

گزینش لاین‌های امیدبخش بهاره کلزا با عملکرد مطلوب و صفات زراعی برتر در شرایط دیم

حسین احمدی اوچ‌تپه^{۱*}، حسن امیری اوغان^۲، امیر قلی‌زاده^۱

- ۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.
- ۲- بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: کلزا یکی از مهمترین گیاهان روغنی است اما تنش خشکی و کمبود آب یکی از عوامل بسیار مهم است که توسعه سطح زیر کشت و تولید موفقیت‌آمیز این گیاه را در کشور با خطر مواجه می‌سازد. ارقام کلزا متحمل به تنش خشکی و با عملکرد بالا برای محیط‌های با محدودیت آبی مناسب هستند. از آن‌جا که تعداد ارقام داخلی کلزا که مناسب کشت دیم باشند محدود است، شناسایی و دستیابی به ژنوتیپ‌های برتر کلزای متحمل به تنش‌های محیطی جهت کشت در شرایط دیم گرمسیر و معتدل کشور ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از این تحقیق گزینش برترین ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در شرایط دیم با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) بود.

روش شناسی: در این پژوهش تعداد ۱۲ لاین امیدبخش بهاره کلزا به همراه چهار رقم دلگان، RGS003، بهاران و پیشرو به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۳-۱۴۰۱) در شرایط دیم مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش با استفاده از طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه ملی تحقیقات کشاورزی و تولید بذر دیم گنبد کاووس اجرا شد. بذور هر ژنوتیپ در یک واحد آزمایشی به مساحت ۴/۸ متر مربع شامل چهار خط چهار متری با فواصل ردیف ۳۰ سانتی‌متری کشت شدند. صفات زراعی تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا خاتمه گلدهی، طول دوره گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه‌بندی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ارزیابی شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس مرکب صفات، انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و تجزیه به عامل‌های صفات انجام شد.

یافته‌های پژوهش: بر اساس مقادیر شاخص SIIG بدست آمده، ژنوتیپ‌های G1، G13، G10، G11، G2، G3، G6، G9 و G14 (به ترتیب ۰/۷۲۷، ۰/۷۲۱، ۰/۵۸۱، ۰/۵۷۶، ۰/۵۱۸، ۰/۵۰۸ و ۰/۵۰۸) جزء ژنوتیپ‌های برتر بودند. از طرفی ژنوتیپ‌های G5، G4، G7، G8، G12، G15، G16 و G14 با مقدار SIIG پایین (به ترتیب ۰/۳۱۹، ۰/۳۲۶، ۰/۳۳۴، ۰/۳۴۱، ۰/۳۵۸، ۰/۴۴۴، ۰/۴۸۹ و ۰/۴۹۲) جزء ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر اکثریت صفات مورد ارزیابی بودند. با توجه به نمودار دوبعدی پراکنش ژنوتیپ‌ها براساس شاخص SIIG و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های G2، G6 و G3 با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل و همچنین مقدار SIIG بالا، به عنوان ژنوتیپ‌های ایده‌آل از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی اندازه‌گیری شده انتخاب شدند. ژنوتیپ‌های G5، G4، G15 و G7



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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

با داشتن مقدار SIIG خیلی پایین و عملکرد دانه پایین در دسته ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در تجزیه به عامل‌ها سه عامل استخراج شد که مجموعاً ۷۲/۰۷ درصد واریانس کل داده‌ها را توجیه کردند. سهم عامل اول تا سوم به ترتیب ۳۸/۹۸، ۲۰/۹۴ و ۱۲/۱۵ درصد بود. نتایج تجزیه به عامل‌ها نشان داد که صفات ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته با عملکرد دانه ارتباط مثبت دارند. این صفات می‌توانند به عنوان شاخص‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی برای گزینش ژنوتیپ‌های کلزای با عملکرد اقتصادی مناسب برای شرایط دیم مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: ژنوتیپ ایده‌آل، شرایط دیم، عملکرد دانه، کلزا

مقدمه

غذایی جوامع بشری توسط عوامل مختلفی مانند تنش‌های زنده و غیر زنده به خطر می‌افتد (Bybordi, 2010). تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های غیرزنده است که رشد، متابولیسم و عملکرد کلزا را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zali et al., 2017). کمبود آب یکی از عوامل بسیار مهم است که توسعه سطح زیر کشت و تولید موفقیت‌آمیز گیاه کلزا را در کشور با خطر مواجه می‌سازد (Jaberi et al., 2015). اما امکان کشت کلزا به صورت دیم در مناطق گرم و معتدل موضوعی چالشی است. اهمیت این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که در مناطق خشک و نیمه خشک، آب آبیاری به اندازه کافی وجود ندارد و لذا کشت این گیاه زراعی به صورت دیم با عملکرد قابل قبول، می‌تواند یک مزیت نسبی برای آن محسوب شود (Sepahvand, 2007). در حال حاضر هیچ راه عملی برای افزایش نزولات جوی در طول دوره‌های خشکی وجود ندارد؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که بهترین راه مقابله با خشکی، به‌کارگیری عملیات زراعی مناسب و استفاده از ارقامی است که تحمل بیشتری به خشکی داشته باشند (Ghasemian et al., 2019). ارقام کلزا متحمل به تنش خشکی و با عملکرد بالا برای محیط‌های با محدودیت آبی مناسب هستند و تولید کلزا را بهبود می‌بخشند. از این رو، شناسایی ارقام برتر و مناسب تحت شرایط تنش بسیار مهم است. آگاهی در مورد تنوع ژنتیکی ارقام و لاین‌های کلزا، اطلاعات مهمی برای اصلاح‌گران و ژنتیک‌دانان در زمینه تنوع آلی فراهم

کلزا با نام علمی (*Brassica napus* L.) یکی از مهمترین گیاهان روغنی یک ساله مورد کشت در جهان می‌باشد (Sun et al., 2017). دانه کلزا حاوی ۴۰ تا ۴۵ درصد روغن و کنجاله آن دارای ۳۶ تا ۴۴ درصد پروتئین خام است (Ehshamami et al., 2016). در چهار سال زراعی گذشته (۱۴۰۲-۱۳۹۸) سطح زیر کشت کلزا در ایران به طور میانگین ۱۵۵۸۵۵ هکتار می‌باشد؛ که از این مقدار استان گلستان با سطح زیر کشت ۴۳۸۹۸ هکتار (۱۷۷۰۶ هکتار دیم و ۲۶۱۹۲ هکتار آبی) یکی از استان‌های خیلی مهم برای زراعت این محصول می‌باشد. به طوریکه از لحاظ سطح زیر کشت کلزای دیم مقاوم اول و از لحاظ سطح زیر کشت کلزای آبی مقام دوم (بعد از خوزستان) را به خود اختصاص داده است (Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, 2023). با توسعه جامعه، تقاضا برای مصرف روغن‌های خوراکی به سرعت در حال افزایش است. اکثر روغن‌های گیاهی از چهار محصول اصلی، یعنی سویا، کلزا، نخل روغنی و آفتابگردان استخراج می‌شوند؛ بنابراین نقش دانه‌های روغنی غیر قابل انکار می‌باشد (Yao et al., 2024; Dyer and Mullen, 2008). اگرچه تولید جهانی روغن‌های گیاهی در دهه‌های اخیر افزایش یافته است؛ با این حال هنوز شکاف گسترده‌ای بین تولید و مصرف وجود دارد (Yuan and Li, 2020). بنابراین کشت دانه‌های روغنی از مهم‌ترین مؤلفه‌های امنیت و ایمنی غذایی محسوب می‌شود (Raziei et al., 2018). با این حال امنیت

