دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی تحمل خشکی لاین‌های هاپلوئید مضاعف کاملینا (*Camelina sativa*) با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

عاطفه اسماعیلی[۱]، عبداله نجفی[۲] و دانیال کهریزی[۳]

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه رازی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- دانشیار دانشگاه رازی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، (نویسنده مسوول: anajaphy@razi.ac.ir)
۳- استاد دانشگاه رازی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۹
صفحه: ۱۹۹ تا ۲۱۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: کاملینا محصولی است که به‌عنوان یک جایگزین امیدوارکننده برای سایر دانه‌های روغنی در طی بیست سال گذشته معرفی شده‌است. با توجه به نیاز روز افزون کشور به واردات روغن و معرفی کاملینا به‌عنوان یک جایگزین مناسب، متناسب با اقلیم کشور، مطالعه حاضر با هدف گزینش لاین‌های برتر و ایده‌آل گیاه دانه روغنی کاملینا بر مبنای شاخص SIIG و با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل خشکی جهت استفاده در برنامه‌های به نژادی آتی انجام شد.

مواد و روش‌ها: بررسی حاضر به‌منظور ارزیابی لاین‌های هاپلوئید مضاعف کاملینا با استفاده از SIIG در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی و در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۷ صورت گرفت. آزمایش با ۴۰ لاین و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آبیاری در شرایط نرمال براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. ارزیابی لاین‌های متحمل و حساس به تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره وری (MP)، شاخص حساسیت به خشکی (SSI)، میانگین هندسی عملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش (GMP)، شاخص مقاومت به خشکی (DI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص حساسیت به تنش (SDI)، شاخص پاسخ به خشکی (RDI)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک عملکرد (HAM) صورت گرفت و از تکنیک SIIG برای انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی با استفاده از سایر شاخص‌های تحمل تنش به‌طور همزمان استفاده شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج این بررسی شاخص‌های GMP، MP، HAM و STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش بودند و بنابراین شاخص‌های مناسب برای انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی می باشند. بر اساس این شاخص‌ها لاین ۳۹ به‌عنوان مناسب‌ترین لاین شناسایی شد. شاخص‌های مناسب برای بر اساس نمودار بای پلات، لاین‌های ۳۹، ۱۲۰، سهیل، ۴۶، ۱۱۲ و ۴۹ به‌عنوان لاین‌های مطلوب انتخاب شدند. همچنین این لاین‌ها بر اساس شاخص SIIG نیز به‌عنوان لاین‌های متحمل شناخته شدند. از سوی دیگر لاین ۱۱۴ با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (0.56) و کمترین مقدار SIIG (0.06) ضعیف‌ترین لاین این بررسی شناخته شد.

نتیجه‌گیری: نتایج کلی این بررسی نشان داد که استفاده از شاخص ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) به‌دلیل ادغام شاخص‌های مختلف و رسیدن به یک شاخص واحد در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌تواند نتایج مطمئن‌تری به محقق ارائه کند. بر اساس این شاخص بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپی خواهد بود که مقدار شاخص SIIG برای آن به یک نزدیک‌تر باشد و ژنوتیپی که مقدار شاخص SIIG برای آن به صفر نزدیک باشد به‌عنوان ژنوتیپ ضعیف شناخته خواهد شد. بنابراین لاین ۳۹ با کمترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (۰/۱۱) و بیشترین مقدار SIIG (۰/۸۳) متحمل‌ترین لاین از نظر تحمل به تنش خشکی بود که مطابق با نتایج حاصل از نمودار بای‌پلات است.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، شاخص SIIG، ژنوتیپ ایده‌آل، عملکرد دانه و کاملینا

مقدمه

کاملینا[۱] (*Camelina sativa* L. Crantz) گیاهی یکساله از خانواده براسیکاسه (*Brassicaceae*) است که بیشتر در اروپا و آمریکای شمالی کشت می‌شود. کاملینا ارتباط نزدیکی با ارگانیسم گیاه مدل آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) و گیاه روغنی (*Brassica napus*) دارد. برخلاف سایر محصولات خانواده براسیکاسه، کاملینا در طول زمان مورد کشت گسترده قرار نگرفته است و تنها بخش کمی از ارقام این گیاه برای مصارف کشاورزی در دسترس است. با این‌حال در دهه‌های اخیر، کاملینا عمدتاً به‌دلیل ترکیب روغن آن محبوبیت بیشتری پیدا کرده است (۱۶). سیکل رشدی کاملینا در محدوده ۹۰ تا ۲۵۰ روز است. کاملینا انعطاف‌پذیری مورفولوژیکی بسیار بالایی را دارا می‌باشد و شرایط رشد بر اندازه گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی آن تأثیرگذار است. پس از ایجاد یک جفت برگ واقعی در اولین گره، برگ‌های بعدی به‌طور متناوب روی گره‌های متوالی تا زمان تشکیل یک گل، رشد می‌کنند. این گیاه می‌تواند به ارتفاع نهایی ۰/۶۵ تا ۱/۰۵ متر برسد و بالای۳۰ عدد شاخه جانبی تشکیل دهد (۳۰). کاملینا مقاومت بالایی در برابر آفات دانه‌های روغنی مانند سوسک گرده داشته، پتانسیل تولید بالایی دارد و احتمالاً گزینه مناسبی برای کشت در تناوب با غلات می‌باشد. این محصول قابلیت سازگاری در مناطق سرد و خشک را دارد و در مناطق گرم نیز یافت می‌شود. نیاز کم به آب و مواد مغذی، قابلیت سازگاری با شرایط نامساعد محیطی و مقاومت در برابر آفات از جمله مزایای کشت این گیاه نسبت به کلزا محسوب می‌شود (۱۹).

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر بهره‌وری گیاهان تأثیر می‌گذارد. در واقع تنش خشکی عامل احتناب‌ناپذیری است که در محیط‌های مختلف بدون شناخت مرزها وجود دارد و واضح است که مانع تولید، کیفیت و انرژی گیاه می‌شود (۲۰). گیاهان می‌توانند با درجات مختلفی از تنش سازگار شوند و بررسی توانایی گیاهان در تنش‌های محیطی بهترین استراتژی برای دستیابی به گیاه مقاوم است (۱۲). برای انتخاب ارقام متحمل و یا حساس به تنش استفاده از

