شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/idaj.2026.371453.455

# ارزیابی هیبریدهای جدید آفتابگردان با استفاده از شاخص‌های انتخاب چندصفتی به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در شرایط دیم

حسین احمدی اوچ‌تپه*[۱]، مهدی غفاری[۲]

۱- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۲- دانشیار بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

## چکیده مبسوط

**مقدمه:** آفتابگردان یکی از نباتات روغنی مهم جهان است که عملکرد آن به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. از این رو، دستیابی به ژنوتیپ‌های برتر متحمل به تنش‌های محیطی جهت کشت در شرایط دیم، امری ضروری است. در این راستا، اتکا به یک صفت منفرد در فرآیند گزینش، به احتمال زیاد نتایج مطلوبی به دنبال نخواهد داشت؛ بنابراین استفاده از مجموعه‌ای از صفات و شاخص‌های چند صفتی، می‌تواند دقت شناسایی ژنوتیپ برتر را افزایش می‌دهد. بنابراین هدف از این تحقیق گزینش برترین هیبریدهای آفتابگردان در شرایط دیم با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و شاخص طراحی ایدئوتیپ از طریق پیش‌بینی نااریب بهترین خط (FAI-BLUP) بود.

**روش‌شناسی پژوهش:** این آزمایش با استفاده از ۱۲ هیبرید جدید آفتابگردان بهمراه سه رقم شاهد زرین، شمس و آذر در ایستگاه ملی تحقیقات کشاورزی و تولید بذر گنبد کاووس به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۴-۱۴۰۲) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار اجراء گردید. بذور هر هیبرید در یک واحد آزمایشی ۷/۲ متر مربعی شامل چهار خط به طول سه متر و فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر کاشته شدند. زمین اجرای آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم بوده است. نحوه کشت به صورت مسطح و دستی بود و کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. صفات تعداد روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، ارتفاع طبق از سطح زمین، قطر طبق، قطر ساقه و تعداد دانه در طبق یادداشت‌برداری شد. بعد از برداشت وزن هزار دانه، درصد روغن، عملکرد دانه و روغن محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش SIIG در نرم‌افزارهای SAS ver 9.4 و Excel انجام شد. همچنین برای تحلیل روش FAI-BLUP از نرم‌افزار R و بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی (metan) استفاده گردید.

**یافته‌های پژوهش:** نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال و اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای تمامی صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود که بیانگر تأثیر شرایط محیطی و واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف است. همچنین اثر ژنوتیپ تمام صفات معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که هیبریدهای مختلف تفاوت قابل توجهی در صفات مورد مطالعه از جمله عملکرد داشتند؛ هیبریدهای H1، H10، H11 و H9 بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند، در حالی که هیبریدهای H6 و H7 کمترین عملکرد را داشتند. شاخص چندصفتی SIIG هیبریدهای H1، H9، H11، H10، H13 و H2 را به‌عنوان هیبریدهای برتر معرفی کرد. نمودار پراکنش دوبُعدی نیز نشان داد که هیبریدهای H1، H10، H11 و H9 در گروه اول و دارای مقادیر بالای عملکرد و SIIG بودند. علاوه بر این، شاخص FAI-BLUP هیبریدهای H1 و H9 را به‌عنوان هیبریدهای برتر انتخاب کرد. در

* نگارنده مسئول: h.ahmadiochtapeh@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۷

مجموع، هیبریدهای H1، H9، H10، H11 و H13 در اکثر شاخص‌ها و صفات زراعی برتر بودند و می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای کشت در شرایط دیم باشند.

**واژه‌های کلیدی:** آفتابگردان، صفات زراعی، عملکرد دانه، ژنوتیپ برتر، شرایط دیم

**مقدمه**

آفتابگردان با نام علمی (*Helianthus annuus* L.) از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که روغن آن دارای کیفیت بالایی بوده و سازگاری بالایی به شرایط آب و هوایی مختلف ایران دارد (Ghaffari *et al.*, 2021; Ahmadpour *et al.*, 2019). مصرف دانه‌ها و روغن آفتابگردان به دلیل اثرات مثبت آن‌ها بر سلامت انسان، انتخابی ارزشمند برای مصرف‌کنندگان محسوب می‌شود. افزون بر این، گیاه آفتابگردان قابلیت کشت در مناطق نیمه خشک بدون نیاز به آبیاری را داراست (Franco et al., 2018).

تنش خشکی یکی از عوامل اصلی محدودکننده تولید محصولات زراعی در سطح جهان است. در میان عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده، کمبود آب تأثیر قابل توجهی بر آفتابگردان دارد (Hussain *et al.*, 2023). در استان گلستان ۹۵ درصد سطح زیر کشت آفتابگردان به شکل دیم می‌باشد. در طی دهه‌های اخیر با گرم و خشک‌تر شدن شرایط آب و هوایی، مشکلات کمبود رطوبت برای زراعت‌های بهاره مشهود است (Noori Rad Davadgi *et al.*, 2016). تنش خشکی در آفتابگردان ابتدا موجب تغییر در صفات مورفولوژیکی گیاه شده و با کاهش رشد رویشی، سطح برگ‌ها را محدود می‌سازد؛ سپس در مرحله دوم، بر صفات مرتبط با عملکرد مانند تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه اثر منفی می‌گذارد (Ștefan and Constantinescu, 2022). توسعه ارقام متحمل به خشکی یکی از اهداف اصلاحی اولویت‌دار برای آفتابگردان است. تنوع ژنتیکی مشاهده شده در میان ژرم پلاسم آفتابگردان و هیبریدهای آزمایشی نشان می‌دهد که می‌توان از طریق فرآیند انتخاب، گیاهانی با تحمل بیشتر نسبت به تنش خشکی شناسایی کرد (Rauf, 2019). شناسایی و اصلاح ارقام پر محصول آفتابگردان که به تنش‌های محیطی تحمل داشته باشد از نظر توسعه سطح کاشت این گیاه مهم است (Naser Gadimi *et al.*, 2017). انتخاب ارقام مناسب آفتابگردان متناسب با شرایط هر منطقه، دستیابی به عملکرد و کیفیت مطلوب را امکان‌پذیر می‌سازد؛ چرا که ویژگی‌های خاک و اقلیم منطقه نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان تولید دانه و درصد روغن دارند (Gul and Coban, 2020).

با توجه به تقاضای روزافزون کشاورزان برای هیبریدهای جدید آفتابگردان با عملکرد دانه و محتوی روغن بالا، جایگزینی هیبریدهای قدیمی با هیبریدهای جدید دارای صفات بهبود یافته و سازگاری بهتر با تغییرات آب و هوایی، است (Constantinescu *et al.*, 2024). با توجه به نقش تنوع ژنتیکی در پیش‌برد برنامه‌های به‌نژادی، ارزیابی هیبریدهای جدید آفتابگردان متحمل به خشکی و مناسب برای شرایط دیم بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیک مطلوب، منجر به افزایش عملکرد دانه و روغن خواهد شد. در این برنامه‌ها، اتکا به یک صفت منفرد در فرآیند گزینش، به احتمال زیاد نتایج مطلوبی به دنبال نخواهد داشت؛ بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس چندین صفت بطور همزمان، می‌تواند دقت شناسایی ژنوتیپ برتر را افزایش دهد و می‌توانند منجر به افزایش علمکرد شود (Askari Kalestani *et al.*, 2025). با این حال شناسایی ژنوتیپ‌هایی که دارای مجموعه‌ای از صفات برتر باشند، همواره چالش جدی محسوب می‌شود. از آنجا که شاخص‌های کلاسیک به دلیل چند خطی بودن و انتخاب دلخواه ضرایب وزنی، از دقت کافی برخوردار نیستند، لذا پژوهشگران شاخص‌های جدیدی مانند شاخص طراحی ایدئوتیپ از طریق پیش‌بینی ناریب

