دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره نهم، شماره ۱۷، پاییز و زمستان ۱۴۰۳
http://arpe.gonbad.ac.ir

ارزیابی صفات مؤثر بر عملکرد دانه و گزینش ژنوتیپ‌های برتر کاملینا در شرایط دیم

حسین احمدی اوچ‌تپه[1*]، حسین رستمی احمدوندی[2]، مهدی جمشیدمقدم[3]

[1]استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گرگان

[3,2]مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

چکیده

مقدمه: کاملینا به عنوان یک گیاه دانه روغنی، دارای ویژگی‌های زراعی منحصر به فردی و ظرفیت بالایی برای کشت در شرایط دیم است. در شرایط تغییر اقلیم و محدودیت منابع آب، شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار و پربازده مناسب برای کشت در شرایط دیم اهمیت ویژه‌ای دارد. گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب از طریق ارزیابی روابط بین صفات مختلف و ارزیابی همزمان براساس مجموعه‌ای از صفات، رویکردی کارآمد در برنامه‌های اصلاحی محسوب می‌شود. بنابراین، هدف از این تحقیق ارزیابی صفات مرتبط با عملکرد دانه و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کاملینا در شرایط دیم با بهره‌گیری از ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون و تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی و شاخص طراحی ایدئوتیپ از طریق پیش‌بینی نااریب بهترین خط (FAI-BLUP) بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق ۲۸ ژنوتیپ کاملینا در ایستگاه ملی تحقیقات کشاورزی و تولید بذر دیم گنبد کاووس به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۳-۱۴۰۱) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. نحوه کشت به صورت دستی و سطحی بود و همچنین کنترل علف‌های هرز نیز به صورت دستی انجام شد. صفات تعداد روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه‌بندی، تعداد شاخه جانبی، تعداد خورجینک در شاخه اصلی، تعداد خورجینک در شاخه فرعی، تعداد کل خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک، وزن هزار دانه و عملکرد دانه محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین با استفاده از نرم‌افزارهای SAS ver 9.4 انجام شد. همچنین برای ترسیم ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون و تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی و محاسبه شاخص FAI-BLUP از نرم‌افزار RStudio استفاده گردید.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر سال، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای تمامی صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های کاملینا تفاوت قابل توجهی از نظر کلیه صفات مورد مطالعه و عملکرد دارند؛ به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۳، ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۱۹، ۲۵ و۲۰ بود. ژنوتیپ شماره ۱۰ دارای بیشترین تعداد خورجینک در بوته بود و ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۰ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن هزار دانه بودند. نتایج همبستگی بین صفات نشان

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

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

داد عملکرد دانه با صفات تعداد کل خورجینک در بوته و تعداد خورجینک در شاخه اصلی و شاخه فرعی همبستگی مثبت و قوی دارد. نتایج تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی منجر به شناسایی سه خوشه اصلی شد؛ که خوشه اول (ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶) در اکثر صفات اندازه‌گیری شده دارای مقادیر بالایی بودند. براساس شاخص FAI-BLUP ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲۳، ۱۲ و ۱۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری کلی: روابط همبستگی صفات نشان داد صفات تعداد خورجینک در شاخه اصلی و شاخه فرعی و وزن هزار دانه می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد در شرایط دیم مورد استفاده قرار گیرند. نتایج تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی و شاخص FAI-BLUP نشان داد ژنوتیپ‌های ۳، ۱۰، ۱۲، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۳ و ۲۵ با عملکرد بالا (۲۸۱۹، ۲۴۷۵، ۲۴۸۷، ۲۷۴۰، ۲۶۲۷، ۲۵۶۹، ۲۵۸۶ و ۲۵۳۹ کیلو گرم در هکتار) به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر گزینش شدند. در مجموع، این ژنوتیپ‌ها در اکثر شاخص‌ها و صفات زراعی برتر بودند و می‌توانند به عنوان منابع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های به‌نژادی باشند.

