ISSN: 2676-7309

Plant Genetic Researches

Volume 11, Issue 1 (2024)

Lorestan University

Research Article

http://dx.doi.org/10.22034/PGR.11.1.4

Evaluation of Some Selection Indices to Improve Sunflower Seed Yield Under Normal and Drought Stress Conditions

Nasrin Akbari[1] and Reza Darvishzadeh[2,*]

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

[*]***Corresponding author***: *r.darvishzadeh@urmia.ac.ir*

Citation: Akbari, N. and Darvishzadeh, D. (2024). Evaluation of some selection indices to improve sunflower seed yield under normal and drought stress conditions. *Plant Genetic Researches*, **11(1):** 47-76. http://dx.doi.org/10.22034/PGR.11.1.4

(Received: February 12, 2024; Final Revised: May 7, 2024; Accepted: May 21, 2024; Published online: September 21, 2024)

Extended abstract

Introduction

Sunflower is an oilseed plant with good nutritional quality. Since the oil consumption per capita is high in Iran, it is very important to pay attention to supply needed oil. Therefore, it is necessary to breed and introduce oilseed sunflower cultivars with high and stable yield. Among the abiotic stresses, drought is the most effective factor influencing the world of agriculture. Sunflower is relatively drought-tolerant, however its yield is still impacted by drought stress conditions. In particular, drought stress during the reproductive stage has a pronounced negative effect on sunflower yield, leading to a significant reduction in both oil content as well as oil production. Direct selection for yield is unreliable due to the quantitative nature of this trait and its susceptibility to environmental influences. As an alternative manner, the indirect selection i.e. selection through other traits and selection through the indices, is used. By using the selection indices, it is possible to select based on several traits by overcoming the unfavorable correlation between the traits. In this regard, in order to select genotypes with high yield under drought stress, some selection indices such as Brim, Smith-Hazel, Robinson and Pesek-Baker were used to select genotypes under investigated environmental conditions. Use of efficient selection indices can be useful in identifying genotypes with high performance in different environmental conditions. Sunflower genotypes that perform well under both normal and drought stress conditions can be utilized to develop promising hybrids.

Materials and methods

In this research, 100 sunflower oil genotypes obtained from different research stations over the world were investigated in the village of Gezeljeh, Salmas during 2011 and 2012 in a 10 × 10 simple lattice design under normal and drought stress conditions. Cultivation was done at the beginning of May, on 5-meter lines, keeping a distance of 50 cm between plants and 60 cm between the lines. The distance between two repetitions was 1.5 cm and the distance between two tests experiments was five meters. In both years, up to the 8-leaf stage, the field was irrigated in both normal and limited irrigation experiments after 90 mm of evaporation from the Class A evaporation pan. From the 8-leaf stage onwards in the normal irrigation experiment, irrigation continued in the same way until the end of the growing season. But in limited irrigation, irrigation was done after 180 mm of evaporation from the Class A evaporation pan. Some agro-morphological traits including plant height, total number of leaves per plant, leaf length and width, petiole length, greenness (SPAD value), stem diameter, head length and width, head diameter, days from planting to flowering, days from planting to physiological maturity, relative leaf water content, kernel oil content and kernel yield were evaluated. Brim, Smith-Hazel, Robinson and Pesek-Baker selection indices were calculated to select genotypes under two environmental conditions. In order

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

to evaluate and compare the efficiency of selection indices and select the best index, the genetic gain of traits (ΔG), expected gain (ΔH) and relative efficiency of selection index (RE) were calculated.

Results and discussion

The results of this experiment indicated that the direct response to selection for traits such as seed oil content, days to maturity, and leaf length under both environmental conditions is more favorable than the correlated response. However, for head and stem diameter, the lowest efficiency of direct selection was observed under both environmental conditions compared to other investigated traits. Considering the two criteria; the genetic gain of traits (ΔG) and expected gain (ΔH) under normal and drought stress conditions, the two indices of Brim and Smith-Hazel were introduced as the best indices and the genotype ENSAT-254 was introduced as the superior genotype.

Conclusions

Based on results of this study, the ENSAT-254 genotype can be considered in the production of hybrid cultivars for cultivation under drought stress conditions, following validation at the molecular level by examining the expression of genes associated with water deficit stress tolerance.

Keywords: Water deficit stress, Morphological traits, Direct selection, Oilseed crops

پژوهش‌های ژنتیک گیاهی
جلد ۱۱، شماره ۱، ۱۴۰۳
شاپا الکترونیکی: ۷۳۰۹-۲۶۷۶
دانشگاه لرستان
مقاله پژوهشی
http://dx.doi.org/10.22034/PGR.10.1.4

ارزیابی برخی شاخص‌های انتخاب جهت بهبود عملکرد دانه آفتابگردان تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

نسرین اکبری[۱] و رضا درویش‌زاده[۲،*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه
۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳ ؛ تاریخ آخرین ویرایش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱)

چکیده

آفتابگردان از گیاهان دانه‌روغنی مهم، از تنش خشکی متأثر شده و عملکرد آن کاهش می‌یابد. انتخاب مستقیم برای بهبود عملکرد، به‌عنوان فرآورده نهایی صفات مختلف، به‌دلیل تأثیرپذیری شدید از شرایط محیطی همواره مؤثر نیست. سالیان درازی است انتخاب غیرمستقیم از طریق صفات دیگر یا انتخاب از طریق شاخص، برای بهبود عملکرد پیشنهاد شده است. در این آزمایش تعداد ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه‌روغنی، در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰ × ۱۰ تحت دو شرایط نرمال و تنش خشکی در دو سال متوالی از لحاظ برخی صفات آگرومورفولوژیک ارزیابی شدند. در شرایط تنش خشکی، آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در مقایسه با ۹۰ میلی‌متر در شرایط آبیاری معمول انجام گرفت. شاخص‌های انتخاب بریم، اسمیت-هیزل، رابینسون و پسک-بیکر جهت انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت دو شرایط محیطی محاسبه شدند. جهت ارزیابی و مقایسه شاخص‌ها و انتخاب برترین شاخص، معیار بازدهی مورد انتظار برای هر صفت از طریق شاخص، سود ژنتیکی مورد انتظار و سودمندی نسبی شاخص انتخاب محاسبه شد. نتایج نشان داد، پاسخ مستقیم به انتخاب در صفات محتوای روغن دانه، روز تا رسیدگی و طول برگ تحت هر دو شرایط محیطی در مقایسه با پاسخ همبسته مطلوب‌تر است؛ اما در دو صفت قطر طبق و قطر ساقه تحت هر دو شرایط محیطی نسبت به سایر صفات مورد بررسی کمترین کارایی انتخاب مستقیم مشاهده شد. با در نظر گرفتن دو معیار پیشرفت ژنتیکی برای هر صفت از طریق شاخص (ΔG) و بهره مورد انتظار برای شاخص (ΔH) تحت شرایط نرمال و تنش خشکی، دو شاخص بریم و اسمیت- هیزل به‌عنوان شاخص برتر و ژنوتیپ ENSAT-254 به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی شدند. از ژنوتیپ منتخب بعد از تأیید نهایی در سطح مولکولی با بررسی بیان ژن‌های دخیل در تحمل تنش کمبود آب، می‌توان در تولید ارقام هیبرید به‌عنوان راهکاری برای کشت در شرایط تنش خشکی استفاده نمود.

واژگان کلیدی: تنش کمبود آب، صفات مورفولوژیک، گزینش مستقیم، محصول دانه‌روغنی

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

مقدمه

آفتابگردان با نام علمی *Helianthus annuus* L. از خانواده آستراسه (Asteraceae) گیاهی یک‌ساله و بومی آمریکا است که اهلی‌سازی آن به ٤٠٠٠ سال قبل برمی‌گردد، یعنی زمانی‌که به‌دست بومیان آمریکا کشت می‌شده است، (Seiler *et al*., 2017; Radanovíc *et al*., 2018; Ebrahimian *et al*., 2019). آفتابگردان دارای تیپ‌های روغنی، غیرروغنی و زینتی است. ارقام غیرروغنی که دارای بذر درشت‌تر، درصد روغن کم و میزان پروتئین بالا هستند، به‌عنوان آجیل استفاده می‌شوند (Li *et al*., 2024). آفتابگردان *H. annuus* ssp. macrocarpus، به‌خاطر دانه‌های خوراکی که دارد، کشت می‌شود (Charles and Heiser, 1955). آفتابگردان پس از ورود به اروپا در سال ۱۵۱۰ (در قرن شانزدهم) (Fernandez *et al*., 2019)، بیش از دو قرن منحصراً به‌عنوان یک گیاه زینتی مورد استفاده قرار گرفت و تنها هنگامی‌که وارد روسیه شد، به‌عنوان یک محصول روغنی مطرح گردید.

تنش خشکی از عمده عوامل تأثیرگذار بر عملکرد محصولات زراعی است. این نوع تنش امروزه با تأثیرگذاری وسیع بر کشاورزی جهان، به‌عنوان یک چالش مهم و تهدید در بحث امنیت غذایی و بهداشت جوامع بشری مطرح گشته است (Raza *et al*., 2023). آفتابگردان از گیاهان دانه‌روغنی نسبتاً متحمل به خشکی، از تنش خشکی متأثر شده و عملکرد آن کاهش می‌یابد (Rauf, 2008; Ebrahimian *et al*., 2019). انتخاب مستقیم برای بهبود عملکرد، به‌عنوان فرآورده نهایی صفات مختلف، به‌دلیل تأثیرپذیری شدید از شرایط محیطی همواره مؤثر نیست (Marhtwe *et al*., 2020). سالیان درازی است انتخاب غیرمستقیم از طریق صفات دیگر یا استفاده از شاخص انتخاب برای بهبود عملکرد پیشنهاد شده است (Leilah and Al-Khateeb, 2005; Ahmadpour *et al*., 2018). از طرفی ارزش اقتصادی یک واریته به صفات مختلف آن بستگی دارد. چگونگی اعمال انتخاب برای چند صفت به‌منظور حصول حداکثر ارزش اقتصادی همیشه مورد نظر به‌نژادگران بوده است (Falconer and Mackay, 1996; Bernardo, 2010; Marhtwe *et al*., 2020). به‌نژادگران برای گزینش هم‌زمان چندین صفت از سه راه‌کار شامل گزینش زنجیری (پی‌درپی یا نوبتی)، برشی (گزینش بر مبنای سطوح مستقل) و شاخص انتخاب استفاده می‌کنند (Rana *et al*., 2019). بهبود کارایی برنامه‌های به‌نژادی با توسعه شاخص‌های مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر (Ahmadpour *et al*., 2018) مقدور است. با این حال، اغلب وجود همبستگی نامطلوب بین صفات، انتخاب برای یک صفت را به‌دلیل واکنش اقتصادی نامطلوب در صفت دیگر، چالش‌برانگیز می‌سازد (Falconer *et al*., 1996; Bernardo, 2010). این امر باعث می‌شود که اصلاح هم‌زمان چند صفت پیچیده شود. شاخص انتخاب معمولاً یک تابع خطی از صفات متفاوت است؛ به‌طوری که به هر صفت بر طبق اهمیت آن یک وزن داده می‌شود (Hazel and Lush, 1942). از مهم‌ترین شاخص‌های انتخاب می‌توان به شاخص پایه (Brim *et al*., 1959)، بهینه (Hazel, 1943; Smith, 1936)، سود مطلوب یا شاخص تغییر یافته (Pesek and Baker, 1970) و رابینسون (Robinson *et al*., 1951) اشاره کرد.

در شاخص کلاسیک اسمیت- هیزل (شاخص بهینه یا مطلوب) ضرایب معادله شاخص (b_i) از به حداکثر رساندن همبستگی بین ارزش ژنتیکی و شاخص (r_{HI}) به‌دست می‌آیند. پارامتر H در حقیقت مجموع حاصل‌ضرب ارزش‌های ژنوتیپی هر یک از صفات در اهمیت اقتصادی آن‌ها است. پارامتر I ترکیب خطی از نمود فنوتیپی صفات در ضرایبی است که طوری برآورد می‌شوند که همبستگی بین ارزش ژنتیکی (H) و شاخص (I) حداکثر شود (Barth *et al*., 2022). در شاخص پایه که توسط بریم و همکاران (Brim *et al*., 1959) پیشنهاد شد، معادله شاخص از ترکیب خطی میانگین مقادیر فنوتیپی صفات که مستقیماً با وزن اقتصادی مربوطه‌شان وزن‌دار می‌شوند، ایجاد می‌شود (Williams, 1962). در واقع در آن، وزن‌های اقتصادی مستقیماً به‌عنوان وزن یا ضرایب (b_i) به‌کار می‌روند. در شاخص سود

مطلوب، نیاز به اطلاع از واریانس-کوواریانس ژنوتیپی بین صفات و مقدار سود حاصل از انتخاب که برای هر صفت مطلوب است، می‌باشد (Pesek and Baker, 1970). کارایی شاخص‌های انتخاب در گیاهانی همچون سویا (Andrade *et al.*, 2016)، هویج (Carvalho *et al.*, 2017) و ذرت (Lima *et al.*, 2018; Dovale *et al.*, 2011) ارزیابی شده است. احمدپور و همکاران (Ahmadpour *et al.*, 2018) استفاده از شاخص‌ها را به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های آفتابگردان با عملکرد بالا تحت شرایط نرمال و تنش شوری موفقیت‌آمیز قلمداد نمودند.