(Mirak et al., 2018) و کلزا (Zali et al., 2017) استفاده شده است. با توجه به محدودیت تعداد ارقام داخلی کلزای مناسب برای شرایط دیم در کشور (که تنها رقم معرفی شده تابان می‌باشد)، ضرورت ارزیابی تنوع ژنتیکی از طریق بررسی ژنوتیپ‌های مختلف بر مبنای صفات مرفولوژیک و زراعی و نهایتاً گزینش از درون ژنوتیپ‌ها و معرفی لاین‌های برتر و پرپتانسیل برای دیم‌زارها حائز اهمیت می‌باشد. لذا هدف از این تحقیق انتخاب برترین ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در شرایط دیم با گزینش همزمان برای عملکرد دانه و سایر خصوصیات زراعی با استفاده از شاخص SIIG می‌باشد. همچنین یکی دیگر از اهداف تعیین روابط بین صفات با استفاده از روش آماری چند متغیره تجزیه به عامل‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های ایده‌آل کلزای بهاره آزاد گرده‌افشان برای شرایط دیم به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۳-۱۴۰۱) در ایستگاه ملی تحقیقات کشاورزی و تولید بذر گنبد کاووس انجام شد. منطقه اجرای آزمایش با ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا، بین دو عرض جغرافیای ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و و طول ۵۵ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی قرار دارد (Faraji, 2012). متوسط بارندگی سالانه ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد. از لحاظ آب و هوایی براساس تقسیم‌بندی کوپن دارای اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه خشک می‌باشد. سایر اطلاعات آب و هوایی منطقه اجرای آزمایش در دو سال زراعی در جدول ۱ آورده شده است.

در این مطالعه تعداد ۱۲ لاین امیدبخش بهاره کلزا به همراه چهار رقم بهاره زودرس دلگان، RGS003، بهاران و پیشرو (جمعاً ۱۶ ژنوتیپ) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به شجره و نام ژنوتیپ‌ها در

می‌کند که ممکن است به شناسایی ذخایر متنوع ژنتیکی برای تلاقی‌های بهتر در جهت تولید ارقام متحمل به خشکی، کمک کند (Fares et al., 2009). هدف برنامه اصلاحی مبتنی بر تحمل به خشکی، انتخاب ژنوتیپ‌هایی است که در جمعیت هدف در مناطق مختلف نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، برتری نشان دهند (Raman et al., 2012). تحقیقات اخیر نشان داده است که ژنوتیپ‌های کلزا نسبت به شرایط آب و هوایی به‌ویژه تنش خشکی واکنش زیادی نشان می‌دهند. به طوری که تعدادی از ژنوتیپ‌ها تحمل بیشتری نسبت به شرایط آب و هوایی به‌ویژه تنش خشکی دارند (Chakraborty et al., 2012). به منظور انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از بین ژنوتیپ‌های مختلف، استفاده از یک صفت به تنهایی احتمالاً منجر به نتایج مطلوبی نمی‌شود؛ لذا استفاده از صفات مختلف، احتمال شناسایی ژنوتیپ ایده‌آل را افزایش می‌دهد (Abdollahi hesar et al., 2020). یکی از شاخص‌های مناسب شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)^۱ است که می‌تواند برای ادغام صفات مختلف و ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌ها استفاده شود (Zali et al., 2015). با استفاده از روش SIIG تمام شاخص‌ها و صفات به صورت یک شاخص درآمده و تعیین ژنوتیپ‌های برتر و رتبه‌بندی آنها به راحتی امکان‌پذیر است (Gholizadeh et al., 2022a). بنابراین روش SIIG یک مدل گزینش‌گر بوده و جهت انتخاب برترین ژنوتیپ‌ها از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به کار می‌رود (Abdollahi hesar et al., 2020). از مزیت‌های این روش این است که صفات یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه می‌توانند واحدهای متفاوت با طبیعت مثبت و منفی داشته باشند (Najafi Mirak et al., 2018). از روش SIIG برای بررسی ژنوتیپ‌های مختلف براساس مجموعه‌ای از صفات یا شاخص‌ها در محصولات زراعی نظیر سویا (Gholizadeh et al., 2022b)، جو (Zali et al., 2023; Barati et al., 2022)، گندم دوروم (Najafi

¹ Selection index of ideal genotype

۱- سازماندهی داده‌ها در قالب ماتریس داده‌ها: به منظور انجام محاسبات، ابتدا ماتریس داده‌ها براساس تعداد ویژگی (صفات) مختلف مورد ارزیابی و ژنوتیپ‌ها با استفاده از رابطه ۱ تشکیل می‌شود.

رابطه (۱)

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

در این ماتریس x_{ij} مقدار ویژگی (صفت) i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با ژنوتیپ j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) می‌باشد.

۲- نرمال‌سازی ماتریس داده‌ها و تشکیل ماتریس R : به منظور نرمال کردن داده‌ها و ایجاد ماتریس R از رابطه‌های ۲ و ۳ استفاده شد.

رابطه (۲)

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

رابطه (۳)

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

جدول ۲ آورده شده است. ژنوتیپ‌ها در هر دو سال نیمه دوم آبان ماه کشت و در شرایط دیم ارزیابی شدند. قبل از اجرای آزمایش نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری محل اجرای آزمایش تهیه و خصوصیات آن تعیین گردید (جدول ۳). زمین اجرای آزمایش در سال‌های قبل زیر کشت گندم بود. عملیات آماده‌سازی بستر بذر شامل شخم، پخش یکنواخت کود و دیسک انجام شد. کود مصرفی براساس دستورالعمل زراعت کلزا در استان گلستان (Faraji et al., 2018) و براساس نتایج تجزیه خاک استفاده شد (جدول ۳). نحوه کشت به صورت مسطح و دستی بود. بذور هر ژنوتیپ در یک واحد آزمایشی به مساحت ۴/۸ متر مربع شامل چهار خط ۴ متری با فواصل ردیف ۳۰ سانتی‌متری کشت شدند. کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام گردید. تراکم بوته بعد از توزین بذور و تنک کردن دستی در واحد سطح روی حدود ۶۰ بوته در متر مربع تنظیم شد. به منظور کنترل کک از دلتامترین به میزان یک لیتر در هکتار استفاده شد. همچنین برای کنترل گرده خوارها در مرحله گلدهی از ترکیب سموم مالاتیون و دلتامترین استفاده گردید. در طی انجام آزمایش صفاتی شامل تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا خاتمه گلدهی، طول دوره گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع بوته و ارتفاع شاخه‌بندی یادداشت برداری شد. بعد از برداشت در اواخر اردیبهشت، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها و همچنین انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش SIIG با استفاده از نرم‌افزارهای SAS ver 9.4 و Excel انجام شد. اثر رقم و سال به ترتیب به عنوان فاکتور ثابت و تصادفی در نظر گرفته شدند. نحوه ادغام صفات مختلف مورد ارزیابی و محاسبه شاخص SIIG با استفاده از شش رابطه به شرح ذیل می‌باشد:

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه ملی تحقیقات کشاورزی و تولید بذر دیم گنبد کاووس در دو سال زراعی اجرای آزمایش (۱۴۰۱-۱۴۰۳)

Table 1. Meteorological statistics of the National Agricultural Research Station and Dryland Seed Production of Gonbad-e Kavous during two agricultural years of the experiment (2022-2024)

ماه Month	بارندگی (میلی متر) Rainfall (mm)		تبخیر (میلی متر) Evaporation (mm)		رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)		متوسط دمای حداکثر (C°) Average maximum temperature (C°)		متوسط دمای حداقل (C°) Average minimum temperature (C°)	
	۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-23	۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-24	۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-23	۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-24	۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-23	۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-24	۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-23	۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-24	۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-23	۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-24
مهر (23 Sep - 22 Oct)	12.3	50.2	129.8	115.9	60	62	31.5	27.6	18	14.9
آبان (23 Oct – 21 Nov)	42.5	32.6	66.9	80.3	67	61	22.5	27.4	9.9	12.8
آذر (22 Nov – 21 Dec)	27.2	42.4	50.1	57.3	72	71	16.6	19.5	6.5	7.1
دی (22 Dec – 20 Jan)	8	36.6	30.4	37.9	63	67	13.9	19.3	0.9	5.8
بهمن (21 Jan – 19 Feb)	19.7	89.8	33.7	39.2	65	73	13.9	16.4	14	4.7
اسفند (20 Feb–20 Mar)	9.3	33.3	80.4	40	64	75	22.5	14.5	7.3	3.6
فروردین (21 Mar-20Apr)	26.6	55.3	122.5	80.3	65	73	24.3	21.9	9.5	8.9
اردیبهشت (21Apr-21 May)	33.5	93.8	164.5	116.1	64	69	28.9	27.1	14.4	13.7
خرداد (22 May-21 Jun)	38.6	0.7	253.5	241.6	57	54	35.5	35.1	21.4	19.3
کل Total	217.7	434.7	931.8	808.6	-	-	-	-	-	-
میانگین Mean	-	-	-	-	64.1	67.2	23.29	23.2	9.92	10.09

جدول ۲- شماره، کد، نام رقم یا شجره ژنوتیپ‌های آزاد گرده‌افشان بهاره کلزا مورد استفاده در این تحقیق

Table 2. Number, code, cultivar name or pedigree of spring oilseed rape open-pollinated Genotypes used in this research

شماره	کد ژنوتیپ	نام/شجره	شماره	کد ژنوتیپ	نام/شجره
No.	Genotype code	Name/pedigree	No.	Genotype code	Name/pedigree
1	G1	Long pod×SRL-94-13A	9	G9	Zafar×SRL-94-6A
2	G2	Dalgan×RGS003	10	G10	RGS003*
3	G3	RGS003×SRL-94-5A	11	G11	SRL-94-13A×SRL-94-5A
4	G4	Long pod×SRL-94-6A	12	G12	SRL-94-6A×SRL-94-5A
5	G5	Dalgan*	13	G13	RGS003×SRL-94-13A
6	G6	Long pod×SRL-94-12A	14	G14	R-401-4
7	G7	Dalgan×SRL-94-6A	15	G15	Baharan*
8	G8	Long pod×SRL-94-5A	16	G16	Pishroo*

*: ارقام دلگان، RGS003، بهاران و پیشرو به عنوان شاهد در نظر گرفته شده‌اند.

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

مقدار SIIG در بازه‌ای از صفر تا یک ($0 \leq SIIG \leq 1$)

(متغیر است. بدین صورت که هرچه یک ژنوتیپ به

ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، مقدار SIIG آن بیشتر

و به عدد یک میل می‌کند. در این صورت آن ژنوتیپ

به عنوان ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد دانه و سایر

صفات اندازه‌گیری شده انتخاب می‌شود (Zali et al.,

2020; Abdollahi hesar et al., 2023). شایان ذکر

است که ژنوتیپ ایده‌آل، یک ژنوتیپ فرضی است که

از مجموع مقادیر مطلوب هر یک از صفات تعیین

می‌شود. در مقابل، ژنوتیپ غیر ایده‌آل، ژنوتیپی

فرضی است که از مجموع مقادیر نامطلوب و ضعیف

هر یک از صفات بدست آمده است (Gholizadeh et

al., 2022a). در ضمن برای صفات فنولوژی (تعداد

روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا خاتمه گلدهی،

طول دوره گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک)

مقادیر پایین (زودرسی) مطلوب در نظر گرفته شد.

در نهایت از روش تجزیه به عامل‌ها برای درک روابط

پیچیده بین صفات و شناسایی عوامل پیچیده استفاده

شد. برای این منظور از نرم‌افزار آماری SPSS 19 ver

27 و از میانگین داده‌های دو سال اجرای آزمایش

استفاده شد. در این روش برای استخراج عامل‌ها،

- پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل (برتر) و ژنوتیپ غیر

ایده‌آل (ضعیف): در این مرحله برای هر ویژگی

(صفت) مورد ارزیابی به طور جداگانه، برترین و

ضعیف‌ترین ژنوتیپ انتخاب شد. بدین صورت که

فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d_i^+) و فاصله از ژنوتیپ غیر

ایده‌آل (d_i^-) به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵

محاسبه گردید.

رابطه ۴)

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

رابطه ۵)

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

در این روابط منظور از d_i^+ فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل

و منظور از d_i^- فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل است.

همچنین r_{ij} مقدار نرمال شده صفت i ام ($i = 1, 2, \dots, n$)

در رابطه با ژنوتیپ j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) است.

r_j^+ و r_j^- به ترتیب مقدار نرمال شده ژنوتیپ ایده‌آل و

ژنوتیپ غیر ایده‌آل برای هر صفت i ام ($i = 1, 2, \dots, n$)

است.

۴- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG):

در نهایت با استفاده از رابطه ۶ شاخص انتخاب

ژنوتیپ ایده‌آل محاسبه گردید.