واژه‌های کلیدی: کاملینا، کشت دیم، عملکرد دانه، تغییر اقلیم

مقدمه

کاملینا (*Camelina sativa* L.) یک گیاه زراعی روغنی و دارویی یکساله از خانواده براسیکاسه است (Larsson, 2013). دانه کاملینا منبع غنی از روغن (۴۰-۲۸ درصد)، اسید چرب امگا۳ و ویتامین E است (Berti *et al.*, 2015; Francki *et al.*, 2010). اتولید 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). به عنوان مثال بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی مورد نیاز ایران از خارج از کشور تأمین و فقط حدود ۱۰ درصد این نیاز در داخل تولید می‌شود. لذا افزایش میزان تولیدات دانه‌های روغنی در کشور ضروری به نظر می‌رسد (Bakhshi *et al.*, 2020). با کاهش نزولات جوی و محدودیت منابع آب، اغلب کشورهای دنیا بحران کم آبی را جدی گرفته و اقدام به برنامه‌ریزی‌های دقیق در این خصوص نموده‌اند. از مهم‌ترین راهکارهای مقابله با این بحران، استفاده از ارقامی است که نیاز آبی آنها کم بوده و نسبت به شرایط کم آبی مقاومت بالایی نشان می‌دهند (Noormohammadi, 2019). کشور ما علیرغم داشتن درصد بالایی (بیش از ۶۰ درصد) دیم‌زار، فاقد یک گیاه دانه روغنی مناسب برای شرایط دیم است؛ نیاز به داشتن گیاهی روغنی برای شرایط دیم کشور با حداقل نیازهای کودی یک ضرورت جدی می‌باشد. از طرف دیگر به علت مصرف بالای آب در گیاهان روغنی موجود در کشور مانند کلزا، آفتابگردان و سویا ضرورت دارد تا گیاهی روغنی با مصرف آب کم معرفی گردد (Kahrizi *et al.*, 2017). یکی از گیاهانی که دارای مقاومت بالایی به شرایط کم آبی بوده و امکان کاشت آن به صورت دیم وجود دارد، گیاه کاملینا می‌باشد (Noormohammadi, 2019).

در بین گیاهان دانه روغنی، کاملینا دارای ظرفیت زیادی به عنوان یک گیاه روغنی می‌باشد و این ویژگی باعث می‌شود به عنوان یک محصول برتر معرفی و توصیه شود (Kurt and Seyis, 2008). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که گیاه کاملینا دارای خواص ویژه و منحصر به فردی می‌باشد که مهمترین این خصوصیات توقعات کم (تولید عملکرد اقتصادی در خاک‌های فقیر)، حساسیت کم به آفات و امراض و مقاومت فوق‌العاده آن به خشکی است (Bakhshi *et al.*, 2020; Dobre and Jurcone, 2011). بررسی‌ها نشانگر آن است که گیاه کاملینا محصولی است که می‌تواند در اراضی دیم و یا در طی آبیاری تکمیلی، عملکردی اقتصادی داشته باشد و در اراضی دیم مناطق مختلف کشور با صرف حداقل هزینه برای کشاورزان صرفه اقتصادی دارد (Ghamarnia *et al.*, 2020; Rostami Ahmadvandi *et al.*, 2020). کاملینا گیاهی است که دارای دوره