بهترین خط[۲] (Rocha *et al.*, 2018)، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل[۳](Zali *et al.*, 2015)، شاخص فاصله ژنوتیپ ایدئوتیپ چند صفتی[۴] (Olivoto and Nardino, 2020) و غیره را پیشنهاد کردند. در میان شاخص‌های انتخاب جدید، شاخص SIIG با ادغام صفات مختلف در قالب یک آماره واحد، امکان ارزیابی دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها را فراهم کرده و میزان نزدیکی هر ژنوتیپ به ایدئوتیپ مطلوب را نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که مقادیر نزدیک به یک بیانگر شباهت بیشتر به ژنوتیپ ایده‌آل هستند (Zali *et al.*, 2023). در مقابل شاخص FAI-BLUP مبتنی بر مدل ترکیبی بوده و با استفاده از تحلیل عاملی و با بهره‌گیری از تحلیل عاملی و جدول فاصله ژنوتیپ–ایدئوتیپ، انتخاب همزمان چندین صفت را امکان‌پذیر می‌کند (Tahmasebi *et al.*, 2018). از روش‌های FAI-BLUP و SIIG جهت بررسی ژنوتیپ‌های مختلف براساس مجموعه‌ای از صفات یا شاخص‌های برتر در محصولات زراعی نظیر آفتابگردان (Gholizadeh *et al.*, 2021)، کلزا (Amiri Oghan *et al.*, 2025; Ahmadi-Ochtapeh *et al.*, 2025)، جو (Zali *et al.*, 2022)، خردل هندی (Kumar et al., 2025)، گندم نان (Askari Kalestani *et al.*, 2025; Yaghotipoor *et al.*, 2017) استفاده شده است. برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول در برنامه‌های اصلاحی، لازم است انتخاب با دقت بالایی انجام شود. به نظر می‌رسد یکی از بهترین راهکارها برای انتخاب صحیح ژنوتیپ‌ها در صفاتی مانند عملکرد، بهره‌گیری از شاخص انتخاب همزمان بر اساس چندصفت کلیدی گیاه باشد (Zali *et al.*, 2022). در این پژوهش برای نخستین بار دو شاخص FAI-BLUP و SIIG به‌طور همزمان در ارزیابی هیبریدهای افتابگردان تحت شرایط دیم گنبد به کار گرفته شدند. هدف اصلی تحقیق، بهره‌گیری از این شاخص‌های انتخاب چندصفتی برای ارزیابی دقیق‌تر هیبریدهای جدید آفتابگردان و بررسی تنوع فنوتیپی آنها به منظور شناسایی هیبریدهای برتر سازگار با شرایط دیم بود.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۲ هیبرید جدید گزینشی از برنامه‌های به‌نژادی آفتابگردان مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بهمراه سه رقم شاهد زرین، شمس و آذر در ایستگاه ملی تحقیقات کشاورزی و تولید بذر گنبد کاووس به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۴-۱۴۰۲) در شرایط دیم مورد ارزیابی قرار گرفتند. فهرست ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. بذور هر هیبرید در یک واحد آزمایشی ۷/۲ متر مربعی شامل چهار خط به طول سه متر و فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار کاشته شدند. زمین اجرای آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم بوده است. عملیات آماده‌سازی بستر بذر شامل شخم، پخش کود و دیسک انجام شد. مقدار کود مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک تعیین گردید و به طور یکنواخت در کرت‌های آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت. نحوه کشت به صورت مسطح و دستی بود و کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل تعداد روز تا گلدهی (DF)، روز تا رسیدگی (DTR)، ارتفاع بوته (PH)، ارتفاع طبق از سطح زمین (DGH)، قطر طبق (HD)، قطر ساقه (SD) و تعداد دانه در طبق (SNPH) یادداشت‌برداری شد. بعد از برداشت وزن هزار دانه (TSW) و عملکرد دانه (SY) محاسبه گردید. نمونه‌های ۳۰ گرمی

[2] Factor analysis ideotype-design-best linear unbiased prediction (FAI-BLUP)
[3] Selection index of ideal genotype (SIIG)
[4] The multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI)

تصادفی از بذر هر کرت بطور جداگانه تهیه و درصد روغن (OC) آنها در آزمایشگاه دانه‌های روغنی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اندازه‌گیری شد. سپس عملکرد روغن (OY) بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید.

جدول ۱- شماره، کد و شجره هیبریدهای آفتابگردان مورد بررسی

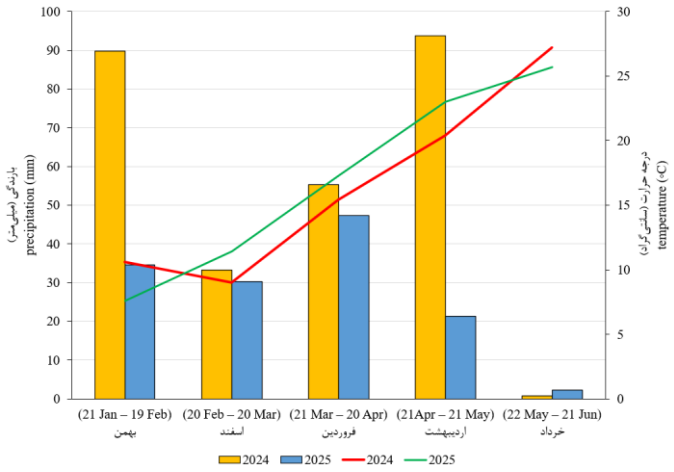
Table 1. Code, name and pedigree of the tested sunflower hybrids.

| شماره No. | کد ژنوتیپ Genotype code | نام/شجره Name/pedigree | شماره No. | کد ژنوتیپ Genotype code | نام/شجره Name/pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H1 | RGK3*A1221 | 9 | H9 | RO28*AO42 |
| 2 | H2 | RGK15*AGK222 | 10 | H10 | RO28*AO60 |
| 3 | H3 | R131*AGK370 | 11 | H11 | RO28*AO67 |
| 4 | H4 | RGK15*AGK370 | 12 | H12 | RGK15*A1221 |
| 5 | H5 | R131*AGK330 | 13 | H13* | RGK21*AGK222 |
| 6 | H6 | RGK15*AGK2 | 14 | H14* | RF81-82*AF81-112 |
| 7 | H7 | RGK111*A1221 | 15 | H15* | RGK111*AGK32 |
| 8 | H8 | RO53*AO60 | | | |

*: هیبرید شماره ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به ترتیب ارقام شاهد زرین، شمس و آذر می‌باشند.

*: Hybrids No. 13, 14, and 15 correspond respectively to the check varieties Zarrin, Shams, and Azar

اطلاعات هواشناسی منطقه اجرای آزمایش در شکل ۱ آورده شده است. میزان بارندگی تجمعی از اول مهر ۱۴۰۲ تا آخر خرداد ۱۴۰۳، ۴۳۴/۷ میلی‌متر بود (سال اول نرمال)؛ و از اول مهر ۱۴۰۳ تا آخر خرداد ۱۴۰۴ ، ۲۲۸/۵ میلی‌متر بود (سال دوم خشکسالی). در سال اول اجرای آزمایش میزان بارندگی از دوره کاشت تا برداشت ۲۲۶/۸ میلی‌متر بود. در سال دوم اجرای آزمایش میزان بارندگی از دوره کاشت تا برداشت ۱۲۴/۴ میلی‌متر بود (۱۰۲/۴ میلی‌متر کاهش بارندگی نسبت به سال اول). میزان بارندگی در خرداد ماه (مرحله زایشی و پر شدن دانه) دو سال اجرای آزمایش ناچیز (به ترتیب ۰/۷ و ۲/۳ میلی‌متر) بود (شکل ۱). لازم به ذکر است میزان بارندگی بلند مدت (دوره آماری ۱۴۰۳-۱۳۷۱) گنبد کاووس ۴۴۳/۱ میلی‌متر است. همچنین دوره پراکنش بارندگی در استان گلستان از اواخر پاییز تا اواسط بهار می‌باشد (Noori Rad Davadgi *et al.*, 2016).




