



## **Evaluation of oilseed sunflower genotypes based on the multivariate selection index FAI-BLUP under normal and limited irrigation conditions**

**Nasrin Akbari** 

\*Corresponding Author: PhD Graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email address: nasrinakbari93@gmail.com

**Reza Darvishzadeh** 

Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email address: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

---

### ***Abstract***

#### **Objective**

The production and introduction of the ideal genotype require multi-site experiments and examination of the effects of genotype  $\times$  environment interaction. For this purpose, several multi-attribute selection indices have been introduced. One of the advantages of multi-trait selection indices in the selection and introduction of desired genotypes is the consideration of trait relationships and the elimination of limitations caused by them. In this study, the efficiency of the FAI-BLUP selection index in evaluating oilseed sunflower genotypes was compared with two other indices: the Smith-Hazel and multi-trait genotype-ideotype distance.

#### **Materials and Methods**

One hundred oilseed sunflower genotypes were evaluated in 2012 and 2013 in terms of yield and several morphophysiological traits under two irrigation conditions: standard and limited, using a simple  $10 \times 10$  lattice design. SAS software was used for variance analysis, and the calculation of three indices (MGIDI, FAI-BLUP, and Smith-Hazel) was done using the metan package in RStudio software (R 9.4).

#### **Results**

Based on the analysis of variance, significant differences were observed among genotypes in all studied traits except for head diameter and relative water content, indicating the presence of variation among genotypes in these traits. In the principal component analysis, four components

with eigenvalues greater than one were identified, which explained 70.37% of the total variance of traits. The Smith-Hazel index was not successful in the selection based on 13 traits due to collinearity among them. By removing the RWC trait and using the remaining 12 traits, genotypes 13 (A-FLPOPA), 22 (AS3232), 57 (SDR19), 81 (CAY), and 94 (SF092) were selected based on this index. Both the FAI-BLUP and MGIDI methods are multivariate approaches based on factor analysis; however, the MGIDI method, in addition to factor analysis, also uses the distance from the ideal genotype to identify desirable genotypes. In this study, the results obtained using the MGIDI and FAI-BLUP methods were identical, indicating the efficiency and reliability of the FAI-BLUP method.

### Conclusion

The use of multi-trait indices is a valuable method for accelerating breeding programs and identifying desirable genotypes. In this context, achieving optimal selection requires considering the relationships among traits in the selection process and utilizing an efficient index. As observed in this study, the Smith-Hazel index does not perform well in selecting genotypes when there are correlations between traits.

**Keywords:** Drought stress, FAI-BLUP, Ideal genotype, MGIDI, Sunflower.

**Paper Type:** Research Paper.

**Citation:** Akbari N, Darvishzadeh R (2024) Evaluation of oilseed sunflower genotypes based on the multivariate selection index FAI-BLUP under normal and limited irrigation conditions. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (2), 65-84.

---

*Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (2), 65-84.

DOI:10.22103/gpb.2025.5093

Received: October 2, 2024.

Received in revised form: December 13, 2024.

Accepted: December 14, 2024.

Published online: December 25, 2024.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production,

Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and


Iranian Genetics Society.

© the authors





## ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی بر اساس شاخص انتخاب چند متغیره FAI- BLUP در شرایط نرمال و آبیاری محدود

 **نسرین اکبری**

\*نویسنده مسئول: دانش‌آموخته دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه:

[nasrinakbari93@gmail.com](mailto:nasrinakbari93@gmail.com)

 **رضا درویش‌زاده**

استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [r.darvishzadeh@urmia.ac.ir](mailto:r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴

### چکیده

**هدف:** تولید و معرفی ژنوتیپ ایده‌آل، نیازمند آزمایشات چندگانه در شرایط مختلف و بررسی اثرات ژنوتیپ  $\times$  محیط است. به این منظور از شاخص‌های گزینش چند صفتی متعددی که معرفی شده‌اند استفاده می‌شود. از جمله مزیت شاخص‌های گزینش چند صفتی در گزینش و معرفی ژنوتیپ‌های مطلوب، اقدام به گزینش با در نظر گرفتن روابط بین صفات و از میان برداشتن محدودیت‌های ناشی از آن است. در این مطالعه سعی شده است کارایی شاخص گزینش FAI-BLUP در مقایسه با دو شاخص اسمیت و هیزل و شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتایپ چند صفتی در ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی در شرایط نرمال و آبیاری محدود مورد ارزیابی قرار گیرد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش تعداد ۱۰۰ لاین آفتابگردان دانه روغنی تحت دو شرایط آبیاری معمول و محدود در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ از نظر برخی صفات مورفو-فیزیولوژیکی و عملکرد ارزیابی شدند. جهت تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS و به منظور انجام محاسبات سه شاخص MGIDI، شاخص FAI-BLUP و شاخص اسمیت - هیزل از بسته (metan) در نرم‌افزار R Studio (R.9.4) استفاده شد.

**نتایج:** بر اساس نتایج تجزیه واریانس بین ژنوتیپ‌ها در همه صفات جز صفات قطر طبق و محتوای نسبی آب اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، که نشان از وجود تنوع بین ژنوتیپ‌ها در صفات مورد مطالعه داشت. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی چهار مؤلفه با ریشه

مشخصه بیشتر از ۱ شناسایی شد، که ۷۰/۳۷ درصد از تنوع کل صفات را توجیه نمودند. در گزینش بر اساس ۱۳ صفت به‌دلیل هم خطی موجود بین صفات، شاخص اسمیت - هیزل موفق عمل نکرد. در مرحله دوم با حذف صفت RWC و با حضور ۱۲ صفت، ژنوتیپ‌های ۱۳ (A-FLPOPA)، ۲۲ (AS3232)، ۵۷ (SDR19)، ۸۱ (CAY) و ۹۴ (SF092) با سه شاخص فوق به‌عنوان ژنوتیپ برتر انتخاب شدند. هر دو روش FAI-BLUP و MGIDI از روش‌های چند متغیره مبتنی بر تجزیه به عامل‌ها هستند ولی در روش MGIDI فاصله از ژنوتیپ-ایده‌آل، نیز جهت گزینش ملاک است. بنابراین نتایج یکسان به‌دست‌آمده با هر دو روش نشان از کارایی مطلوب و قابل اطمینان بودن روش FAI-BLUP است.