رابطه ۶)

جدول ۳- نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش
Table 3. Soil analysis results at the experiment site

بافت Texture	بر	روی	آهن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	درصد اشباع	کربن آلی	کربنات کلسیم	هدایت الکتریکی	اسیدیته خاک (۱:۵)
	Boron	Zinc	Iron	Potassium	Phosphorus	Nitrogen	Saturation Percentage	Organic Carbon	Calcium Carbonate	Electrical Conductivity	Soil Acidity (1:5)
	(mg.kg ⁻¹)					(٪)			(dS.m ⁻¹)		
سیلتی کلی لوم	1.6	0.9	2.68	329	14	0.12	59	1.17	16	1.3	7.85

روش مؤلفه‌های اصلی به کار گرفته شد و دوران عامل‌ها با استفاده از تکنیک چرخش واریماکس انجام گرفت. جهت تعیین تعداد عامل‌های مناسب، عامل‌هایی با ریشه بزرگ‌تر از یک انتخاب شده و در ماتریس ضرایب عامل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. در هر عامل اصلی و مستقل، ضرایب عاملی برابر یا بالاتر از ۰/۵، بدون توجه به علامت مثبت یا منفی، به عنوان معنادار در نظر گرفته شدند. شایان ذکر است که برای بررسی کفایت مدل تجزیه به عامل‌ها از آزمون اندازه کفایت نمونه‌برداری کایزر-مایر-اولکین (KMO)^۱ و اسفریسیتی بارتلت استفاده شد. در صورتی که مقدار KMO بزرگ‌تر از ۰/۵ و مقدار آزمون اسفریسیتی بارتلت معنی‌دار باشد، بیانگر این است که داده‌ها برای تجزیه به عامل‌ها مناسب‌اند (Cattell, 1965).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریماکس مرکب برای کلیه صفات مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر سال برای تمام صفات مورد مطالعه به جزء وزن هزار دانه 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 تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا خاتمه گلدهی، طول دوره گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع شاخه‌بندی، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطوح احتمال ۱ یا ۵ درصد بود. این یعنی ژنوتیپ‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای در این ویژگی‌ها دارند. در حالی که اختلاف معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته و تعداد دانه در خورجین وجود نداشت. عدم

تفاوت معنی‌دار ممکن است ناشی از پایداری ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد استفاده در طول دوره رشد باشد. همچنین نتایج تجزیه واریماکس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ سال برای اکثر صفات مورد مطالعه به جزء ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه‌بندی و وزن هزار دانه معنی‌دار بود. این موضوع بیانگر آن است که عملکرد ژنوتیپ‌ها در بیشتر صفات تحت تأثیر تغییرات سالانه قرار گرفت 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. از سوی دیگر، عدم معنی‌داری اثر متقابل برای صفاتی مانند ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه‌بندی و وزن هزار دانه می‌تواند حاکی از پایداری نسبی این صفات در شرایط مختلف محیطی باشد، که این امر برای برنامه‌های اصلاحی و انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار اهمیت دارد.

میانگین عملکرد دانه در سال اول و دوم به ترتیب ۸۴۴ و ۲۷۹۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). علت اختلاف زیاد میانگین عملکرد دو سال به این دلیل بود که سال اول خشکسالی (میزان کل بارندگی ۲۱۸ میلی‌متر) و سال دوم ترسالی (میزان کل بارندگی ۴۳۵ میلی‌متر) بود؛ به طوری که در سال دوم نسبت به سال اول حدود ۵۰ درصد افزایش بارندگی اتفاق افتاده بود و حدود ۳۵ میلی‌متر از میانگین بارندگی بلندمدت هم بیشتر بود (جدول ۱). در مجموع میانگین عملکرد دانه دو سال اجرای آزمایش برابر با ۱۸۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. به طوریکه بیشترین (۲۱۵۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۴۶۴ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های G2 و G7 تعلق داشت. همچنین در ارتباط با تعداد خورجین در بوته نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های با تعداد خورجین بیشتر در بوته از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بودند (داده‌ها نشان

¹ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های آزاد گرده افشان بهاره کلزا

Table 4. Combined analysis of variance for the studied agronomic traits in spring oilseed rape open-pollinated genotypes

میانگین مربعات Mean of square											درجه آزادی Df	منابع تغییرات S.O.V
SY	TKW	NSPP	NPP	NSB	BH	PH	DPM	FPD	DEF	DF		
91523439.8**	0.601 ^{ns}	389.9**	654819.8**	307.1**	44298.6**	26133.1**	12105.04**	3162.5**	6716.8**	630.4**	1	سال Year
178924	0.407	0.92	345.2	0.97	109.8	341.7	1.45	0.51	0.021	0.65	4	تکرار درون سال
269882.4**	0.209**	5.52 ^{ns}	1695.8**	0.36*	125.5**	148.1 ^{ns}	30.22**	15.69**	107.8**	69.92**	15	ژنوتیپ Genotype
241079.9**	0.065 ^{ns}	5.98*	1627.4**	0.6**	79.9 ^{ns}	120.1 ^{ns}	8.11**	10.49**	17.98**	18.62**	15	ژنوتیپ × سال Genotype × Year
78211.4	0.059	3.16	525.6	0.16	49.2	106.7	0.90	0.42	0.56	0.55	60	خطا Error
15.4	6.4	7.6	18.8	9.3	16.5	9.6	0.62	2.1	0.62	0.82		ضریب تغییرات % C.V.%

ns, *, ** به ترتیب غیر معنی‌دار، وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪. DF: تعداد روز تا شروع گلدهی، DFE: تعداد روز تا خاتمه گلدهی، FPD: طول دوره گلدهی، DPM: روز تا رسیدگی

فیزیولوژیک، PH: ارتفاع بوته، BH: ارتفاع شاخه‌بندی، NSB: تعداد شاخه فرعی در بوته، NPP: تعداد خورجین در بوته، NSPP: تعداد دانه در خورجین، TKW: وزن هزار دانه، SY: عملکرد دانه

ns, * and **: Non-significant, significant at 5 and 1% levels of probability, respectively. DF: days to flowering, DFE: days to flowering ending, FPD: flowering period duration, DPM: days to physiological maturity, PH: plant height, BH: branching height, NSB: number of sub-branches, NPP: number of pods per plant, NSPP: number of seeds per pod, TKW: thousand-kernel weight, and SY: seed yield

داده نشده است). خورجین‌ها با انجام فتوسنتز بخشی از مواد مورد نیاز برای پر شدن دانه در کلزا را تأمین می‌کنند (Shirani Rad et al., 2013). به طوریکه یک سوم وزن دانه‌های کلزا توسط فتوسنتز خورجین‌ها تأمین می‌شود (Sirin Vasa and Morgan, 1996).