با توجه به تغییرات اقلیمی و تشدید تهدیدات ناشی از تنش‌های غیرزیستی بر عملکرد محصولات زراعی، لازمه تولید موفقیت‌آمیز هیبریدهای با عملکرد بالا، انتخاب والدهای مطلوب می‌باشد. استفاده از شاخص‌های انتخاب کارآمد، در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط مختلف محیطی می‌تواند مفید باشد. در این بررسی کارایی چهار شاخص انتخاب اسمیت- هیزل، بریم، پسک-بیکر و رابینسون در انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب آفتابگردان تحت شرایط نرمال و تنش خشکی ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه‌روغنی تهیه شده از مراکز تحقیقاتی مختلف (جدول ۱)، طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در روستای قزلجه سلماس (با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه ۱۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی و ٤٤ درجه و ٤٥ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی) تحت دو شرایط نرمال و تنش خشکی در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰ × ۱۰ کشت شدند. عملیات زراعی شامل شخم پائیزه، دیسک بهاره و ایجاد جوی و پشته بود. بافت خاک مزرعه لومی-شنی بود. کشت در هر دو سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در اوایل اردیبهشت‌ماه انجام گرفت. کشت روی خطوط ۵ متری، با در نظر گرفتن فاصله ۵۰ سانتی‌متری روی خطوط کشت و ٦۰ سانتی‌متر بین خطوط کشت انجام شد. فاصل دو تکرار از هم ۱/۵ سانتی‌متر و فاصله دو آزمایش از هم پنج متر در نظر گرفته شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. کود ازته (اوره) به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک مصرف شد. در هر دو سال مورد مطالعه تا مرحله هشت برگی، آبیاری مزرعه در هر دو آزمایش (آبیاری نرمال و تنش خشکی) به‌صورت معمول (بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) انجام گرفت. از مرحله هشت برگی آبیاری در تیمار-های شاهد (شرایط نرمال) تا انتهای فصل رشد به منوال قبل ادامه یافت. در آزمایش تنش خشکی، از مرحله ۸ برگی به بعد، آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. بعد از گلدهی صفات به‌صورت ذیل اندازه‌گیری شدند. ارتفاع بوته، از محل طوقه در سطح خاک تا محل اتصال آن به طبق برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای صفت تعداد برگ، تعداد کل برگ در بوته شمارش شد. برای اندازه‌گیری صفات طول و عرض پهنک برگ و طول دمبرگ، از هر بوته ۳ برگ از موقعیت‌های مختلف انتخاب و طول و عرض برگ و طول دمبرگ برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری قطر ساقه از ٤ سانتی‌متری سطح خاک برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری قطر طبق، ۳ بوته انتخاب و در هر طبق طول و عرض برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شده و میانگین گرفته شد. سبزینگی با SPAD اندازه‌گیری شد. روز از کاشت تا گلدهی؛ از تاریخ کاشت تا زمانی‌که در ۵۰ درصد بوته‌ها گلبرگ‌ها از طبق خارج شدند، برحسب روز تعیین و محاسبه شد. روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک نیز از تاریخ کاشت تا زمانی‌که در ۹۵ درصد بوته‌ها طبق‌ها کاملاً زرد شدند، برحسب روز تعیین و محاسبه شد. محتوای نسبی آب برگ بر اساس وزن تر، وزن تر اشباع و وزن خشک برگ از رابطه زیر محاسبه شد.

(رابطه ۱) ۱۰۰×{(وزن خشک برگ- وزن تر اشباع برگ)/(وزن خشک برگ- وزن تر برگ)}=محتوای نسبی آب برگ

محتوای روغن دانه (درصد) و عملکرد دانه پس از برداشت تمام بوته‌های هر ردیف و جدا کردن دانه برحسب گرم در بوته محاسبه شد.

جدول ۱- نام ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه‌روغنی مورد مطالعه

Table 1. Name of studied oilseed sunflower genotypes

نام لاین Line name	نام لاین Line name	نام لاین Line name	نام لاین Line name
1. H100A/83HR4	26. H049+FSB	51. H25A/83HR4	76. H209A/H566R
2. H209A/LC1064	27. SSD-580	52. RHA265	77. ASO-1-POP-A
3. H205A/H543R	28. 5AS-F1/A2*R5AS-F1/A2*R2	53. PM1-3	78. AS6305
4. AS5306	29. 7CR1=PRH6	54. RT948	79. B-FIPOPB
5. RHA858	30. ENSAT-699	55. ENSAT-283	80. D34
6. H209A/83HR4	31. SSD-581	56. QHP-1	81. CAY
7. As3211	32. TMB-51	57. SDR19	82. 346 IRANI
8. ENSAT-254	33. 11*12 IRANI	58. HA337B	83. NS-F1-A5*R5
9. AS5304	34. 110 IRANI	59. H100B	84. 36 IRANI
10. 1009329.2(100K)	35. H603R	60. B454/03	85. 38 IRANI
11. ENSAT-270	36. 4 IRANI	61. HA304	86. SDB2
12. AS613	37. 703-CHLORINA	62. RT931	87. H158A/LC1064
13. A-FLPOPA	38. NSF1-A4R5	63. HA335B	88. H156A/H543R
14. OES	39. 28 IRANI	64. NS-B5	89. H543R/H543R
15. H100A/LC1064	40. 30 IRANI	65. SDB3	90. H543R
16. RHA266	41. F1250/03	66. LC1064C	91. SF076
17. PAC2	42. SDR18	67. NS-R5	92. B-FIPOPB
18. H157/LC1064	43. LP-SCYB	68. DM-2	93. SF085
19. 5DES20QR	44. 803-1	69. BH156A/RHA274	94. SF092
20. 15038	45. 1009370-1(100K)	70. SDB1	95. A-CONTROLPLASTIPIC
21. 1009337(100K)	46. CSWW2S	71. HAR-4	96. 59-1 IRANI
22. AS3232	47. 1009370-3(100K)	72. AS5305	97. H100A-90RL8
23. 12AASB3	48. H158A/H543R	73.- RHA274	98. SF109
24. 8ASB2	49. H100A	74. H158A/H543R	99. SF105
25. 9CSA3	50. 15031	75. H100A/RHA274	100. SF023

محاسبه شاخص‌های انتخاب: ابتدا مقدار شاخص (I) برای هر ژنوتیپ بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید (رابطه ۲).

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_nx_n = \sum b_ix_i$$ (رابطه ۲)

در این معادله هر صفت (X) با ضریبی که وزن شاخص (b) نامیده می‌شود، وزن‌دار می‌شود (Hazel, 1943; Kang, 1994; Smith, 1936). محاسبه بردار وزن شاخص‌ها (b) مطابق با جدول ۲ انجام گرفت.

ارزیابی شاخص انتخاب: ارزیابی شاخص‌های انتخاب با معیارهای متعدد انجام شد (جدول ۳). یکی از معیارها ارزیابی کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم صفات در مقایسه با انتخاب مستقیم آن‌ها، در راستای بهبود عملکرد است. برای این منظور از نسبت مقدار عددی "پاسخ همبسته برای عملکرد از طریق هر یک از صفات در هر یک از شرایط نرمال و تنش خشکی" بر مقدار عددی پاسخ مستقیم به انتخاب در صفت عملکرد (Ri) استفاده گردید. پاسخ همبسته برای عملکرد بر اساس انتخاب از طریق شاخص‌های انتخاب با فرمول ($CR_i = Kr_{XY}^{G}h_x\sqrt{V_{GY}}$) (جدول ۳) محاسبه شد. در این رابطه K شدت انتخاب ۱۰ درصد (۱/۷۶)، h_x جذر وراثت‌پذیری هر یک از صفات (Falconer and Mackay, 1996)، r_{XY}^{G} همبستگی ژنتیکی صفات x و y و $\sqrt{V_{GY}}$ انحراف معیار ژنتیکی صفت y (عملکرد) می‌باشد. در ادامه همبستگی بین عملکرد و شاخص‌های مختلف محاسبه گردید و ژنوتیپ‌های آفتابگردان بر مبنای تک‌تک شاخص‌ها و عملکرد رتبه‌بندی شدند و ۲۵ درصد از برترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ شاخص، همراه با ۲۵ درصد از برترین ژنوتیپ‌های انتخاب شده بر مبنای عملکرد، مقایسه شدند. جهت محاسبه شاخص‌های انتخاب، از برنامه توسعه یافته توسط شیری و ابراهیمی (Shiri and Ebrahimi, 2018) استفاده شد. محاسبات در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/٤ با استفاده از PROC IML تحت سیستم‌عامل Microsoft Windows اجرا شد.

نتایج و بحث

نتایج پاسخ مستقیم و همبسته انتخاب: تحت شرایط نرمال، بیشترین پاسخ مستقیم به انتخاب (۱۳/۵۱۹ =R_i، ۱۰/۰۷۸ =R_i و ٤/۹۰۹ =R_i) با انحراف معیار ژنتیکی (۱۱/۸٤٤، ۱۲/۲۹۰ و ۳/۲٦۳) به‌ترتیب برای صفات ارتفاع بوته،

عملکرد و محتوای روغن دانه مشاهده شد (جدول ٤). تحت تنش خشکی بیشترین پاسخ مستقیم به انتخاب (R_i= ۸/۳۰٤ و R_i=٥/۲٤۸) با انحراف معیار ژنتیکی (۸/۲۳٦ و ۳/٤٦۳) در صفات ارتفاع بوته و محتوای روغن دانه مشاهده شد؛ بنابراین انتخاب مستقیم، برای صفت ارتفاع بوته و روغن دانه تحت هر دو شرایط مورد بررسی نسبت به سایر صفات مورد ارزیابی کارایی بیشتری داشته و مؤثرتر است. قطر طبق و قطر ساقه کمترین پاسخ مستقیم به انتخاب را تحت شرایط نرمال (R_i= ۰/۰۷۱ و R_i=۰/٤۷۲) با انحراف معیار ژنتیکی (۰/۳٥۹ و ۰/٥۱۸) و تنش خشکی (R_i=۰/۱٥۹ و R_i=۰/۱۷۸) با انحراف معیار ژنتیکی (۰/٤٦۳ و ۰/۲۷٤) نشان دادند (جدول ٤). در دو صفت قطر طبق و قطر ساقه تحت هر دو شرایط مورد بررسی نسبت به سایر صفات مورد ارزیابی کمترین کارایی انتخاب مستقیم مشاهده شد؛ بنابراین انتخاب مستقیم برای این صفات از اثرپذیری کمتری برخوردار است.

با توجه به نتایج جدول ٤ و ٥، واکنش صفات مختلف نسبت به انتخاب متفاوت بوده و پاسخ مستقیم برخی صفات در مقایسه با پاسخ همبسته از طریق صفات دیگر مطلوب‌تر است. به‌عنوان نمونه، در صفات محتوای روغن، روز تا رسیدگی و طول برگ تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی پاسخ به گزینش به‌واسطه انتخاب مستقیم، بیشتر از پاسخ همبسته آن‌ها از طریق صفات دیگر می‌باشد. در صفاتی مانند روز تا گلدهی، طول دمبرگ، قطر ساقه و سبزینگی (SPAD value) گزینش از طریق صفات دیگر تنها در شرایط تنش کارآمد هست. در مقابل گزینش برای صفت قطر طبق، به‌واسطه صفات دیگر تحت هر دو شرایط ارزیابی، کارایی بالا داشت. در شرایط نرمال پاسخ همبسته عملکرد از طریق صفات مورد مطالعه مثبت هست که بیانگر امکان افزایش عملکرد با گزینش برای مقدار بیشینه این صفات است؛ در واقع یک رابطه مستقیم و مثبت بین این صفات با عملکرد وجود دارد؛ اما تحت شرایط تنش خشکی بین همه صفات به‌جز روغن دانه با عملکرد پاسخ همبسته منفی مشاهده شد که بیانگر کاهش عملکرد تحت شرایط محدودیت آبی با افزایش صفات فوق است (جدول ٥).

