وزن هزار دانه، عملکرد دانه و ارتفاع مناسب بالاتر باعث تمایل بیشتر کشاورزان به انتخاب این لاین‌ها می‌شوند (Ahmed et al., 2023). با توجه به این جنبه‌ها، لاین‌های انتخابی نه تنها به بهبود تولید و کیفیت محصولات کمک می‌کنند بلکه در درازمدت به پایداری و امنیت غذایی در مناطق گرم و خشک نیز یاری می‌رسانند.

جدول ۴. نتایج شاخص انتخاب FAI-BLUP لاین‌های گندم نان در فصل زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲.

Line	FAI-BLUP	Rank		Line	FAI-BLUP	Rank		Line	FAI-BLUP	Rank	
		1st year	2nd year			1st year	2nd year			1st year	2nd year
Mehregan	0.09	157	85	38	0.12	37	32	75	0.1	52	79
2	0.12	49	40	39	0.16	2	7	76	0.08	92	102
3	0.13	53	27	40	0.10	101	67	77	0.11	74	58
4	0.16	7	9	41	0.08	77	98	78	0.08	86	100
5	0.1	57	74	42	0.13	31	26	79	0.09	59	84
6	0.07	64	108	43	0.12	36	31	80	0.09	72	89
7	0.13	29	25	44	0.13	33	28	81	0.1	54	72
8	0.15	3	12	45	0.15	15	19	82	0.12	40	34
9	0.15	18	14	46	0.12	39	33	83	0.09	73	97
10	0.11	44	48	47	0.11	104	62	84	0.11	45	51
11	0.11	78	59	48	0.13	28	24	85	0.11	66	56
12	0.09	88	87	49	0.14	95	22	86	0.09	79	95
13	0.1	51	71	50	0.12	21	43	87	0.09	76	94
14	0.09	67	90	51	0.11	24	46	88	0.09	60	83
15	0.08	81	101	52	0.09	63	81	89	0.11	103	61
16	0.17	12	6	53	0.08	98	106	90	0.09	62	82
17	0.1	106	66	54	0.09	90	86	91	0.08	93	103
18	0.12	34	30	55	0.09	96	93	92	0.1	56	78
19	0.19	4	1	56	0.11	41	47	93	0.18	1	4
20	0.09	84	92	57	0.1	83	69	94	0.11	65	55
21	0.16	6	8	58	0.14	10	21	95	0.09	87	88
22	0.1	85	77	59	0.11	100	63	96	0.08	89	104
23	0.12	47	37	60	0.15	14	17	97	0.06	68	110
Barat	0.1	141	73	61	0.12	46	38	98	0.12	22	35
25	0.08	91	105	62	0.11	43	50	99	0.07	61	109
26	0.1	82	76	63	0.16	16	10	100	0.1	107	70
27	0.18	11	5	64	0.15	8	15	101	0.12	50	39
28	0.12	55	41	65	0.15	17	13	102	0.11	69	57
29	0.11	71	54	Ouj	0.11	125	60	103	0.12	30	29
30	0.1	105	68	67	0.18	5	2	104	0.1	99	64
31	0.15	13	18	68	0.15	9	16	105	0.09	70	91
32	0.11	42	53	69	0.12	23	45	106	0.1	102	65
33	0.14	32	20	70	0.12	48	36	107	0.16	27	11
34	0.1	97	75	71	0.08	80	99	108	0.09	58	80
35	0.12	20	44	72	0.12	25	42	109	0.11	35	52
36	0.11	38	49	73	0.09	75	96	Sarang	0.18	19	3
37	0.13	26	23	74	0.07	94	107				

جدول ۵. دیفرانسیل انتخاب و واریانس توجیه شده، مقادیر ویژه، بارهای عاملی در تحلیل عاملی در لاین‌های گندم نان.

Traits	Factor	original lines mean	Mean of selected genotypes	Selection differential	FA1	FA2	FA3
PLH	1	101.15	99.95	-1.2	0.39	0.34	-0.07
TKW	1	45.48	50.42	4.94	0.95	-0.04	0.20
SFR	1	1.18	1.30	0.12	0.97	-0.11	-0.08
DME	2	152.68	151.34	-1.34	0.08	0.94	0.22
YILD	2	6.49	6.96	0.47	0.26	-0.37	0.13
DHE	3	114.10	112.27	-1.83	0.01	0.64	-0.74
SFP	3	38.58	39.07	0.49	0.06	0.17	0.98
					2.14	1.72	1.41
Negative Selection differential				-4.37	30.50	24.60	20.10
Positive Selection differential				6.02	30.50	55.10	75.20

DHE: تعداد روز تا گلدهی، DME: تعداد روز تا رسیدگی، PLH: ارتفاع بوته، TKW: وزن هزار دانه، SFP: طول دوره پر شدن، SFR: سرعت پر شدن دانه و YLD: عملکرد دانه.