شکل ۱- میانگین بارندگی و متوسط دمای ماهیانه در سال‌های اجرای آزمایش (۱۴۰۴-۱۴۰۲)

Figure 1. Average monthly precipitation and temperature during the experimental years (2023-2025).

**محاسبه شاخص‌های انتخاب چندصفتی**

**شاخص SIIG**: مراحل تلفیق صفات و محاسبه این شاخص انتخاب، در زیر آورده شده است (Zali *et al.*, 2015):

۱- سازماندهی داده‌ها در قالب ماتریس داده‌ها: ماتریس داده‌ها با استفاده از صفات و ژنوتیپ‌ها با استفاده از رابطه زیر تشکیل گردید:

رابطه ۱)

$$D=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

در این ماتریس $x_{ij}$ مقدار ویژگی (صفت) iام ($i = 1, 2, \dots n$) در رابطه با ژنوتیپ jام ($j = 1, 2, \dots m$) می‌باشد. به بیان دیگر، ردیف‌ها و ستون‌ها به ترتیب بیانگر ژنوتیپ‌ها و صفات هستند.

۲- نرمال کردن ماتریس داده‌ها (ماتریس D) و تشکیل ماتریس R: برای نرمال کردن داده‌ها از رابطه ۲ و ایجاد ماتریس R از رابطه ۳ استفاده گردید.

رابطه ۲)

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2}}$$

رابطه ۳)

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

۳- محاسبه فاصله ژنوتیپ ایده‌آل (برتر) و ژنوتیپ غیر ایده‌آل (ضعیف): در این مرحله برای هر صفت، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل ($d_i^+$) و فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل ($d_i^-$) به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ذیل محاسبه گردید.

رابطه ۴)

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

رابطه ۵)

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

در این روابط منظور از $r_{ij}$ مقدار نرمال شده صفت iام ($i = 1, 2, \dots n$) در رابطه با ژنوتیپ jام ($j = 1, 2, \dots m$) است. $r_j^+$ و $r_j^-$ به‌ترتیب مقدار نرمال‌شده ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیر ایده‌آل برای هر صفت iام ($i = 1, 2, \dots n$) است.

۴- محاسبه شاخص SIIG: با استفاده از رابطه ذیل شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل محاسبه شد.

رابطه ۶)

$$SIIG=\frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \qquad i=1,2,\dots,m$$

مقدار شاخص SIIG در بازه بین صفر تا یک قرار دارد و هرچه مقدار آن به عدد یک نزدیکتر باشد، بیانگر این است که ژنوتیپ مورد نظر به به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است. به بیان دیگر ژنوتیپی که بالاترین مقدار SIIG را داشته باشد، به عنوان ژنوتیپ برتر در تمامی صفات ارزیابی شده شناخته می‌شود. این ژنوتیپ کمترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و بیشترین فاصله از ژنوتیپ نامطلوب را دارد (Zali *et al.*, 2015; Nazari *et al.*, 2024). ژنوتیپ ایده‌آل، یک ژنوتیپی فرضی است که از مجموع مقادیر مطلوب تمامی صفات مورد بررسی بدست آمده است. شایان ذکر است که برای صفات فنولوژی تعداد روز تا شروع گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی مقادیر پایین (زودرسی) و در حالی‌که برای صفات مورفولوژیک و عملکردی ارتفاع بوته، ارتفاع طبق از سطح زمین، قطر طبق، قطر ساقه، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن مقادیر بالا مطلوب در نظر گرفته شد. بنابراین ژنوتیپی که ترکیبی از تمام این ویژگی‌های مطلوب را دارا باشد، به‌عنوان ژنوتیپ ایده‌آل معرفی می‌شود.

**شاخص FAI-BLUP**: این شاخص یک شاخص چند صفتی مبتنی بر تحلیل عاملی می‌باشد که براساس فاصله هر ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل (فاصله ژنوتیپ- ایدئوتیپ) محاسبه می‌شود. در این روش، ابتدا ژنوتیپ ایده‌آل (ایدئوتیپ) تعیین شده و سپس فاصله هر ژنوتیپ تا ایدئوتیپ برآورد می‌گردد. این فاصله‌ها به احتمال مکانی خاصی تبدیل می‌شود تا امکان رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها فراهم گردد. برای محاسبه شاخص FAI-BLUP از فرمول زیر استفاده گردید (Rocha *et al.*, 2018):

رابطه ۱)

$$Pij=\frac{\frac{1}{dij}}{\sum_{i=a:j=1}^{i=n:j=m}\frac{1}{dij}}$$

در این رابطه Pij احتمال مشابه بودن ژنوتیپ iام (i=1,2,…,n) با ژنوتیپ ایده‌آل (ایدئوتیپ) jام، dij فاصله ژنوتیپ ایده‌آل از ژنوتیپ iام تا ژنوتیپ ایده‌آل jام بر اساس میانگین استاندارد فاصله اقلیدسی است.

## تجزیه و تحلیل‌های آماری

تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس مرکب دو ساله و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص FAI-BLUP با استفاده از نرم‌افزار R و بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی (metan) انجام شد (Olivoto and Lucio, 2020). همچنین به منظور محاسبه شاخص SIIG از برنامه تهیه شده در نرم افزار R استفاده گردید (Zali *et al.*, 2023).

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر سال برای تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. این نتایج نشان می‌دهد که شرایط محیطی در سال‌های مختلف تأثیر قابل توجهی بر صفات مورد ارزیابی داشت. نتایج اثر ژنوتیپ برای صفات مورد مطالعه حاکی از اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها از نظر روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، ارتفاع طبق از سطح زمین، قطر ساقه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، درصد روغن و عملکرد دانه و روغن در سطح احتمال ۱ درصد و برای صفت قطر طبق در سطح احتمال ۵ درصد بود. این یعنی ژنوتیپ‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای در این ویژگی‌ها دارند. همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). این موضوع بیانگر آن است که عملکرد ژنوتیپ‌ها در تمام صفات تحت تأثیر تغییرات سالانه قرار گرفته و ثبات عملکرد در این صفات کمتر بوده است. به عبارت دیگر، واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف می‌تواند نقش مهمی در بیان صفات کمی ایفا کند.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی مورد مطالعه در هیبریدهای جدید آفتابگردان (۱۴۰۴-۱۴۰۲)

Table 2. Combined analysis of variance for agronomic traits studied in new sunflower hybrids (2023–2025).

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | میانگین مربعات Mean of square | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DF | DTR | PH | DGH | HD | SD | TKW | SNPH | OC% | SY | OY |
| سال (Year) | 1 | 1171.9** | 396.03** | 261650.8** | 221475.9** | 297.04** | 2699.9** | 291.4** | 2346123.6** | 1131.4** | 24112264.01** | 1731601.88** |
| تکرار درون سال (Year (Replication)) | 6 | 1.94 | 2.52 | 513.3 | 478.2 | 1.121 | 4.84 | 18.43 | 6325.9 | 2.27 | 26749.7 | 2256.50 |
| ژنوتیپ (Genotype) | 14 | 153.5** | 138.3** | 536.3** | 667.2** | 1.656* | 7.09** | 325.16** | 23426.5** | 15.2** | 160479.7** | 15774.13** |
| ژنوتیپ × سال (Genotype × Year) | 14 | 15.43** | 19.7** | 354.3** | 449.6** | 2.328** | 5.79** | 30.19** | 20248.4** | 6.44** | 52944.04** | 7604.27** |
| خطا (Error) | 84 | 0.54 | 0.63 | 43.8 | 31.3 | 0.747 | 1.26 | 10.25 | 4981.7 | 2.25 | 19569.4 | 3003.15 |
| ضریب تغییرات٪ C.V.% | | 0.99 | 0.76 | 4.9 | 4.6 | 8.3 | 6.2 | 7.4 | 12.42 | 4.23 | 11.06 | 12.63 |