جدول ۲- روش‌های محاسبه ضرایب صفات در شاخص‌های مختلف انتخاب

Table 2. Methods for calculating trait coefficients in various selection indices

شاخص گزینش و منابع Selection index and references	فرمول Formula	توضیحات Explanations
Smith-Hazel index (Hazel, 1943; Smith, 1936)	$b = P^{-1} Ga$	که در آن b بردار ضرایب شاخص، P ماتریس واریانس کوواریانس فنوتیپی m × m، G ماتریس واریانس کوواریانس ژنوتیپی m × m و a بردار ارزش‌های نسبی (ضرایب مسیر، ضرایب رگرسیون، وراثت‌پذیری و یا وزنه‌های اقتصادی صفات بررسی شده در شاخص) است. وزنه‌های اقتصادی توسط اصلاحگر تعیین می‌شوند. Where b is a vector of indices coefficients, P is a m × m phenotypic variance-covariance matrix, G is m × m genotypic variance-covariance matrix and a is a vector of relative values (path coefficients, regression coefficients, heritability or economic weights of traits considered in the index). Economic weights are determined by the plant breeder.
Brim index (Brim *et al.*, 1959)	$b = a$	-
Desired gain index (Pesek-Baker index) (Pesek and Baker, 1970)	$b = G^{-1} h$	که در آن h بردار سودهای بهینه؛ که داویک (Davik, 1989) آن را (δ_p) برابر با انحراف استاندارد فنوتیپی در نظر گرفته است. Where h is the vector of desired gain; which Davik (Davik, 1989) considered the h equal to phenotypic standard deviation (δ_p).
Robinson index (Robinson *et al.*, 1951)	$b = P^{-1}g$	که در آن g بردار کوواریانس ژنوتیپی عملکرد با دیگر صفات است. Where g is the vector of genotypic covariance of yield with other traits.

جدول ۳- برخی معیارهای ارزیابی و مقایسه شاخص‌های مختلف انتخاب

Table 3. Some criteria to evaluate and compare the selection indices

شماره No.	معیارهای ارزیابی و مقایسه شاخص‌های گزینش Criteria to evaluation and comparison of selection indices	فرمول Formula	توضیحات Explanations
1	ضریب همبستگی بین سود ژنتیکی و شاخص Correlation coefficient between genotypic worth and index	$R_{HI} = \sqrt{\frac{b'Pb}{a'Ga}}$	که در آن ´a و ´b به‌ترتیب برگردان بردارهای a و b هستند. توجه کنید که برای شاخص پسک–بیکر a با h (بردار سودهای ژنتیکی) در معادله جایگزین می‌شود و برای شاخص رابینسون a با g در معادله جایگزین می‌شود (بردار کوواریانس ژنوتیپی عملکرد با دیگر صفات) (Baker, 1986). Where a´ and b´ are transpose of a and b vectors, respectively. Note that for Pesek-Baker index, a is replaced by h (vector of genetic gains) in the equation, and for Robinson index, a is replaced by g in the equation (vector of genotypic covariance of yield with other traits).
2	سودمندی نسبی (RE) شاخص در مقایسه با گزینش مستقیم برای عملکرد (Y) Relative efficiency (RE) of index compared with direct selection for yield (Y)	$RE = \frac{R_I}{R_Y} = \frac{r_{G(Y)I}}{h_Y}$ $rG(Y)I = \frac{\sigma_{G(Y)I}}{\sqrt{\sigma^2_{G(Y)}} \times \sigma^2_I} = \frac{b'_g}{\sqrt{\sigma^2_{G(Y)}} \times b'Pb}$	که در آن R_I پاسخ مورد انتظار برای صفت Y بر اساس شاخص گزینش و R_Y پاسخ مورد انتظار بر اساس گزینش مستقیم برای صفت Y است، $r_{G(Y)I}$ ضریب همبستگی بین ارزش ژنوتیپی عملکرد (Y) و شاخص گزینش و h_Y جذر وراثت‌پذیری صفت Y است (Baker, 1986). Where R_I is the expected response for trait Y based on the selection index and R_Y is the expected response based on direct selection for trait Y, rG(Y)I is the correlation coefficient between the genotypic value of yield (Y) and the selection index and h_Y is the square root of heritability of trait Y.
3	سود ژنتیکی مورد انتظار برای همه صفات مورد بررسی Expected genetic advance for all studied traits	$\Delta H = Kr_{HI}\sigma_H$	که در آن K دیفرانسیل گزینش استاندارد شده، r_{HI} همبستگی بین شاخص گزینش و ارزش اصلاحی و σ_H انحراف استاندارد ارزش اصلاحی است (Baker, 1986). Where K is the standardized selection differential, r_{HI} is the correlation between the selection index and the breeding value, and σ_H is the standard deviation of the breeding value.
4	سود ژنتیکی مورد انتظار برای هر صفت شاخص گزینش Expected gain for each trait from index selection	$\Delta G = \frac{KGb}{\sqrt{b'Pb}}$	که در آن K دیفرانسیل گزینش استاندارد شده، G ماتریس واریانس کوواریانس ژنوتیپی، P ماتریس واریانس کوواریانس فنوتیپی، b بردار ضرایب شاخص و ´b برگردان بردار b می‌باشد (Baker, 1986). Where K is the standardized selection differential, G is the genotypic variance-covariance matrix, P is the phenotypic variance-covariance matrix, b is the vector of index coefficients, and b´ is the transpose of vector b.
5	ضریب تغییرات فنوتیپی برای شاخص (CVi) Phenotypic coefficient of variation (CVi) for indices	$CVi = \frac{\sigma_I}{\bar{X}} \times 100$	که در آن σ_I انحراف استاندارد فنوتیپی شاخص و $\bar{x}$ میانگین ارزش‌های شاخص برای همه افراد است (Rahimi and Rabiei, 2011). Where σ_I is the phenotypic standard deviation of the index and $\bar{x}$ is mean of index values for all individuals.
6	پاسخ به گزینش Response to selection	$R_i = Kh_{Xi}\delta_{gi}$	که در آن δ_{gi} انحراف معیار ژنتیکی صفت iام، h_i جذر وراثت‌پذیری صفت iام و K شدت انتخاب است که با گزینش ۱۰ ٪ درصد ژنوتیپ‌ها برابر ۱/۷۶ می‌باشد (Falconer and Mackay, 1996). Where δ_{gi} is the genotypic standard deviation of the i^{th} trait, h_i is the square root of heritability of i^{th} trait, and K is the selection intensity, which is equal to 1.76 with the selection of 10% of the genotypes.
7	پاسخ همبسته Correlated response	$CR_i = Kr^G_{XY}h_x\sqrt{V_{GY}}$	در این فرمول r ضریب همبستگی بین صفت مورد نظر برای بهبود و صفتی است که انتخاب بر مبنای آن انجام می‌شود و $\sqrt{V_{GY}}$ جذر واریانس ژنتیکی صفت مورد نظر است (Falconer and Mackay, 1996). In this formula, r is the correlation coefficient between the desired trait for improvement and the trait on which the selection is made, and $\sqrt{V_{GY}}$ is the square root of genetic variance of the desired trait.

جدول ٤- مقادیر انحراف معیار ژنتیکی (S_{gi})، وراثت‌پذیری (h^2) و پاسخ مستقیم به انتخاب (R_i) برای صفات آفتابگردان دانه‌روغنی تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 4. Estimation of genotypic standard deviation, heritability and direct response to selection for oilseed sunflower under normal and drought stress conditions

صفات Characters	شرایط نرمال Normal conditions			شرایط تنش خشکی Drought stress conditions		
	پاسخ مستقیم به انتخاب R_i	وراثت‌پذیری h^2	انحراف معیار ژنتیکی S_{gi}	پاسخ مستقیم به انتخاب R_i	وراثت‌پذیری h^2	انحراف معیار ژنتیکی S_{gi}
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	13.519	0.649	11.844	8.304	0.580	8.236
تعداد برگ Number of leaf	1.543	0.481	1.822	1.193	0.419	1.635
طول برگ (سانتی‌متر) Leaf length (cm)	1.520	0.536	1.612	0.921	0.479	1.106
عرض برگ (سانتی‌متر) Leaf weight (cm)	1.215	0.451	1.531	0.612	0.390	0.902
طول دمبرگ (سانتی‌متر) Petiole length (cm)	0.746	0.467	0.906	0.490	0.474	0.594
قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)	0.472	0.518	0.518	0.178	0.373	0.274
سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	1.802	0.447	2.289	1.504	0.404	2.140
روز تا گلدهی (روز) Day to flowering (day)	2.829	0.570	2.822	2.441	0.565	2.481
روز تا رسیدگی (روز) Day to maturity (day)	4.605	0.653	4.006	2.340	0.496	2.712
قطر طبق (سانتی‌متر) Head diameter (cm)	0.071	0.112	0.359	0.159	0.198	0.463
محتوای نسبی آب برگ (درصد) RWC (%)	-	-	0.1	1.599	0.308	2.980
محتوای روغن دانه (درصد) Kernel oil content (%)	4.909	0.855	3.263	5.248	0.871	3.463
عملکرد دانه (گرم) Kernel yield (gr)	10.078	0.466	12.290	-	-	

پاسخ مستقیم به انتخاب (R_i)، وراثت‌پذیری (h^2) و انحراف معیار ژنتیکی (S_{gi}). ارتفاع بوته (PH, cm)، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL, cm)، عرض برگ (LW, cm)، طول دمبرگ (PL, cm)، قطر ساقه (SD, cm)، سبزینگی (عدد اسپد؛ SPAD)، روز تا گلدهی (DF, day)، روز تا رسیدگی (DM, day)، قطر طبق (HD, cm)، محتوای نسبی آب برگ (RWC, %)، محتوای روغن دانه (Kernel oil content, %) و عملکرد دانه (Kernel yield, gr)

Direct response to selection (R_i), Heritability (h^2), Genetic standard deviation (S_{gi}). Plant height (PH, cm), Number of leaves (LN), Leaf length (LL, cm), Leaf width (LW, cm), Petiole length (PL, cm), Stem diameter (SD, cm), Greenness (SPAD value), Days to flowering (DF, day), Days to maturity (DM, day), Head diameter (HD, cm), Relative water content (RWC, %), Kernel oil content (%), and Kernel yield (gr)

جدول ۵- همبستگی ژنتیکی و مقادیر پاسخ همبسته به انتخاب برای بهبود صفت y از طریق انتخاب برای صفت x تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 5. Genetic correlation and correlated response values to selection for improvement of trait Y through selection for trait X under normal and drought stress conditions

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
ارتفاع بوته PH	تعداد برگ LN	2.78	0.457	ارتفاع بوته PH	تعداد برگ LN	5.39	0.537
	طول برگ LL	1.56	0.225		طول برگ LL	6.56	0.587
	عرض برگ LW	0.67	0.118		عرض برگ LW	5.77	0.616
	طول دمبرگ PL	2.39	0.348		طول دمبرگ PL	4.62	0.474
	قطر ساقه SD	1.32	0.244		قطر ساقه SD	5.40	0.501
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	16.16	2.760		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.39	0.042
	روز تا گلدهی DF	4.55	0.555		روز تا گلدهی DF	4.83	0.407
	روز تا رسیدگی DM	4.52	0.629		روز تا رسیدگی DM	7.82	0.575
	قطر طبق HD	0.24	0.083		قطر طبق HD	4.43	1.897
	محتوای نسبی آب برگ RWC	-2.13	-0.476		محتوای نسبی آب برگ RWC	-	-
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	1.93	0.153		محتوای روغن دانه Kernel oil content	3.31	0.186
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	4.32	0.445
تعداد برگ LN	ارتفاع بوته PH	0.76	0.457	تعداد برگ LN	ارتفاع بوته PH	1.12	0.537
	طول برگ LL	0.49	0.357		طول برگ LL	0.58	0.336
	عرض برگ LW	0.12	0.110		عرض برگ LW	0.59	0.406
	طول دمبرگ PL	0.20	0.144		طول دمبرگ PL	0.20	0.130

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
	قطر ساقه SD	0.19	0.173		قطر ساقه SD	0.59	0.354
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	5.08	4.367		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.36	0.271
	روزتا گل دهی DF	0.92	0.562		روز تا گلدهی DF	0.45	0.248
	روز تا رسیدگی DM	0.80	0.567		روزتا رسیدگی DM	0.93	0.442
	قطر طبق HD	0.212	0.373		قطر طبق HD	0.74	2.047
	محتوای نسبی آب برگ RWC	-0.35	-0.394		محتوای نسبی آب برگ RWC	-	-
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.97	0.385		محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.36	0.130
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	0.52	0.346
طول برگ LL	ارتفاع بوته PH	0.25	0.225	طول برگ LL	ارتفاع بوته PH	1.08	0.587
	تعداد برگ LN	0.29	0.357		تعداد برگ LN	0.46	0/336
	عرض برگ LW	0.54	0.708		عرض برگ LW	1.15	0.902
	طول دمبرگ PL	0.50	0.532		طول دمبرگ PL	0.72	0.543
	قطر ساقه SD	0.48	0.667		قطر ساقه SD	1.08	0.734
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.019	0.025		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-0.13	-0.104
	روز تا گلدهی DF	0.49	0.445		روز تا گلدهی DF	0.71	0.437
	روز تا رسیدگی DM	0.54	0.563		روز تا رسیدگی DM	1.16	0.628
	قطر طبق HD	0.18	0.476		قطر طبق HD	0.72	2.257