**نتیجه‌گیری:** استفاده از شاخص‌های چند صفتی، روشی ارزنده در تسریع برنامه‌های اصلاحی و معرفی ژنوتیپ‌های مطلوب هست. در این بین جهت دستیابی به انتخاب مطلوب، در نظر گرفتن روابط بین صفات در انتخاب و استفاده از شاخص کارآمد حائز اهمیت است. چنانچه در مطالعه فوق مشاهده شد شاخص اسمیت - هیزل کارایی مطلوبی در انتخاب ژنوتیپ‌ها در صورت وجود روابط بین صفات ندارد.

**کلیدواژه‌ها:** آفتابگردان، تنش خشکی، ژنوتیپ ایده‌آل، MGIDI, FAI-BLUP.

**نوع مقاله:** پژوهشی.

**استناد:** اکبری نسرين، درویش‌زاده رضا (۱۴۰۳) ارزیابی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی بر اساس شاخص انتخاب چند متغیره FAI-BLUP در شرایط نرمال و آبیاری محدود. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۱(۲)، ۸۴-۶۵.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production,  
Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and  
Iranian Genetics Society



© the authors

## مقدمه

اصلاح‌کنندگان گیاه سعی می‌کنند ویژگی‌های مختلف زراعی مناسبی که منجر به دستیابی به عملکرد بالا می‌شود را در یک ژنوتیپ برتر جمع نمایند (Pour-Aboughadareh & Poczai 2021). یکی از روش‌های مؤثر در این زمینه، انتخاب بر اساس شاخص‌های انتخاب است (Zali et al. 2022). چندین شاخص انتخاب بر اساس صفات چندگانه از جمله شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) (Zali et al. 2015)، شاخص انتخاب چندگانه (MTSI) (Olivoto et al. 2019)، شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتایپ (MGIDI) (Olivoto & Nardino 2020)، شاخص FAI-BLUP (Rocha et al. 2018) و هیزل - اسمیت (SH) (Smith 1936; Hazel 1943) معرفی شده‌اند. دو روش FAI و MGIDI از روش‌های چند متغیره مبتنی بر تجزیه به

عامل‌ها هستند، بنابراین اطلاعات بیشتری را با توجه به تعیین گروه‌های عاملی و نیز تعیین درصد سهم هر عامل در مقایسه با یک ماتریس ساده در اختیار اصلاح‌گران قرار می‌دهند (Seiler & Stafford 1985).

برای محاسبه شاخص SH، از ماتریس‌های واریانس-کوواریانس فنوتیپی و ژنوتیپی و همچنین بردار وزن‌های اقتصادی استفاده می‌گردد. معکوس کردن ماتریس کوواریانس فنوتیپی در شاخص SH (Smith 1936)، همچنین وجود چند خطی - که مطمئناً هنگام ارزیابی چندین صفت ظاهر می‌شود - می‌تواند منجر به ماتریس‌های شرطی ضعیف و ضرایب شاخص مغرضانه شود، بنابراین، بر تخمین‌های دستاوردهای ژنتیکی تأثیر می‌گذارد (Olivoto & Nardino 2020). MGIDI مبتنی بر تجزیه فاکتورها و شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتایپ بوده و در واقع بر انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با در نظر گرفتن صفات متعدد تمرکز دارد (Pour-Aboughadareh & Poczai 2021). از این شاخص در مطالعه گیاهانی همچون گندم (Pour-Aboughadareh & Poczai 2021)، جو (Shirzad et al. 2023; Zali et al. 2022)، آفتابگردان (Baraki et al. 2024) و گوآر (Benakanahalli et al. 2021) استفاده شده است. شاخص FAI-BLUP که شامل تخمین ارزش‌های ژنتیکی با استفاده از REML/BLUP است، یک استراتژی بالقوه خوب برای انتخاب ژنوتیپ‌های نخبه می‌باشد. کارایی این تکنیک در گزارشات متعددی تأیید شده است (Silva et al. 2018; Oliveira et al. 2019; Rocha et al. 2019; Woyann et al. 2019). از این تکنیک در برنامه‌های اصلاحی گیاهان مختلفی همچون سیب‌زمینی سفید گینه (Norman et al. 2021, 2022)، یولاف (Olivoto et al. 2019)، سویا (Follmann et al. 2019)، لوبیا (Santos et al. 2019)، ذرت (Olivoto et al. 2017) و گندم (Pour-Aboughadareh & Poczai, 2021) استفاده شده است. شاخص انتخاب FAI-BLUP روش مطلوبی برای انتخاب ژنتیکی و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بهتر است و می‌تواند برای دستیابی به نتایج انتخاب مطلوب در تمام صفات مورد بررسی به‌طور همزمان استفاده شود. این شاخص همچنین در مقایسه با انتخاب مستقیم برای صفات عملکرد دانه (GY)، انتخاب غیرمستقیم بر اساس میانگین هارمونیک عملکرد نسبی مقادیر ژنوتیپی و انتخاب برای پایداری، برتر است (Peixoto et al. 2021; Almeida et al. 2021; Costa et al. 2023). شاخص FAI-BLUP در انتخاب نتایج با پیشرفت‌های ژنتیکی متعادل و مطلوب برای همه صفات به‌طور همزمان مؤثر معرفی شده است (Volpato et al. 2020). رویکردهای انتخاب چند صفتی برای غربالگری خویشاوندان وحشی گندم استفاده شده است. استفاده از شاخص‌های انتخاب در مراحل اولیه رشد می‌تواند برای تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد (Pour-Aboughadareh & Poczai 2021). به این ترتیب شاخص مناسبی که ترکیبی از مقادیر فنوتیپی است تعیین و برای انتخاب بهترین ژنوتیپ استفاده می‌شود. با این حال، این شاخص باید با صفت هدف (به‌عنوان مثال، عملکرد دانه) همبستگی داشته باشد.

در میان تنش‌های غیرزیستی، تنش خشکی، مؤثرترین و محدود کننده‌ترین تنش بر رشد و تولید گیاهان در بخش‌های وسیعی از جهان است (Pour-Aboughadareh et al. 2017). روش‌های تجزیه و تحلیل چندمتغیره به‌دلیل ارزیابی همزمان بسیاری از صفات رویکرد قدرتمندی برای کمک به بهبود ژنتیکی محصولات در مراحل اولیه اصلاحی هستند (Barth et al.