1- Camelina

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

یک شاخص به تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نشود، ولی با ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل افزایش می‌یابد. در این روش می‌توان با توجه به‌نظر محقق از تمام شاخص‌ها به‌طور همزمان برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب ژنوتیپ متحمل به تنش استفاده نمود (۲۷). بر همین اساس تکنیک شاخص ژنوتیپ ایده‌آل[1](SIIG) به‌منظور ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی استفاده می‌شود و در واقع می‌توان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد و در نهایت به کشاورزان معرفی کرد. زالی و همکاران (۲۶) در طی پژوهشی با هدف ایجاد یک متدولوژی برای ارزیابی بهترین ژنوتیپ‌های کلزا بر اساس روش‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری با استفاده از تکنیک شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) بیان کردند که این تکنیک تصمیم‌گیری انتخاب ژنوتیپ بهتر را راحت‌تر می‌سازد و اجرای آن بسیار ساده است. بر طبق این تکنیک بهترین ژنوتیپ (ژنوتیپ پایدار) ژنوتیپی است که کمترین انحراف را از پارامتر ایده‌آل مثبت و بیشترین انحراف را از پارامتر ایده‌آل منفی داشته باشد. تکنیک SIIG بستر بهتری برای شناسایی ژنوتیپ پایدار و با عملکرد بالا را با استفاده از مجموعه‌ای از روش‌های پایداری فراهم می‌کند. شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) می‌تواند به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ از همه‌ی ژنوتیپ‌های موجود در محیط‌های مختلف با استفاده از سایر شاخص‌های تحمل به خشکی به‌کار رود. در واقع در این شاخص پارامترهای تجزیه پایداری و شاخص‌های مختلف تنش به صورت یک شاخص درمی‌آیند و انتخاب را راحت‌تر می‌سازد (۲۵). زالی و براتی (۲۸) بیان کردند، زمانی‌که صفتی دارای تنوع ژنتیکی بالایی باشد، مسلماً نقش آن در مقدار عددی شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل بیشتر خواهد بود. در طی پژوهشی که توسط کریمی‌زاده و همکاران (۱۵) با هدف بررسی پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری صورت گرفت، مشخص شد که استفاده از شاخص‌های چند معیاری مانند SIIG به این دلیل نسبت به روش‌های مختلف شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار برتری دارد که در این روش‌ها ممکن است نتایج متناقضی بدست آید و رسیدن به یک نتیجه نهایی دشوار باشد؛ بنابراین انتخاب ژنوتیپی که در روش‌های بیشتری پایدار باشد نسبت به استفاده از یک روش می‌تواند بهتر باشد. همچنین بررسی‌های قلی‌زاده و همکاران (۱۱) برای گزینش هیبریدهای جدید آفتابگردان با عملکرد بالا و خصوصیات زراعی مطلوب با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) نشان داد که ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر SIIG بالایی هستند و نیز دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین می‌باشند، می‌توانند برای انجام آزمایشاتی مانند آزمایشات سازگاری در مناطق گرم مرطوب به‌کار روند. زالی و همکاران (۲۹) در پژوهشی از شاخص SIIG برای شناسایی لاین‌های برتر جو استفاده کردند و بیان کردند که در صورتی باید از این شاخص استفاده نمود که همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه داشته باشد، زیرا یک صفت مهم و تأثیرگذار است. امیری و همکاران (۳) از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب عدس در شرایط دیم استفاده نمود و به این نتیجه دست یافتند که ژنوتیپ‌هایی که در تجزیه خوشه‌ی و بای پلات در گروه ژنوتیپ‌های مناسب قرار گرفته‌اند، از نظر شاخص SIIG نیز به‌عنوان ژنوتیپ‌های ایده‌آل شناخته شدند. عبدالهی حصار و همکاران (۱) برخی ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا را بر اساس صفات زراعی و شاخص SIIG مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که ژنوتیپ‌های برتر از نظر صفاتی مانند عملکرد تک‌بوته، عملکرد و تعداد غلاف در بوته دارای ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی بالایی بودند و ژنوتیپ‌های برتر بر اساس شاخص SIIG و عملکرد بالاتر از متوسط کل از نظر عملکرد دانه و سایر صفات را معرفی نمودند. از آن‌جایی که این شاخص برای مقایسه و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف به‌کار می‌رود، مهم‌ترین مزیت آن طبیعت مثبت و منفی شاخص‌ها و واحدهای سنجش متفاوت آن‌ها می‌باشد که به شکل ترکیبی در این روش استفاده می‌شود. در این تکنیک ژنوتیپی که به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر و از ژنوتیپ غیر ایده‌آل دورتر باشد، به‌عنوان بهترین ژنوتیپ انتخاب می‌شود (۲۷). بنابراین مطالعه حاضر با هدف گزینش لاین‌های برتر و ایده‌آل گیاه دانه روغنی کاملینا بر مبنای شاخص SIIG و با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل خشکی جهت استفاده در برنامه‌های به نژادی آتی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد مطالعه در این پژوهش شامل چهل لاین هاپلوئید مضاعف کاملینا است (جدول ۱) که از نظر تحمل به خشکی مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمایش مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۷ و در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (با موقعیت جغرافیایی ′۹،°۴۷ شمالی، ′۲۱ ،°۳۴ شرقی) و کشت مزرعه‌ای در اواسط ماه آبان انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار با تراکم حدود ۴۰۰ بوته در متر مربع در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی آخر فصل (۲ یا ۳ نوبت آبیاری تکمیلی با در نظر گرفتن الگوی بارندگی در بهار) انجام شد. در شرایط دیم، بعد از اتمام بارندگی، آبیاری انجام نشد. در شرایط نرمال، آبیاری تکمیلی بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A از مرحله خورجین‌دهی به بعد در هر دو سال اعمال شد.
در هر پلات آزمایشی، بذرها در ۴ ردیف به‌طول ۲ متر با فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند.

1- Selection index of ideal genotype

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

جدول ۱- اسامی و مبدأ والدین تلاقی‌ها و لاین‌های هاپلویید مضاعف کاملینا مورد بررسی در هر تلاقی
Table 1. Names and origins of the parents of the crosses and double haploid lines of Camelina examined in each cross

تلاقی	والد مادری	کشور مبدا	والد پدری	کشور مبدأ	شماره یا نام لاین ها
1.	Voronezskij 349	Russia	Kirgizskij 1	Kyrgyzstan	۶۶
2.	Omskij Mestnyj	Russia	Irkutskij Mestnyj	Irkutsk Region	۳۸,۴۶,۱۲۹
3.	Przybrodzka	Poland	Hoga	Denmark	۲۰,۳۱
4.	Saratovskij	Russia	Bronowska	Poland	۸,۱۲۰
5.	Chulymskij	Russia	Omskij Mestnyj	Russia	۱۱,۲۹,۵۸,۱۱۶,۱۲۱,۱۲۵,۱۳۱
6.	Krupnosemjannyj	Russia	Brzybrodzka II	Poland	۱۱۰
7.	Came	Germany	Volyn'skaja	Former Soviet Union	۹۰,۱۱۹,۱۲۳
8.	Boha	Denmark	Volynskaja	Poland	۱۸,۱۹
9.	Came	Germany	Omskij	Former Soviet Union	۳۴,۱۱۱,۱۱۲,۱۲۴
10.	Svalöf	Sweden	Ukrajinskij	Former Soviet Union	۱۱۷,۱۳۰
11.	Calena	Germany	Blaine Greek	Greece	سهیل .۳۰,۴۷,۱۱۴,۱۳۴
12.	Zavolzskij	Former Soviet Union	Sortandinskij	Former Soviet Union	۳۹,۱۲۶
13.	VNIIMK 17	Former Soviet Union	Borowska	Poland	۱۲۷
14.	Voronezh 349	Former Soviet Union	Czestochowska	Poland	۴۹,۱۳۳
15.	Lindo	Germany	Ukrajinskaja	Former Soviet Union	۵۳,۱۲۲,۱۲۸