* و ** به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪. DF: تعداد روز تا شروع گلـدهی، DTR: روز تا رسیدگی، PH: ارتفاع بوته، DGH: ارتفاع طبق از سطح زمین، HD: قطر طبق، SD: قطر ساقه، TKW: وزن هزار دانه، SNPH: تعداد دانه در طبق، OC: درصد روغن، SY: عملکرد دانه، OY: عملکرد روغن

* and **: significant at 5 and 1% levels of probability, respectively. DF: days to flowering, DTR: days to ripening, PH: plant height, DGH: distance between ground and head, HD: Head diameter, SD: stem diameter, TKW: thousand-kernel weight, SNPH: seed number per head, OC: oil content, SY: Seed yield, OY: Oil yield

نتایج مقایسه میانگین صفت (جدول ۳) تعداد روز تا گلدهی نشان داد که هیبرید شماره ۶ با میانگین ۸۱/۹ روز و هیبرید شماره ۱۰ با میانگین ۶۸/۴ روز به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد روز تا گلدهی بودند و میانگین این صفت در میان همه هیبریدها ۷۴/۴ بود. میانگین روز تا رسیدگی هیبریدها، ۱۰۳/۸ روز بود که بیشترین روز تا رسیدگی (۱۱۰/۸ روز) به هیبرید شماره ۶ و کمترین آن (۹۸/۳ روز) به هیبرید شماره ۱۳ تعلق گرفت. میانگین ارتفاع بوته ۱۳۶/۳ سانتی‌متر بود. بیشترین ارتفاع (۱۴۸/۷ سانتی‌متر) به هیبرید شماره ۵ و کمترین ارتفاع (۱۲۲/۳ سانتی‌متر) به هیبرید شماره ۱ تعلق داشت. برای صفت ارتفاع طبق از سطح زمین، هیبرید شماره ۶ با میانگین ۱۳۶/۷ سانتی‌متر و هیبرید شماره ۱۵ با میانگین ۱۰۴/۱ سانتی‌متر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین ارتفاع بودند و میانگین این صفت در میان همه هیبریدها ۱۲۱/۶ سانتی‌متر بود. میانگین صفت قطر طبق در میان هیبریدهای مورد ارزیابی، ۱۰/۴۴ سانتی‌متر بود که هیبریدهای شماره ۸ (۱۱/۰۶ سانتی‌متر) و ۱۴ (۹/۵۴ سانتی‌متر) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار قطر طبق را دارا بودند (جدول ۳). میانگین قطر ساقه ۱۸/۰۸ میلی‌متر بود که بیشترین قطر ساقه (۲۰ میلی‌متر) به هیبرید شماره ۶ و کمترین آن (۱۶/۶۵ میلی‌متر) به هیبرید شماره ۱۰ تعلق داشت. همچنین نتایج مقایسه میانگین برای صفت وزن هزاردانه نشان داد که هیبریدهای شماره ۱۰ و ۶ با میانگین ۵۲/۶۳ و ۳۵ گرم به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن هزاردانه بودند. برای صفت تعداد دانه در طبق هیبرید شماره ۱۲ با میانگین ۶۵۰/۳ و هیبرید شماره ۱۵ با میانگین ۴۵۹/۴ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد دانه در طبق بودند. میانگین درصد روغن هیبریدها ۳۵/۴۳ درصد بود. بیشترین درصد روغن (۳۹/۰۱ درصد) به هیبرید شماره ۶ و کمترین درصد روغن (۳۳/۸۳ درصد) به هیبرید شماره ۱۱ تعلق داشت. بررسی میانگین عملکرد دانه هیبریدهای آفتابگردان مورد مطالعه نشان داد که عملکرد دانه هیبریدها از ۱۰۵۷/۸ تا ۱۵۱۷/۳ کیلوگرم در هکتار متغیر است (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه مربوط به هیبریدهای شماره‌های ۱، ۱۰، ۱۱ و ۹ به ترتیب با میانگین ۱۵۱۷/۳، ۱۴۸۷/۶، ۱۴۱۷/۱ و ۱۴۰۲/۶ کیلوگرم در هکتار بود. از طرف دیگر هیبریدهای شماره ۶ و ۷ به ترتیب با میانگین عملکرد ۱۰۵۷/۸ و ۱۱۲۳/۱ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را تولید کردند. همچنین میانگین عملکرد دانه سه رقم شاهد ۱۲۳۰/۴ کیلوگرم در هکتار بود. رقم زرین با میانگین عملکرد دانه ۱۳۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار دارای عملکرد بالاتر و شرایط بهتری نسبت به دو رقم شمس و آذر بود. هیبریدهای شماره ۱ و ۴ به ترتیب بیشترین (۵۲۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۳۷۳/۵ کیلوگرم در هکتار) مقدار عملکرد روغن را داشتند. به طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان داد که اکثر هیبریدهای زودرس در شرایط دیم از عملکرد دانه بالاتری برخوردار بودند. این برتری احتمالاً ناشی از توانایی آن‌ها در اجتناب از مواجهه با تنش خشکی انتهای فصل است. مطالعات اخیرنشان داده است که اجتناب از تنش خشکی انتهای فصل نقش مهمی در بهبود عملکرد دانه دارد (Gordeyeva *et al.*, 2024). همچنین نتایج نشان داد هیبریدهای با وزن هزار دانه بالا دارای عملکرد دانه بالاتر بودند. در سایر تحقیقات نیز صفت وزن هزار دانه به عنوان عامل مؤثر بر عمکلرد گزارش شده است (Gholizadeh *et al.*, 2021; Pourdad *et al.*, 2013).

جدول ۳- میانگین صفات مورد بررسی در هیبریدهای آفتابگردان

Table 3. Mean values of the evaluated traits in sunflower hybrids.

| OY ($kg.ha^{-1}$) | SY ($kg.ha^{-1}$) | OC (%) | SNPH | TKW (g) | SD (mm) | HD (cm) | DGH (cm) | PH (cm) | DTR (day) | DF (day) | هیبرید hybrid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 523.5 | 1517.3 | 35.42 | 575.5 | 50.88 | 18.36 | 11.01 | 109.7 | 122.3 | 104.1 | 72.4 | H1 |
| 432.4 | 1318.9 | 34.61 | 611.9 | 40.88 | 17.66 | 10.98 | 124.3 | 135.5 | 102.4 | 72.8 | H2 |
| 406.4 | 1238.9 | 33.90 | 582.6 | 43.38 | 18.40 | 10.26 | 126.3 | 140.8 | 102.9 | 73.6 | H3 |
| 373.5 | 1127.8 | 34.35 | 620.0 | 35.63 | 19.16 | 10.90 | 128.2 | 139.8 | 105.5 | 77.6 | H4 |
| 407.8 | 1190.1 | 35.55 | 611.3 | 38.00 | 18.60 | 10.06 | 133.8 | 148.7 | 110.0 | 79.5 | H5 |
| 395.6 | 1057.8 | 39.01 | 585.3 | 35.00 | 20.00 | 10.04 | 136.7 | 147.5 | 110.8 | 81.9 | H6 |
| 397.8 | 1123.1 | 36.28 | 597.3 | 41.38 | 18.91 | 9.94 | 127.1 | 139.3 | 107.1 | 79.1 | H7 |
| 397.3 | 1188.3 | 34.37 | 467.8 | 47.38 | 16.79 | 11.06 | 116.3 | 130.7 | 99.0 | 70.0 | H8 |
| 486.5 | 1402.6 | 35.24 | 562.1 | 47.75 | 18.18 | 10.35 | 119.1 | 133.7 | 99.5 | 70.4 | H9 |
| 502.0 | 1487.6 | 34.51 | 512.0 | 52.63 | 16.65 | 10.75 | 109.1 | 123.2 | 99.1 | 68.4 | H10 |
| 463.0 | 1417.1 | 33.83 | 557.9 | 47.75 | 18.18 | 10.74 | 117.5 | 134.8 | 100.5 | 71.1 | H11 |
| 437.6 | 1214.4 | 36.83 | 650.3 | 35.75 | 17.41 | 10.21 | 124.9 | 137.1 | 105.3 | 75.9 | H12 |
| 464.6 | 1352.5 | 35.33 | 539.9 | 47.50 | 16.70 | 10.46 | 120.9 | 134.3 | 98.3 | 69.4 | H13* |
| 406.3 | 1173.4 | 35.37 | 587.9 | 35.88 | 17.90 | 9.54 | 126.3 | 148.1 | 109.4 | 80.3 | H14* |
| 414.0 | 1165.3 | 36.94 | 459.4 | 51.88 | 18.43 | 10.29 | 104.1 | 128.1 | 103.5 | 72.9 | H15* |
| 373.5 | 1057.8 | 33.83 | 459.4 | 35.00 | 46.65 | 9.54 | 104.1 | 122.3 | 98.3 | 68.4 | حداقل (Min) |
| 523.5 | 1517.3 | 39.01 | 650.3 | 52.63 | 20.00 | 11.06 | 136.7 | 148.7 | 110.8 | 81.9 | حداکثر(Max) |
| 433.9 | 1265.0 | 35.43 | 568.1 | 43.44 | 18.08 | 10.44 | 121.6 | 136.3 | 103.8 | 74.4 | میانگین(Mean) |
| 54.49 | 139.1 | 1.49 | 70.2 | 1.9 | 1.1 | 0.86 | 5.6 | 6.6 | 0.79 | 0.73 | LSD (5%) |