2022). در اصلاح برای تحمل تنش خشکی، زودرسی یکی از صفات برجسته است (Shavrukov et al. 2017)، اما در اغلب مطالعات همبستگی منفی با عملکرد نشان داده است. جهت حل این پارادکس؛ یعنی داشتن زودرسی در کنار عملکرد زیاد، استفاده از روش‌های شاخص‌ها چند متغیره مطلوب هستند. این روش‌ها به‌واسطه تعدیل ضرایب صفات در شاخص، امکان حصول عملکرد بالا را فراهم می‌کنند. در این مطالعه شاخص انتخاب چند متغیره FAI-BLUP در ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان ارزیابی شده در شرایط نرمال و آبیاری محدود طی دو سال زراعی محاسبه و با شاخص‌های اسمیت-هیزل و MGIDI مقایسه و ژنوتیپ‌های برتر و ایده‌آل بر اساس جمیع صفات معرفی گردیدند.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۰۰ لاین آفتابگردان تهیه‌شده از مراکز مختلف (جدول تکمیلی ۱)، طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در روستای قزلجه سلماس (با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه ۱۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی و ۴۴ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی) کشت شدند. مطالعه تحت دو شرایط نرمال و محدودیت آبیاری در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ انجام شد. بر این اساس، کشت بر روی خطوط کشت ۵ متری انجام گرفت. فواصل بین خطوط کشت ۶۰ سانتی‌متر و بین بوته‌ها بر روی خطوط کشت ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله دو تکرار از هم ۱/۵ سانتی‌متر و فاصله آزمایش‌ها (آبیاری معمولی، آبیاری محدود) از هم ۵ متر در نظر گرفته شد. در هر دو سال مورد مطالعه، تا مرحله ۸ برگی آبیاری مزرعه در هر دو آزمایش (آبیاری معمولی و آبیاری محدود) به‌صورت معمولی (بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) انجام گرفت. از مرحله ۸ برگی آبیاری در تیمارهای شاهد (آزمایش آبیاری معمولی) تا انتهای فصل رشد به روش قبل ادامه یافت. در آزمایش آبیاری محدود، از مرحله ۸ برگی به بعد آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. صفات مورد ارزیابی در این مطالعه و واحد سنجش آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. تعداد نمونه‌های ایده‌آل در شاخص FAI-BLUP بر اساس ترکیبی از عوامل مطلوب و نامطلوب برای هدف انتخاب تعریف می‌شود. تعداد نمونه‌های ایده‌آل توسط الگوریتم زیر تعیین گردید:

$$NI = 2n$$

در این الگوریتم NI: تعداد ایده‌آل‌ها و n: تعداد فاکتورها است.

تعداد فاکتورها (n) مورد استفاده برای طراحی تیپ‌های ایده‌آل باید برابر با تعداد مقادیر ویژه (واریانس مؤلفه‌های اصلی)، با مقادیر بزرگتر یا مساوی یک باشد (Kaiser 1958). همچنین تعداد مختصاتی را که باید برای هر تیپ ایده‌آل محاسبه شوند (یعنی n امتیاز فاکتوریل) نشان می‌دهد. بنابراین، هر ایدئوتایپ و توضیحات آن‌ها بر اساس ترکیب عوامل مطلوب و نامطلوب به شرح زیر است: اگر، به‌عنوان مثال، سه مقدار ویژه بزرگتر از یک باشند (n=۳)، هشت ایدئوتایپ (NI=۲۳=۸) که هر کدام روی سه مختصات طراحی خواهند شد.

جدول ۱. صفات مورد ارزیابی در این مطالعه و واحد سنجش

Table 1. Traits evaluated in this study and measurement unit

اختصار Abbreviation	واحد اندازه‌گیری Unit of measurement	صفات Traits
PH	سانتیمتر (cm)	ارتفاع بوته Plant height
LN	تعداد	تعداد برگ Number of leaves
LL	سانتیمتر (cm)	طول برگ Leaf length
LW	سانتیمتر (cm)	عرض برگ Leaf width
PL	سانتیمتر (cm)	طول دم‌برگ Petiole length
SD	سانتیمتر (cm)	قطر ساقه Stem diameter
Ch	مقدار تمرکز سبزی‌نگی	شاخص سبزی‌نگی Greenness index (SPAD)
DF	روز (day)	روز تا گلدهی Days to flowering
DM	روز (day)	روز تا رسیدگی Days to maturity
HD	سانتی‌متر (cm)	قطر طبق Head diameter
RWC	درصد (%)	محتوای نسبی آب Relative water content
Oil	درصد (%)	محتوای روغن دانه Oil content
Yield	گرم (gr)	عملکرد دانه Seed yield

امتیاز عاملی، ترکیبی خطی از مقادیر ژنتیکی استاندارد (میانگین‌های BLUP) است که توسط بارهای متعارف به‌دست‌آمده از تحلیل عاملی وزن‌دهی شده‌اند. بنابراین، یک عامل مطلوب باید مقادیر ژنتیکی مطلوب (مجموعه داده‌ها) را برای تمام صفات تحت انتخاب داشته باشد. مقادیر ژنتیکی مطلوب ممکن است حداکثر، حداقل، میانگین یا یک مقدار ژنتیکی خاص باشند. یک عامل نامطلوب باید برای تمام صفات تحت انتخاب، مقادیر ژنتیکی نامطلوب (حداکثر، حداقل، میانگین یا یک مقدار ژنتیکی خاص) داشته باشد. بنابراین، هر تیپ ایده‌آل و مختصات آن (نمرات فاکتوریل) را می‌توان طراحی کرد.

در شاخص FAI-BLUP ایدئوتایپ مورد نظر (DI) توسط بردار "min" برای صفاتی که در آن‌ها مقادیر کمتر مورد نظر است و "max" برای صفاتی که در آن‌ها مقادیر بالاتر مورد نظر است تعریف شد. سپس فواصل هر ژنوتیپ بر اساس ایدئوتایپ برآورد شد و با رابطه (۱) به احتمال مکانی تبدیل شدند.

$$P_{ij} = \frac{\frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{i=1; j=2}^{i=n; j=m} \frac{1}{d_{ij}}} \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $P_{ij}$  احتمال مشابه بودن ژنوتیپ  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) با ایدئوتایپ  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) است؛  $d_{ij}$  فاصله ژنوتیپ-ایدئوتایپ از ژنوتیپ  $i$  تا ژنوتیپ ایدئوتایپ  $j$  بر اساس فاصله اقلیدسی میانگین استاندارد شده است. شاخص SH با توجه به رابطه (۲) محاسبه شد.

$$b = P^{-1}GW \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $P$  و  $G$  به ترتیب ماتریس‌های واریانس-کوواریانس فنوتیپی و ژنتیکی هستند و  $b$  و  $w$  به ترتیب بردارهای ضرایب شاخص و وزن‌های اقتصادی هستند. همه صفات دارای وزن اقتصادی یکسان ( $w = 1$ ) می‌باشند، در این حالت علامت منفی (۱-) برای صفاتی که مقادیر کمتر برای آن‌ها مورد نظر هست و علامت مثبت (۱) برای صفاتی که در آن‌ها مقادیر بالاتر مورد نظر است، در نظر گرفته شدند. بنابراین، امکان قرار دادن تمام داده‌های صفات در جهت مورد نظر برای انتخاب فراهم شد. سپس ارزش ژنتیکی ( $I$ ) هر ژنوتیپ بر اساس صفات ارزیابی شده با توجه به رابطه (۳) محاسبه شد (Smiderle et al. 2019).