در طول دوره اجرای این طرح، مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت‌گرفت. در اوایل تیرماه و در زمان رسیدگی کامل، برداشت به‌صورت دستی انجام شد. برای بدست‌آوردن عملکرد دانه گیاهان داخل کوادرات یک در یک برداشت‌گردید و پس از خرمن‌کوبی، وزن دانه‌ها اندازه‌گیری شد. ارزیابی لاین‌های متحمل و حساس به تنش خشکی با استفاده از میانگین عملکرد دو ساله لاین‌ها و شاخص تحمل (TOL)[1] و میانگین بهره وری (MP)[2] روزیل و هامبلین (۱۸)، شاخص حساسیت به خشکی (SSI)[3] فیشر و مورر (۸)، میانگین هندسی عملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش (GMP)[4]، شاخص مقاومت به خشکی (DI)[5] فرناندز (۷)، شاخص عملکرد (YI)[6] گاووزی و همکاران(۱۰)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)[7] بوسلاما و اسچاپف (۵)، شاخص حساسیت به تنش (SDI)[8] فرشادفر و جوادی‌نیا (۶)، شاخص پاسخ به خشکی (RDI)[9] فیشر و وود (۹)، شاخص تحمل به تنش (STI)[10] و میانگین هارمونیک عملکرد (HM)[11] فرناندز (۷) صورت گرفت. از تکنیک شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) برای انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی با استفاده از سایر شاخص‌های تحمل تنش به‌طور همزمان استفاده شد. نحوه محاسبه این شاخص به شرح زیر بود (۱):

مرحله اول: تشکیل ماتریس داده‌ها بر اساس تعداد شاخص مورد بررسی و تعداد ژنوتیپ‌ها

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

در این ماتریس x_{ij} مقدار شاخص iام در رابطه با ژنوتیپ jام می‌باشد $(i = 1.2 \ldots n)\ (j = 1.2 \ldots m)$

مرحله دوم: نرمال کردن داده‌ها و تبدیل ماتریس داده‌ها به یک ماتریس نرمال با استفاده از رابطه زیر:

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

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

در مرحله سوم که پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و غیر ایده‌آل می‌باشد، برای هر صفت یا شاخص به‌طور جداگانه برترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ انتخاب می‌شود.

مرحله چهارم: محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \left(r_{ij} - r_j^+\right)^2}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \left(r_{ij} - r_i^-\right)^2}$$

در این رابطه d_i^+ بیانگر فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و d_i^- بیانگر فاصله از ژنوتیپ ضعیف می‌باشد، r_{ij} مقدار نرمال‌شده شاخص (صفت) i ام در رابطه با ژنوتیپ j ام و r_j^+ مقدار نرمال‌شده ژنوتیپ ایده‌آل و r_i^- مقدار نرمال‌شده ژنوتیپ ضعیف برای هر صفت iام می‌باشد.

مرحله پنجم: محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشد:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل بین صفر و یک تغییر کرده و هر چه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. برای انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS و برای محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل، تعیین همبستگی بین شاخص‌ها و رسم نمودار

1- Tolerance index 2- Mean Productivity 3- Stress Susceptibility Index 4- Geometric Mean Productivity Index
5- Drought Resistance Index 6- Yield Index 7- Yield Stability Index 8- Sensitivity Drought Index
9- Relative Drought Index 10- Stress Tolerance Index 11- Harmonic Mean

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

بای پلات از نرم‌افزارهای Excel، SPSS و Minitab استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۷ در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از این تجزیه اثرات محیط، لاین و اثر متقابل لاین و محیط معنی‌داری بودند. معنی‌دار بودن اثر لاین‌ها حاکی از اختلاف ژنتیکی بین لاین‌های مورد بررسی و توان ژنتیکی متفاوت آن‌ها در تولید عملکرد دانه است. از طرف دیگر معنی‌دار بودن اثر متقابل لاین و محیط نشان‌دهنده آن است که عملکرد لاین‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت است و لاین‌ها دارای سازگاری خصوصی با محیط‌های مختلف هستند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در دو سال زراعی

Table 2. Combined analysis of variance for grain yield in the two years

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه
سال	۱	۳۶۵/۳۳^{ns}
محیط	۱	۵۸۲۸۷/۶۴**
سال در محیط	۱	۴/۲۳^{ns}
(سال در محیط) / تکرار	۸	۱۷۵۶/۵۵
لاین	۳۹	۱۴۷۱۳/۵۸**
لاین در سال	۳۹	۵۰۳/۰۱^{ns}
لاین در محیط	۳۹	۱۸۸۱۴/۹۴**
لاین در سال در محیط	۳۹	۳۶۴/۷۷^{ns}
خطا	۳۱۲	۱۸۴/۵۶
CV(%)	-	۲۰/۱۵

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد. ns: غیر معنی‌دار

استفاده از شاخص‌های مختلف باعث می‌شود ژنوتیپ‌های مختلفی به‌عنوان ژنوتیپ مقاوم تعیین شوند؛ بنابراین استفاده از یک شاخص به تنهایی ممکن است نتایج روشنی را به دنبال نداشته باشد (۱۳). برای شناسایی لاین‌های مطلوب مقاوم به خشکی، شاخص‌های مختلف مقاومت محاسبه شد (جدول ۳). مطابق با نتایج بدست آمده بیشترین متوسط عملکرد دانه در شرایط نرمال به‌ترتیب به لاین‌های ۱۱، ۵۸، ۱۳۴ و ۱۱۴ و کمترین آن به لاین‌های ۵۳ و ۱۱۰ اختصاص داشت. در شرایط تنش نیز لاین‌های ۳۹، ۱۲۰ و ۱۱۲ بیشترین و لاین‌های ۲۲، ۳ و ۱۸ کمترین مقدار متوسط عملکرد دانه را دارا می‌باشند. لاین‌هایی که دارای میزان کمتری از شاخص TOL و SSI و SDI می‌باشند، از لحاظ تحمل به خشکی مقاوم‌تر هستند، بر این اساس لاین‌های ۱۱۴، ۱۸ و ۹۰ در این مرحله انتخاب شدند. انتخاب بر اساس این شاخص‌ها مطلوب به‌نظر نمی‌رسد، زیرا ارقامی با عملکرد کم در هر دو شرایط تنش و نرمال و مقدار کم این شاخص‌ها ارقام مناسبی به‌نظر نمی‌رسند (۲۴). از لحاظ شاخص YI لاین‌های دارای ارزش بالاتر از یک به‌عنوان لاین‌های مقاوم و لاین‌های با ارزش پایین‌تر از یک به‌عنوان لاین‌های ضعیف شناخته می‌شوند (۱۳). بر این اساس لاین‌های ۳۹ و ۴۶ مناسب‌ترین و لاین‌های ۱۱۴ و ۱۸ ضعیف‌ترین لاین‌ها محسوب می‌شوند. بر اساس شاخص DI و RDI لاین‌های ۳۹، ۴۶ و سهیل با داشتن بالاترین مقدار، به‌عنوان مقاوم‌ترین لاین‌ها و لاین ۱۱۴ با داشتن کمترین مقدار، به‌عنوان ضعیف‌ترین لاین شناخته شدند. بر اساس شاخص‌های GMP، MP، STI، YSI و HAM لاین ۳۹ به‌عنوان مقاوم‌ترین و لاین ۱۱۴، ۹۰ و ۱۲۳ به‌عنوان ضعیف‌ترین لاین شناخته شدند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و شرایط نرمال و مقادیر شاخص‌های مختلف در لاین‌های هاپلویید مضاعف کاملینا در طی دو سال زراعی

Table 3. Mean grain yield under stress and normal conditions and values of different indices in Camelina double haploid lines during the two years