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

رویشی نسبتاً کوتاهی (۱۰۰-۸۵ روز) است (Hnnter and Roth, 2010; Zuber, 1997). وجود انواع بهاره و زمستانه کاملینا باعث شده تا بتوان آنرا به عنوان یک گیاه زراعی تناوبی در نظام‌های زراعی رایج از جمله تناوب با غلات دانه ریز قرار داد (Chen et al., 2015). کاملینا انعطاف‌پذیری مرفولوژیکی بسیار بالایی را دارا می‌باشد و شرایط رشد بر اندازه گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی آن تأثیر می‌گذارد (Zanetti *et al.*, 2021). در شرایط تغییر اقلیم و محدودیت منابع آب، شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار و پربازده مناسب برای کشت در شرایط دیم اهمیت ویژه‌ای دارد. در این شرایط اتکا به یک صفت منفرد جهت دستیابی به ژنوتیپ‌های متحمل به این تنش‌ها کارآمد نیست؛ بنابراین استفاده از مجموعه صفات دقت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر را افزایش می‌دهد (Askari Kalestani et al., 2025). استفاده از تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی و شاخص‌های جدید مانند شاخص طراحی ایدئوتیپ از طریق پیش‌بینی نااریب بهترین خط[۲] (Rocha *et al.*, 2018)، و بررسی روابط همبستگی صفات می‌تواند امکان ارزیابی دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند. اخیراً از این روش‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر در محصولات مختلف استفاده شده است (Askari Kalestani *et al.*, 2025; Alabdullahalhasno *et al.*, 2025; Zali and Pour-Aboughadareh, 2023). شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار، کلید موفقیت در برنامه‌های به‌نژادی کاملینا در شرایط دیم است (Ahmadi-Ochtapeh *et al.*, 2025). بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی صفات مرتبط با عملکرد دانه با استفاده از ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون و شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های برتر کاملینا در شرایط دیم با بهره‌گیری از تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی و شاخص FAI-BLUP انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق تعداد ۲۸ ژنوتیپ کاملینا (شامل ۷ والد دابل هاپلوئید و ۲۱ ژنوتیپ حاصل از تلاقی والدین) در ایستگاه ملی تحقیقات کشاورزی و تولید بذر دیم گنبد کاووس به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط دیم انجام گردید. اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ آورده شده است. عملیات آماده‌سازی بستر بذر طبق عرف آزمایشات شامل شخم، کوددهی و دیسک انجام شد. نحوه کشت به صورت دستی و سطحی (حدوداً در عمق یک سانتی‌متری خاک) انجام شد. همچنین کنترل علف های هرز به صورت دستی انجام شد. صفات تعداد روز تا گلدهی (DF)، روز تا رسیدگی (DTR)، ارتفاع بوته (PH)، ارتفاع شاخه‌بندی (BH)، تعداد شاخه جانبی (NSB)، تعداد خورجینک در شاخه اصلی (NPMB)، تعداد خورجینک در شاخه فرعی (NPSB)، تعداد کل خورجینک در بوته (NPP)، تعداد دانه در خورجینک (NSP)، عملکرد دانه (SY) و وزن هزار دانه (TKW) محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین برای کلیه صفات مورد ارزیابی با استفاده از نرم‌افزارهای SAS ver 9.4 و Excel انجام شد. ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون توسط بسته Corrplot و تابع ایجاده شده در محیط RStudio ترسیم گردید. همچنین به منظور طبقه‌بندی هیبریدها براساس صفات اندازه‌گیری شده، تجزیه خوشه‌ای به همراه نقشه حرارتی با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی Ward.D2 و مجذور فاصله اقلیدسی به وسیله بسته آماری pheatmap با استفاده نرم‌افزار RStudio انجام شد. همچنین به منظور محاسبه شاخص FAI-BLUP از فرمول زیر استفاده گردید (Rocha *et al.*, 2018):

[2] Factor analysis ideotype-design-best linear unbiased prediction (FAI-BLUP)

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

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

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

شاخص FAI-BLUP یک شاخص چند صفتی مبتنی بر تحلیل عاملی است که براساس فاصله هر ژنوتیپ از ژنوتیپ ایده‌آل (فاصله ژنوتیپ- ایدئوتیپ) محاسبه می‌شود.