$$I = Xb \quad (3)$$

در رابطه ۳،  $X$  یک ماتریس  $g \times p$  از BLUPها برای ژنوتیپ‌های  $g$  با صفات  $p$  بود و  $b$  یک بردار  $1 \times p$  از ضرایب شاخص برای صفات  $p$  است. برای شاخص SH دو مسیر آنالیز در نظر گرفته شد. در مورد اول، شاخص SH با تمام ۱۳ صفت محاسبه شد. در مورد دوم، صفت مولد چند خطی حذف و شاخص با صفات باقیمانده محاسبه شد. برای برآورد شاخص‌های اسمیت-هیزل، FAI-BLUP و MGIDI از بسته metan در نرم‌افزار R Studio (R.9.4) استفاده شد.

## نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های آفتابگردان در برخی صفات مورد مطالعه مشاهده شد. بنابراین برای انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل از شاخص FAI با در نظر گرفتن ۱۳ صفت مورفو-فنولوژیک استفاده شد. ژنوتیپ‌های گزینش شده با شدت انتخاب ۱۵ درصد معرفی شدند. در تجزیه به عامل‌های، انجام شده برای شاخص انتخاب چند متغیره FAI ۴ عامل اول با ریشه مشخصه بیشتر از ۱، به ترتیب با مقادیر ویژه ۵/۰۱، ۱/۹۳، ۱/۱۸، ۱/۰۳ در مجموع ۷۰/۳۷ درصد از تغییرات کل را توصیف کردند. بر این اساس عامل اول ۳۸/۵۳ درصد، عامل دوم ۱۴/۹ درصد، عامل سوم ۹/۰۵ درصد و عامل چهارم ۷/۹۳ درصد از تغییرات را به تنهایی توجیه نمودند (جدول ۲). در کل بیشترین اشتراک در ۴ عامل اصلی مربوط به صفت طول برگ و روز تا

رسیدگی و کمترین به محتوای روغن مربوط بود. بنابراین عامل اول را می‌توان، توان پتانسیل اسمزی و عامل دوم را عامل مورفو- فنولوژیکی و عامل سوم را عامل فتوسنتزی نام‌گذاری کرد.

معیار ارزش‌گذاری برای ژنوتیپ‌ها با شاخص FAI، بر مبنای بالا بودن مقدار طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، قطر ساقه، قطر طبق، عملکرد، روز تا گلدهی، روزتا رسیدگی، ارتفاع، تعداد برگ و کلروفیل و پایین بودن دو صفت محتوای نسبی آب و روغن بود. منفی بودن میزان دیفرانسیل‌گزینش برای دو صفت محتوای نسبی آب و روغن، به نظر حکایت از اهمیت و مؤثر بودن این آماره در گزینش ژنوتیپ‌برتر دارد. میانگین کل ژنوتیپ‌ها، برای اجزا تشکیل‌دهنده هر عامل در مقایسه با ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس شاخص در جدول ۳ گزارش شد. در این میان بیشترین و کمترین میزان دیفرانسیل‌گزینش به‌ترتیب متعلق به ارتفاع بوته (۹/۰۶۹) و محتوای روغن دانه (۰/۸۵۳-) بود. ۱۵ ژنوتیپ‌گزینش‌شده بر اساس این شاخص شامل ۸ (ENSAT-۲۵۴)، ۹۴ (SF092)، ۲۶ (H049+FSB)، ۵۷ (SDR19)، ۴۹ (H100A)، ۸۱ (CAY)، ۳۰ (ENSAT699)، ۷۰ (SDB1)، ۴۷ (1009370-3(100K))، ۲۲ (AS3232)، ۱۱ (270-ENSAT)، ۶۰ (B454/03)، ۶۳ (HA335B)، ۷۶ (H209A/H566R) و ۵۸ (HA337B) بودند. ژنوتیپ ۸ (254-ENSAT) برترین ژنوتیپ در بین تمام ژنوتیپ‌ها بود.

معیار ارزش‌گذاری برای ژنوتیپ‌ها با شاخص MGIDI بر مبنای بالا بودن مقدار عددی طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، قطر ساقه، قطر طبق، عملکرد، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع، تعداد برگ، محتوای نسبی آب و کلروفیل و پایین بودن محتوای روغن دانه بود. بنابراین ۱۵ ژنوتیپ‌جز ژنوتیپ‌های برتر بر مبنای شاخص محسوب و ژنوتیپ ۸ (254-ENSAT) برترین ژنوتیپ در بین تمام ژنوتیپ‌ها بود. منفی بودن میزان دیفرانسیل‌گزینش برای صفت روغن به‌نظر حکایت از اهمیت و مؤثر بودن این آماره در گزینش ژنوتیپ‌برتر دارد. در این میان بیشترین و کمترین میزان دیفرانسیل‌گزینش به‌ترتیب متعلق به ارتفاع بوته (۹/۸۱) و محتوای روغن دانه (۰/۴۷۳-) بود. میانگین کل ژنوتیپ‌ها، برای اجزا تشکیل‌دهنده هر عامل در مقایسه با ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس شاخص در جدول ۴ گزارش شده است.

با استفاده از شکل (۱) می‌توان سهم هر صفت در هر یک از عامل‌ها را برای هر ژنوتیپ‌ها مشخص کرد و به بررسی نقاط ضعف و قوت آن‌ها پرداخت. در کل بر اساس شاخص MGIDI، عامل‌ها به دو دسته عامل‌های با سهم کمتر و سهم بیشتر طبقه‌بندی می‌گردند. بنابراین در این نمودار کمترین سهم توجیه شده توسط یک عامل با نزدیک بودن آن به لبه خارجی تعیین می‌شود؛ که بیانگر نزدیک بودن صفات درون آن عامل به حالت ایده‌آل است. هر تیمار برای عامل‌هایی که سهم کمتری در آن‌ها دارد از لحاظ صفات درون آن عامل به تیمار ایده‌آل نزدیک‌تر است. لازم به ذکر است که خط نقطه‌چین مشخص‌کننده ارزش نظری است.