لاین	YP	YS	TOL	MP	YI	YSI	SSI
۸	۷۸/۱۷	۵۸/۴۹	۱۹/۶۸	۶۸/۳۳	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۸۹
۱۱	۹۶/۴۸	۵۴/۳۱	۴۲/۱۷	۷۵/۳۹	۰/۵۶	۰/۵۶	۱/۵۵
۱۸	۸۵/۴۹	۴۴/۲۹	۴۱/۲۰	۶۴/۸۹	۰/۵۲	۰/۵۱	۱/۷۱
۱۹	۷۸/۳۰	۵۶/۸۸	۲۱/۴۱	۶۷/۵۹	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۹۷
۲۰	۹۰/۸۷	۵۸/۰۸	۲۲/۷۹	۷۴/۴۸	۰/۶۴	۰/۶۳	۱/۲۸
۲۹	۷۹/۰۳	۴۶/۱۱	۲۲/۹۱	۶۳/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۸	۱/۴۸
۳۰	۸۸/۷۸	۴۸/۵۹	۴۰/۱۹	۶۸/۶۸	۰/۵۵	۰/۵۴	۱/۶۱
۳۱	۸۰/۳۹	۴۶/۱۷	۲۴/۲۱	۶۳/۲۸	۰/۵۷	۰/۵۷	۱/۵۱
۳۴	۶۸/۳۱	۵۶/۱۴	۱۲/۱۶	۶۳/۲۳	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۶۳
۳۸	۷۸/۱۱	۵۱/۸۹	۲۶/۲۲	۶۵/۰۰	۰/۶۶	۰/۶۶	۱/۱۹
۳۹	۷۷/۱۶	۷۶/۶۸	۰/۴۷	۷۶/۹۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۲
۴۶	۶۸/۰۱	۶۷/۳۷	۰/۶۳	۶۷/۶۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۳
۴۷	۷۰/۲۹	۵۷/۴۰	۱۲/۸۹	۶۳/۸۴	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۶۵
۴۹	۶۹/۵۱	۶۳/۶۵	۵/۸۶	۶۶/۵۸	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۳۰
۵۳	۶۳/۹۰	۵۵/۹۱	۷/۹۸	۵۹/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۴۴
۵۸	۹۵/۹۷	۵۸/۹۶	۳۷/۰۱	۷۷/۴۶	۰/۶۱	۰/۶۱	۱/۳۷
۶۶	۷۰/۶۳	۴۹/۰۴	۲۱/۵۸	۵۹/۸۳	۰/۶۹	۰/۶۹	۱/۰۸
۹۰	۷۶/۳۶	۴۴/۵۸	۳۱/۷۷	۶۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۵۸	۱/۴۸
۱۱۰	۶۴/۷۲	۵۸/۱۲	۶/۶۰	۶۱/۴۲	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۳۶
۱۱۱	۸۰/۳۶	۵۸/۴۰	۲۱/۹۶	۶۹/۳۸	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۹۷
۱۱۲	۷۷/۶۴	۷۰/۱۵	۷/۴۸	۷۳/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۳۴
۱۱۴	۹۱/۲۹	۴۳/۷۸	۴۷/۵۱	۶۷/۵۴	۰/۴۸	۰/۴۷	۱/۸۵
۱۱۶	۷۱/۹۰	۵۰/۷۷	۲۱/۱۳	۶۱/۳۴	۰/۷۱	۰/۷۰	۱/۰۴
۱۱۷	۷۰/۷۲	۵۱/۹۸	۱۸/۷۳	۶۱/۳۵	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۹۴
۱۱۹	۸۲/۴۸	۶۰/۹۷	۲۱/۵۰	۷۱/۷۲	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۹۲
۱۲۰	۷۸/۱۱	۷۲/۸۶	۵/۲۵	۷۵/۴۹	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۲۳
۱۲۱	۸۴/۳۵	۶۰/۹۰	۲۳/۴۴	۷۲/۶۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۹۸
۱۲۲	۸۸/۱۶	۵۶/۸۴	۳۱/۳۱	۷۲/۵۰	۰/۶۴	۰/۶۴	۱/۲۶
۱۲۳	۶۷/۱۹	۵۰/۱۳	۱۷/۰۶	۵۸/۶۶	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۹۰
۱۲۴	۸۶/۱۶	۶۶/۳۳	۱۹/۸۳	۷۶/۲۴	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۸۱
۱۲۵	۷۷/۹۳	۵۵/۰۸	۲۲/۸۵	۶۶/۵۱	۰/۷۱	۰/۷۰	۱/۰۴
۱۲۶	۸۴/۵۶	۵۰/۳۴	۳۴/۳۱	۶۷/۴۰	۰/۵۹	۰/۵۹	۱/۴۴
۱۲۷	۷۸/۱۹	۶۱/۸۱	۱۶/۳۸	۷۰/۰۰	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۴
۱۲۸	۷۱/۰۱	۵۰/۸۹	۲۰/۱۱	۶۰/۹۵	۰/۷۲	۰/۷۱	۱/۰۰
۱۲۹	۷۷/۱۱	۵۰/۸۳	۲۶/۲۷	۶۳/۹۷	۰/۶۶	۰/۶۵	۱/۲۱
۱۳۰	۸۱/۹۱	۵۴/۶۵	۲۷/۲۶	۶۸/۲۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۱/۱۸
۱۳۱	۵۹/۳۲	۵۷/۸۴	۱/۴۷	۵۸/۵۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۰۸
۱۳۳	۸۷/۷۵	۵۱/۲۷	۳۶/۴۸	۶۹/۵۱	۰/۵۸	۰/۵۸	۱/۴۷
۱۳۴	۹۱/۷۲	۶۰/۰۵	۳۱/۶۷	۷۵/۸۸	۰/۶۵	۰/۶۵	۱/۲۲
Soheil	۶۸/۷۱	۶۷/۰۱	۱/۶۹	۶۷/۸۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۰۸

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

ادامه جدول ۳- میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و شرایط نرمال و مقادیر شاخص‌های مختلف در لاین‌های هاپلویید مضاعف کاملینا در طی دو سال زراعی

Table 3. (Continued). Mean grain yield under stress and normal conditions and values of different indices in Camelina double haploid lines during the two years