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG): به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مناسب برای شرایط دیم (متحمل به تنش خشکی)، محققین از روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند. در مطالعه حاضر با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) از تمام صفات مورد ارزیابی به طور هم‌زمان جهت بررسی و انتخاب ژنوتیپ برتر مناسب برای شرایط دیم استفاده شد. شاخص SIIG بر اساس کلیه صفات زراعی اندازه‌گیری شده شامل تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا خاتمه گلدهی، طول دوره گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه‌بندی، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه محاسبه شد. در جدول ۶ شاخص SIIG برای ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی و فواصل آن‌ها از ژنوتیپ مطلوب (d+) و نامطلوب (d-) آورده شده است. شاخص SIIG یک روش انتخاب هم‌زمان است به طوری که تمام صفات را ادغام می‌کند و به صورت یک شاخص واحد در می‌آورد و در نتیجه کارایی و دقت انتخاب ژنوتیپ مطلوب را افزایش می‌دهد. مقدار شاخص SIIG بین صفر و یک است؛ به طوری که ژنوتیپ‌هایی که مقدار شاخص SIIG آن‌ها به یک نزدیک باشد جزء ژنوتیپ‌های مطلوب و ژنوتیپ‌هایی که مقدار شاخص SIIG آن‌ها نزدیک به صفر باشد جزء ژنوتیپ‌های نامطلوب در نظر گرفته می‌شوند (Zali et al., 2017). بر اساس شاخص SIIG بدست آمده، به ترتیب ژنوتیپ‌های G6، G3، G2، G11، G10،

G1، G13 و G9 با مقدار SIIG بالا (به ترتیب ۰/۷۵۲، ۰/۷۲۷، ۰/۷۲۱، ۰/۵۸۱، ۰/۵۷۶، ۰/۵۱۸، ۰/۵۰۸ و ۰/۵۰۸) جزء ژنوتیپ‌های برتر بودند. از طرفی ژنوتیپ‌های G5، G4، G7، G15، G8، G12، G16 و G14 با مقدار SIIG پایین (به ترتیب ۰/۳۱۹، ۰/۳۲۶، ۰/۳۳۴، ۰/۳۴۱، ۰/۳۵۸، ۰/۴۴۴، ۰/۴۸۹ و ۰/۴۹۲) جزء ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر اکثریت صفات مورد ارزیابی بودند (جدول ۶).

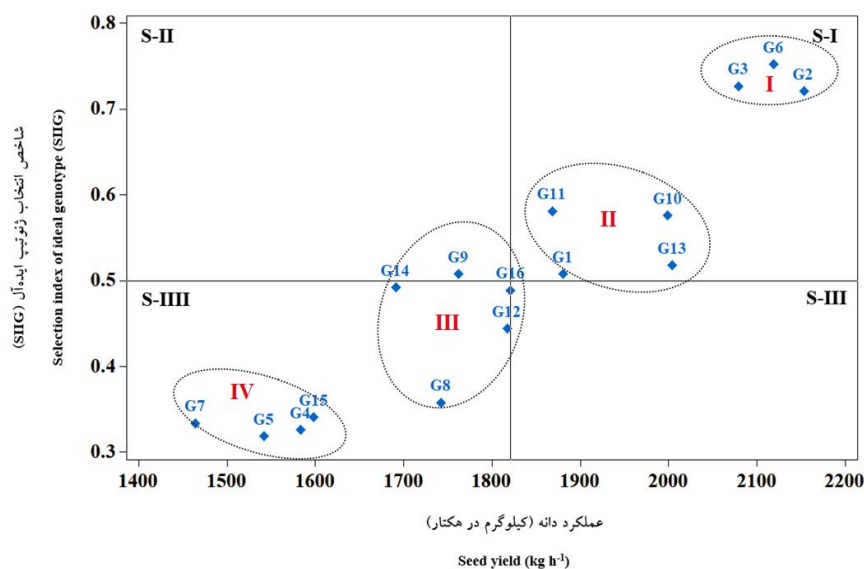
به منظور شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل که هم از نظر صفات زراعی مورد ارزیابی و هم از نظر عملکرد دانه برتر بودند، از نمودار دو بعدی پراکنش ژنوتیپ‌ها براساس شاخص SIIG و عملکرد دانه استفاده گردید (شکل ۱). در این نمودار محور افقی و عمودی به ترتیب عملکرد دانه و مقدار شاخص SIIG می‌باشد. خط عمود بر محور افقی (محور میانگین عملکرد دانه) نشان‌دهنده میانگین کل عملکرد دانه و خط عمود بر محور شاخص SIIG (محور میانگین SIIG) نشان‌دهنده میانگین کل SIIG می‌باشد. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که بالای محور میانگین SIIG هستند جزء ژنوتیپ‌های خوب از نظر اکثر صفات مورد ارزیابی هستند. با توجه به نتایج نمودار دو بُعدی، ژنوتیپ‌های G2، G6 و G3 با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل و همچنین مقدار SIIG بالا (گروه اول)، به عنوان ژنوتیپ‌های ایده‌آل از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی مورد ارزیابی بودند. همچنین ژنوتیپ‌های گروه دوم G10، G13، G11 و G1 از لحاظ برتری به دلیل داشتن SIIG بالا و همچنین عملکرد بالاتر از میانگین کل در رتبه دوم قرار گرفتند. ژنوتیپ G9 هرچند مقدار جزئی SIIG بالاتر از میانگین کل را داشت ولی عملکرد پایین‌تر از میانگین کل داشت؛ همراه با ژنوتیپ‌های G12، G16 و G14 به دلیل داشتن عملکرد دانه پایین از میانگین کل و مقدار SIIG پایین‌تر از میانگین کل جزء ژنوتیپ‌های نامطلوب بودند و در گروه سوم قرار گرفتند. همچنین ژنوتیپ‌های G15، G4، G5 و G7

با داشتن مقدار SIIG خیلی پایین و عملکرد دانه
پایین (گروه چهارم) جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند
که این مطلب همبستگی ضعیف عملکرد دانه با اکثر
صفات مورد بررسی را نشان داد.

جدول ۵- عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آزاد گرده افشان بهاره کلزا در دو سال زراعی اجرای آزمایش (۱۴۰۱-۱۴۰۳)

Table 5. Seed yield of spring oilseed rape open-pollinated genotypes in two years of experimental implementation

شماره No.	کد ژنوتیپ Genotype code	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha ⁻¹)	
		۱۴۰۲-۱۴۰۱	۱۴۰۳-۱۴۰۲
1	G1	1094	2667
2	G2	971	3334
3	G3	918	3240
4	G4	807	2358
5	G5	676	2407
6	G6	873	3365
7	G7	816	2112
8	G8	532	2952
9	G9	947	2577
10	G10	855	3143
11	G11	620	3115
12	G12	994	2640
13	G13	951	3056
14	G14	923	2459
15	G15	648	2549
16	G16	874	2768
Mean / میانگین		844	2796



شکل ۱- نمودار دوبعدی پراکنش ۱۶ ژنوتیپ کلزا بر اساس عملکرد دانه و روش SIIG

Figure 1. Two-dimensional graph of distribution of 16 oilseed rape genotypes based on seed yield and SIIG method.