انتخاب بر اساس MGIDI، سبب گزینش ژنوتیپ‌های با میانگین بالاتر از میانگین کل در صفات طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، قطر ساقه، قطر طبق و عملکرد بر اساس عامل اول، میانگین بالاتر از میانگین کل در صفات روز تا گل دهی، روز تا رسیدگی و محتوای نسبی آب براساس عامل دوم و تعداد برگ و ارتفاع بوته بر اساس عامل سوم و کلروفیل بر مبنای عامل چهارم می‌شود.

جدول ۲. تعیین میزان اشتراک و اثر هر صفت در هر چهار عامل اول

**Table 2. Determining the degree of sharing and effect of each attribute in each of the first four factors**

واریانس Variance	میزان اشتراک Communality rate	بار عاملی Loading factor				صفات Traits
		عامل چهارم FA4	عامل سوم FA3	عامل دوم FA2	عامل اول FA1	
0.19	0.81	0/13	0/27	0.28	-0/80	طول برگ Leaf length (cm)
0.2	0.80	-0.01	0.16	0.13	-0.87	عرض برگ Leaf width (cm)
0.45	0.55	0.04	0.5	0.28	-0.69	طول دم‌برگ Petiole length (cm)
0.27	0.73	-0.22	0.81	0.15	-0.07	تعداد برگ Number of leaves
0.21	0.79	0.08	0.14	0.05	-0.87	قطر ساقه Stem diameter (cm)
0.29	0.71	-0.05	-0.02	0.02	-0.84	قطر طبق Head diameter (cm)
0.39	0.61	-0.20	0.2	0.27	-0.48	ارتفاع بوته Plant height (cm)
0.2	0.80	-0.89	0.03	0.08	-0.06	شاخص سبزی‌نگی Greenness index (SPAD)
0.2	0.80	-0.23	0.17	0.84	-0.16	روز تا گلدهی Days to flowering
0.19	0.81	-0.22	0.15	0.84	-0/19	روز تا رسیدگی Days to maturity
0.41	0.59	-0.21	0.14	-0.72	0.01	محتوای نسبی آب Relative water content
0.56	0.44	0.30	0.57	-0.13	-0.03	روغن (%) Oil content (%)
0.3	0.7	-0.15	-0.06	-0.09	-0.82	عملکرد Seed yield (gr) (%)
		1.03	1.18	1.93	5.01	مقادیر ویژه Eigen values
		7.93	9.05	14.9	38.53	درصد واریانس توجیه شده Percentage of explained variance
		70.37	62.45	53.39	38.53	درصد تجمعی واریانس توجیه شده Cumulative percentage of explained variance

جدول ۳. توصیف اجزای تشکیل دهنده ۴ عامل با مقادیر ویژه بیشتر از یک با شاخص FAI

**Table 3. Description of the components of the 4 factors with eigenvalues greater than one with the FAI index**

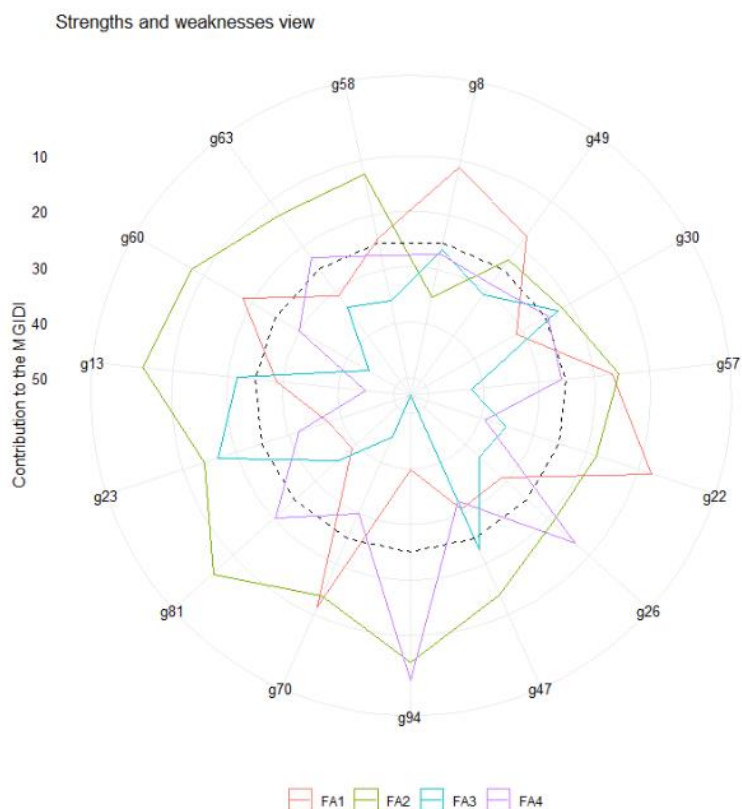
درصد دیفرانسیل انتخاب Percentage of selection differential	دیفرانسیل انتخاب Selection differential	میانگین ژنوتیپ‌های انتخابی Mean of selected genotypes	میانگین کل Total mean	عامل Factor	صفات Traits
8.161	1.244	16.482	15.238	عامل اول FA1	طول برگ Leaf length (cm)
10.004	1.288	14.161	12.873	عامل اول FA1	عرض برگ Leaf width (cm)
5.069	0.404	8.368	7.965	عامل اول FA1	طول دم‌برگ Petiole length (cm)
6.118	1.011	17.542	16.530	عامل سوم FA3	تعداد برگ Number of leaves
9.38	0.418	4.871	4.453	عامل اول FA1	قطر ساقه Stem diameter (cm)
4.777	0.569	12.479	11.910	عامل اول FA1	قطر طبق Head diameter (cm)
8.707	9.069	113.219	104.151	عامل سوم FA3	ارتفاع بوته Plant height (cm)
3.673	1.449	40.885	39.436	عامل چهارم FA4	شاخص سبزی‌نگی Greenness index (SPAD)
3.566	2.572	74.693	72.121	عامل دوم FA2	روز تا گل دهی Days to flowering
3.262	3.428	108.503	105.075	عامل دوم FA2	روز تا رسیدگی Days to maturity
-0.035	-0.023	66.775	66.799	عامل دوم FA2	محتوای نسبی آب Relative water content (%)
-1.832	-0.853	45.684	46.537	عامل سوم FA3	روغن Oil content (%)
19.838	6.290	37.998	31.708	عامل اول FA1	عملکرد Seed yield (gr)

جدول ۴. توصیف اجزای تشکیل دهنده ۴ عامل با مقادیر ویژه بیشتر از یک با شاخص MGIDI

Table 4. Description of the components of the 4 factors with eigenvalues greater than one with the MGIDI index