Line	GMP	STI	HAM	SDI	DI	RDI
۸	۶۲/۶۷	۰/۷۴	۶۶/۹۲	۰/۲۵	۰/۷۸	۱/۰۴
۱۱	۷۲/۳۸	۰/۸۵	۶۹/۵۰	۰/۴۳	۰/۵۴	۰/۷۸
۱۸	۶۱/۵۳	۰/۶۲	۵۸/۳۵	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۷۲
۱۹	۶۶/۷۴	۰/۷۲	۶۵/۸۹	۰/۲۷	۰/۷۳	۱/۰۱
۲۰	۷۲/۶۵	۰/۸۶	۷۰/۸۷	۰/۳۶	۰/۶۶	۰/۸۹
۲۹	۶۰/۳۷	۰/۵۹	۵۸/۲۴	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۸۱
۳۰	۶۵/۶۸	۰/۷۰	۶۲/۸۰	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۷۶
۳۱	۶۰/۹۲	۰/۶۰	۵۸/۶۵	۰/۴۲	۰/۴۷	۰/۸۰
۳۴	۶۱/۹۳	۰/۶۲	۶۱/۶۳	۰/۱۷	۰/۸۲	۱/۱۴
۳۸	۶۲/۶۶	۰/۶۶	۶۲/۳۵	۰/۳۳	۰/۶۱	۰/۹۲
۳۹	۷۶/۹۲	۰/۹۶	۷۶/۹۲	۰/۰۰۶	۱/۳۵	۱/۳۸
۴۶	۶۷/۶۹	۰/۷۴	۶۷/۶۹	۰/۰۰۹	۱/۱۸	۱/۳۸
۴۷	۶۳/۵۲	۰/۶۶	۶۳/۱۹	۰/۱۸	۰/۸۳	۱/۱۴
۴۹	۶۶/۵۱	۰/۷۲	۶۶/۴۵	۰/۰۸	۱/۰۳	۱/۲۷
۵۳	۵۹/۷۷	۰/۵۸	۵۹/۶۴	۰/۱۲	/۸۷	۱/۲۲
۵۸	۷۵/۲۲	۰/۹۲	۷۳/۰۴	۰/۳۸	۰/۶۴	۰/۸۵
۶۶	۵۸/۸۵	۰/۵۶	۵۷/۸۸	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۹۷
۹۰	۵۸/۳۵	۰/۵۵	۵۶/۳۰	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۸۱
۱۱۰	۶۱/۳۳	۰/۶۱	۶۱/۲۴	۰/۱۰	۰/۹۲	۱/۲۵
۱۱۱	۶۸/۵۱	۰/۷۶	۶۷/۶۴	۰/۲۷	۰/۷۵	۱/۰۱
۱۱۲	۷۳/۸۰	۰/۸۹	۷۳/۷۱	۰/۰۹	۱/۱۲	۱/۶
۱۱۴	۶۳/۲۲	۰/۶۵	۵۹/۱۸	۰/۵۲	۰/۳۷	۰/۶۷
۱۱۶	۶۰/۴۲	۰/۵۹	۵۹/۵۲	۰/۲۹	۰/۶۴	۰/۹۸
۱۱۷	۶۰/۶۳	۰/۶۰	۵۹/۹۲	۰/۲۶	۰/۶۸	۱/۰۲
۱۱۹	۷۰/۹۱	۰/۸۲	۷۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۸۰	۱/۰۳
۱۲۰	۷۵/۴۴	۰/۹۳	۷۵/۴۰	۰/۰۶	۱/۲۱	۱/۳۰
۱۲۱	۷۱/۶۷	۰/۸۴	۷۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۷۸	۱/۰۰
۱۲۲	۷۰/۷۹	۰/۸۱	۶۹/۱۲	۰/۳۵	۰/۶۵	۰/۹۰
۱۲۳	۵۸/۰۳	۰/۵۵	۵۷/۴۱	۰/۲۵	۰/۶۶	۱/۰۴
۱۲۴	۷۵/۵۹	۰/۹۳	۷۴/۹۵	۰/۲۳	۰/۹۱	۱/۰۷
۱۲۵	۶۵/۵۲	۰/۷۰	۶۴/۵۴	۰/۲۹	۰/۶۹	۰/۹۸
۱۲۶	۶۵/۱۸	۰/۶۹	۶۳/۰۳	۰/۴۰	۰/۵۳	۰/۸۳
۱۲۷	۶۹/۵۲	۰/۷۹	۶۹/۰۴	۰/۲۰	۰/۸۷	۱/۱۰
۱۲۸	۶۰/۱۱	۰/۵۹	۵۹/۲۹	۰/۲۸	۰/۶۵	۱/۰۰
۱۲۹	۶۲/۶۱	۰/۶۴	۶۱/۲۷	۰/۳۴	۰/۵۹	۰/۹۲
۱۳۰	۶۶/۹۱	۰/۷۳	۶۵/۵۶	۰/۳۳	۰/۶۵	۰/۹۳
۱۳۱	۵۸/۵۷	۰/۵۶	۵۸/۵۷	۰/۰۲	۱/۰۰	۱/۳۶
۱۳۳	۶۷/۰۷	۰/۷۳	۶۴/۷۲	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۸۱
۱۳۴	۷۴/۲۱	۰/۹۰	۷۲/۵۸	۰/۳۴	۰/۷۰	۰/۹۱
Soheil	۶۷/۸۵	۰/۷۵	۶۷/۸	۰/۰۲۴	۱/۱۶	۱/۳۶

نتایج حاصل از همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش در جدول ۴ آمده است. نتایج حاصل از همبستگی ساده در تعیین لاین‌ها و شاخص‌های برتر می‌تواند مفید باشد. شاخص برتر، شاخصی محسوب می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش داشته باشد. بر اساس این جدول شاخص‌های GMP، MP، HAM و STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش هستند. بنابراین، به‌عنوان شاخص مناسب برای انتخاب لاین‌های برتر معرفی می‌شوند. بر اساس این شاخص‌ها لاین ۳۹ مناسب‌ترین لاین شناخته شد. این نتایج با یافته‌های بلوری و همکاران (۴)، سیدی و همکاران (۲۱)، گیتور و همکاران (۱۳) مطابقت داشت. از آن‌جایی‌که شاخص‌های TOL، SSI، SDI همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط تنش دارند، لاین‌هایی که از نظر این شاخص‌ها دارای مقادیر کمتری هستند، ممکن است لاین‌های نسبتاً متحمل انتخاب شوند (۱۵،۴،۱۸،۵،۲۲). همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم معنی‌دار نیست که نشان می‌دهد واکنش لاین‌های مورد مطالعه در دو شرایط متفاوت بوده و روند مشابهی ندارد. به‌عبارت دیگر لاین‌هایی که در شرایط آبیاری تکمیلی عملکرد بالایی دارند، لزوماً در شرایط دیم از عملکرد بالایی برخوردار نیستند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به خشکی در لاین‌های هاپلویید مضاعف کاملینا
Table 4. Simple correlation coefficients between drought tolerance indices in Camelina double haploid lines

	YP	YS	TOL	MP	YI	YSI	SSI	GMP	STI	HAM	SDI	DI
YS	−۰/۱۲											
TOL	۰/۷۹**	−۰/۷۰**										
MP	۰/۷۲**	۰/۵۹**	۰/۱۴									
YI	−۰/۱۲	−۰/۷۶**	−۰/۵۶**	۰/۴۲**								
YSI	−۰/۷۰**	۰/۷۸**	−۰/۹۸**	−۰/۰۲	۰/۶۲**							
SSI	۰/۶۹**	−۰/۷۸**	۰/۹۸**	۰/۰۱	−۰/۶۲**	−۱/۰۰**						
GMP	۰/۵۸**	۰/۷۲**	−۰/۰۳	۰/۹۸**	۰/۵۴**	۰/۱۶	−۰/۱۶					
STI	۰/۵۷**	۰/۷۲**	−۰/۰۳	۰/۹۸**	۰/۵۴**	۰/۱۶	−۰/۱۶	۰/۹۹**				
HAM	۰/۴۲**	۰/۸۳**	−۰/۲۰	۰/۹۳**	۰/۶۲**	۰/۳۲*	−۰/۳۲*	۰/۹۸**	۰/۹۸**			
SDI	۰/۷۰**	−۰/۷۸**	۰/۹۸**	۰/۰۲	−۰/۶۲**	−۱/۰۰**	۱/۰۰**	−۰/۱۶	−۰/۱۶	−۰/۳۲*		
DI	−۰/۴۶**	۰/۹۲**	−۰/۹۰**	۰/۲۶	۰/۹۳**	۰/۹۵**	−۰/۹۵**	۰/۴۳**	۰/۴۳*	۰/۵۶**	−۰/۹۵**	
RDI	−۰/۶۹**	۰/۷۸**	−۰/۹۸**	−۰/۰۱	۰/۷۸**	۱/۰۰**	۱/۰۰**	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۳۱*	−۱/۰۰**	۰/۹۵**