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
عرض برگ LW	محتوای نسبی آب برگ RWC	-0.55	-0.920	عرض برگ LW	محتوای نسبی آب برگ RWC	-	-
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.16	0.097		محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.49	0.202
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	0.74	0.561
	ارتفاع بوته PH	0.11	0.118		ارتفاع بوته PH	1.10	0.616
	تعداد برگ LN	0.073	0.110		تعداد برگ LN	0.53	0.406
	طول برگ LL	0.54	0.708		طول برگ LL	1.30	0.902
	طول دمبرگ PL	0.22	0.298		طول دمبرگ PL	0.67	0.529
	قطر ساقه SD	0.47	0.792		قطر ساقه SD	1.18	0.847
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-0.12	-0.185		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-0.200	-0.002
	روز تا گلدهی DF	0.44	0.490		روز تا گلدهی DF	0.61	0.399
	روز تا رسیدگی DM	0.60	0.759		روز تا رسیدگی DM	1.04	0.589
	قطر طبق HD	0.24	0.774		قطر طبق HD	0.69	2.285
	محتوای نسبی آب برگ RWC	-0.18	-0.376		محتوای نسبی آب برگ RWC	-	
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.07	0.053		محتوای روغن دانه Kernel oil content	-0.05	-0.023
	عملکرد دانه Yield	-	-		عملکرد دانه Yield	1.09	0.871

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
طول دمبرگ PL	ارتفاع بوته PH	0.21	0.348	طول دمبرگ PL	ارتفاع بوته PH	0.049	0.474
	تعداد برگ LN	0.063	0.144		تعداد برگ LN	0.10	0.130
	طول برگ LL	0.27	0.532		طول برگ LL	0.46	0.543
	عرض برگ LW	0.131	0.298		عرض برگ LW	0.38	0.529
	قطر ساقه SD	0.50	0.750		قطر ساقه SD	0.42	0.507
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.29	2.796		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-0.06	-0.09
	روز تا گلدهی DF	1.18	0.590		روزتا گلدهی DF	0.35	0.382
	روز تا رسیدگی DM	0.34	0.822		روز تا رسیدگی DM	0.47	0.454
	قطر طبق HD	0.43	0.327		قطر طبق HD	0.40	2.235
	محتوای نسبی آب برگ RWC محتوای	0.07	-0.450		محتوای نسبی آب برگ RWC محتوای	-	-
	روغن دانه Kernel oil content	-0.15	-0.135		روغن دانه Kernel oil content	0.29	0.213
	عملکرد دانه Kernel yield	-0.12	-		عملکرد دانه Kernel yield	0.45	0.608
قطر ساقه SD	ارتفاع بوته PH	0.77	0.244	قطر ساقه SD	ارتفاع بوته PH	0.30	0.501
	تعداد برگ LN	0.88	0.173		تعداد بر گ LN	0.16	0.354
	طول برگ LL	0.005	0.667		طول برگ LL	0.36	0.734
	عرض برگ LW	-0.035	0.792		عرض برگ LW	0.35	0.847

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
	طول دمبرگ PL	0.64	0.750		طول دمبرگ PL	0.22	0.507
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.60	3.303		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-0.06	-0.144
	روز تا گلدهی DF	0.62	0.337		روز تا گلدهی DF	0.13	0.256
	روز تا رسیدگی DM	0.65	0.561		روز تا رسیدگی DM	-	0.383
	قطر طبق HD	-0.34	1.234		قطر طبق HD	0.21	2.009
	محتوای نسبی آب برگ RWC	0.080	-0.392		محتوای نسبی آب برگ RWC	-	-
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	-0.38	0.147		محتوای روغن دانه Kernel oil content	-0.069	-0.089
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	-0.28	0.651
سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	ارتفاع بوته PH	1.404	2.760	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	ارتفاع بوته PH	0.12	0.042
	تعداد برگ LN	1.030	4.367		تعداد برگ LN	0.53	0.271
	طول برگ LL	0.93	0.025		طول برگ LL	-0.23	-0.104
	عرض برگ LW	0.84	–0.185		عرض برگ LW	-0.003	-0.002
	طول دمبرگ PL	1.22	2.796		طول دمبرگ PL	-0.17	-0.09
	قطر ساقه SD	0.55	3.303		قطر ساقه SD	-0.30	-0.144
	روز تا گلدهی DF	3.98	2.260		روز تا گلدهی DF	0.29	0.127
	روز تا رسیدگی DM	3.99	2.705		روز تا رسیدگی DM	0.22	0.083

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
	قطر طبق HD	2.048	-3.577		قطر طبق HD	0.101	0.225
	محتوای نسبی آب برگ RWC محتوای	0.11	0.541		محتوای نسبی آب برگ RWC محتوای	-	-
	روغن دانه Kernel oil content	-0.87	-0.887		روغن دانه Kernel oil content	-0.10	-0.029
	عملکرد دانه Kernel yield	-0.36	-		عملکرد دانه Kernel yield	0.67	0.358
روز تا گلدهی DF	ارتفاع بوته PH	1.74	0.555	روز تا گلدهی DF	ارتفاع بوته PH	1.85	0.407
	تعداد برگ LN	1.13	0.562		تعداد برگ LN	1.06	0.248
	طول برگ LL	1.29	0.445		طول برگ LL	1.67	0.437
	عرض برگ LW	1.41	0.490		عرض برگ LW	1.32	0.399
	طول دمبرگ PL	1.86	0.590		طول دمبرگ PL	1.05	0.382
	قطر ساقه SD	1.0003	0.337		قطر ساقه SD	0.99	0.256
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	5.22	2.260		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.18	0.127
	روز تا رسیدگی DM	2.55	0.945		روز تا رسیدگی DM	2.58	0.911
	قطر طبق HD	0.28	0.124		قطر طبق HD	0.97	1.644
	محتوای نسبی آب برگ RWC محتوای	-1.04	-0.646		محتوای نسبی آب برگ RWC محتوای	-	-
	روغن دانه Kernel oil content	-0.13	-0.095		روغن دانه Kernel oil content	-0.06	0.068
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	1.06	0.472

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
روز تا رسیدگی DM	ارتفاع بوته PH	-1.45	0.629	روز تا رسیدگی DM	ارتفاع بوته PH	2.63	0.575
	تعداد برگ LN	-0.87	0.567		تعداد برگ LN	1.50	0.442
	طول برگ LL	-2.31	0.563		طول برگ LL	2.37	0.628
	عرض برگ LW	-0.77	0.759		عرض برگ LW	1.87	0.589
	طول دمبرگ PL	-1.12	0.822		طول دمبرگ PL	1.50	0.454
	قطر ساقه SD	-0.77	0.561		قطر ساقه SD	1.40	0.383
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	1.15	2.705		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.26	0.083
	روز تا گلدهی DF	-1.92	0.945		روز تا گلدهی DF	3.66	0.911
	قطر طبق HD	-1.84	0.301		قطر طبق HD	1.37	1.734
	محتوای نسبی آب برگ RWC	-1.33	-0.708		محتوای نسبی آب برگ RWC	-	-
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.24	-0.030		محتوای روغن دانه Kernel oil content	-0.090	-0.015
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	1.50	0.457
قطر طبق HD	ارتفاع	0.039	0.083	قطر طبق HD	ارتفاع	0.78	1.897
	تعداد برگ LN	0.13	0.373		تعداد برگ LN	0.62	2.047
	طول برگ LL	0.19	0.476		طول برگ LL	0.76	2.257
	عرض برگ LW	0.25	0.774		عرض برگ LW	0.65	2.285

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
	طول دمبرگ PL	0.13	0.327		طول دمبرگ PL	0.66	2.235
	قطر ساقه SD	0.38	1.234		قطر ساقه SD	0.66	2.009
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-1.18	-3.577		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.064	0.225
	روز تا گلدهی DF	0.057	0.124		روز تا گلدهی DF	0.59	1.644
	روز تا رسیدگی DM	0.121	0.301		روز تا رسیدگی DM	0.72	1.734
	محتوای نسبی آب برگ RWC	-0.32	-1.280		محتوای نسبی آب برگ RWC	-	–
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.104	0.147		محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.40	0.731
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	0.88	2.992
محتوای نسبی آب برگ RWC	ارتفاع بوته PH	-1.45	-0.471	محتوای نسبی آب برگ RWC	ارتفاع بوته PH	–	–
	تعداد برگ LN	-0.87	-0.394		تعداد برگ LN	–	–
	طول برگ LL	-2.31	-0.920		طول برگ LL	–	–
	عرض برگ LW	-0.77	-0.376		عرض برگ LW	–	–
	طول دمبرگ PL	-1.20	-0.450		طول دمبرگ PL	–	–
	قطر ساقه SD	-0.77	-0.392		قطر ساقه SD	–	–

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	1.15	0.541		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	–	–
	روز تا گلدهی DF	-1.92	-0.646		روز تا گلدهی DF	–	–
	روز تا رسیدگی DM	-1.84	-0.708		روز تا رسیدگی DM	–	–
	قطر طبق HD	-1.33	-1.280		قطر طبق HD	–	–
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.24	0.147		محتوای روغن دانه Kernel oil content	–	–
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	–	–
محتوای روغن دانه Kernel oil content	ارتفاع بوته PH	0.54	0.153	محتوای روغن دانه Kernel oil content	ارتفاع بوته PH	0.69	0.186
	تعداد برگ LN	0.99	0.385		تعدا برگ LN	0.36	0.130
	طول برگ LL	0.28	0.097		طول برگ LL	0.62	0.202
	عرض برگ LW	0.13	0.053		عرض برگ LW	0.62	-0.023
	طول دمبرگ PL	-0.39	-0.135		طول دمبرگ PL	-0.06	0.213
	قطر ساقه SD	0.33	0.147		قطر ساقه SD	-0.26	-0.089
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-2.18	-0.887		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-0.08	-0.029
	روز تا گلدهی DF	-0.33	-0.095		روز تا گلدهی DF	0.22	0.068

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

تنش خشکی Drought stress conditions				نرمال Normal conditions			
Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation	Y	X	پاسخ همبسته Correlated response	همبستگی ژنتیکی Genetic correlation
عملکرد دانه Kernel yield	روز تا رسیدگی DM	-0.09	-0.030	عملکرد دانه Kernel yield	روز تا رسیدگی DM	-0.056	-0.015
	قطر طبق HD	0.177	0.147		قطر طبق HD	0.47	0.731
	محتوای نسبی آب برگ RWC	0.10	0.052		محتوای نسبی آب برگ RWC	-	-
	عملکرد دانه Kernel yield	-	-		عملکرد دانه Kernel yield	0.50	0.187
	ارتفاع بوته PH	-1.48	-		ارتفاع بوته PH	6.24	0.445
	تعداد برگ LN	-0.60	-		تعداد برگ LN	3.60	0.346
	طول برگ LL	-0.47	-		طول برگ LL	6.50	0.561
	عرض برگ LW	-0.31	-		عرض برگ LW	8.50	0.871
	طول دمبرگ PL	-0.25	-		طول دمبرگ PL	6.15	0.608
	قطر ساقه SD	-0.09	-		قطر ساقه SD	7.30	0.651
	سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	-5.94	-		سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	3.46	0.358
	روز تا گلدهی DF	-1.24	-		روز تا گلدهی DF	5.81	0.472
	روز تا رسیدگی DM	-1.18	-		روز تا رسیدگی DM	6.46	0.457
	قطر طبق HD	-0.08	-		قطر طبق HD	7.25	2.99
	محتوای نسبی آب برگ RWC	-0.51	-		محتوای نسبی آب برگ RWC	–	–
	محتوای روغن دانه Kernel oil content	0.27	-		محتوای روغن دانه Kernel oil content	3.45	0.187

ارتفاع بوته (PH, cm)، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL, cm)، عرض برگ (LW, cm)، طول دمبرگ (PL, cm)، قطر ساقه (SD, cm)، سبزینگی (عدد اسپد)، روز تا گلدهی (DF, day)، روز تا رسیدگی (DM, day)، قطر طبق (HD, cm)، محتوای نسبی آب برگ (RWC, %)، محتوای روغن دانه (Kernel oil content, %) و عملکرد دانه (Kernel yield, gr)

Plant height (PH, cm), Number of leaves (LN), Leaf length (LL, cm), Leaf width (LW, cm), Petiole length (PL, cm), Stem diameter (SD, cm), Greenness (SPAD value), Days to flowering (DF, day), Days to maturity (DM, day), Head diameter (HD, cm), Relative water content (RWC, %), Kernel oil content (%), and Kernel yield (gr)