جدول ۶. مقایسه صفات لاین‌های انتخابی با مجموع لاین‌ها و ژنوتیپ‌های شاهد در فصول زراعی مورد بررسی.

Line	1st year							2nd year						
	DHE	DME	PLH	TKW	YILD	SFP	SFR	DHE	DME	PLH	TKW	YILD	SFP	SFR
304	101.00	139.00	113.00	42.79	7.04	38.00	1.13	112.00	152.00	101.00	51.67	6.87	40.00	1.29
196	98.00	133.00	105.00	41.10	7.51	35.00	1.17	113.50	152.00	101.00	51.24	7.66	38.50	1.34
75	99.00	137.00	106.00	45.97	6.57	38.00	1.21	112.50	153.00	98.50	55.12	7.00	40.50	1.36
99	99.00	139.00	115.00	42.16	6.78	40.00	1.05	112.50	152.00	97.00	51.18	7.46	39.50	1.30
74	98.00	140.00	108.00	31.73	7.36	42.00	0.76	111.50	151.50	97.50	50.60	7.13	40.00	1.26
194	96.00	132.00	104.00	45.86	7.12	36.00	1.27	112.00	147.50	93.50	46.74	7.15	35.50	1.35
45	97.00	137.00	100.00	40.42	6.91	40.00	1.01	112.50	152.50	98.50	51.92	7.97	40.00	1.30
76	98.00	136.00	109.00	41.12	7.56	38.00	1.08	111.00	151.00	103.50	41.08	7.54	40.00	1.03
240	100.00	140.00	99.00	45.77	6.63	40.00	1.14	113.00	151.00	104.50	52.67	7.32	38.00	1.39
88	98.00	139.00	120.00	45.31	7.02	41.00	1.11	113.00	151.00	103.50	53.85	6.55	38.00	1.42
110	102.00	142.00	114.00	47.34	6.60	40.00	1.18	113.00	151.00	100.50	51.43	6.70	38.00	1.36
66	98.00	139.00	105.00	44.22	7.25	41.00	1.08	112.50	150.00	101.50	50.97	7.78	37.50	1.37
68	97.00	141.00	120.00	48.86	6.98	44.00	1.11	112.00	152.00	103.00	54.20	6.17	40.00	1.36
312	99.00	138.00	106.00	48.36	7.89	39.00	1.24	111.50	151.00	99.00	53.87	6.32	39.50	1.36
192	97.00	135.00	97.00	46.40	6.37	38.00	1.22	111.50	152.50	95.00	49.33	6.99	41.00	1.20
Mean selected lines	98.47	137.80	108.07	43.83	7.04	39.33	1.12	112.27	151.33	99.83	51.06	7.11	39.07	1.31
Mean total lines	100.62	139.25	108.18	38.5	5.21	38.62	1	114.10	152.68	101.15	45.48	6.49	38.58	1.18
Sarang	101.25	139	104.25	38.9	5.38	37.75	1.03	112.50	150.00	95.00	52.65	6.94	37.50	1.40
Mehregan	100.5	139	101.25	40.66	4.89	38.5	1.02	116.50	152.00	99.00	45.46	6.42	35.50	1.28
Barat	102.5	142.25	111	38.95	6.17	39.75	0.98	115.50	151.00	100.00	44.14	6.04	35.50	1.29
Chamran 2/Ouj	103	142.5	107.75	33.53	4.12	39.5	0.85	115.00	153.00	106.50	48.64	7.09	38.00	1.28

DHE: تعداد روز تا گلدهی، DME: تعداد روز تا رسیدگی، PLH: ارتفاع بوته، TKW: وزن هزار دانه، SFP: طول دوره پر شدن، SFR: سرعت پر شدن دانه و YLD: عملکرد دانه.

جدول ۷. شجره لاین‌های برتر منتخب با استفاده از شاخص FAI-BLUP.