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

YP: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، YS: عملکرد دانه در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین عملکرد، GMP: میانگین هندسی عملکرد، STI: شاخص تحمل تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HAM: میانگین هارمونیک عملکرد، SDI: شاخص حساسیت به تنش خشکی، RDI: شاخص پاسخ به خشکی، DI: شاخص مقاومت به خشکی

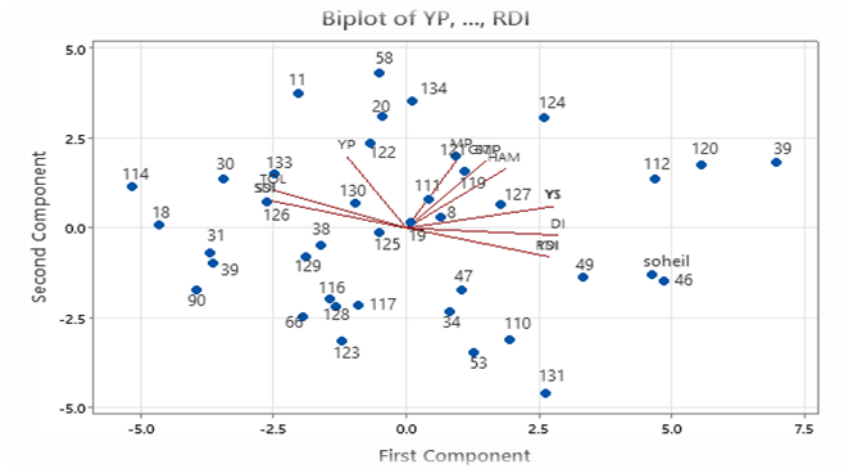
برای ارزیابی راحت‌تر روابط بین لاین‌ها و شاخص‌ها نمودار بای پلات رسم گردید (شکل ۱). تنوع ژنتیکی بین لاین‌ها را می‌توان از حضور لاین‌ها در بخش‌های مختلف فضای نمودار بای پلات استنباط کرد. بر طبق این بررسی دو مؤلفه اول ۹۹/۶۸ درصد از کل تغییرات داده را توجیه کردند (جدول ۵). در این بررسی مؤلفه اول با توجیه۶۳/۵۰ درصد از کل تغییرات داده با شاخص‌های MP، GMP، HAM، YI، YSI، SSI، RDI، DI و STI همبستگی بالایی داشت و می‌توان آن را به‌عنوان مؤلفه مقاومت به خشکی نامگذاری کرد. از طرفی مؤلفه دوم ۳۶/۱۸ درصد از کل تغییرات داده را توجیه کرد و با شاخص‌های TOL، SDI و SSI دارای همبستگی بالا و با YS همبستگی منفی داشت و به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش خشکی شناخته شد. بنابراین، بر اساس مقدار زیاد مؤلفه اول و مقدار کم مؤلفه دوم، لاین‌های ۳۹، ۱۲۰، سهیل، ۴۶، ۱۱۲ و ۴۹ به‌عنوان لاین‌های مقاوم انتخاب می‌شوند. با توجه به نمودار بای پلات لاین‌هایی مانند ۱۱۴، ۱۸، ۳۱، ۳۰، ۹۰ و ۱۱ به‌عنوان لاین‌های حساس به تنش خشکی شناسایی شدند، زیرا با شاخص‌های TOL، SDI و SSI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری هستند. لاین‌های ۸ و ۱۲۷ در شرایط تنش عملکرد مناسبی دارند و لاین ۱۲۲ نیز در شایط آبی عملکرد مناسبی داشت. وجود زوایای تند میان شاخص‌های MP، GMP، HAM و STI حاکی از همبستگی بالای این شاخص‌ها با همدیگر است، از طرفی این شاخص‌ها دارای همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نیز می‌باشند. شاخص‌های TOL، SDI و SSI نیز دارای زوایای تند و همبستگی بالایی با یکدیگر هستند. نتایج این بررسی با نتایج محققینی همچون شیبانی راد و همکاران (۲۲) در گندم، طهماسبی و همکاران (۲۳) در گندم، سیدی و همکاران (۲۱) در نخود زراعی، علیزاده و سیدی (۲) در آفتابگردان و مروتی و همکاران (۱۷) در سویا همخوانی داشت. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و شاخص‌های TOL، SSI و SDI و همبستگی منفی و معنی‌دار این شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط تنش نشان می‌دهد که برخی از ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه، در شزایط تنش خشکی کاهش شدیدی نشان داده‌اند. گلکار و همکاران (۱۴) نیز نتایج مشابهی بدست آوردند.

جدول ۵- مقادیر و واریانس مولفه‌ها برای شاخص‌های مقاومت به خشکی
Table 5. Eigen values and variance of components for drought resistance indices

مؤلفه‌ها	مقدار ویژه	واریانس (٪)	واریانس تجمعی (٪)
۱	۸/۲۵۵	۶۳/۴۹۸	۶۳/۴۹۸
۲	۴/۷۰۲	۳۶/۱۷۸	۹۹/۶۷۸

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]



شکل ۱- نمودار بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی و لاین‌های مورد مطالعه بر اساس دو مؤلفه اول و دوم

Figure 1. Bi-plot diagram of drought tolerance indices and studied lines based on the first and the second components

YP: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، YS: عملکرد دانه در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین عملکرد، GMP: میانگین هندسی عملکرد، STI: شاخص تحمل تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HAM: میانگین هارمونیک عملکرد، SDI: شاخص حساسیت به تنش خشکی، RDI: شاخص پاسخ به خشکی، DI: شاخص مقاومت به خشکی

به‌منظور شناسایی اثربخش‌تر لاین‌های متحمل به تنش با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) استفاده شد (جدول ۶). شاخص SIIG بر اساس شاخص‌های TOL، MP، YI، YSI، SSI، GMP، STI، HAM، SDI، DI و RDI محاسبه شد. استفاده از این شاخص کارایی گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش را از طریق ادغام نتایج شاخص‌های دیگر و رسیدن به یک شاخص واحد را افزایش می‌دهد. بر اساس این شاخص بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپی خواهد بود که مقدار شاخص SIIG برای آن به یک نزدیک‌تر باشد و ژنوتیپی که مقدار شاخص SIIG برای آن به صفر نزدیک باشد به‌عنوان ژنوتیپ ضعیف شناخته خواهد شد. بر اساس جدول ۵ لاین ۳۹ با کمترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (۰/۱۱) و بیشترین مقدار SIIG (۰/۸۳) متحمل‌ترین لاین از نظر تحمل به تنش خشکی بود و لاین‌های ۴۶ (۰/۸۲)، سهیل (۰/۸۱)، ۱۲۰(۰/۷۸)، ۱۳۱(۰/۷۷) و ۱۱۲ (۰/۷۵) بعد از آن قرار گرفتند. از سوی دیگر لاین ۱۱۴ با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (۰/۵۶) و کمترین مقدار SIIG (۰/۰۶) ضعیف‌ترین ژنوتیپ این بررسی شناخته شد و بعد از آن لاین‌های ۱۸ (۰/۱۰)، ۳۰ (۰/۱۵) و ۳۱ (۰/۲۰) با دارا بودن کمترین مقدار SIIG ضعیف‌ترین لاین‌های این بررسی شناخته شدند. در حدفاصل بین این دو گروه نیز سایر لاین‌ها قرار گرفتند.