تحت شرایط نرمال بیشترین کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم برای عملکرد از طریق صفات قطر طبق، قطر ساقه، طول دمبرگ و عرض برگ مشاهده شد (جدول ٦). در این شرایط (نرمال) بیشترین مقدار پاسخ مستقیم به گزینش در صفات ارتفاع بوته، عملکرد، محتوای روغن دانه، روز تا رسیدگی و روز تا گلدهی مشاهده شد (جدول ٤). تحت شرایط تنش خشکی بیشترین کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم برای عملکرد از طریق صفت محتوای روغن دانه مشاهده شد (جدول ٦). در این شرایط (تنش خشکی) بیشترین پاسخ مستقیم به گزینش در صفات ارتفاع بوته، محتوای روغن دانه، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (جدول ٤). پاسخ همبسته برای عملکرد از طریق صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، قطر ساقه، سبزینگی (عدد اسپد)، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، قطر طبق و محتوای روغن دانه در شرایط نرمال بیش از تنش خشکی بود. در شرایط نرمال بالاترین پاسخ همبسته برای عملکرد با صفت عرض برگ و در رتبه‌های بعدی با قطر ساقه و قطر طبق مشاهده شد، یعنی با افزایش عرض برگ، قطر ساقه و قطر طبق عملکرد دانه افزایش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی بالاترین پاسخ همبسته مثبت برای عملکرد از طریق صفات محتوای روغن دانه و کمترین پاسخ همبسته منفی با قطر ساقه و قطر طبق مشاهده شد. بیشترین پاسخ همبسته منفی عملکرد با صفات سبزینگی (عدد اسپد)، ارتفاع بوته، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و تعداد برگ مشاهده شد؛ بنابراین تحت شرایط تنش با کاهش صفات محتوای سبزینگی (عدد اسپد)، ارتفاع بوته، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و تعداد برگ عملکرد دانه افزایش می‌یابد. در شرایط نرمال صفت قطر ساقه با ارتفاع بوته، طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، قطر طبق و عملکرد و در شرایط تنش خشکی با صفات طول برگ، عرض برگ، طول دمبرگ، سبزینگی (عدد اسپد)، روز تا رسیدگی و قطر طبق همبستگی ژنتیکی بالا نشان داد. صفت قطر طبق در شرایط نرمال با غالب صفات و تحت شرایط تنش خشکی با صفت عرض برگ، طول برگ و قطر ساقه همبستگی مثبت و بالا و با سبزینگی (عدد اسپد) و محتوای نسبی آب برگ همبستگی منفی نشان داد. صفت قطر طبق و قطر ساقه، تحت هر دو شرایط با عرض برگ و طول برگ همبستگی نشان دادند؛ بنابراین همان‌طور که در بالا نیز ذکر شد با توجه به کارایی بالای انتخاب مستقیم برای طول برگ و کارایی بالای انتخاب غیرمستقیم برای قطر طبق و به‌دلیل همبستگی مثبت بالای مشاهده شده تحت هر دو شرایط آبیاری، بین صفات عرض برگ، طول برگ با قطر طبق و قطر ساقه می‌توان با انتخاب برای عرض برگ و طول برگ بالا موجبات بهبود در صفات قطر طبق و قطر ساقه شد. از آنجا که دو صفت قطر طبق و قطر ساقه از اجزای مهم عملکرد هستند، با افزایش در آن‌ها می‌توان انتظار افزایش عملکرد را داشت (Akbari and Darvishzadeh, 2023)، یعنی با انتخاب برای صفات عرض برگ، طول برگ به‌طور غیرمستقیم از طریق قطر طبق و قطر ساقه امکان انتخاب و بهبود برای صفت عملکرد فراهم می‌شود.

انتخاب شاخص: تحت شرایط نرمال، در شاخص اسمیت–هیزل بالاترین ضریب مثبت در صفات عرض برگ (٣/٩٣٤)، قطر ساقه (٣/٦٥٣)، روز تا رسیدگی (٢/٨١٣) و محتوای روغن دانه (٢/١٦٤) و بالاترین ضریب منفی در صفات طول برگ (٤/٣٣٨–) و طول دمبرگ (١/٠٠٨–) مشاهده شد (جدول ٧). در شاخص پسک–بیکر بالاترین ضریب مثبت در صفات عرض برگ (١٠/٧٣٤)، روز تا گلدهی (٧/٦٠١)، طول دمبرگ (٦/٠٨٤) و بالاترین ضریب منفی در صفات قطر ساقه (١١/٠٩٥–) و روز تا رسیدگی (٨/٠٠١–) مشاهده شد. در شاخص رابینسون بالاترین ضریب مثبت در عرض برگ (٣/٩٥٢) و بالاترین ضریب منفی در صفت طول برگ (٣/٦٦٧–) مشاهده شد (جدول ٧). صفت عرض برگ در هر سه شاخص بالاترین ضریب مثبت و طول برگ در دو شاخص (اسمیت– هیزل و رابینسون) بالاترین ضریب منفی را داشتند. در شرایط تنش خشکی بالاترین ضریب مثبت در شاخص اسمیت – هیزل در صفات قطر ساقه (١٤/١٠٥) و عرض برگ (٣/٦٩٢) و بالاترین ضریب منفی در صفات طول برگ (٥/٤٦١–) و عملکرد (١/٤٠٨–) مشاهده شد. در شاخص پسک–بیکر بالاترین ضریب مثبت در صفات قطر ساقه

(۳/۹۶۶) و قطر طبق (۳/۵۰۵) و بالاترین ضریب منفی در دو صفت عرض برگ (۳/۳۲۹–) و عملکرد (۲/۸۲۸–) مشاهده شد. در شاخص رابینسون بالاترین ضریب مثبت در صفت قطر ساقه (۱/۹۴۱) و بالاترین ضریب منفی در صفت طول برگ (۰/۴۵۸–) مشاهده شد. صفت قطر ساقه در هر سه شاخص بالاترین ضریب مثبت و طول برگ در دو شاخص اسمیت– هیزل و رابینسون بالاترین ضریب منفی را داشت (جدول ۷).

شاخص برتر، شاخصی است که کارایی انتخاب بالا داشته باشد (Tahmasbali *et al*., 2021; Tahmasebi *et al*., 2022). نتایج بررسی پاسخ صفات به انتخاب بر پایه معیار بازدهی مورد انتظار (پیشرفت ژنتیکی برای هر صفت از طریق شاخص) (ΔG) و ارزیابی کارایی انتخاب به‌واسطه شاخص (بهره مورد انتظار برای شاخص) (ΔH) در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی در جدول ۸ ارائه شده است. تحت شرایط نرمال، در کل شاخص‌ها صفت عملکرد بین تمام صفات از بالاترین بازدهی مورد انتظار برخوردار بود. تحت شرایط تنش خشکی، صفت ارتفاع بوته در سه شاخص اسمیت– هیزل، بریم و پسک–بیکر و صفت عملکرد بر اساس شاخص رابینسون بالاترین بازدهی مورد انتظار را در بین صفات نشان دادند. پیشرفت ژنتیکی برای هر صفت از طریق شاخص (ΔG) در دو شاخص اسمیت– هیزل و بریم به‌جز دو صفت محتوای روغن دانه و سبزینگی (عدد اسپد) در بقیه صفات در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال پایین بود. (جدول ۸). همچنین پیشرفت ژنتیکی از طریق شاخص (ΔG) برای صفت محتوای نسبی آب برگ در شاخص اسمیت–هیزل در شرایط تنش خشکی بالا بود. بهره مورد انتظار برای شاخص (ΔH) برای همه شاخص‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به نرمال پایین‌تر بود. با در نظر گرفتن دو معیار پیشرفت ژنتیکی برای هر صفت از طریق شاخص (ΔG) و بهره مورد انتظار برای شاخص (ΔH) (جدول ۸) تحت شرایط نرمال و تنش خشکی، دو شاخص بریم و اسمیت– هیزل مطلوب ارزیابی شدند. در شرایط نرمال شاخص بریم بر شاخص اسمیت– هیزل و برعکس در شرایط تنش خشکی شاخص اسمیت– هیزل بر شاخص بریم برتری داشت. در مطالعات متعددی شاخص اسمیت– هیزل شاخص مطلوب معرفی شده است (Ahmadpour *et al*., 2018; Khavari Khorasani and Mahdi Poor, 2018; Crispim-Filho *et al*., 2020).

جدول ٦– کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم نسبت به انتخاب مستقیم برای عملکرد در آفتابگردان دانه‌روغنی تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 6. Relative efficiency of indirect selection compared to direct selection for Kernel yield through investigated traits in oilseed sunflower under normal and drought stress conditions

شرایط Conditions	PH	LN	LL	LW	PL	SD	Greenness (SPAD value)	DF	DM	HD	RWC	Kernel oil content
نرمال Normal	0.5	2.3	4.3	7	8.2	15.5	1.9	2.1	1.4	102.1	-	0.7
تنش خشکی Drought stress	-0.18	-0.50	-0.51	-0.51	-0.51	-0.50	-3.95	-0.51	-3.46	-0.5	-0.32	0.051

ارتفاع بوته (PH, cm)؛ تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL, cm)؛ عرض برگ (LW, cm)؛ طول دمبرگ (PL, cm)؛ قطر ساقه (SD, cm)؛ سبزینگی (SPAD value)؛ روز تا گلدهی (DF, day)؛ روز تا رسیدگی (DM, day)؛ قطر طبق (HD, cm)؛ محتوای نسبی آب برگ (RWC %)؛ محتوای روغن دانه (Kernel oil content, %) و عملکرد دانه (Kernel Yield, gr)

Plant height (PH, cm); Number of leaves (LN); Leaf length (LL, cm); Leaf width (LW, cm); Petiole length (PL, cm); Stem diameter (SD, cm); Greenness (SPAD value); Days to flowering (DF, day); Days to maturity (DM, day); Head diameter (HD, cm); Relative water content (RWC, %); Kernel oil content (%), and Kernel yield (gr)

جدول ۷- ضرایب هر یک از صفات مورد ارزیابی در شاخص انتخاب در شرایط نرمال و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه‌روغنی

Table 7. Coefficients of each of the examined traits in the selection indices in normal and drought stress conditions in oilseed sunflower genotypes

صفت Characters	شرایط نرمال Normal conditions				شرایط تنش خشکی Drought stress conditions			
	شاخص اسمیت-هیزل Smith-Hazel index	شاخص پسک-بیکر Pesek-Baker index	شاخص رابینسون Robinson index	شاخص بریم Brim index	شاخص اسمیت-هیزل Smith-Hazel index	شاخص پسک-بیکر Pesek-Baker index	شاخص رابینسون Robinson index	شاخص بریم Brim index
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	0.620	-0.087	-0.053	1	0.670	-0.553	−0.084	1
تعداد برگ Number of leaf	1.377	3.156	0.434	1	-0.352	-1.054	0.002	1
طول برگ (سانتی‌متر) Leaf length (cm)	-4.338	-0.789	-3.667	1	-5.461	-0.767	-0.458	1
عرض برگ (سانتی‌متر) Leaf weight (cm)	3.934	10.734	3.952	1	3.692	-3.329	0.123	1
طول دمبرگ (سانتی‌متر) Petiole length (cm)	-1.008	6.084	0.258	1	0.020	-1.123	0.245	1
قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)	3.653	-11.095	0.845	1	14.105	3.966	1.941	1
سبزینگی (عدد اسپد) Greenness (SPAD value)	0.111	-0.129	0.281	1	0.616	0.538	-0.153	1
روز تا گلدهی (روز) Day to flowering (day)	-0.420	7.601	0.463	1	0.650	-1.147	-0.205	1
روز تا رسیدگی (روز) Day to maturity (day)	2.813	-8.001	0.529	1	0.301	1.646	-0.100	1
قطر طبق (سانتی‌متر) Head diameter (cm)	-0.315	-0.780	0.227	1	1.864	3.505	-0.059	1
محتوای نسبی آب برگ (درصد) RWC (%)	-0.594	-3.400	0.256	1	-0.603	-0.718	-0.163	1
محتوای روغن دانه (درصد) Kernel oil content (%)	2.164	-0.502	0.745	1	1.389	0.518	-0.028	1
عملکرد (گرم) Kernel yield (gr)	0.659	-0.487	0.318	1	-1.408	-2.828	-0.014	1

تحت شرایط نرمال، از میان ۲۵ ژنوتیپ برتر انتخابی از نظر عملکرد، ۱۵ ژنوتیپ از نظر شاخص رابینسون، ۱۵ ژنوتیپ از نظر شاخص پسک-بیکر، ٦ ژنوتیپ از نظر شاخص بریم و ١٦ ژنوتیپ از نظر شاخص اسمیت- هیزل برتر بودند (جدول ۹). سه ژنوتیپ ENSAT-254، SF092 و ENSAT-270 که از نظر شاخص اسمیت- هیزل برتر بودند، به‌ترتیب رتبه یک، هشت و ۳۹ را از نظر عملکرد داشتند (جدول ۹). سه ژنوتیپ ENSAT-254، SDR19 و B454/03 که از نظر شاخص بریم برتر معرفی شدند، به‌ترتیب رتبه یک، چهار و دو را از نظر عملکرد داشتند (جدول ۹). از نظر شاخص پسک-بیکر سه ژنوتیپ NSF-1A4R5، NS-R5 و 1009370-3(100K) ژنوتیپ برتر ارزیابی شدند. این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد به‌ترتیب در رتبه ٣٦، ١٦ و ٨٨ قرار داشتند (جدول ۹). از نظر شاخص رابینسون سه ژنوتیپ برتر ENSAT-254، SF092 و B454/03 بودند. این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد به‌ترتیب دارای رتبه یک، هشت و دو بودند (جدول ۹). در مجموع بر اساس نتایج حاصل در شرایط نرمال دو شاخص بریم و اسمیت- هیزل شاخص‌های مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر هستند و بر این اساس ژنوتیپ ENSAT-254 رتبه اول را احتساب می‌نماید که از نظر عملکرد نیز رتبه ۱ را دارد.