*: هیبرید شماره ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به ترتیب ارقام شاهد زرین، شمس و آذر می‌باشند.

DF: تعداد روز تا شروع گلدهی، DTR: روز تا رسیدگی، PH: ارتفاع بوته، DGH: ارتفاع طبق از سطح زمین، HD: قطر طبق، SD: قطر ساقه، TKW: وزن هزار دانه، SNPH: تعداد دانه در طبق، OC: درصد روغن، SY: عملکرد دانه، OY: عملکرد روغن، $H_n$: کُد هیبریدها.

*: Hybrids No. 13, 14, and 15 correspond respectively to the check varieties Zarrin, Shams, and Azar.

DF: days to flowering, DTR: days to ripening, PH: plant height, DGH: distance between ground and head, HD: Head diameter, SD: stem diameter, TKW: thousand-kernel weight, SNPH: seed number per head, OC: oil content, SY: Seed yield, OY: Oil yield, H: hybrids code.

### شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

در مطالعه حاضر با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) از تمام صفات مورد ارزیابی به طور هم‌زمان جهت انتخاب هیبریدهای برتر مناسب برای شرایط دیم استفاده گردید. در جدول ۴ شاخص SIIG برای هیبریدهای مورد ارزیابی، عملکرد دانه و فواصل آنها از ژنوتیپ مطلوب (+d) و نامطلوب (-d) آورده شده است. در سال اول اجراء آزمایش بر اساس شاخص SIIG بدست آمده، به‌ترتیب هیبریدهای H1، H9، H2، H10، H13، H5 و H11 با مقدار SIIG بالا (به ترتیب ۰/۶۵۲، ۰/۶۱۷، ۰/۵۷۹، ۰/۵۵۸، ۰/۵۵۰، ۰/۵۲۸ و ۰/۵۱۷) جزء هیبریدهای برتر بودند. از طرفی هیبریدهای H12، H14، H6، H7، H3، H8، H15 و H4 با مقدار SIIG پایین (۰/۴۶۷، ۰/۴۵۷، ۰/۴۵۴، ۰/۴۰۲، ۰/۳۶۹، ۰/۳۶۹، ۰/۳۶۲ و ۰/۳۳۵) جزء هیبریدهای ضعیف از نظر اکثریت صفات مورد ارزیابی بودند. در سال دوم اجراء آزمایش بر اساس شاخص SIIG بدست آمده، به‌ترتیب هیبریدهای H3، H11، H1، H10، H4، H9 و H13 با مقدار SIIG بالا (به ترتیب ۰/۶۴۷، ۰/۶۲۹، ۰/۶۰۰، ۰/۵۷۶، ۰/۵۵۶، ۰/۵۴۶ و ۰/۵۱۳) جزء هیبریدهای برتر بودند. از طرفی هیبریدهای H15، H7، H12، H8، H5، H2، H6 و H14 با مقدار SIIG پایین (به ترتیب ۰/۴۹۱، ۰/۴۷۷، ۰/۴۵۴، ۰/۴۴۰، ۰/۳۶۴، ۰/۳۵۷، ۰/۳۴۶ و ۰/۲۶۴) جزء هیبریدهای ضعیف از نظر اکثریت صفات مورد ارزیابی. با توجه به میانگین دو سال هیبریدهای برتر انتخاب شده بوسیله شاخص SIIG شامل هیبریدهای H1، H9، H11، H10، H13 و H2 بودند؛ که

دارای مقدار SIIG بالا (به ترتیب ۰/۶۶۸، ۰/۶۴۴، ۰/۶۱۵، ۰/۶۱۱، ۰/۵۷۹ و ۰/۵۱۳) بودند. از طرفی هیبریدهای H3، H12، H15، H5، H8، H7، H6، H4 و H14 با مقدار SIIG پایین (به ترتیب ۰/۴۷۳، ۰/۴۴۶، ۰/۴۴۱، ۰/۴۳۸، ۰/۴۱۲، ۰/۴۰۹، ۰/۳۹۹، ۰/۳۸۹ و ۰/۳۶۴) جزء هیبریدهای ضعیف از نظر اکثریت صفات مورد ارزیابی بودند (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، فاصله از ژنوتیپ مطلوب و نامطلوب (به ترتیب +d و -d)، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، و رتبه هیبریدهای آفتابگردان در شرایط دیم (۱۴۰۴-۱۴۰۲)

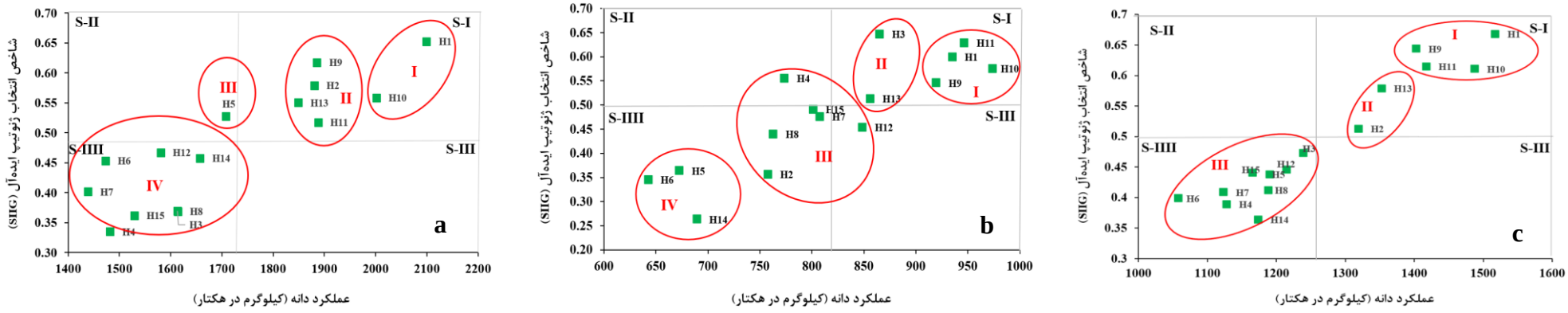
Table 4. Values of seed yield (kg. ha$^{-1}$), the distance from ideal and nonideal genotypes (d+ and d-, respectively), selection index of ideal genotype (SIIG) and the ranking of sunflower hybrids under dryland conditions (2023–2025).