نتایج کلی این بررسی نشان می‌دهد که استفاده از شاخص ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌تواند نتایج مطمئن‌تری به محقق ارائه کند. محققین دیگری از جمله کریمی زاده و همکاران (۱۵)، زالی و همکاران (۲۷)، عبدالهی حصار و همکاران (۱)، زالی و براتی (۲۸) نیز از این شاخص به‌منظور انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل در سایر گیاهان استفاده کردند. یکی از بهترین ویژگی‌های این شاخص ادغام صفاتی با واحدهای مختلف و تبدیل آن‌ها به یک واحد کاراتر است و در بررسی‌هایی با صفات زیاد (صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک)، تنوع ژنتیکی بالا و شاخص‌های تجزیه پایداری (۲۷) این شاخص انتخاب مناسبی می‌باشد. بر اساس این شاخص لاین ۳۹ با دارا بودن بالاترین مقدار شاخص SIIG به‌عنوان مقاوم‌ترین لاین شناخته شد که مطابق با نتایج حاصل از نمودار بای‌پلات است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

جدول ۶- مقادیر شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d^+) و غیر ایده‌آل (d^-) و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها

Table 6. Values of ideal genotype selection index (SIIG) and distance from ideal (d +) and non-ideal (d-) genotype and ranking of genotypes

لاین‌ها	فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d^+)	فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل (d^-)	SIIG	رتبه
۸	۰/۲۴	۰/۳۱	۰/۵۶	۱۳
۱۱	۰/۴۸	۰/۱۲	۰/۲۰	۳۶
۱۸	۰/۵۱	۰/۰۵	۰/۱۰	۳۹
۱۹	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۴۷	۱۹
۲۰	۰/۴۰	۰/۱۹	۰/۳۲	۳۰
۲۹	۰/۴۵	۰/۱۲	۰/۲۲	۳۴
۳۰	۰/۴۹	۰/۰۹	۰/۱۵	۳۸
۳۱	۰/۴۵	۰/۱۱	۰/۲۰	۳۷
۳۴	۰/۲۳	۰/۳۶	۰/۶۱	۱۰
۳۸	۰/۳۷	۰/۲۰	۰/۳۶	۲۶
۳۹	۰/۱۱	۰/۵۴	۰/۸۳	۱
۴۶	۰/۱۱	۰/۵۲	۰/۸۲	۲
۴۷	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۶۰	۱۱
۴۹	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۷۵	۶
۵۳	۰/۲۰	۰/۴۱	۰/۶۷	۹
۵۸	۰/۴۳	۰/۱۷	۰/۲۹	۳۱
۶۶	۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۴۱	۳۴
۹۰	۰/۴۵	۰/۱۳	۰/۲۲	۳۳
۱۱۰	۰/۱۸	۰/۴۳	۰/۷۱	۸
۱۱۱	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۴۷	۱۸
۱۱۲	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۷۵	۷
۱۱۴	۰/۵۶	۰/۰۳	۰/۰۶	۴۰
۱۱۶	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۴۳	۲۳
۱۱۷	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۴۷	۱۷
۱۱۹	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۴۹	۱۵
۱۲۰	۰/۱۳	۰/۴۸	۰/۷۸	۴
۱۲۱	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۴۶	۲۰
۱۲۲	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۳۳	۲۹
۱۲۳	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۴۹	۱۶
۱۲۴	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۵۵	۱۴
۱۲۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۴۳	۲۲
۱۲۶	۰/۴۴	۰/۱۳	۰/۲۳	۳۲
۱۲۷	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵۷	۱۲
۱۲۸	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۴۴	۲۱
۱۲۹	۰/۳۷	۰/۲۰	۰/۳۵	۲۸
۱۳۰	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۳۶	۲۵
۱۳۱	۰/۱۵	۰/۵۰	۰/۷۷	۵
۱۳۳	۰/۴۵	۰/۱۲	۰/۲۲	۳۵
۱۳۴	۰/۳۸	۰/۲۱	۰/۳۵	۲۷
Soheil	۰/۱۲	۰/۵۱	۰/۸۱	۳

جمع‌بندی نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که لاین ۳۹ توسط شاخص‌های مختلف و نیز شاخص SIIG به عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. از آن‌جایی که به‌نژادگران همیشه به دنبال روش‌های ساده و قابل اطمینان برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش خشکی و بالا بردن کارایی انتخاب بوده و در کوتاه‌ترین زمان ممکن حجم زیادی از ژنوتیپ‌ها را مورد ارزیابی قرار دهند، شاخص SIIG در این زمینه می‌تواند کمک شایانی نماید. این شاخص در انتخاب صفاتی همچون عملکرد که وراثت‌پذیری پایینی دارند و تحت‌تأثیر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرند و شناسایی ژنوتیپ ایده‌آل در آن‌ها مشکل است، بسیار مؤثر می‌باشد. البته پیشنهاد می‌شود برای گزینش ژنوتیپ ایده‌آل در مواردی که تعداد صفات زیاد می‌باشد، ابتدا شاخص SIIG بر مبنای همه صفات به‌جز عملکرد محاسبه شده و سپس از یک نمودار دو بعدی که یک محور آن عملکرد و یک محور دیگر آن شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل است، استفاده گردد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