جدول ۱- شماره و نام یا شجره ژنوتیپ‌های کاملینا مورد ارزیابی در این تحقیق

Table 1- Number and name or pedigree of the camelina genotypes evaluated in this study

شماره Number	نام/شجره Name/pedigree	شماره Number	نام/شجره Name/pedigree
1	DH60× DH38	15	DH36× DH200
2	DH60× DH36	16	DH114× DH10
3	DH60× DDH114	17	DH114× DH16
4	DH60× DH10	18	DH114× DH200
5	DH60× DH16	19	DH10× DH16
6	DH60× DH200	20	DH10× DH200
7	DH38× DH36	21	DH16× DH200
8	DH38× DH114	22	DH60
9	DH38× DH10	23	DH38
10	DH38× DH16	24	DH36
11	DH38× DH200	25	DH114
12	DH36× DH114	26	DH10
13	DH36× DH10	27	DH16
14	DH36× DH16	28	DH200

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب: نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات مورد ارزیابی در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که اثر سال برای تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. این نتایج نشان می‌دهد که شرایط محیطی در سال‌های مختلف تأثیر قابل توجهی بر صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های مختلف کاملینا داشت (جدول ۲). نتایج اثر ژنوتیپ برای صفات مورد مطالعه حاکی از اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها تعداد روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه‌بندی، تعداد شاخه جانبی، تعداد خورجینک در شاخه اصلی، تعداد خورجینک در شاخه فرعی، تعداد کل خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد بود. این یعنی ژنوتیپ‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای در این صفات دارند (جدول ۲). همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). این یافته نشان می‌دهد که عملکرد ژنوتیپ‌ها در کلیه صفات تحت تأثیر تغییرات سالانه قرار گرفته و پایداری عملکرد در این صفات کمتر بوده است. به بیان دیگر، واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در بروز صفات کمی داشته باشد.

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های کاملینا تحت شرایط دیم

Table 2. Combined analysis of variance for agronomic traits evaluated in camelina genotypes under dryland conditions

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	NPMB	NSB	BH	PH	DTR	DF
سال Year	1	20086.7**	1936.6**	1556.1**	184247.9**	2135.7**	1216.1**
تکرار درون سال Year Replication	4	70.9	7.01	98.2	48.9	2.08	1.06
ژنوتیپ Genotype	27	146.4**	5.21**	65.1**	110.8**	5.43**	14.82**
ژنوتیپ × سال Genotype × Year	27	151.5**	5.55**	98.2**	55.3**	1.97**	6.32**
خطا Error	108	43.7	1.73	22.3	21.8	0.71	0.65
CV (%)		13.2	14.7	12.6	5.1	0.54	0.79

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

DF: تعداد روز تا گلـدهی، DTR: روز تا رسیدگی، PH: ارتفاع بوته، BH: ارتفاع شاخه‌بندی، NSB: تعداد شاخه جانبی، NPMB: تعداد خورجینک در شاخه اصلی.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively. DF: days to flowering, DTR: days to ripening, PH: plant height, BH: branching height; NSB: number of sub-branches, NPMB: number of pods on the main branch.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های کاملینا تحت شرایط دیم

Table 2. Combined analysis of variance for agronomic traits evaluated in camelina genotypes under dryland conditions

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	SY	TKW	NSP	NPP	NPSB
سال Year	1	22453397.2**	0.313**	11.9**	10753512.0**	9842140.3**
تکرار درون سال Year Replication	4	159471.1	0.005	3.43	89.9	68.8
ژنوتیپ Genotype	27	339639.8**	0.029**	5.46**	14900.7**	13648.1**
ژنوتیپ × سال Genotype × Year	27	626829.9**	0.009**	2.12**	15358.8**	14350.1**
خطا Error	108	36523.3	0.004	0.97	1771.8	1883.9
CV (%)		8.2	5.4	8.22	11.59	13.9

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

NPSB: تعداد خورجینک در شاخه فرعی، NPP: تعداد کل خورجینک در بوته، NSP: تعداد دانه در خورجینک، TKW: وزن هزار دانه، SY: عملکرد دانه.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively. NPSB: number of pods on the sub-branch, NPP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TKW: thousand-kernel weight, SY: seed yield.