جدول ۶- مقادیر عملکرد دانه، فاصله از ژنوتیپ مطلوب و نامطلوب (به ترتیب d^+ و d^-)، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و رتبه ژنوتیپ‌های آزاد گرده افشان بهاره کلزا در شرایط دیم

Table 6. Values of the seed yield, distance from ideal and nonideal genotypes (d^+ and d^- , respectively), selection index of ideal genotype (SIIG), and rank of spring oilseed rape open-pollinated genotypes in dryland conditions

رتبه ژنوتیپ	شاخص	فاصله از ژنوتیپ نامطلوب (d^-)	فاصله از ژنوتیپ مطلوب (d^+)	میانگین عملکرد دانه	عملکرد دانه در سال دوم	عملکرد دانه در سال اول	کد ژنوتیپ
Genotype rank	SIIG index	Distance from nonideal Genotype (d^-)	Distance from ideal Genotype (d^+)	Average seed yield (kg ha ⁻¹)	Seed yield in the second year (kg ha ⁻¹)	Seed yield in the first year (kg ha ⁻¹)	Genotype code
7	0.508	0.114	0.110	1881	2667	1094	G1
3	0.721	0.179	0.069	2153	3334	971	G2
2	0.727	0.169	0.063	2079	3240	918	G3
15	0.326	0.082	0.169	1583	2358	807	G4
16	0.319	0.078	0.166	1542	2407	676	G5
1	0.752	0.172	0.057	2119	3365	873	G6
14	0.334	0.085	0.169	1664	2112	816	G7
12	0.358	0.086	0.154	1742	2952	532	G8
8	0.508	0.115	0.112	1762	2577	947	G9
5	0.576	0.135	0.099	1999	3143	855	G10
4	0.581	0.131	0.094	1868	3115	620	G11
11	0.444	0.107	0.134	1817	2640	994	G12
6	0.518	0.119	0.111	2004	3056	951	G13
9	0.492	0.123	0.127	1691	2459	923	G14
13	0.341	0.078	0.150	1599	2549	648	G15
10	0.489	0.111	0.116	1821	2768	874	G16
میانگین	0.500	0.118	0.119	1820	2796	844	Mean

تجزیه به عامل‌ها: در این پژوهش، تعداد ۱۱ صفت ارزیابی شده برای تجزیه به عامل‌ها استفاده شد. شایان ذکر است که اندازه کفایت نمونه‌برداری کایزر-مایر-اولکین (KMO) بدست آمده به همراه معنی‌دار شدن آزمون اسفیریسیتی بارتلت بیانگر کافی بودن مقادیر همبستگی متغیرهای اولیه جهت انجام تجزیه به عامل‌ها بود. با انجام تجزیه به عامل‌ها مشخص شد که تعداد عامل‌هایی که مقادیر ویژه بالای یک دارند سه عامل بود؛ این عامل‌ها مجموعاً ۷۲/۰۷ درصد واریانس کل داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۷). سهم عامل اول تا سوم به ترتیب ۳۸/۹۸، ۲۰/۹۴ و ۱۲/۱۵ درصد برآورد گردید. در این تجزیه، عامل اول که بیشترین سهم در تغییرات کل داده‌ها (۳۸/۹۸ درصد) را داشت، دارای ضرایب مثبت و بزرگ برای کلیه صفات فنولوژیکی (تعداد روز تا شروع گلدهی،

تعداد روز تا خاتمه گلدهی، طول دوره گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک) و دو صفت تعداد شاخه فرعی در بوته و تعداد خورجین در بوته بود و برای وزن هزار دانه دارای ضریب منفی و بزرگ برای بود. بنابراین این عامل را می‌توان به عنوان عامل مؤثر بر رشد و خصوصیات رسیدگی معرفی کرد (جدول ۷). این صفات فنولوژیکی تأثیر زیادی بر چرخه رشد گیاهی و توانایی آن در سازگاری با شرایط محیطی دارند. خورجین‌ها حاوی دانه هستند و در مراحل اولیه پر شدن دانه از طریق انجام فتوسنتز در رشد و تکامل مشارکت دارند (Zabet et al., 2016). از طرف دیگر مثبت بودن ضریب تعداد خورجین در بوته و منفی بودن ضریب وزن هزار دانه، بیانگر این موضوع است که این دو صفت رابطه معکوس با همدیگر دارند؛ زیرا افزایش تعداد خورجین در بوته ممکن است باعث

استفاده قرار گیرند (Blum, 2011). ارتفاع بوته معمولاً نشان‌دهنده ظرفیت رشد رویشی گیاه است و می‌تواند با بهبود جذب نور، افزایش فتوسنتز و توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای، به تأمین بهتر منابع برای رشد دانه‌ها کمک کند (Richards, 1996). در شرایط دیم که محدودیت آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید است، ارتفاع مناسب بوته ممکن است به گیاه کمک کند تا بهتر منابع محیطی مانند رطوبت و مواد مغذی خاک را جذب کرده و به تعادل بهتری بین رشد رویشی و زایشی برسد (Passioura, 2007). تعداد خورجین در بوته با تعداد دانه‌های تشکیل‌شده ارتباط دارد که بخش عمده‌ای از عملکرد را تشکیل می‌دهد (Fischer, 1985). در شرایط دیم، افزایش تعداد خورجین می‌تواند نشانگر توانایی گیاه در حفظ رشد زایشی حتی در مواجهه با محدودیت‌های آبی باشد که این امر اهمیت بالایی در حفظ عملکرد پایدار دارد (Tuberosa et al., 2007). در واقع، انتخاب گیاهان با ارتفاع مناسب و تعداد بالای خورجین می‌تواند منجر به افزایش تولید دانه در شرایط محدودیت آبی شود (Richards, 1996). مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته می‌توانند نقش مهمی در تحمل خشکی و حفظ عملکرد داشته باشند (Passioura, 2007). همچنین تعداد بالای خورجین در بوته می‌تواند نشانگر قدرت گیاه در تنظیم منابع و تخصیص انرژی به تولید دانه‌ها باشد (Tuberosa et al., 2007). با توجه به این نکات، توصیه می‌شود در برنامه‌های اصلاحی و انتخابی برای شرایط دیم، به ویژه توجه ویژه‌ای به ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته شود تا بتوان عملکرد پایدار و بهبود یافته‌ای را در این شرایط دشوار به دست آورد (Richards, 1996). عامل سوم که ۱۲/۱۵ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه می‌کرد، دارای ضرایب بزرگ و مثبت

کاهش وزن هزار دانه بود. این نتایج در تطابق با نتایج سایر محققان است (Zabet et al., 2016; Soleimanzadeh et al., 2008). در مجموع در عامل اول صفت وزن هزار دانه با ضریب منفی در کنار صفات فنولوژیکی مرتبط با رسیدگی با ضرایب مثبت قرار گرفته است، لذا با گزینش بر مبنای عامل اول باعث انتخاب ژنوتیپ‌های با وزن هزار دانه بیشتر و زودرس خواهد شد. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که وزن هزار دانه با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد؛ اما همبستگی صفات روز تا ۹۰ درصد گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک با عملکرد دانه دارای همبستگی منفی و معنی‌دار است (Soltani Howyzeh et al., 2018; Bayat et al., 2008). علاوه بر این، در تحقیقات اخیر تعداد روز تا رسیدگی کمتر (زودرسی) و تعداد شاخه فرعی گیاه کلزا به عنوان یک شاخص گزینشی در شرایط دیم معرفی شده است (Hatamzadeh, 2011). عامل دوم که ۲۰/۹۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌کند، برای صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته دارای ضرایب بزرگ و مثبت می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی که در این مؤلفه دارای مقادیر بالاتری هستند، به‌طور هم‌زمان از پتانسیل عملکرد بالاتر، قامت بلندتر و توانایی تولید خورجین بیشتر برخوردارند. بنابراین، عامل دوم را می‌توان به‌عنوان عملکرد و ظرفیت تولید زیست‌توده اقتصادی تفسیر کرد. ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته به عنوان دو صفت مهم مورفولوژیکی، نقش کلیدی در تعیین عملکرد دانه به ویژه در شرایط دیم ایفا می‌کنند. علاوه بر این، وجود ضرایب مثبت قوی برای این دو صفت در عامل دوم، نشان می‌دهد که این صفات همبستگی نزدیکی با عملکرد دانه دارند و می‌توانند به عنوان صفات انتخابی در برنامه‌های بهبود عملکرد تحت شرایط دیم مورد