تحت شرایط تنش خشکی، از میان ۲۵ ژنوتیپ برتر انتخابی از نظر عملکرد، سه ژنوتیپ از نظر شاخص رابینسون، ۱۰ ژنوتیپ از نظر شاخص پسک-بیکر، دو ژنوتیپ از نظر شاخص بریم و یک ژنوتیپ از نظر شاخص اسمیت- هیزل برتر ارزیابی شدند (جدول ۱۰). سه ژنوتیپ برتر از نظر شاخص اسمیت- هیزل؛ ENSAT-254، LP-SCYB و 12AASB3 به‌ترتیب رتبه ٤٢، ۹۱ و ۸۳ را از نظر عملکرد داشتند. سه ژنوتیپ ENSAT-254، ENSAT-699 و SDB1 برتر از نظر شاخص بریم به‌ترتیب رتبه ٤٢، ١٢ و ۹ از نظر عملکرد به خود اختصاص دادند. از نظر شاخص پسک-بیکر سه ژنوتیپ برتر PAC2، 1009329.2(100K) و H250A/83HR4 به‌ترتیب رتبه ۹۹، ۹۵ و ٨٤ را از نظر عملکرد دارا بودند. از نظر شاخص رابینسون سه ژنوتیپ برتر H209A/83HR4، H100A/LC1064 و B-FIPOPB از نظر عملکرد به‌ترتیب در رتبه ۷۸، ۲۱ و ٣٤ قرار داشتند. در مجموع بر اساس نتایج حاصل در شرایط تنش خشکی دو شاخص بریم و رابینسون شاخص‌های مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر هستند. بر اساس این دو شاخص ژنوتیپ ENSAT-254 که حائز رتبه اول گردید، در رتبه ٤٢ از نظر عملکرد قرار داشت.

در مجموع هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی، ژنوتیپ ENSAT-254 از نظر عملکرد و ٤ شاخص مورد بررسی جزو ۲۵ درصد ژنوتیپ برتر بود. با توجه به نتایج دو معیار بازدهیِ مورد انتظار برای هر صفت از طریق شاخص (ΔG) و بهره مورد انتظار برای هر شاخص (ΔH)، همچنین مشاهده ضریب مثبت بالا برای صفت عرض برگ در شاخص اسمیت- هیزل تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی و پاسخ همبسته بالای این صفت با عملکرد و هم-گرایی بالا بین شاخص بریم و اسمیت-هیزل با انتخاب بر اساس عملکرد دانه، دو شاخص بریم و اسمیت-هیزل شاخص برتر محسوب می‌شوند. شاخصی که هم در شرایط نرمال و هم در شرایط تنش بیشترین همبستگی با عملکرد گیاه داشته باشد، مطلوب معرفی می‌شود (Hashemzehi *et al.*, 2013). هدف از معرفی شاخص و شناسایی بهترین شاخص استفاده از آن جهت انتخاب با کارایی بالاست که در نهایت منتهی به انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا گردد، این امر تنها در صورت وجود همبستگی بالای شاخص با عملکرد مقدور خواهد بود. بالا بودن سود نسبی شاخص در مقایسه با گزینش مستقیم تحت شرایط نرمال با شاخص رابینسون و در شرایط تنش خشکی در دو شاخص رابینسون و پسک-بیکر در مقایسه با شاخص اسمیت-هیزل و بریم که شاخص برتر و مطلوب معرفی شدند، نشان از روابط همبستگی بالا بین صفات و وراثت‌پذیری بالای ویژگی‌های ثانویه در مقایسه با ویژگی اصلی دارد (Falconer and Mackay, 1996).

جدول ۸- کارایی انتخاب از طریق شاخص ΔH و پاسخ صفات به گزینش از طریق شاخص ΔG در شرایط نرمال و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه‌روغنی

Table 8. Efficiency of selection through index (ΔH) and response of traits to selection through index (ΔG) in normal and drought stress conditions in oilseed sunflower genotypes

شرایط Conditions	شاخص Indx	ΔG													ΔH
		PH	LN	LL	LW	PL	SD	Greenness (SPAD value)	DF	DM	HD	RWC	Kernel oil content	Kernel yield	
نرمال	S-H	15.261	1.857	1.781	1.929	0.833	0.483	0.814	3.108	4.991	1.517	-1.488	1.696	15.480	42.715
Normal	B	13.692	1.468	1.695	1.867	0.843	0.487	0.801	2.508	4.004	1.473	-1.068	1.312	15.758	44.841
	PB	0.759	0.138	0.114	0.121	0.070	0.037	0.172	0.187	0.245	0.115	0.254	0.186	0.909	-0.034
	R	8.481	1.269	1.190	1.612	0.703	0.417	1.117	2.409	3.326	1.315	-0.764	1.032	18.429	0.0409
تنش خشکی	S-H	11.573	1.480	0.636	0.740	0.422	0.283	1.577	2.680	3.714	0.526	-0.955	2.491	-1.316	25.997
Drought stress	B	7.101	1.223	0.392	0.378	0.333	0.159	1.070	1.745	2.187	0.004	-1.856	1.327	-2.098	11.966
	PB	0.846	0.212	0.127	0.121	0.067	0.037	0.252	0.240	0.298	0.11	0.448	0.287	0.576	-0.309
	R	-7.993	-1.401	-0.112	-0.138	-0.210	-0.027	-1.169	-2.062	-2.013	0.512	1.633	-0.428	3.022	0.0130

تیمار: نرمال (N)؛ تنش خشکی (D)؛ شاخص‌ها: اسمیت – هیزل (S-H)؛ بریم (Bi)؛ رابینسون (R)؛ پسک – بیکر (PB)؛ صفات: ارتفاع بوته (PH, cm)؛ تعداد برگ (LN)؛ طول برگ (LL, cm)؛ عرض برگ (LW, cm)؛ طول دمبرگ (PL, cm)؛ قطر ساقه (SD, cm)؛ سبزینگی (عدد اسپد)؛ روز تا گلدهی (DF, day)؛ روز تا رسیدگی (DM, day)؛ قطر طبق (HD, cm)؛ محتوای نسبی آب (RWC, %)؛ محتوای روغن دانه (Kernel oil content, %) و عملکرد (Kernel yield, gr)

Treatment: Normal (N); Drought stress (D); Seletion indices: Smith-Hazel (S-H); Brim (Bi); Robinson (R); Pasek Baker (PB); Characters: Plant height (PH, cm); Number of leaves (LN); Leaf length (LL, cm); Leaf width (LW, cm); Petiole length (PL, cm); Stem diameter (SD, cm); Greenness (SPAD value); Days to flowering (DF, day); Days to maturity (DM, day); Head diameter (HD, cm); Relative water content (RWC, %); Kernel oil content (%), and Kernel yield (gr)

جدول ۹- مقادیر عملکرد، شاخص‌های انتخاب و سایر پارامترهای وابسته در ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت شرایط نرمال

Table 9. The value of yield, selection indices and other parameters in oilseed sunflower genotypes under normal conditions

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	شاخص اسمیت–هیزل Smith-Hazel index	رتبه Rank	شاخص بریم Brim index	رتبه Rank	شاخص پست بیکر Pesek-Baker index	رتبه Rank	شاخص رابینسون Robinson index	رتبه Rank	عملکرد دانه Kernel yield	رتبه Rank
1	H100A/83HR4	434.777	59	540.807	74	-403.28	46	170.669	70	44.49	41
2	H209A/LC1064	466.477	11	587.225	29	-391.55	28	181.886	23	52.87	22
3	H205A/H543R	422.82	79	535.915	79	-419.83	68	170.763	67	27.31	78
4	AS5306	470.158	9	589.499	25	-369.74	12	179.076	35	54.77	17
5	RHA858	462.507	17	599.315	14	-402.38	44	179.812	32	53.92	19
6	H209A/83HR4	423.808	75	538.092	75	-429.45	79	171.165	66	35.22	61
7	As3211	453.347	29	617.864	7	-420.21	69	173.498	53	47.66	34
8	ENSAT-254	576.224	1	724.309	1	-508.78	100	214.867	1	98.63	1
9	AS5304	447.607	39	566.198	45	-426.21	73	182.444	21	43.38	44
10	1009329/2 (100K)	424.933	72	531.543	82	-384.43	22	170.639	71	27.98	75
11	ENSAT-270	505.542	3	622.68	6	-474.47	98	183.286	20	45.51	39
12	AS613	437.82	53	557.9	56	-424.25	72	181.477	26	48.09	33
13	A-FLPOPA	461.934	18	584.704	31	-357.59	8	179.727	33	39.37	51
14	OES	463.727	14	566.843	43	-385.02	23	180.689	29	50.08	29

ادامه جدول ۹

Table 9. Continued

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	شاخص اسمیت- هیزل Smith-Hazel index	رتبه Rank	شاخص بریم Brim index	رتبه Rank	شاخص پست بیکر Pesek-Baker index	رتبه Rank	شاخص رابینسون Robinson index	رتبه Rank	عملکرد دانه Kernel yield	رتبه Rank
15	H100A/LC1064	429.556	63	543.677	68	-406.05	48	173.979	51	47.32	35
16	RHA266	436.115	57	579.616	34	-436.65	87	173.471	54	34.13	62
17	PAC2	404.639	96	513.154	96	-427.78	75	153.154	99	17.15	96
18	H157/LC1064	453.167	30	598.833	15	-397.94	39	184.44	17	52.81	23
19	55DES20QR	452.977	31	569.156	39	-426.31	74	178.732	36	40.44	50
20	15038	444.405	45	558.849	55	-386.61	24	177.899	40	19.14	94
21	1009337(100K)	427.457	69	530.432	85	-374.59	17	169.85	74	13.76	99
22	AS3232	483.364	6	614.385	8	-398.01	40	192.114	6	62.69	12
23	12AASB3	436.797	56	578.397	36	-428.29	77	172.047	59	28.62	73
24	8ASB2	445.244	42	579.136	35	-462.09	96	190.54	9	85.82	3
25	9CSA3	423.217	76	514.857	94	-382.43	21	161.396	97	17.90	95
26	H049+FSB	456.367	26	611.541	10	-339.48	4	197.745	4	64.70	10
27	SSD-580	449.785	36	556.092	60	-397.46	38	177.418	43	42.32	48
28	AS-F1/A2*R5AS-5F1/A2*R2	427.972	68	552.077	63	-461.31	95	171.792	61	37.96	55
29	7CR1=PRH6	422.514	80	537.273	77	-415.43	60	172.798	56	42.81	47
30	ENSAT-699	463.074	16	596.021	17	-415.98	62	182.202	22	48.39	31
31	SSD-581	450.049	34	562.013	50	-369.6	11	177.36	44	46.14	37
32	TMB-51	440.171	49	568.202	40	-399.19	41	175.646	46	36.92	58
33	12*11 Iran	449.802	35	589.974	24	-409.86	53	180.255	31	61.39	14
34	Iran 110	444.024	46	591.443	22	-495.96	99	188.744	12	63.66	11
35	H603R	414.94	84	530.492	84	-372.19	14	166.655	83	26.58	83
36	Iran 4	437.754	54	542.335	70	-386.62	25	167.423	80	27.16	79
37	703-CHLORINA	429.152	66	533.88	81	-449.93	94	165.317	85	24.75	85
38	NSF1-A4R5	438.548	51	588.895	28	-299.59	1	173.421	55	47.04	36
39	Iran 28	433.277	60	554.871	61	-439.06	88	172.616	57	50.16	28
40	Iran 30	459.512	22	591.887	21	-415.43	61	170.405	73	48.25	32
41	F1250/03	476.408	7	628.669	5	-414.76	58	189.116	11	76.68	5
42	SDR18	402.023	97	506.58	98	-444.98	93	161.789	95	17.03	97
43	LP-SCYB	465.645	12	591.895	20	-440.37	90	181.646	24	61.68	13
44	803-1	451.878	33	565.932	46	-367.23	10	170.723	69	32.40	67
45	1009370-1(100K)	446.717	40	580.817	33	-403.8	47	175.484	47	54.72	18
46	CSWW2S	438.548	52	561.797	52	-395.02	34	165.291	86	31.72	69
47	1009370-3(100K)	461.122	20	575.879	37	-338.78	3	189.636	10	24.03	88
48	H158A/H543R	460.827	21	597.729	16	-380.89	20	190.896	8	66.01	7
49	H100A	463.738	13	613.879	9	-391.9	29	186.924	15	73.75	6
50	15031	418.474	82	540.83	73	-354.56	6	161.61	96	19.38	93
51	H250A/83HR4	446.322	41	561.923	51	-429.86	80	186.313	16	57.65	15
52	RHA265	414.512	86	530.38	86	-409.86	54	164.122	89	35.81	60
53	PM1-3	444.011	47	567.748	41	-347.51	5	170.761	68	24.70	86
54	RT948	439.606	50	559.436	54	-392	30	167.957	79	29.74	72
55	ENSAT-283	429.517	64	556.569	58	-372.49	15	177.865	41	42.88	45
56	QHP-1	429.259	65	556.118	59	-443.85	92	176.348	45	45.25	40
57	SDR19	491.443	4	657.251	2	-389.99	27	192.437	5	85.58	4
58	HA337B	458.82	24	599.496	13	-411.03	56	187.509	14	51.76	26
59	H100B	381.66	100	473.771	100	-428.69	78	151.598	100	12.66	100
60	B454/03	488.083	5	646.445	3	-356.34	7	198.892	3	90.65	2
61	HA304	448.832	37	586.632	30	-410.75	55	179.653	34	43.54	43
62	RT931	456.112	27	594.389	19	-377.31	18	177.606	42	52.37	24
63	HA335B	424.875	73	567.509	42	-430.93	83	168.531	76	42.88	46
64	NS-B5	409.229	93	511.219	97	-423.57	70	162.557	92	28.59	74
65	SDB3	414.618	85	515.653	92	-428.09	76	165.006	88	20.19	92
66	LC1064C	475.573	8	589.422	26	-373.81	16	172.192	58	24.68	87
67	NS-R5	455.529	28	589.179	27	-318.68	2	187.533	13	57.47	16
68	DM-2	461.683	19	590.817	23	-379.07	19	183.794	18	65.30	9
69	H156A/RHA274	424.134	74	541.842	71	-392.29	31	162.416	93	23.04	89