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

مقایسه میانگین صفات: نتایج مقایسه میانگین صفات مورد نظر به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- میانگین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های مختلف کاملینا تحت شرایط دیم

Table 3- Mean values of the evaluated traits in different camelina genotypes under dryland conditions

شماره ژنوتیپ Number	SY (kg/ha)	TKW (gr)	NSP	NPP	NPSB	NPMB	NSB	BH (cm)	PH (cm)	DTR (day)	DF (day)
1	1917	1.07	12.4	315.5	270.0	45.7	7.2	31.6	81.5	156.0	101.7
2	2423	0.93	12.5	310.0	254.2	55.8	9.5	40.2	91.3	158.0	105.5
3	2819	1.22	11.9	438.2	377.3	60.8	7.9	41.3	95.5	157.3	102.3
4	2468	1.10	12.0	420.2	365.8	54.7	8.9	30.5	87.7	157.0	103.3
5	2107	1.12	11.9	317.5	271.8	45.7	9.7	35.4	85.8	156.3	100.7
6	2188	1.13	13.6	272.7	228.2	44.5	8.9	34.1	86.7	156.7	100.5
7	2417	1.15	12.3	360.8	302.8	58.3	8.6	39.5	94.9	156.8	100.2
8	2226	1.16	12.3	328.3	278.0	50.5	7.9	38.1	89.6	155.7	99.2
9	2240	1.09	9.9	386.3	335.7	50.7	8.9	37.7	92.3	156.0	99.7
10	2475	0.89	12.4	443.8	386.8	57.0	7.6	39.1	86.9	154.7	99.2
11	2399	1.09	11.8	385.3	332.5	52.8	11.2	32.0	85.6	155.7	100.2
12	2487	1.10	11.5	398.7	350.7	48.2	7.6	44.1	92.2	154.7	99.8
13	1780	1.12	12.4	302.3	260.5	42.0	8.2	40.3	91.4	154.3	99.0
14	2218	1.07	13.4	375.5	323.2	52.5	8.7	38.2	86.5	155.5	101.0
15	2341	1.02	11.9	387.0	336.0	51.2	9.6	37.5	90.5	155.2	99.5
16	2212	1.10	10.4	302.5	254.7	47.7	8.7	38.1	92.8	156.7	99.3
17	2740	1.10	11.5	433.0	384.5	48.5	9.6	37.5	97.9	156.8	101.5
18	2627	1.07	13.5	422.7	371.3	51.7	10.9	35.4	92.9	155.5	99.3
19	2569	1.17	11.9	433.3	377.8	55.5	9.1	37.9	88.6	155.2	99.7
20	2504	1.01	11.5	302.3	255.8	46.5	9.1	37.6	94.6	155.0	100.3
21	2270	1.09	10.9	366.2	323.0	43.2	9.8	39.6	92.4	155.5	98.7
22	2117	1.04	13.6	292.8	237.8	55.3	7.9	34.3	93.6	155.8	102.2
23	2586	1.20	10.9	364.8	319.2	45.7	8.9	39.6	90.1	154.5	99.0
24	2091	1.11	11.1	374.2	327.3	46.8	9.0	39.1	88.6	156.0	101.0
25	2539	1.13	12.5	343.0	294.3	48.7	8.8	41.2	94.7	154.8	99.2
26	2388	1.02	13.1	395.2	345.7	50.0	9.4	31.2	87.5	155.8	101.7
27	2142	1.09	11.0	329.8	283.7	46.2	9.8	37.9	102.1	155.8	102.2
28	2192	1.09	10.6	368.3	325.2	43.5	8.2	38.9	90.5	157.5	101.8
حداقل (Min)	1780	0.89	9.9	272.7	228.2	42.0	7.2	30.5	81.5	154.3	98.7
حداکثر(Max)	2819	1.22	13.6	443.8	386.8	60.8	11.2	44.1	102.1	158.0	105.5
میانگین(Mean)	2339	1.09	11.9	363.2	313.3	49.9	8.9	37.4	90.9	155.9	100.6
LSD (5%)	218.7	0.07	1.1	48.2	49.7	7.6	1.5	5.4	5.3	0.97	0.92

DF: تعداد روز تا گلدهی، DTR: روز تا رسیدگی، PH: ارتفاع بوته، BH: ارتفاع شاخه‌بندی، NSB: تعداد شاخه جانبی، NPMB: تعداد خورجینک در شاخه اصلی، NPSB: تعداد خورجینک در شاخه فرعی، NPP: تعداد کل خورجینک در بوته، NSP: تعداد دانه در خورجینک، TKW: وزن هزار دانه، SY: عملکرد دانه.