برای صفات تعداد دانه در خورجین و ارتفاع شاخه‌بندی بود که این عامل را می‌توان به عنوان عامل موثر بر ساختار زایشی نام‌گذاری کرد (جدول ۷).

جدول ۷- تجزیه به عامل‌ها برای صفات مورد ارزیابی به روش مؤلفه‌های اصلی و دوران واریماکس در ژنوتیپ‌های آزاد گرده افشان بهاره کلزا در شرایط دیم

Table 6. Factor analysis for the evaluated traits using the principal component method and varimax rotation in open-pollinated spring rapeseed genotypes under dryland conditions

صفات Traits	عامل اول Factor 1	عامل دوم Factor 2	عامل سوم Factor 3
تعداد روز تا شروع گلدهی days to flowering	0.859	-0.108	-0.142
تعداد روز تا خاتمه گلدهی days to flowering ending	0.944	-0.125	-0.069
طول دوره گلدهی flowering period duration	0.587	-0.090	0.077
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک days to physiological maturity	0.941	-0.107	0.146
تعداد شاخه فرعی در بوته number of sub-branches	0.775	0.212	0.148
تعداد خورجین در بوته number of pods per plant	0.598	0.604	-0.053
تعداد دانه در خورجین number of seeds per pod	0.157	0.091	0.861
ارتفاع بوته plant height	-0.080	0.913	0.028
ارتفاع شاخه‌بندی branching height	0.002	0.069	0.801
وزن هزار دانه thousand-kernel weight	-0.623	-0.062	-0.135
عملکرد دانه seed yield	-0.157	0.913	0.214
مقادیر ویژه Eigenvalues	4.29	2.30	1.34
مقدار ویژه (درصد) Relative variance (%)	38.98	20.94	12.15
درصد تجمعی Cumulative variance (%)	38.98	59.92	72.07

نتیجه‌گیری

کل در رتبه دوم قرار گرفتند. براساس نتایج تجزیه به عامل‌ها صفات ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته به عنوان یک شاخص‌گزینی برای رسیدن به عملکرد دانه بالا پیشنهاد شد. بنابراین می‌توان با گزینش و اصلاح برای صفات ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته، به ارقامی از کلزا برای کاشت در

بر اساس شاخص SIIG، ژنوتیپ‌های G2، G6 و G3 با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل و همچنین مقدار SIIG بالاتر جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و سایر صفات زراعی بودند. همچنین ژنوتیپ‌های G10، G13، G11 و G1 از لحاظ برتری به دلیل داشتن SIIG بالا و عملکرد بالاتر از میانگین

است. بدین وسیله نویسندگان از ایستگاه ملی تحقیقات کشاورزی و تولید بذر گنبد کاووس وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان و از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به خاطر فراهم کردن امکانات و شرایط اجرای این تحقیق و تأمین مواد ژنتیکی سپاسگزاری می نمایند.

شرایط دیم دست یافت که دارای عملکرد اقتصادی قابل قبول باشند.

سپاسگزاری

این مقاله از اجرای پروژه تحقیقاتی با شماره مصوب ۰۳-۰۳-۰۳۰۴۱۵-۱۵۳-۰۱۱۱۴۷ استخراج شده

منابع

- Abdollahi hesar A, Sofalian O, alizade B, Asghari A, zali H. 2020. Evaluation of some autumn rapeseed genotypes based on morphological traits and SIIG index. Journal of Crop Breeding 12(34): 151-159 (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)
- Bayat M, Rabiei B, Rabiee M, Moumeni A. 2008. Assessment of Relationship between Grain Yield and Important Agronomic Traits of Rapeseed as Second Culture in Paddy Fields. Journal of Crop Production and Processing 12 (45): 475-486 (In Persian)
- Blum A. 2011. Plant breeding for water-limited environments. Springer
- Bybordi A. 2010. Effects of salinity on yield and component characters in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Noulaet Scientia Biologicae 2(1): 81-83
- Cattell RB. 1965. Factor analysis: an introduction to essentials. 1. The purpose and underlying models. Biometrics 21: 190-215
- Chakraborty K, Raj S, Bhattacharya RC. 2012. Differential expression of salt overly sensitive pathway genes determines salinity stress tolerance in Brassica genotypes. Plant Physiology and Biochemistry 51: 90-101
- Dyer JM, Mullen RT. 2008. Engineering plant oils as high-value industrial feedstocks for biorefining: the need for underpinning cell biology research. Physiologia Plantarum 132: 11-22.
- Ehshamami, S., Tharani, A. and Samadi, B. 2016. Effect of planting date on some phenological, morphological, yield and yield components of five rapeseed cultivars. Agriculture (Research and Development) 109: 111-120. (In Persian)
- Faraji A. 2012. Effect of sowing date and supplemental irrigation on grain yield and phosphorus distribution and remobilization in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Dryland Agronomy Journal 1(2): 54-69 (In Persian)
- Faraji A, Younesabadi M, Kiani A, Khormali S, Ghazaeian M, Asadi MA, Aghajani MA, Sadegh Nezhad HR, Bagheri M, Mosakhani A, Habibian L. 2018. Rapeseed cultivation in Golestan Province (Practical tips for farm management. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. 21 p. (In Persian)
- Fares K, Guasmi F, Touil L, Triki T, & Ferchichi A. 2009. Genetic diversity of Pistachio tree using InterSimple Sequence markers (ISSR) supported by morphological and chemical markers. Biotechnology 8:24- 34
- Fischer RA. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. Journal of Agricultural Science 105(2): 447-461