ادامه جدول ۹

Table 9. Continued

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	شاخص اسمیت–هیزل Smith-Hazel index	رتبه Rank	شاخص بریم Brim index	رتبه Rank	شاخص پست بیکر Pesek-Baker index	رتبه Rank	شاخص رابینسون Robinson index	رتبه Rank	عملکرد دانه Kernel yield	رتبه Rank
70	SDB1	452.405	32	603.228	12	-400.68	43	178.516	37	52.02	25
71	HAR-4	389.827	99	493.262	99	-441.8	91	154.038	98	22.38	90
72	AS5305	411.842	89	513.708	95	-432.32	85	162.128	94	21.41	91
73	RHA274	430.626	61	549.567	65	-396.6	35	169.524	75	46.10	38
74	H158A/H543R	435.881	58	553.66	62	-393.13	32	165.135	87	26.92	81
75	H100A/RHA274	423.073	77	535.054	80	-432.21	84	173.613	52	37.62	57
76	H209A/H566R	444.779	44	566.298	44	-396.99	37	183.462	19	48.98	30
77	ASO-1-POP-A	422.916	78	542.931	69	-436.17	86	178.024	39	29.85	71
78	AS6305	391.782	98	518.777	90	-419.17	67	163.003	90	25.06	84
79	B-FIPOPB	415.274	83	530.834	83	-418.99	66	171.494	63	27.71	76
80	D34	457.424	25	564.523	47	-371.63	13	180.934	28	37.71	56
81	CAY	469.379	10	604.396	11	-406.36	50	180.294	30	38.02	54
82	Iran346	405.857	95	515.455	93	-464.31	97	167.26	81	32.68	66
83	NS-F1-A5*R5	412.854	88	537.285	76	-416.71	63	168.38	77	35.97	59
84	Iran 36	411.746	90	547.836	66	-429.96	81	170.562	72	50.23	27
85	Iran 38	407.949	94	536.259	78	-396.79	36	168.198	78	33.93	64
86	SDB2	447.914	38	569.766	38	-418.41	64	181.134	27	40.68	49
87	H158A/LC1064	440.326	48	549.745	64	-362.24	9	175.262	48	27.34	77
88	H156A/H543R	418.709	81	525.956	88	-430.12	82	166.246	84	26.81	82
89	H543R/H543R	426.852	71	517.427	91	-400.29	42	167.071	82	16.60	98
90	H543R	410.405	91	526.197	87	-403.06	45	171.274	65	43.85	42
91	SF076	463.713	15	581.82	32	-394.81	33	191.156	7	52.96	21
92	B-FIPOPB	444.87	43	562.143	49	-423.96	71	174.285	49	38.40	53
93	SF085	413.443	87	546.246	67	-439.1	89	171.339	64	31.91	68
94	SF092	507.734	2	634.357	4	-414.44	57	200.871	2	65.48	8
95	A-CONTROLPLASTIPIC	459.018	23	595.685	18	-389.91	26	181.563	25	53.75	20
96	Iran 59-1	428.044	67	541.439	72	-407.32	52	162.896	91	27.12	80
97	H100A-90RL8	429.935	62	564.006	48	-415.21	59	173.988	50	33.80	65
98	SF109	437.585	55	560.405	53	-418.92	65	178.217	38	39.08	52
99	SF105	427.136	70	557.162	57	-406.28	49	171.7	62	34.10	63
100	SF023	409.282	92	521.205	89	-406.64	51	171.92	60	31.37	70
	NSG	16		6		15		15		25	
	$r_{G(A)I}$	0.026		0.028		0.1		0.036			
	RHi	0.88		0.82		0.01		0.004			
	RE	1.54		1.56		0.1		1.83			
	%CV	6.21		6.67		8.25–		5.96			

تعداد ژنوتیپ‌های برتر براساس شاخص گزینش و عملکرد (NGS)؛ ضریب همبستگی بین ارزش ژنوتیپی عملکرد (Y) و شاخص گزینش ($r_{G(A)I}$)، همبستگی بین شاخص گزینش و ارزش اصلاحی (RHi)؛ سود نسبی شاخص در مقایسه با گزینش مستقیم برای عملکرد (Y) (RE)؛ ضریب تغییرات فنوتیپی برای شاخص‌ها (%CVi)

NSG: Number of superior genotypes based on both selection index and kernel yield; rG(A)I: Correlation coefficient between genotypic value of kernel yield (Y) and selection index; RHi: Correlation between selection index and breeding value; RE: Relative efficiency of index compared with direct selection for kernel yield (Y).

جدول ۱۰- مقادیر عملکرد، شاخص‌های انتخاب و سایر پارامترهای وابسته در ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت شرایط تنش خشکی

Table 10. The value of yield, selection indices and other parameters in oilseed sunflower genotypes under drought stress conditions

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	شاخص اسمیت- هیزل Smith-Hazel index	رتبه Rank	شاخص بریم Brim index	رتبه Rank	شاخص پست بیکر Pesek-Baker index	رتبه Rank	شاخص رابینسون Robinson index	رتبه Rank	عملکرد دانه Kernel yield	رتبه Rank
1	H100A/83HR4	197.08	70	501.59	57	-40.26	41	-45.57	24	18.62	65
2	H209A/LC1064	187.99	85	523.74	18	-81.38	94	-47.24	62	38.09	3
3	H205A/H543R	201.25	50	518.73	27	-53.06	61	-49.11	94	21.29	52
4	AS5306	202.74	45	512.87	37	-51.40	58	-47.58	67	27.39	23
5	RHA858	207.28	32	530.81	11	-69.71	87	-46.81	52	32.57	7
6	H209A/83HR4	184.55	93	451.85	99	-16.21	13	-41.96	1	14.21	78
7	As3211	200.63	55	500.80	60	-68.46	85	-45.80	29	22.37	46
8	ENSAT-254	246.66	1	583.33	1	-53.26	62	-50.32	100	23.40	42
9	AS5304	218.34	13	502.29	55	-18.20	16	-47.97	77	14.42	76
10	1009329/2 (100K)	211.48	22	474.84	91	1.84	2	-44.79	13	11.11	95
11	ENSAT-270	220.55	10	545.92	4	-49.04	52	-49.03	92	26.01	30
12	AS613	204.61	38	506.61	50	-52.57	59	-46.11	37	25.67	31
13	A-FLPOPA	224.17	6	536.97	6	-66.37	81	-48.34	83	21.26	53
14	OES	200.36	57	492.99	73	-34.43	31	-45.73	27	23.43	41
15	H100A/LC1064	197.83	64	489.64	80	-54.90	64	-42.42	2	28.29	21
16	RHA266	202.04	49	531.12	10	-86.20	97	-46.80	51	33.07	6
17	PAC2	184.51	94	441.22	100	7.44	1	-43.56	6	8.94	99
18	H157/LC1064	206.38	35	490.57	78	-22.76	19	-44.94	16	17.39	69
19	55DES20QR	200.69	54	479.17	88	-27.51	21	-45.60	25	19.26	63
20	15038	226.15	5	515.58	33	-30.88	27	-48.70	90	11.25	93
21	1009337(100K)	209.42	27	496.85	66	-15.43	10	-48.77	91	8.80	100
22	AS3232	208.01	30	526.72	14	-72.88	89	-45.27	20	34.19	5
23	12AASB3	229.08	3	519.28	26	-34.68	32	-47.85	73	13.52	83
24	8ASB2	189.18	82	492.78	74	-74.89	90	-43.50	5	31.75	8
25	9CSA3	184.60	92	502.08	56	-66.18	80	-46.62	46	28.69	18
26	H049+FSB	203.37	43	522.51	20	-60.81	76	-47.24	63	29.66	13
27	SSD-580	210.47	26	491.71	76	-25.39	20	-45.92	31	16.37	72
28	AS-F1/A2*R5AS-5F1/A2*R2	204.13	40	484.10	82	-15.84	12	-46.55	44	12.77	88
29	7CR1=PRH6	186.66	90	469.61	94	-16.98	14	-45.04	18	16.39	71
30	ENSAT-699	217.72	15	548.87	2	-81.34	93	-49.07	93	29.87	12
31	SSD-581	201.19	51	532.42	8	-59.74	71	-50.18	99	21.96	48
32	TMB-51	202.49	47	511.70	41	-43.81	43	-48.34	84	20.20	56
33	12*11 Iran	194.59	75	504.19	52	-60.66	75	-44.89	15	28.03	22
34	Iran 110	211.30	23	510.93	42	-39.50	40	-45.97	33	22.67	45
35	H603R	182.97	97	520.11	24	-95.02	98	-45.39	22	40.78	2
36	Iran 4	218.06	14	509.37	46	-20.47	17	-48.16	79	10.94	97
37	703-CHLORINA	203.00	44	501.25	58	-53.01	60	-46.27	40	23.89	39
38	NSF1-A4R5	220.48	11	534.84	7	-70.94	88	-46.82	53	28.43	20
39	Iran 28	197.09	69	529.84	12	-84.38	95	-46.27	41	31.34	10
40	Iran 30	215.05	18	515.87	31	-40.85	42	-48.63	88	19.30	62
41	F1250/03	211.75	21	522.96	19	-62.70	77	-47.61	69	24.66	35
42	SDR18	196.13	72	473.03	93	-10.95	4	-45.34	21	13.76	81
43	LP-SCYB	229.34	2	500.77	61	-13.27	7	-47.18	58	11.83	91
44	803-1	213.51	20	514.93	34	-38.19	36	-47.83	72	19.45	61
45	1009370-1(100K)	206.91	33	517.28	28	-45.73	47	-47.95	75	23.67	40
46	CSWW2S	207.66	31	503.80	54	-35.90	34	-47.23	60	20.18	57
47	1009370-3(100K)	204.42	39	511.91	40	-60.09	73	-46.96	56	19.46	60
48	H158A/H543R	226.76	4	488.83	81	-13.21	6	-44.99	17	13.76	82
49	H100A	206.32	36	539.70	5	-77.81	92	-48.09	78	29.38	14
50	15031	191.93	78	492.02	75	-28.22	22	-47.23	61	12.52	89
51	H250A/83HR4	200.86	53	462.59	96	-0.74	3	-45.16	19	13.10	84
52	RHA265	204.11	41	516.66	29	-55.43	65	-47.55	66	16.52	70
53	PM1-3	183.89	96	508.84	48	-59.90	72	-46.76	50	28.47	19