صفات Traits	عامل Factor	میانگین کل Total mean	میانگین ژنوتیپ‌های انتخابی Mean of selected genotypes	دیفرانسیل انتخاب Selection differential	درصد دیفرانسیل انتخاب Percentage of selection differential
طول برگ Leaf length (cm)	عامل اول FA1	15.2	16.6	1.32	8.68
عرض برگ Leaf width (cm)	عامل اول FA1	12.9	14.3	1.38	10.7
طول دمبرگ Petiole length (cm)	عامل اول FA1	7.96	8.41	0.450	5.65
تعداد برگ Number of leaves	عامل سوم FA3	16.5	17.7	1.21	7.30
قطر ساقه Stem diameter (cm)	عامل اول FA1	4.45	4.87	0.419	9.40
قطر طبق Head diameter (cm)	عامل اول FA1	11.9	12.4	0.483	4.05
ارتفاع بوته Plant height (cm)	عامل سوم FA3	104	114	9.81	9.41
شاخص سبزی‌نگی (عدد اسپد) Greenness index (SPAD)	عامل چهارم FA4	39.4	40.5	1.07	2.70
روز تا گل دهی Days to flowering	عامل دوم FA2	72.1	74.7	2.58	3.58
روز تا رسیدگی Days to maturity	عامل دوم FA2	105	108	2.80	2.67
محتوای نسبی آب Relative water content (%)	عامل دوم FA2	66.8	66.9	0.08	0.12
محتوای روغن دانه Oil content (%)	عامل سوم FA3	46.5	46.1	-0.473	-1.02
عملکرد seed Yield (gr)	عامل اول FA1	31.7	37.2	5.52	17.4

عامل اول، دوم و عامل چهارم مهم‌ترین عوامل هستند. عامل اول در راستای مقاومت به تنش خشکی، دوم و چهارمین عامل در راستای حفظ توان فتوسنتزی و تولید می‌باشند؛ بنابراین ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس آن‌ها نیز مهم خواهند بود. بر این اساس ژنوتیپ‌های با برگ‌های باریک و کشیده که دارای دمبرگ بلندتری هستند، همچنین دارای توان حفظ پتانسیل آب بالا بوده و قطر طبق کوچک دارند ژنوتیپ مطلوب محسوب می‌گردند.



شکل ۱. تعیین نقطه قوت و ضعف ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس MGIDI.

Figure 1. Determining the strengths and weaknesses of selected genotypes based on MGIDI.

در این تحقیق تلاش شد گزینش هم‌زمان با سه شاخص SH، FAI و MGIDI با در نظر گرفتن ۱۳ صفت مورفولوژیکی فنولوژیکی نیز انجام گیرد. به نظر به دلیل چند هم‌خطی میان صفات، محاسبه شاخص SH انجام نگرفت و تنها دو شاخص FAI و MGIDI، شرکت داده شدند. تحت این شرایط ۲ ژنوتیپ ۱۱ (270-ENSAT) و ۷۶ (H209A/H566R) بر مبنای شاخص گزینش FAI و ژنوتیپ ۲۳ (12AASB3) و ۱۳ (A-FLPOPA) با شاخص MGIDI به‌طور مجزا به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناسایی شدند. ۱۳ ژنوتیپ بر مبنای هر دو شاخص مطلوب ارزیابی شدند (شکل ۲). جهت مشخص شدن صفتی که عامل چند هم‌خطی می‌باشد آنالیزها به کرات با حذف یک صفت انجام پذیرفت که مشخص شد با حذف RWC و با حضور ۱۲ صفت امکان ارزیابی با هر سه شاخص فراهم می‌گردد.

با انجام آنالیز مجدد نتیجه تجزیه به عامل، برای تجزیه هم‌زمان سه شاخص SH، FAI و MGIDI، با در نظر گرفتن ۱۲ صفت انجام و نتایج نشان داد عامل اول با ریشه مشخصه بیشتر از ۱، به‌ترتیب با مقادیر ویژه ۴/۹۷، ۱/۷۸، ۱/۱۱، در مجموع ۶۵/۵ درصد از تغییرات کل را توصیف کردند. بر این اساس عامل اول ۴۱/۴ درصد، عامل دوم ۱۴/۸ درصد، عامل سوم ۹/۲۵ درصد از

تغییرات را به‌تنهای توجیه کردند (جدول ۵). بیشترین و کمترین درصد دیفرانسیل انتخاب به‌ترتیب مربوط به صفت ارتفاع و روغن دانه بود.

جدول ۵. تعیین میزان اشتراک و اثر هر صفت در هر سه عامل اول

Table 5. Determining the degree of participation and effect of each attribute in each of the first three factors

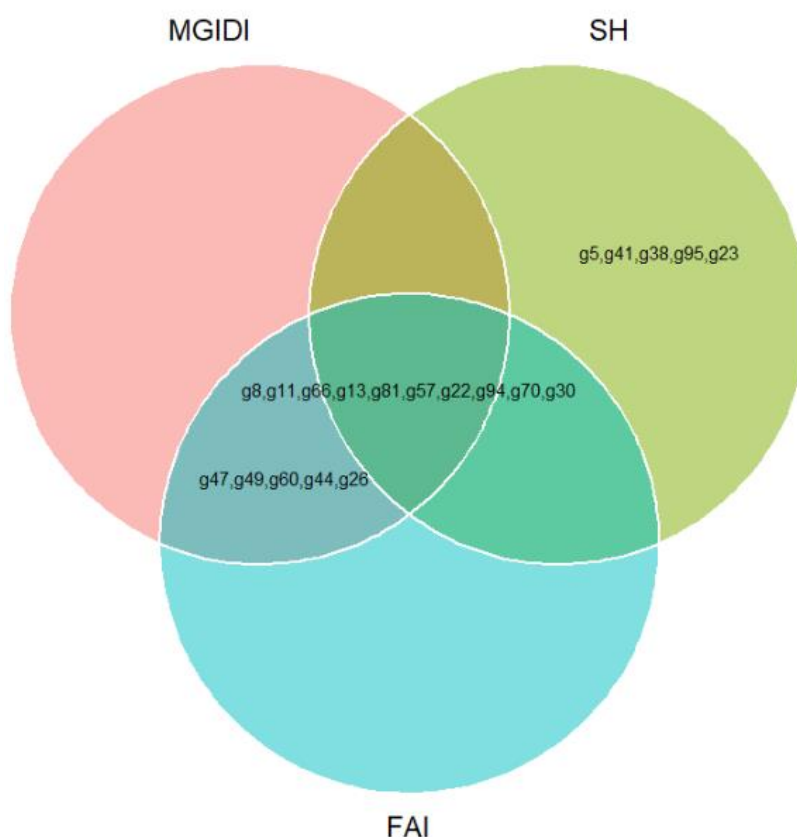
واریانس Variance	میزان اشتراک Communality rate	بار عاملی Loading factor			صفات Traits
		عامل سوم FA3	عامل دوم FA2	عامل اول FA1	
0.23	0.77	0.28	0.22	-0.8	طول برگ Leaf length (cm)
0.2	0.8	0.14	0.16	-0.87	عرض برگ Leaf width (cm)
0.47	0.53	0.05	0.24	-0.69	طول دم‌برگ Petiole length (cm)
0.32	0.68	0.77	0.29	-0.06	تعداد برگ Number of leaves
0.21	0.79	0.12	0.11	-0.87	قطر ساقه Stem diameter (cm)
0.29	0.71	0	0.03	-0.84	قطر طبق Head diameter (cm)
0.4	0.6	0.5	0.36	-0.47	ارتفاع بوته Plant height (cm)
0.81	0.19	-0.03	0.44	-0.05	شاخص سبزی‌نگی Greenness index (SPAD)
0.17	0.83	0.1	0.89	-0.15	روز تا گلدهی Days to flowering
0.17	0.83	0.09	0.89	-0.18	روز تا رسیدگی Days to maturity
0.54	0.46	0.64	-0.23	-0.04	روغن Oil content (%)
0.33	0.67	-0.06	-0.01	-0.81	عملکرد Seed yield (gr)
		1.11	1.78	4.97	مقادیر ویژه Eigen values
		9.25	14.8	41.4	درصد واریانس توجیه شده Percentage of explained variance
		65.5	56.3	41.4	درصدتجمعی واریانس توجیه شده Cumulative percentage of explained variance