| | میانگین دو سال | | | | | سال دوم (۱۴۰۴-۱۴۰۳) | | | | | سال اول (۱۴۰۳-۱۴۰۲) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gen. | SY | d+ | d- | SIIG | Rank | SY | d+ | d- | SIIG | Rank | SY | d+ | d- | SIIG | Rank |
| H1 | 1517 | 0.089 | 0.179 | 0.668 | 1 | 935 | 0.123 | 0.185 | 0.600 | 3 | 2009 | 0.106 | 0.199 | 0.652 | 1 |
| H2 | 1319 | 0.115 | 0.121 | 0.513 | 6 | 758 | 0.190 | 0.106 | 0.357 | 13 | 1880 | 0.129 | 0.177 | 0.579 | 3 |
| H3 | 1239 | 0.122 | 0.110 | 0.473 | 7 | 865 | 0.103 | 0.189 | 0.647 | 1 | 1613 | 0.177 | 0.104 | 0.369 | 13 |
| H4 | 1128 | 0.166 | 0.106 | 0.389 | 14 | 774 | 0.140 | 0.175 | 0.556 | 5 | 1482 | 0.203 | 0.102 | 0.335 | 15 |
| H5 | 1190 | 0.144 | 0.112 | 0.438 | 10 | 673 | 0.200 | 0.115 | 0.364 | 12 | 1708 | 0.133 | 0.149 | 0.528 | 6 |
| H6 | 1058 | 0.172 | 0.114 | 0.399 | 13 | 643 | 0.207 | 0.109 | 0.346 | 14 | 1473 | 0.179 | 0.149 | 0.454 | 10 |
| H7 | 1123 | 0.143 | 0.099 | 0.409 | 12 | 808 | 0.147 | 0.134 | 0.477 | 9 | 1439 | 0.189 | 0.127 | 0.402 | 11 |
| H8 | 1188 | 0.149 | 0.104 | 0.412 | 11 | 763 | 0.173 | 0.136 | 0.440 | 11 | 1614 | 0.183 | 0.107 | 0.369 | 12 |
| H9 | 1403 | 0.081 | 0.147 | 0.644 | 2 | 920 | 0.132 | 0.159 | 0.546 | 6 | 1886 | 0.105 | 0.169 | 0.617 | 2 |
| H10 | 1488 | 0.108 | 0.170 | 0.611 | 4 | 974 | 0.140 | 0.190 | 0.576 | 4 | 2002 | 0.143 | 0.181 | 0.558 | 4 |
| H11 | 1417 | 0.089 | 0.142 | 0.615 | 3 | 947 | 0.112 | 0.190 | 0.629 | 2 | 1888 | 0.130 | 0.140 | 0.517 | 7 |
| H12 | 1215 | 0.144 | 0.116 | 0.446 | 8 | 849 | 0.161 | 0.134 | 0.454 | 10 | 1580 | 0.160 | 0.140 | 0.467 | 8 |
| H13 | 1353 | 0.098 | 0.135 | 0.579 | 5 | 856 | 0.146 | 0.154 | 0.513 | 7 | 1849 | 0.123 | 0.150 | 0.550 | 5 |
| H14 | 1173 | 0.161 | 0.092 | .0364 | 15 | 689 | 0.220 | 0.079 | 0.264 | 15 | 1658 | 0.158 | 0.133 | 0.457 | 9 |
| H15 | 1165 | 0.150 | 0.118 | 0.441 | 9 | 801 | 0.158 | 0.153 | 0.491 | 8 | 1529 | 0.201 | 0.114 | 0.362 | 14 |
| میانگین Mean | 1265 | 0.129 | 0.124 | 0.493 | | 817 | 0.157 | 0.147 | 0.484 | | 1713 | 0.155 | 0.143 | 0.481 | |

برای شناسایی و گزینش هیبریدهای برتر که هم در صفات مورد مطالعه و هم در عملکرد دانه برتری داشتند، از نمودار پراکنش دوبُعدی هیبریدها بر پایه شاخص SIIG و عملکرد دانه بهره گرفته شد (شکل ۲). در این نمودار هیبریدهایی که بالای محور میانگین SIIG (خط عمود بر محور شاخص SIIG) هستند و عملکرد بیشتر از میانگین کل عملکرد دانه (خط عمود بر محور افقی) هستند جزء هیبریدهای برتر از نظر اکثر صفات مورد ارزیابی هستند (ناحیه S-I). با توجه به نتایج نمودار دوبُعدی در سال اول، هیبریدهای H1 و H10 با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل و همچنین مقدار SIIG بالا (گروه اول)، به عنوان هیبریدهای برتر از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی مورد ارزیابی بودند. همچنین هیبریدهای گروه دوم H9، H2، H13 و H11 از لحاظ برتری به دلیل داشتن SIIG بالا و همچنین عملکرد بالاتر از میانگین کل در رتبه دوم قرار گرفتند. هیبرید H5 هرچند مقدار جزئی SIIG بالاتر از میانگین کل را داشت ولی عملکرد پایین‌تر از میانگین کل داشت و جزء هیبریدهای نامطلوب بود و در گروه سوم قرار گرفت. همچنین هیبریدهای H14، H12، H8، H3، H15، H4، H6، H7 با داشتن مقدار SIIG خیلی پایین و عملکرد دانه پایین (گروه چهارم) جزء ضعیف‌ترین هیبریدها بودند که این مطلب همبستگی ضعیف عملکرد دانه با اکثر صفات مورد بررسی را نشان داد (شکل ۲a). با توجه به نتایج نمودار دوبُعدی در سال دوم، هیبریدها در چهار دسته قرار گرفتند. هیبریدهای

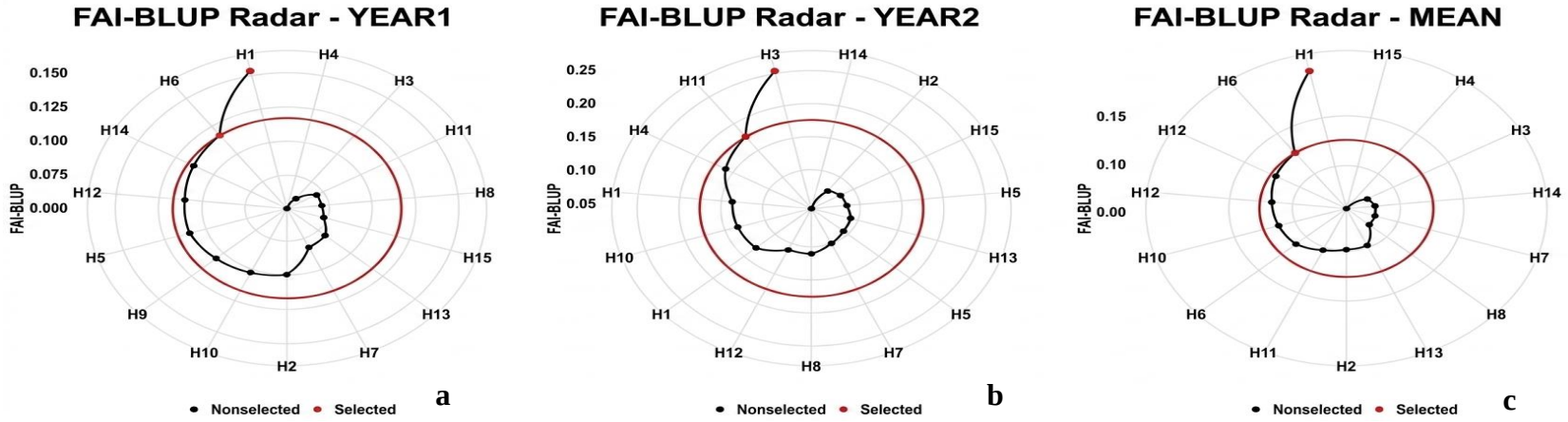
H10، H11، H1 و H9 به دلیل داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل و همچنین مقدار SIIG بالا در گروه اول قرار گرفتند. هیبریدهای H3 و H13 هر چند دارای مقدار SIIG بالا بودند ولی به دلیل داشتن عملکرد پایین‌تر از گروه اول در دسته دوم قرار گرفتند. هیبریدهای H4 (دارای مقدار جزئی SIIG بالاتر از میانگین کل و عملکرد پایین‌تر از میانگین کل) و H12 (مقدار جزئی عملکرد بالاتر از میانگین کل و SIIG پایین‌تر از میانگین کل)؛ همراه با هیبریدهای H7، H15، H8 و H2 به دلیل داشتن عملکرد دانه پایین از میانگین کل و مقدار SIIG پایین‌تر از میانگین کل جزء هیبریدهای نامطلوب بودند و در گروه سوم قرار گرفتند. همچنین هیبریدهای H14، H5 و H6 با داشتن مقدار SIIG خیلی پایین و عملکرد دانه پایین جزء ضعیف‌ترین هیبریدها بودند و در گروه چهارم قرار گرفتند (شکل ۲b). در نهایت با توجه به نتایج نمودار دوبُعدی میانگین دو سال، هیبریدهای مورد ارزیابی در سه دسته قرار گرفتند. هیبریدهای H1، H10، H11 و H9 با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل و همچنین مقدار SIIG بالا (گروه اول)، به عنوان هیبریدهای برتر از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی مورد ارزیابی بودند. هیبریدهای H13 و H2 هر چند دارای مقدار SIIG بالا بودند ولی به دلیل داشتن عملکرد پایین‌تر از گروه اول در دسته دوم قرار گرفتند. سایر هیبریدها با داشتن مقدار SIIG خیلی پایین و عملکرد دانه پایین (دسته سوم) جزء ضعیف‌ترین هیبریدها بودند (شکل ۲c). شاخص SIIG به‌منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار از نظر آماره‌های مختلف پایداری در گندم دوروم (Najafi Mirak *et al.*, 2018)، جو (Barati *et al.*, 2022) و کلزا (Zali *et al.*, 2017) مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعات پیشین مشخص شده است که شاخص SIIG ابزار فوق‌العاده قوی برا انتخاب ژنوتیپ‌های برتر آفتابگردان است (Gholizadeh *et al.*, 2021).