- Ghasemian Ardestani H, Jahan M, Shirani Rad AH. 2019. Evaluation of qualitative traits of selected cultivars of canola in autumn and winter crops affected by different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(2): 429-443 (In Persian)
- Gholizadeh A, Amiri Oghan H, Rameeh V, Payghamzadeh K, Bakhshi B, Alizadeh B, Dalili SA, Kia SH, Shariati F. 2022 a. Multi-trait selection of promising advanced lines of rapeseed using selection index of ideal genotypes. *Plant Genetic Researches* 9(1): 85-98 (In Persian)
- Gholizadeh A, Masoudi B, Hezarjaribi E, Payghamzadeh K. 2022 b. Simultaneous selection for seed yield and other agronomic traits in promising advanced lines of soybean. *Journal of Crop Breeding* 14(44): 190-198 (In Persian)
- Hatamzadeh H. 2011. [Determining of effective traits on rapeseed seed yield under semi cold rainfed conditions](#). *Iranian Journal of Field Crops Research* 9(2): 248-257 (In Persian)
- Jaberi H, Lotfi B, Feilinezhad A, Fathi A, Kian-Ersi F, Abdollahi A. 2015. Evaluation of yield and yield components of four winter canola cultivars under drought stress. *Advances in Bioresource* 6(4): 148-151
- Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. 2023. Annual agricultural statistics of 2019-2025 (In Persian)
- Najafi Mirak T, Dastfal M, Andarzian B, Farzadi H, Bahari M, Zali H. 2018. Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Iranian Journal of Crop Sciences* 20(2): 126-138
- Passioura JB. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 113-117
- Raman A, Satish Verulkar B, Nimai Mandal P, Variar M, Shukla V, Dwivedi J, Singh B, Singh O, Swain P, Mall A, Robin S, Chandrababu R, Jain A, Ram T, Hittalmani S, Haefele S, Piepho HP, Kumar A. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice* 5: 31-42
- Raziei Z, Kahrizi D, Rostami-Ahmadvandi H. 2018. Effects of climate on fatty acid profile in *Camelina sativa*. *Cellular and Molecular Biology* 64: 91- 96
- Richards RA. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation* 20(2): 157-166
- Sepahvand M. 2007. Assessment of land suitability in Lorestan province for rainfed canola cultivation. 10th Iranian Soil Science Congress (In Persian)
- Shirani Rad AH, Jabbari H, Dehshiri A. 2013. Evaluation of spring rapeseed cultivars response to spring and autumn planting seasons. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11(3): 493-505 (In Persian)
- Sirin Vasa A, Morgan DG. 1996. Growth and development of pod wall in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) as related to the presence of seeds and exogenous phytohormones. *Journal of Agricultural Science* 127: 487-500
- Soleimanzadeh H, Latifi N, Soltani A. 2008. Relationship of phenology and physiological traits with grain yield in different cultivars of Rapeseed (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 14(5): 1-9 (In Persian)
- Soltani Howyzeh M, Moradi M, saki nezhad T, Zaker nezhad S, Etaa A. 2018. Evaluation of the relationships among yield and related traits in spring canola cultivars using path analysis. *Journal of Crop Breeding* 10(27): 125-134 (In Persian)
- Sun G, Yao T, Feng C, Chen L, Li J, Wang L. 2017. Identification and of antagonistic bacteria strains against biocontrol potential *Sclerotinia sclerotiorum* and their growth promoting effects on *Brassica napus*. *Biological Control* 104: 35-43
- Tuberosa R, Sanguineti MC, Landi P, Salvi S, Conti S. 2007. Genome-wide approaches to investigate drought tolerance in maize. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 325-336

- Yao M, He D, Li W, Xiong X, He X, Liu Z, Guan C, Qian L. 2024. Identification of environment-insensitive genes for oil content by combination of transcriptome and genome-wide association analysis in rapeseed. [Biotechnology for Biofuels and Bioproducts](#) 17: 29
- Yuan L, Li, R. 2020. Metabolic engineering a model oilseed *Camelina sativa* for the sustainable production of high-value designed oils. *Frontiers in Plant Science*. 11:11
- Zabet M, Seddigh S, Samadzade A. 2016. The effect of drought stress on yield and yield components in 10 genotypes of rapeseed under Birjand climate conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 9(2): 121-137 (In Persian)
- 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, 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, 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.2025.369805.450

Selection of advanced spring oilseed rape lines with desirable yield and superior agronomic traits under dryland condition

Hossein Ahmadi-Ochtapeh^{1*}, Hassan Amiri Oghan² and Amir Gholizadeh¹

1- 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- Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Oilseed rape, as one of the most important oilseed crops however, drought stress and water scarcity remain major challenges, posing significant risks to the expansion of oilseed rape cultivation and its successful production in the country. Drought-tolerant and high-yielding oilseed rape varieties are well-suited for water-limited environments. Given the limited availability of domestic rapeseed cultivars suitable for dryland conditions, identifying and selecting superior genotypes with tolerance to environmental stresses is essential for cultivation in the warm and temperate dryland regions of the country. Accordingly, this study aimed to identify the most promising spring rapeseed genotypes under dryland conditions using the Selection Index for Ideal Genotype (SIIG).

Methodology: In this study, 12 advanced spring oilseed rape lines, along with four cultivars—Dalgan, RGS003, Baharan, and Pishro—were evaluated under dryland conditions over two growing seasons (2023–2025). The experiment was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the National Agricultural Research Station and Dryland Seed Production of Gonbad-e Kavous. Seeds of each genotype were sown in an experimental plot of 4.8 square meters, each consisting of four 4-meter-long rows with a row spacing of 30 cm. Agronomic traits assessed included the days to flowering (DF), days to flowering ending (DFE), flowering period duration (FPD), days to physiological maturity (DPM), number of sub-branches (NSB), number of pods per plant (NPP), number of seeds per pod (NSPP), plant height (PH), branching height (BH), thousand-kernel weight (TKW), and seed yield (SY). Statistical analyses, included combined analysis of variance for traits, selection of the best genotypes using the SIIG method, and factor analysis of traits.

Research findings: Based on SIIG index values, genotypes G6, G3, G2, G11, G10, G13, G1, and G9, showing high SIIG values (0.752, 0.727, 0.721, 0.581, 0.576, 0.518, 0.508, and 0.508, respectively), were classified as superior genotypes. Conversely, genotypes G5, G4, G7, G15, G8, G12, G16, and G14, with lower SIIG values (0.319, 0.326, 0.334, 0.341, 0.358, 0.444, 0.489, and 0.492, respectively), were categorized as weaker genotypes based on the majority of evaluated traits. According to the two-dimensional scatter plot of genotypes based on SIIG index and grain yield, genotypes G2, G6, and G3—having grain yields above the overall mean and high SIIG values—were selected as ideal genotypes in terms of grain yield and other measured agronomic traits. In contrast, genotypes G15, G4, G5, and G7, with very low SIIG values and poor seed yields, were categorized among the weakest genotypes. Factor analysis extracted three factors that collectively accounted for 72.07% of the total variance in the dataset, with the first, second, and third factors explaining 38.98%, 20.94%, and 12.15% of the variance, respectively. The results indicated a positive correlation between plant height and the number of pods per plant with seed yield. These traits can serve as reliable selection criteria in breeding programs aimed at identifying rapeseed genotypes with economically viable yields under dryland conditions.

Keywords: Dryland condition, Ideal genotype, Oilseed rape, Seed yield

* Corresponding author: h.ahmadiochtapeh@areeo.ac.ir

Submit date: 2025/06/11 Accept date: 2025/09/14