فرایند گزینش هم‌زمان با سه شاخص با حذف صفت RWC که مانع از ورود شاخص SH در گزینش می‌شود؛ انجام گرفت. بر اساس نتایج ژنوتیپ ۱۳ (A-FLPOPA)، ۲۲ (AS3232)، ۵۷ (SDR19)، ۸۱ (CAY) و ۹۴ (SF092) با سه شاخص فوق به‌عنوان ژنوتیپ برتر انتخاب شدند. به‌نظر گزینش هم‌زمان با دو شاخص FAI و MGIDI به‌دلیل غلبه بر چالش مطرح در شاخص SH کمک شایان به گزینش دقیق ژنوتیپ‌های برتر می‌کند. نتایج ون پلات گزینش هم‌زمان با شاخص‌های SH، FAI و MGIDI در شکل ۳ ارایه شده است. البته پیش‌تر نیز استفاده از شاخص انتخاب به‌روش FAI-BLUP در گزینش آفتابگردان کارآمد معرفی شده بود (Kaila et al. 2025). در مطالعه انجام شده بر روی خردل که به مقایسه ۴ روش انتخاب پرداخته شده بود، شاخص‌های FAI BLUP و MGIDI هر دو بیشترین درصد افزایش در اختلاف انتخاب را برای گزینش برای عملکرد (SY) نشان دادند و جز شاخص‌های قابل اعتماد معرفی شدند (Kumar et al. 2025).



شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای، ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس ۱۳ صفت با دو شاخص FAI و MGIDI.

Figure 2. Comparative diagram of selected genotypes based on 13 traits with two indices FAI and MGIDI.



شکل ۳. نمودار مقایسه‌ای ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس ۱۲ صفت با سه شاخص SH، FAI و MGIDI.

Figure 3. Comparative diagram of selected genotypes based on 12 traits with three indices SH, FAI and MGIDI.

**نتیجه‌گیری:** استفاده از شاخص‌های گزینش چند صفتی با توجه به در نظر گرفتن روابط بین صفات در گزینش حائز اهمیت است. اما هم‌خطی بین صفات در استفاده از شاخص اسمیت – هیزل محدودیت ایجاد می‌کند. در مطالعه انجام شده ژنوتیپ‌های ۱۳ (A-FLPOPA)، ۲۲ (AS3232)، ۵۷ (SDR19)، ۸۱ (CAY) و ۹۴ (SF092) در هر دو گزینش یعنی در نظر گرفتن ۱۳ صفت و استفاده از دو شاخص و هم در نظر گرفتن ۱۲ صفت و استفاده از سه شاخص، جز ژنوتیپ‌های انتخابی بودند، که نشان از برتری ویژه این ژنوتیپ‌ها به‌واسطه صفات استفاده شده به‌غیر از صفت محتوای نسبی آب است. ژنوتیپ‌های ۸ (254-ENSAT) که با دو شاخص FAI و MGIDI به‌عنوان ژنوتیپ برتر و مطلوب جهت معرفی برای کشت در شرایط محیطی مشابه معرفی شده است در مطالعات انجام شده قبلی نیز به‌عنوان ژنوتیپ برتر انتخاب شده بود. بنابراین به نظر ارتباط بین صفات دارای نقش مهمی در گزینش می‌باشد. در این بین دو شاخص FAI و MGIDI به جهت چیره‌گی بر هم‌خطی صفات و همچنین استفاده از همه صفات در فرآیند گزینش، در فرآیند گزینش برای ژنوتیپ پایدار با عملکرد مطلوب، کارآمدتر می‌باشند.