هیبریدهای منتخب با شدت انتخاب ۱۵ درصد براساس شاخص FAI-BLUP با نقاط قرمز توپر خارج از دایره مرکزی قرمز در شکل ۳ مشخص شده‌اند. در واقع دایره قرمز مرکزی مرز تفکیک هیبریدهای برتر از سایر هیبریدها را با توجه به شدت انتخاب نشان می‌دهد. هیبریدهای منتخب براساس شاخص FAI-BLUP در سال اول H1 و H6، در سال دوم شامل H3 و H11، و در میانگین دو سال شامل H1 و H9 بودند (شکل ۳). از مزایای دو شاخص انتخاب SIIG و FAI-BLUP این تحقیق، استفاده از تمام صفات اندازه‌گیری شده است. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان صفات و ژنوتیپ‌های دارای صفات مطلوب را به سادگی انتخاب کرد (Askari Kalestani *et al.*, 2025). به طور کلی براساس میانگین دو سال شاخص SIIG شش هیبرید (H1، H9، H11، H10، H13 و H2) و شاخص FAI-BLUP دو هیبرید (H1 و H9) را به‌عنوان هیبریدهای برتر از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی معرفی کردند. این تفاوت را می‌توان به تفاوت در محاسبات این شاخص‌ها نسبت داد. به طوریکه شاخص FAI-BLUP سخت‌گیرانه‌تر عمل کرده است و تنها هیبریدهایی را که از نظر آماری و ژنتیکی برتری معنی‌دار دارند انتخاب کرده است. برتری شاخص FAI-BLUP نسب به شاخص SIIG در مطالعات اخیر گزارش شده است (Askari Kalestani *et al.*, 2025). شاخص انتخاب FAI-BLUP یک استراژی خوب برای انتخاب است (Rocha *et al.*, 2018). لازم به ذکر است شاخص SIIG مکمل مناسبی برای مراحل اولیه انتخاب محسوب می‌شود و تعداد بیشتری از هیبریدها را به‌عنوان برتر معرفی می‌کند.




شکل ۲- نمودار دوبُعدی پراکنش هیبریدهای جدید آفتابگردان بر اساس عملکرد دانه و روش SIIG در سال اول (a)، سال دوم (b) و میانگین دو سال (c) اجرای آزمایش در شرایط دیم.

Figure 2. Two-dimensional graph of distribution of new sunflower hybrids based on seed yield and SIIG method in the first year (a), the second year (b), and the two-year average (c) under dryland conditions.




شکل ۳- رتبه‌بندی هیبریدهای آفتابگردان مورد مطالعه برای شاخص FAI-BLUP در سال اول (a)، سال دوم (b) و میانگین دو سال (c) اجرای آزمایش در شرایط دیم. هیبریدهای منتخب براساس این شاخص با قرمز توپر نشان داده شده‌اند.

Figure 3. Ranking of the evaluated sunflower hybrids based on the FAI-BLUP index in the first year (a), the second year (b), and the two-year average (c) under dryland conditions. Hybrids selected according to this index are highlighted in red.

## نتیجه‌گیری کلی

انتخاب و معرفی هیبریدهای جدید آفتابگردان برای کشت در دیمزارهای گرمسیری، اگر صرفاً بر مبنای عملکرد بالای دانه صورت گیرد، ممکن است به نتایج پایدار و مطلوب منجر نشود. در چنین شرایطی، توجه به مجموعه‌ای از صفات علاوه بر عملکرد، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای کارایی برنامه‌های به‌نژادی ایفا کند. در مناطق گرمسیری و نیمه‌خشک، توجه به صفاتی دیگر نظیر ارتفاع مطلوب بوته و زودرسی، در شرایط متغیر اقلیمی دیمزارها، می‌تواند معیارهای مؤثرتری در تکمیل فرآیند انتخاب هیبریدهای برتر باشد. براساس شاخص SIIG هیبریدهای H1، H9، H11، H10، H13 و H2 برتر بودند. براساس نمودار پراکنش دوبُعدی، هیبریدهای H1، H10، H11 و H9 دارای عملکرد و SIIG بالا بودند. علاوه بر این، شاخص FAI-BLUP هیبریدهای H1 و H9 را به‌عنوان هیبریدهای برتر انتخاب کرد. در مجموع، هیبریدهای H1، H9، H10، H11 و H13 در اکثر شاخص‌ها و صفات زراعی برتر بودند و می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای کشت در شرایط دیم باشند. به‌طورکلی به‌کارگیری دو شاخص SIIG و FAI-BLUP به‌عنوان شاخص‌های چند صفتی، می‌تواند فرآیند گزینش ژنوتیپ‌ها را در برنامه به‌نژادی تسهیل کنند و زمینه معرفی ارقام مناسب و سازگار برای کشت در دیمزارها را فراهم سازند.

**سپاسگزاری**

مقاله حاضر از اجرای پروژه تحقیقاتی با شماره مصوب ۰۱۱۰۳۶-۰۲۰-۱۵۰۵-۱۵-۰۳ استخراج شده است. بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان به خاطر تأمین هزینه و فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این پروژه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع:

Ahmadi-Ochtapeh H, Amiri Oghan h, Gholizadeh A. 2025. Selection of advanced spring oilseed rape lines with desirable yield and superior agronomic traits under dryland condition. Iranian Dryland Agronomy Journal 14(1): 131-148 (In Persian)

Ahmadpour S, Darvishzade R, Sofalan O, Hatamzadeh H. 2019. Evaluation of yield stability of sunflower inbred lines under salt stress conditions. Journal of Crop Breeding 11 (30): 1-10.