منابع

1. Abdollahi Hesar, A., O. Sofalian, B. Alizadeh, A. Asghari and H. Zali. 2020. Evaluation of some autumn canola genotypes based on agronomy traits and SIIG index. Journal of Crop Breeding, 12(34): 151-159 (In Persian).
2. Alizadeh Yeloojeh, Kh. and Gh. Saeidi. 2020. Evaluation of drought tolerance in some safflower (*carthamus tinctorius* L.) genotypes. Journal of Crop Production and Processing, 10(3): 1-11 (In Persian).
3. Amiri, R., P. Pezeshkpour and I. Karami. 2021. Identification of lentil desirable genotypes using multivariate statistical methods and selection index of ideal genotype under rainfed conditions. Journal of Crop Breeding, 13(39): 140-151.
4. Bolori, P., V. Rashidi, M. Yarnia, A. Razban Haghighi and M. Soltani. 2011. Evaluation of drought stress tolerance indices in sunflower cultivars. Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses in Plant Scinces), 3 (2): 133-142 (In Persian).
5. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. I: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933- 937. doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x.
6. Farshadfar, E. and J. Javadinia. 2011. Evaluation of chickpea (*cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. Seed and Plant Improvement Journal, 27(4): 517-537.
7. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress Tolerance. Kuo, C.G. (ed.). 257-270 pp., Asian Vegetable Research and Development Centre, Taiwan.
8. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
9. Fischer, R.A. and J.T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. Yield association with morpho-physiological traits. Australian Journal of Agricultural Research, 30: 1001-1020.
10. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science, 77: 523- 531.
11. Gholizadeh, A., M. Ghaffari and F. Shariati. 2021. Use of selection index of ideal genotype (SIIG) in order to select new high yielding sunflower hybrids with desirable agronomic characteristics. Journal of Crop Breeding, 13(38): 116-123 (In Persian).
12. Ghorbani, M., D. Kahrizi and Z. Chaghakaboodi. 2020. Evaluation of Camelina sativa doubled haploid lines for the response to water-deficit stress. Journal of Medicinal Plants and By-products, 2: 193-199.
13. Gitore, S.A., B. Danga, S. Henga and F. Gurmu. 2021. Evaluating drought tolerance indices for selection of drought tolerant orange fleshed sweet potato (OFSP) genotypes in ethiopia. Agricultural Science and Food Technology, 7(2): 249-254.
14. Golkar, P., E. Hamzeh and S.A. Mirmohammady Maibody. 2021. Discrimination of drought tolerance in a worldwide collection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes based on selection indices. Acta agriculture Slovenica, 117(1): 1-11.
15. Karimizadeh, R., T. Hosseinpour, P. Sharifi, J. Alt Jafarby, K. Shahbazi Homonlo and K. Keshavarzi. 2021. Evaluation of grain yield stability of durum wheat genotypes using parametric and non-parametric methods. Plant Genetic Researches, 8(1): 115-132 (In Persian).
16. Kawall, K. 2021. Genome-edited Camelina sativa with a unique fatty acid content and its potential impact on ecosystems. Environmental Sciences Europe, 33: 1-12.
17. Morovati, I., A. Kordenaeej and H. Babaei. 2021. Evaluation of drought tolerance indices in soybeans. Journal of Crop Breeding, 13(37): 109-118 (In Persian).
18. Rosielle, A.A. and A.J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environment. Crop Science, 21:943-946. dx. doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x.
19. Rostami Ahmadvandi, H., A. Zeinodini, R. Ghobadi and M. Gore. 2021. Benefits of adding camelina to rainfed crop rotation in iran: a crop with high drought tolerance. Agrotechniques in Industrial Crops, 1 (2): 91-96.
20. Seleiman, M.F., N. Al-Suhaibani, N. Ali, M. Akmal, M. Alotaibi, Y. Refay, T. Dindaroglu, H.H. Abdul-Wajid and M. Leonardo Battaglia.2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants, 10 (259): 1-25.
21. Seyedi, S.J., A. Nabipour and S. Vazan. 2013. Defining selection indices for drought tolerance in chickpea under terminal drought stresses. Journal of Crop Breeding, 5(11): 98-114 (In Persian).
22. Shibanirad, A., E. Farshadfar and A. Najafi. 2018. Evaluation of drought stress tolerance in some bread wheat genotypes using drought tolerance indices. Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch), 9(31): 1-14 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

23. Tahmasebi, S., M. Dastfal, H. Zali and M. Rajaie. 2018. Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south. Cereal Research, 8(2): 209-225 (In Persian).
24. Wayssimallamiri, A., R. Haghparast, M. Aghaeisabarzeh, E. Farshadfar and R. Rajabi. 2011. Evaluation of drought tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using physiological characteristics and drought tolerance indices. Seed and plant Improvement Journal, 26-1(1): 43-60 (In Persian).
25. Yaghotipoor, A., E.A. Farshadfar and M. Saeidi. 2017. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes using new mixed method. Environmental Stresses in Crop Sciences, 10(2): 247-256 (In Persian).
26. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo and A. Asgharii. 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.
27. Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian, A. Asgharii and M. Enayati Shariatpanahi. 2019. Identifying drought tolerant canola genotypes using selection index of ideal genotype. Journal of Crop Breeding, 11(29): 117-126 (In Persian).
28. Zali, H. and A. Barati. 2020. Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. Journal of Crop Breeding, 12(34): 93-104 (In Persian).
29. Zali, H., A. Barati and A. Jabari. 2022. Using Selection Index of Ideal Genotype (SIIG) in Selection of Barley Promising Lines. Agricultural Science and Sustainable Production, 32(1): 293-308 (In Persian).
30. Zanetti, F., A. Alberghini, A. Marjanović Jeromela, N. Grahovac, D. Rajković, B. Kiprovski and A. Monti. 2021. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. a review. Agronomy for Sustainable Development, 41(2): 1-18.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]

Evaluation of Drought Tolerance in Camelina (Camelina Sativa) Doubled Haploid Lines Using Selection Index of Ideal Genotype (SIIG)

Atefeh Esmaeili[1], Abdollah Najaphy[2] and Danial Kahrizi[3]

1- PhD Student Razi University, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
2- Associate Professor Razi University, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran, (Corresponding author: anajaphy@razi.ac.ir)
3- Professor Razi University, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
Received: 12 April, 2022 Accepted: 31 August, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Camelina is a crop that has been introduced as a promising alternative to the other oilseeds over the past twenty years. Due to the increasing need of the country to import oil and the introduction of Camelina as a suitable alternative appropriate to the country climate, the present study was aimed to select the best and ideal lines of Camelina oilseeds based on SIIG index and using different drought tolerance indices for using in the future breeding programs.

Materials and methods: The present study was conducted to evaluate the superior double haploid lines of Camelina using the selection index of ideal genotype (SIIG) in the research farm of the Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah during the two cropping years of 2018-2020. The experiment was conducted with 40 lines in randomized complete block designs with three replications under rain-fed and supplementary irrigation conditions. Irrigation under normal conditions was performed based on 80 mm evaporation from class A evaporation pan. Evaluation of drought tolerant and sensitive lines was carried out using Tolerance index (TOL), Mean Productivity (MP), Stress Susceptibility Index (SSI), Geometric Mean Productivity Index (GMP), Drought Resistance Index (DI), Yield Stability Index (YSI), Sensitivity Drought Index(SDI), Relative Drought Index (RDI), Stress Tolerance Index (STI), Harmonic Mean (HAM) and the Selection Index of Ideal Genotype (SIIG) technique was used to select drought tolerant lines using the other stress tolerance indices simultaneously.

Results: Based on the results of this study GMP, MP, HAM and STI indices had positive and significant correlation with grain yield under normal and stress conditions. Based on these indices, line 39 was identified as the most suitable line. Therefore, these indices were identified as appropriate indicators for selecting the top lines. Based on the biplot diagram, lines 39, 120, Soheil, 46, 112 and 49 were selected as the favorable lines. These lines were also identified as tolerant lines based on the SIIG index. On the other hand, line 114 with the highest distance from the ideal genotype (0.56) and the lowest value of SIIG (0.06) was identified as the weakest line in this study.

Conclusion: The overall results of this study showed that the use of selection index of ideal genotype (SIIG) due to the integration of different indices and achieving a single index for the selection of genotypes tolerant to drought stress can provide more reliable results for the researcher. Based on this index, the best genotype will be the genotype for which the value of SIIG index is closer to one and the genotype for which the value of SIIG index is close to zero will be known as weak genotype. Therefore, line 39 with the least distance from the ideal genotype (0.11) and the highest value of SIIG (0.83) was the most tolerant line in terms of drought tolerance, which is in accordance with the results of the biplot diagram.

Keywords: Biplot analysis, Camelina, Grain yield, Ideal genotype, SIIG index

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.199]