ادامه جدول ۱۰

Table 10. Continued

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	شاخص اسمیت- هیزل Smith-Hazel index	رتبه Rank	شاخص بریم Brim index	رتبه Rank	شاخص پست بیکر Pesek-Baker index	رتبه Rank	شاخص رابینسون Robinson index	رتبه Rank	عملکرد دانه Kernel yield	رتبه Rank
54	RT948	218.53	12	516.50	30	-38.57	37	-47.59	68	13.80	80
55	ENSAT-283	197.54	65	495.33	70	-51.08	57	-45.74	28	25.40	33
56	QHP-1	192.57	77	480.04	86	-29.96	23	-45.94	32	19.24	64
57	SDR19	206.75	34	520.59	23	-60.36	74	-47.69	70	28.76	16
58	HA337B	197.15	68	521.90	22	-66.56	82	-48.58	87	26.85	24
59	H100B	178.11	99	458.93	97	-30.23	24	-44.62	11	15.02	74
60	B454/03	195.26	74	509.19	47	-58.08	68	-47.69	71	24.65	36
61	HA304	202.65	46	525.16	16	-68.07	84	-48.64	89	26.33	28
62	RT931	198.78	62	510.54	44	-56.89	66	-46.66	49	26.38	27
63	HA335B	199.01	61	512.57	38	-53.59	63	-49.26	96	20.17	58
64	NS-B5	192.77	76	481.31	84	-11.85	5	-48.43	86	11.17	94
65	SDB3	201.16	52	478.30	89	-15.79	11	-45.64	26	11.01	96
66	LC1064C	206.13	37	532.30	9	-63.12	79	-49.26	97	25.59	32
67	NS-R5	190.18	80	515.71	32	-85.56	96	-46.19	38	31.06	11
68	DM-2	195.42	73	513.45	35	-59.06	70	-46.98	57	28.71	17
69	H156A/RHA274	216.57	16	522.28	21	-44.06	45	-48.27	82	11.97	90
70	SDB1	222.66	7	547.34	3	-95.39	99	-46.44	42	31.73	9
71	HAR-4	179.76	98	458.58	98	-17.01	15	-44.64	12	13.89	79
72	AS5305	222.50	8	497.83	65	-32.12	29	-46.65	48	13.07	85
73	RHA274	199.51	58	510.55	43	-62.98	78	-46.22	39	26.69	25
74	H158A/H543R	215.94	17	503.86	53	-30.68	26	-48.26	81	12.91	86
75	H100A/RHA274	187.99	86	474.76	92	-47.43	51	-43.47	4	23.09	44
76	H209A/H566R	202.16	48	512.29	39	-57.17	67	-46.09	36	28.90	15
77	ASO-1-POP-A	189.00	83	501.00	59	-58.73	69	-46.63	47	26.64	26
78	AS6305	187.70	87	464.10	95	-13.46	8	-44.86	14	11.33	92
79	B-FIPOPB	186.83	89	481.05	85	-68.87	86	-42.61	3	25.40	34
80	D34	211.13	24	491.24	77	-30.24	25	-44.38	10	14.99	75
81	CAY	222.24	9	500.22	62	-15.16	9	-46.58	45	15.83	73
82	Iran346	196.36	71	483.26	83	-35.49	33	-45.42	23	20.76	55
83	NS-F1-A5*R5	197.52	66	479.79	87	-32.08	28	-44.33	8	18.15	66
84	Iran 36	156.28	100	513.28	36	-98.59	100	-46.95	55	43.20	1
85	Iran 38	189.36	81	494.46	71	-49.99	55	-45.80	30	24.56	37
86	SDB2	199.42	60	527.48	13	-76.82	91	-46.45	43	35.13	4
87	H158A/LC1064	197.28	67	509.67	45	-46.67	48	-47.53	65	18.11	67
88	H156A/H543R	190.61	79	496.08	69	-38.09	35	-49.12	95	12.87	87
89	H543R/H543R	198.25	63	496.49	67	-38.58	38	-48.24	80	10.49	98
90	H543R	188.93	84	476.56	90	-43.85	44	-43.65	7	20.93	54
91	SF076	209.09	29	519.52	25	-47.10	50	-47.95	76	22.06	47
92	B-FIPOPB	199.46	59	490.53	79	-44.64	46	-44.35	9	21.67	51
93	SF085	186.98	88	498.21	63	-38.97	39	-47.92	74	19.91	59
94	SF092	210.80	25	525.32	15	-50.40	56	-49.78	98	23.23	43
95	A-CONTROLPLASTIPIC	203.57	42	524.18	17	-67.05	83	-48.42	85	26.24	29
96	Iran 59-1	209.33	28	506.26	51	-33.84	30	-46.85	54	17.65	68
97	H100A-90RL8	214.48	19	496.35	68	-21.61	18	-47.19	59	14.33	77
98	SF109	185.19	91	493.17	72	-49.12	53	-46.04	34	24.51	38
99	SF105	200.47	56	507.86	49	-46.84	49	-47.45	64	21.68	50
100	SF023	183.90	95	498.05	64	-49.98	54	-46.04	35	21.82	49
	NSG	1		2		10		3		25	
	$r_{G(A)I}$	–		–		-0.591		-			
	RHi	1.10		0.55		0.033		0.02			
	RE	-557.67		-889.23		244.32		1280.93			
	%CV	6.70		4.51		-49.15		-3.68			

تعداد ژنوتیپ‌های برتر براساس شاخص گزینش و عملکرد دانه (NGS)، ضریب همبستگی بین ارزش ژنوتیپی عملکرد دانه (Y) و شاخص گزینش ($r_{G(A)I}$)، همبستگی بین شاخص گزینش و ارزش اصلاحی (RHi)، سود نسبی شاخص در مقایسه با گزینش مستقیم برای عملکرد دانه (Y) (RE)، ضریب تغییرات فنوتیپی برای شاخص‌ها (%CVi)

NSG: Number of superior genotypes based on both selection index and kernel yield; rG(A)I: Correlation coefficient between genotypic value of kernel yield (Y) and selection index; RHi: Correlation between selection index and breeding value; RE: Relative efficiency of index compared with direct selection for kernel yield (Y).

با توجه به نتایج، استفاده از شاخص اسمیت- هیزل و بریم تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی با کارایی بالای انتخاب همراه است؛ استفاده از این شاخص‌ها در شرایط نرمال سبب افزایش عملکرد و در شرایط تنش سبب افزایش ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی و محتوای روغن دانه خواهد شد. این دو شاخص به‌دلیل همبستگی بالا با ارزش اصلاحی و کارایی بالای انتخاب، شاخص برتر محسوب می‌شوند. با توجه به شاخص‌های برتر، تحت شرایط نرمال و تنش خشکی، ژنوتیپ ENSAT-254 ژنوتیپ برتر شناسایی و معرفی می‌گردد. شناسایی ژنوتیپ مطلوب برای هر دو شرایط محیطی ارزشمند می‌باشد و می‌تواند برای پروژه‌های تولید هیبرید مفید باشد.

References

Ahmadpour, S., Darvishzadeh, R. and Sofalian, O. (2018). Selection Indices for Yield Improvement of Sunflower under Normal and Salt Stress Conditions. *Journal of Crop Breeding*, **10**(**25):** 91-100 (In Persian).

Akbari, N. and Darvishzadeh, R. (2023). Identification of IRAP markers associated with agromorphological traits in oil seed sunflower (*Helianthus annuus* L.) under normal and water limited conditions. *Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, **4(36):** 343-357 (In Persian).

Andrade, A.C.B., Silva, A.J., Ferraudo, A.S., Unêda-Trevisoli, S.H. and Mauro, A.S. (2016). Strategies for selecting soybean genotypes using mixed models and multivariate approach. *African Journal of Agricutural Research*, **11:** 23-31.

Barth, E., de Resende, J.T.V., Mariguele, K.H., de Resende, M.D.V., da Silva, A.L.B.R. and Ru, S. (2022). Multivariate analysis methods improve the selection of strawberry genotypes with low cold requirement. *Scientific Reports*, **12:**11458.

Bernardo, R. (2010). *Breeding for Quantitative Traits in Plants*. Woodbury: Stemma Press, Minnesota, USA.

Baker, R.J. (1986). *Selection Indices in Plant Breeding*: CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA.

Brim, C.A., Johnson, H.W. and Cockerham, C.C. (1959). Multiple selection criteria in soybeans. *Agronomy Journal*, **51:** 42-46.

Charles, B. and Heiser, Jr. (1955). The origin and development of the cultivated sunflower, university of California press on behalf of the national association of biology teachers. *The American Biology Teacher*, **17(5):** 161-167.

Carvalho, A.D.F., Nogueira, M.T.M., Silva, G.O., Luz, J.M.Q., Maciel, G.M. and Rabelo, P.G. (2017). Seleção de genótipos de cenoura para caracteres fenotípicos de raiz. *Horticultura Brasileira*, **35:** 97-102.

Crispim-Filho, A.J., Dos Santos, F.P., Pinto, J.F.N., Melo, P.G.S., Dos Reis, E.F. and Mendes-Resende, M.P. (2020). Dealing with multiple traits in maize: A new approach for selecting progenies. *Crop Science*, **60(6):** 3151-3165.

Dovale, J.C., Fritsche-Neto, R. and Silva, P.S.L. (2011). Índice de seleção para cultivares de milho com dupla aptidão: minimilho e milho verde. *Bragantia*, **70:** 781-787.

Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A. and Damalas, C.A. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, **218:** 149-157.

Falconer, D.S. and Mackay, T.F.C. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics*. Longmans Green, Harlow, Essex, UK.

Falconer, D.S., Mackay, T.F. and Frankham R. (1996). Introduction to Quantitative Genetics (4th ed.). *Trends in Genetics*, **12(7):** 280.

Fernandez, O., Urrutia, M., Berton, T., Bernillon, S., Deborde, C., Jacob, D., Maucourt, M., Maury, P., Durufé, H., Gibon, Y., Langlade, N.B. and Moing, A. (2019). Metabolomic characterization of sunfower leaf allows discriminating genotype groups or stress levels with a minimal set of metabolic markers. *Metabolomics*, **15:** 56.

Hashemzehi, M., Moradgholi, A. and Ghasemi, A. (2013). Evaluation of responses of mung bean (*Vigna radiata*) genotypes to drought stress using different stress tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, **5(12):** 112-122 (In Persian).

Hazel, L.N. and Lush, J.L. (1942). The Efficiency of Three Methods of Selection. *Journal of Heredity*, **33(11):** 393-399.

Hazel, L.N. (1943). The genetic basis for constructing selection indices. *Genetics*, **28:** 476-490.

Kang, M. (1994). *Applied Quantitative Genetics*. Kang. In: MS Publisher, Baton Rouge, LA, USA.

Khavari Khorasani, S. and Mahdi Poor, A. (2018). Genetic improvement of grain yield by determination of selection index in single cross hybrids of maize (*Zea mays* L.). *Plant Genetic Researches*, **5(1):** 1-18. (In Persian).

Leilah, A.A. and Al-Khateeb, S.A. (2005). Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Environments*, **61:** 483-96.

Li, Z., Xiang, F., Huang, X., Liang, M., Ma, S., Gafurov, K., Gu, F., Guo, Q. and Wang, Q. (**2024**). Properties and Characterization of Sunflower Seeds from Different Varieties of Edible and Oil Sunflower Seeds. *Foods*, **13:** 1188.

Lima, V.J., Freitas Junior, S.P., Souza, Y.P. Silva, C.S. Farias, J.E.C., Souza, R.F., Chaves, M.M. and Feitosa, J.V. (2018). Genetic gain capitalization in the first cycle of recurrent selection in popcorn at Ceará's Cariri. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, **13:** e5556.

Marhtwe, N., Aye, M. and Nyein Thu, M. (2020). Selection index for yield and yield contributing traits inimproved rice genotypes. *International Journal of Environmental and Rural Development*, **11(2):** 86-91.

Pesek, J. and Baker, R. (1970). An application of index selection to the improvement of self-pollinated species. *Canadian Journal of Plant Science*, **50(3):** 267-276.

Radanovíc, A., Miladinovic, D., Cvejic, S., Jockovic, M. and Jocic, S. (2018). Sunflower Genetics from Ancestors to Modern Hybrids—A Review. *Genes*, **9:** 528.

Rahimi, M. and Rabiei, B. (2011). The application of selection indices improvement of grain yield hn rica(*Oriza sativa*). *Agronomy Journal* (Pajouhash and Sazandegi), **90:** 39-46 (In Persian).

Rana, M., Sood, A., Hussain, W., Kaldate, R., Sharma, T.R., Gill, R.K., Kumar, S. and Singh, S. (2019). Gene pyramiding and multiple character breeding (Chapter 6). In: Mohar Singh, M., Ed., *Lentils*, pp. 83-121. Headquarters location, Cambridge, Massachusetts, USA.

Raza, A., Mubarik, M.S., Sharif, R., Habib, M., Jabeen, W., Zhang, C., Chen, H., Chen, Z.H., Siddique, K.H.M., Zhuang, W. and Varshney, R.K. (2023). Developing drought-smart, ready to grow future crops. *Plant Genome*, **10:** e20279.

Rauf, S. (2008). Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance. *Commun. Biometry Crop Science*, **3:** 29-44.

Robinson, H.F., Comstock, R.E. and Harvey, P.H. (1951). Genotypic and phenotypic correlation and their implications in selection. *Agronomy Journal*, **43:** 282-287.

Seiler, G.J., Qi, L.L. and Marek, L.F. (2017). Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. *Crop Science*, **57:** 1083-1101.

Shiri, M. and Ebrahimi, L. (2018). Comprehensive SAS code for computing several selection indices. *Journal of Crop Improvement*, **32(2):** 225-238.

Smith, H.F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, **7(3):** 240-250.

Tahmasbali, M., Darvishzadeh, R. and Fayaz Moghaddam, A. (2021). Evaluation of oriental tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes using selection indices under the presence and absence of broomrape. *Iranian Journal of Field Crop Science*, **52(3):** 189-20 (In Persian).

Tahmasebi, A., Darvishzadeh, R., Fayaz Moghadam, A., Gholinejhad, E. and Abdi, H. (2022). Using selection indices to improve seed yield in native sesame stands. *Plant Genetic Researches*, **8(2):** 117-130 (In Persian).

Williams, J.S. (1962).The evaluation of a selection index. *Biometrics*, **18:** 375-393.