Genotypes	Pedigree
4	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA
8	(TAUS)/BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR/6/KAUZ/PASTOR//PBW343
9	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR/6/Baaz
16	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA
19	(TAUS)/BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR/6/SW89.3064/STAR
21	WBLL1*2/BRAMBLING//TAM200/TUI/3/VILLA JUAREZ F2009/4/KACHU*2/3/ND643//2*PRL/2*PASTOR
27	WHEAR/VIVITSI//WHEAR*2/3/KACHU/4/2*BORL14
39	MUNAL
63	#1*2/4/HUW234+LR34/PRINIA//PBW343*2/KUKUNA/3/ROLF07*2/5/WBLL1*2/BRAMBLING*2//BAVIS
64	BECARD #1/5/KIRITATI/4/2*SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/6/VILLA JUAREZ F2009/DANPHE #1
65	TACUPETO
67	F2001*2/BRAMBLING/3/KIRITATI//PBW65/2*SERI.1B/4/ND643/2*WBLL1/5/2*MUTUS//ND643/2*WBLL1
68	BAJ #1/KISKADEE #1/3/WBLL1*2/BRAMBLING*2//BAVIS/4/BAJ #1/KISKADEE #1
93	MUNAL #1/SUJATA/CHIPAK
107	KACHU/4/WHEAR/SHAMA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/5/CIRO16/6/WBLL1*2/BRAMBLING*2//BAVIS
	BABAX/LR42//BABAX*2/3/SHAMA/4/TACUPETO F2001*2/BRAMBLING/5/2*BORL14
	ROLF07*2/SHORTENED SR26 TRANSLOCATION/3/2*WBLL1*2/BRAMBLING*2//BAVIS
	DEZ/SW891882/5/PASTOR//SITE/MO/3/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/BCN/4/WBLL1
	SLVS*2/PASTOR/IR/FR/3/SLVS*2/PASTOR

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص انتخاب FAI-BLUP به خوبی توانسته است لاین‌های برتر را بر اساس صفات مورد بررسی انتخاب کند. این شاخص، لاین‌های ۱۹، ۶۷، ۹۳، ۲۷، ۱۶، ۳۹، ۴، ۲۱، ۶۳، ۱۰۷، ۸، ۶۵، ۹، ۶۴ و ۶۸ را به عنوان لاین‌های برتر برای آزمایش‌های سازگاری و پایداری در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ معرفی کرد.

۵. منابع

- Ahmed, S.F., Ahmed, J.U., Hasan, M., & Mohi-Ud-Din, M. (2023). Assessment of genetic variation among wheat genotypes for drought tolerance utilizing microsatellite markers and morpho-physiological characteristics. *Heliyon*, 9(11).
- Al-Ashkar, I., Sallam, M., Almutairi, K.F., Shady, M., Ibrahim, A., & Alghamdi, S.S. (2023). Detection of high-performance wheat genotypes and genetic stability to determine complex interplay between genotypes and environments. *Agronomy*, 13(2), 585.
- Anonymous (2023). Statistical year book of agricultural crops. 1st Volume: Field Crops. Ministry of Jihad-eAgriculture, Tehran, Iran, 103 pp. (In Persian).
- Arief, V.N., DeLacy, I.H., Crossa, J., Payne, T., Singh, R., Braun, H.J., Tian, T., Basford, K.E., & Dieters, M.J. (2015). Evaluating testing strategies for plant breeding field trials: redesigning a CIMMYT international wheat nursery. *Crop Science*, 55(1), 164-177.
- da Silva, M.J., Carneiro, P.C.S., de Souza Carneiro, J.E., Damasceno, C.M.B., Parrella, N.N.L.D., Pastina, M.M., Simeone, M.L.F., Schaffert, R.E., & da Costa Parrella, R.A. (2018). Evaluation of the potential of lines and hybrids of biomass sorghum. *Industrial Crops and Products*, 125, 379-385.
- Egli, D.B. (2004). D Seed-Fill Uration and Yield of Grain Crops. *Advances in Agronomy*, 83, 243.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Khodarahmi, M., Pour-Shabazi, A., Akbari Moghaddam, H., Sayahfar, M., Tahmasebi, S., Acineh, G.L., Amir-Bkhtiar, N., Afshari, F., & Dalvand, M. (2017). Mehrehgan, a new bread wheat cultivar, resistant to yellow, leaf and stem rust and high bread making quality for cultivation in agricultural systems in southern warm and dry zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 6(1), 71-77. (In Persian).
- Jasemi, S.S., Naghipour, F., Sanjani, S., Esfandiyari, E., Khorsand, H., and Najafian, G. (2017). Evaluation of quality properties of four wheats (*Triticum aestivum* L.) cultivars in wheat producing provinces of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(2), 102-115. (In Persian).
- Keshavarz Nia, R., Esmailzadeh Moghaddam, M., & Tabib Ghaffary, S.M. (2023). Evaluation and preliminary identification of superior lines of bread wheat in the north of khuzestan province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(4), 177-186. (In Persian).
- Mondal, S., Singh, R.P., Mason, E.R., Huerta -Espino, J., Autrique, E., and Joshi, A.K. (2016). Grain yield, adaptation and progress in breeding for early-maturing and heat -tolerant wheat lines in South Asia. *Field Crops Research*, 192, 78-85.