## References

- Almeida, G. Q. D., Rocha, J. R. A. S. D. C., Pessoa, H. P., Alves, F. M., & Chaves, L. J. (2021). Selection of *Hancornia speciosa* germplasm accessions based on the FAI-BLUP index. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *51*, e67226. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5167226>
- Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Teame, G., Gebremedhin, Z., Muez Berhe, M., Dawit Fisseha, D., Goitom Araya, G., & Gebregergs, G. (2024). Identification of adaptable sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes using yield performance and multiple-traits index. *Heliyon*, *10*(9), e29405. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29405>
- Benakanahalli, N. K., Sridhara, S., Ramesh, N., Olivoto, T., Sreekantappa, G., Tamam, N., Abdelbacki, A. M. M., Elansary, H. O., & Abdelmohsen, S. A. M. (2021). A Framework for Identification of Stable Genotypes Based on MTSI and MGDII Indexes: An Example in Guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). *Agronomy*, *11*(6), 1221. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061221>
- Barth, E., de Resende, J. T. V., Mariguele, K. H., de Resende, M. D.V., da Silva, A. L. B. R., & Sushan Ru, S. (2022). Multivariate analysis methods improve the selection of strawberry genotypes with low cold requirement, *Scientific Reports*, *12*(1), 11458. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15688-4>
- Costa, C. S. R., Lima, M. A. C., Neto, F. P. L., Costa, A. E. S., Vilvert, J. C., Martins, L. S. S., & Musser, R. S. (2023). Genetic parameters and selection of mango genotypes using the FAI-BLUP multitrait index. *Scientia Horticulturae*, *317*, 112049. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112049>
- Follmann, D. N., Souza, V. Q. D., Cargnelutti Filho, A., Demari, G. H., Nardino, M., Olivoto, T., Carvalho, I. R., Silva, A. D. B., Meira, D., & Meier, C. (2019). Agronomic performance and genetic dissimilarity of second-harvest soybean cultivars using REML/BLUP and Gower's algorithm. *Bragantia*, *78*(2), 197-207. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180194>
- Hazel, L. (1943). The genetic basis for constructions selection indices. *Genetics*, *28*(6), 476-490. <https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>
- Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, *23*(3), 187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>
- Kaila, V., Kandhola, S. S., & Sharma, P. (2025). Stability and genotype × Environment analysis for seed and oil yield parameters among inbred lines of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Genetika*, *57*(1), 113-128. <https://doi.org/10.2298/GENSR2501113K>
- Kumar, R., Kumar, M., Gangwar, L.K., Kumar, V., Singh, S., Edhigalla, P., & Rahimi, M. (2025). Association and reliability analysis of multi-trait selection methods and selection of superior

- genotypes across the traits in Indian mustard. *Scientific Reports*, 15, 23405. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07721-z>
- Norman, P. E., Tongoona, P. B., Danquah, A., Danquah, E. Y., Asiedu, R., Agbona, A., & Asfaw, A. (2021). Genetic parameter estimation and selection in advanced breeding population of white Guinea yam. *Journal of Crops Improvement*, 35(6), 790-815. <https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1881012>
- Norman, P. E., Agre, P. A., Asiedu, R., & Asfaw, A. (2022). Multiple-Traits Selection in WhiteGuinea Yam (*Dioscorea rotundata*) Genotypes. *Plants*, 11(21), 3003. <https://doi.org/10.3390/plants11213003>
- Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I. R., Follmann, D. N., Ferrari, M., Szareski, V. J., Pelegrin, A.J., & Souza, V. Q. (2017). REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield related traits. *Genetics and Molecular Research*, 16(1), 1-19. <https://doi.org/10.4238/gmr16019525>
- Olivoto, T., Lúicio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., & Jost, E. (2019). Mean performance and stability in multienvironment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), 2949-2960. <https://doi:10.2134/agronj2019.03.02>
- Olivoto, T., & Nardino, M. (2020). MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *Bioinformatics*, 24, 1-22. <https://doi.org/10.1101/2020.07.23.217778>
- 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. <https://doi:10.2135/cropsci2018.11.0693>
- Peixoto, M. A., Coelho, I. F., Coelho evangelista, J. S. P., Oliveira S. S., Alves, R. S., Pinto, J. F. N., Dosreis, E. F., & Bhering, L. L. (2021). Selection of maize hybrids: an approach with multi-trait, multi-environment, and ideotype-design. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 21 (2), e34582122. <https://doi:10.1590/1984-70332021v21n2a31>
- Pour-Aboughadareh, A., Ahmadi, J., Mehrabi, A. A., Etmnan, A., Moghaddam, M., & Siddique, K. H. M. (2017). Physiological re-sponses to drought stress in wild relatives of wheat: implications for wheat improvement. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(4), 106, <https://doi:10.1007/s11738-017-2403-z>

- Pour-Aboughadareh, A., & Poczai, P. (2021). A dataset on multi-trait selection approaches for screening desirable wild relatives of wheat. *Data in Brief*, 39, 107541. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107541>
- Rocha, J., Machado, J. C., & Carneiro, P. C. S. (2018). Multi trait 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>
- Rocha, J. R. D. A. S. D. C., Nunes, K. V., Carneiro, A. L. N., Marcal, 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. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0761>
- Santos, P. R., de Oliveira, T. R. A., Skeen, P., Nascimento, M. R., da Silva Costa, K. D., Araújo, E. R., ... & da Costa, A. F. (2019). GGE Biplot and REML/BLUP based-analysis of yield stability and adaptability for common beans in multi-environment trials. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(2), 1-8. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5657>
- Seiler, G. J., & Stafford R. E. (1985). Factor Analysis of Components of Yield in Guar. *Crop Science*, 25(6), 905-908. <https://doi.org/10.2135/cropsci1985.0011183X002500060003x>.
- Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K., & Langridge, P. (2017). Early flowering as a drought escape mechanism in plants: How can it aid wheat production?. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1950. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01950>
- Shirzad, A., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. R. (2023). Application of the Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index in the Selection of top Barley Genotypes in the Warm and Dry Region of Darab. *Journal of Crop Breeding*, 4(44), 65-76. <https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.65> [ In Persian]
- Silva, M. J., Carneiro, P. C. S., Carneiro, J. E., Damasceno, C. M. B., Parrella, N. N. L. D., Pastina, M. M., Simeone, M. L. F., Schaffert, R. E., & Parrella, R. A. (2018). Evaluation of the potential of lines and hybrids of biomass sorghum. *Industrial Crops and Products*, 125(1), 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.022>
- Smiderle, É. C., Furtini, I. V., DaSilva, C. S. C., Botelho, F. B. S., Resende, M. P. M., Botelho, R. T. C., Colombari Filho, J. M., de Castro, A. P., & Utumi, M. M. (2019). Index selection for multiple traits in upland rice progenies. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(1), 1-10. <https://doi.org/10.19084/RCA18059>
- Smith, H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annual Eugenics*, 7(3), 240-250, <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>

- Volpato, L., Rocha, J. R. D. A. S. D. C., Alves, R. S., Ludke, W. H., Borém, A., & Silva, F. L. D. (2020). Inference of population effect and progeny selection via a multi-trait index in soybean breeding. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 43, e44623. [https://doi: 10.4025/actasciagron.v43i1.44623](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.44623)
- Woyann, L. G., Meira, D., Zdziarski, A. D., Matei, G., Milioli, A. S., Rosa, A. C., ... & Benin, G. (2019). Multiple-trait selection of soybean for biodiesel production in Brazil. *Industrial Crops and Products*, 140, 111721. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111721>
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum – An International Journal*, 7(2), 703–711.
- Zali, H., Barati, A., & Pour-Aboughadareh, A. R. (2022). Screening of barley elite genotypes using different selection indices based on multi-traits. *Crop Production*, 15(4), 159-181. [https://doi: 10.22069/ejcp.2023.20071.2498](https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.20071.2498). [In Persian]