Amiri Oghan H, Payghamzadeh K, Shariati F, Gholizadeh A. 2025. Selection of superior rapeseed genotypes based on fatty acids and grain and oil yield components with the ideal genotype selection index (SIIG) method. Journal of Crop Breeding 17(1): 37-49 (In Persian)

Askari Kalestani AR, Tabib Ghaffary SM, Zali H, Esmaei lzadeh Moghadam M. 2025. Identification of superior bread wheat genotypes using composite indices for cultivation in warm regions. Plant Productions 47(4): 491-510 (In Persian)

Barati A, Zali H, Koohkan S, Marzoqian A, Gholipor A. 2022. Evaluation of the application of SIIG index in the selection of barley pure lines with high yield and desirable agronomic characteristics in warm areas of Iran. Environmental Stresses in Crop Sciences 15(3): 801-815 (In Persian)

Constantinescu E, Bonea D, Dunăreanu IC, Botu M, Sărăcin I, Olaru LA, Năstase SN. 2024. Agronomic performance of sunflower hybrids grown in the semi-arid climate of Romania. Chilean Journal of Agricultural Research 84(1): 43-55.

Noori Rad Davadgi AM, Sayyedi F, Nemati M. 2016. Study on possibility of autumn/winter planting of new oilseed sunflower cultivars under rainfed conditions of Gonbad. Iranian Dryland Agronomy Journal 4(2): 189-210 (In Persian)

Franco R, Iseppi L, Taverna M. 2018. Sunflower oil functional properties for specialty food. Nutrition and Food Science International Journal 5(4): 555668.

Ghaffari M, Gholizadeh A, Andarkhor SA, Zareei S, Kalantar Ahmadi SA, Shariati F. 2021. Pattern analysis of genotype × environment interaction for seed yield in sunflower using multivariate method of additive main effects and multiplicative. Journal of Crop Breeding 13 (39): 208-218.

Gholizadeh A, Ghaffari M, 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)

Gordeyeva Y, Shelia V, Shestakova N, Amantayev B, Kipshakbayeva G, Shvidchenko V, Aitkhozhin S, Kurishbayev A, Hoogenboom, G. 2024. Sunflower (*Helianthus annuus*) yield and yield components for various agricultural practices (sowing date, seeding rate, fertilization) for steppe and dry steppe growing conditions. Agronomy 14(1): 36.

Gul V, Coban F. 2020. Determination of yield and quality parameters of oil sunflower genotypes grown in Turkey. Turkish Journal of Field Crops 25(1): 9-17.

Hussain MM, Rauf S, Noor M, Bibi A, Ortiz R, Dahlberg J. 2023. Evaluation of introgressed lines of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under contrasting water treatments. Agriculture 13(6):1250.

Kumar R, Kumar M, Gangwar LK. 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

Najafi Mirak T, Dastfal M, Andarzian B, Farzadi H, Bahari M, Zali H. 2018. Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non -parametric methods. Isfahan University of Technology. Journal of Crop Production and Processing 8: 79 -96 (In Persian)

Naser G, Jahanbakhsh S, Gaffari M, Ebadi A. 2017. Evaluation of some agronomic traits and estimation of drought resistance indices for seed yield in sunflower inbred lines under with and without water stress. Iranian Dryland Agronomy Journal 5(2): 225-239 (In Persian)

Nazari H, Eshraghi-Nejad M, Rostaii M, Alavi-Siney SM. 2024. Selection of superior bread wheat lines based on agronomic, phenological and morpho-physiological traits using the ideal genotype selection index (SIIG) under dryland conditions of Zanjan province. Iranian Dryland Agronomy Journal 13(2): 295-311 (In Persian)

Olivoto T. Lucio AD. 2020. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. Methods.

Pourdad SS, Malek Hoseini, Hatamzadeh H. 2013. Study on general combining ability of inbred lines and heterosis of sunflower crosses in different moisture conditions. Iranian Dryland Agronomy Journal 2(2): 85-100 (In Persian)

Rauf S. Breeding strategies for sunflower (*Helianthus annuus* L.) genetic improvement. In Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops; Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV, Eds.; Springer: Cham, Switzerland; New York, NY, USA, 2019; pp. 637–673.

Rocha JRASC, Machado JC, Carneiro CS. 2018. Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. GBC Bioenergy 10: 52–60.

Ştefan IO, Constantinescu E. 2022. Research on the behavior of some sunflower cultivations of the north area of Olt County. Annals of the University of Craiova, Agriculture, Montanology, Cadastre Series 52(2): 170-173.

Tahmasebi S, Dastfal M, Zali H, Rajaie M. 2018. Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south. Cereal Research 8(2): 209-225 (In Persian)

Yaghotipoor A, Farshadfar EA, Saeidi M. 2017. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes using new mixed method. Environmental Stresses in Crop Sciences 10(2): 247-256.

Zali H, Barati A, Pour-Aboughadareh AR. 2022. Screening of barley elite genotypes using different selection indices based on multi-traits. Crop Production Journal 15(4): 159-182 (In Persian)

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: 1843.

Zali H, Hassanloo T, Sofalian O, Asghari A, Zeinalabedini M. 2017. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. Journal of Crop Breeding 8(20): 90-77 (In Persian)

Zali H, Sofalian O, Hasanloo T, Asghari A, Hoseini SM. 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

DOI:10.22092/idaj.2026.371453.455

# Evaluation of new sunflower hybrids using multi-trait selection indices for identifying superior genotypes under dryland conditions

Hossein Ahmadi-Ochtapeh[*], Mehdi Ghaffari[2]

[1]Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
[2]Associate Professor, Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

## Abstract

**Introduction:** Sunflower is one of the most important oilseed crops worldwide, and its yield is highly affected by drought stress. Therefore, identifying superior genotypes with enhanced tolerance to environmental stresses is essential for cultivation under dryland conditions. Relying on a single trait in the selection process is unlikely to yield satisfactory results; hence, the use of multiple traits and multi-trait indices can improve the accuracy of identifying superior genotypes. Accordingly, the objective of this study was to select the best-performing sunflower hybrids under dryland conditions using the Selection index of ideal genotype (SIIG) and the Factor analysis ideotype-design-best linear unbiased prediction (FAI-BLUP).
**Methodology:** This experiment was conducted using 12 newly developed sunflower hybrids along with three check cultivars (Zarrin, Shams, and Azar) at the National Agricultural Research Station and Dryland Seed Production of Gonbad-e Kavus over two cropping seasons (2023–2025). The trial was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with four replications. Seeds of each hybrid were sown in a 2.7 m² experimental plot consisting of four rows, each 3 m in length, with a row spacing of 60 cm. The experimental field had been cultivated with wheat in the previous season. Planting was performed manually on flat soil, and weed control was carried out by hand. Traits including days to flowering, days to ripening, plant height, distance between ground and head, head diameter, stem diameter were recorded. After harvest, yield-related characteristics such as thousand-kernel weight, seed yield, oil content, and oil yield were measured. Statistical analyses, including analysis of variance (ANOVA) and the selection of the superior genotypes using the SIIG method, were performed with SAS ver. 9.4 and Microsoft Excel. In addition, the FAI-BLUP method was analyzed using R software and the multi-environment trials package (metan).
**Research findings:** The results of the combined analysis of variance revealed that both the effect of year and the genotype × year interaction were significant at the 1% probability level for all studied traits, indicating the strong influence of environmental conditions and the differential responses of genotypes across years. Moreover, the main effect of genotype was significant for all traits. The comparison of means indicated significant differences among hybrids for the evaluated traits, particularly grain yield. Hybrids H1, H10, H11, and H9 produced the highest seed yields, while H6 and H7 recorded the lowest seed yields. The multi-trait SIIG index identified hybrids H1, H9, H11, H10, H13, and H2 as superior genotypes. The two-dimensional graph further confirmed that hybrids H1, H10, H11, and H9 clustered in the first group with both high yield and SIIG values. In addition, the FAI-BLUP index selected hybrids H1 and H9 as superior. Overall, hybrids H1, H9, H10, H11, and H13 consistently ranked among the best across most indices and agronomic traits, suggesting their suitability for cultivation under dryland conditions.

**Keywords**: Sunflower, Agronomic traits, Seed yield, Superior genotype, Dryland conditions

[*] Corresponding author: h.ahmadiochtapeh@areeo.ac.ir
Submit date: 2025/11/17 Accept date: 2026/03/18