- Meier, C., Marchioro, V.S., Meira, D., Olivoto, T., & Klein, L.A. (2021). Genetic parameters and multiple-trait selection in wheat genotypes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 51, e67996.
- Oliveira, I.C.M., Marçal, T.d.S., Bernardino, K.d.C., Ribeiro, P.C.d. O., Parrella, R.A.d.C., Carneiro, P.C.S., Schaffert, R.E., & Carneiro, J.E.d.S. (2019). Combining ability of biomass sorghum lines for agroindustrial characters and multitrait selection of photosensitive hybrids for energy cogeneration. *Crop Science*, 59(4), 1554-1566.
- Olivoto, T., & Lúcio, A.D.C. (2020). Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783-789.
- Olivoto, T., & Nardino, M. (2021). MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, 37(10), 1383-1389.
- Rajaram, S., & Van-Ginkel, M. (1994). A guide to the CIMMYT bread wheat program. *Wheat Special*, 5.
- Rocha, J.R.d.A.S.d.C., Nunes, K.V., Carneiro, A.L.N., Marçal, T.d.S., Salvador, F.V., Carneiro, P.C.S., & Carneiro, J.E.S. (2019). Selection of superior inbred progenies toward the common bean ideotype. *Agronomy Journal*, 111(3), 1181-1189.
- Rocha, J.R.d.A.S.d.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. *Gcb Bioenergy*, 10, 52-60.
- Shifaraw, G., Alamerew, S., & Birhan, T. (2023). Morphological variations in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in Gechi district, South West Ethiopia.
- Sönmezoglu, Ö.A., Bozmaz, B., Yildirim, A., Kandemir, N., & Aydin, N. (2012). Genetic characterization of Turkish bread wheat landraces based on microsatellite markers and morphological characters. *Turkish Journal of Biology*, 36(5), 589-597.
- Smith, H.F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, 7, 240-250.
- Woyann, L.G., Zdziarski, A.D., Baretta, D., Meira, D., Dallacorte, L.V., & Benin, G. (2019). Selection of high-yielding, adapted and stable wheat lines in preliminary trials. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19, 412-419.
- Zali, H., Barati, A., Pour-Aboughadareh, A., Gholipour, A., Koohkan, S., Marzoghiyan, A., Bocianowski, J., Bujak, H., & Nowosad, K. (2023). Identification of superior barley genotypes using selection index of ideal genotype (SIIG). *Plants*, 12(9), 1843.

Supplementary Files

برنامه R بای پلات شاخص انتخاب FAI-BLUP

```
library(metan)
ER <- read.table(choose.files(), header=T)
data_mean <-
means_by(ER, GEN) %>%
column_to_rownames("GEN")
data_mean %>% round_cols(digits = 1) %>% head()
FAI_mean <-
fai_blup(data_mean, SI = 20,
DI = c('min, min, min, max, max, max, max'),
UI = c('max, max, max, min, min, min, min'),
verbose = T)
plot(FAI_mean)
plot(FAI_mean, radar = FALSE)
```

برنامه R بای پلات قوت و ضعف شاخص MGIDI

```
library(metan)
ER <- read.table(choose.files(), header=T)
data_mean <-
means_by(ER, GEN) %>%
column_to_rownames("GEN")
data_mean %>% round_cols(digits = 1) %>% head()
mgidi_mean <-
mgidi(data_mean,
ideotype = c(rep("l", 3), rep("h", 4)),
SI = 20,
verbose = T)
mgidi_mean$sel_dif %>% round_cols()
p1 <- plot(mgidi_mean, SI = 20)
p2 <- plot(mgidi_mean, type = "contribution")
arrange_ggplot(p1, p2)
```