DF: days to flowering, DTR: days to ripening, PH: plant height, BH: branching height, NSB: number of sub-branches, NPMB: number of pods on the main branch, NPSB: number of pods on the sub-branch, NP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TKW: thousand-kernel weight, SY: seed yield.

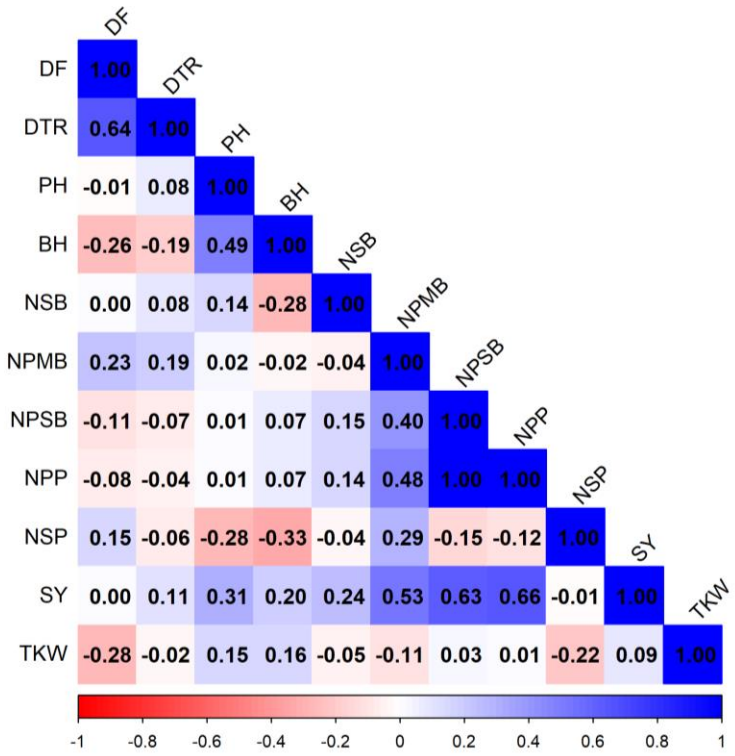
[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

براساس نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ ۱۳ با کمترین تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک (به‌ترتیب حدود ۹۹ و ۱۵۴/۳ روز) به‌عنوان زودرس‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. این ویژگی می‌تواند در مناطق با فصل رشد کوتاه یا تنش‌های انتهای فصل، مزیت محسوب شود. در مقابل، ژنوتیپ ۲ با بیشترین تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک (به‌ترتیب حدود ۱۰۵/۵ و ۱۵۸ روز)، نشان‌دهنده‌ی یک ژنوتیپ دیررس است که ممکن است در مناطق با فصل رشد بلندتر عملکرد بهتری داشته باشد. یکی از صفات مهم مورفولوژیک در گیاهان زراعی، ارتفاع بوته است که می‌تواند بر توان رقابت نوری، پایداری بوته در برابر خوابیدگی و همچنین برداشت مکانیزه اثرگذار باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ ۲۷ با ارتفاع ۱۰۲/۱ سانتی‌متر، بلندترین بوته را دارا بود، در حالی که کمترین ارتفاع (حدود ۸۱/۵ سانتی‌متر) به ژنوتیپ ۱ تعلق داشت. این تفاوت قابل توجه در ارتفاع بوته می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تفاوت‌های ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها باشد و از آنجا که ارتفاع مطلوب به نوع سیستم زراعی و شرایط اقلیمی بستگی دارد، انتخاب ژنوتیپ مناسب بر اساس این ویژگی می‌تواند در افزایش بهره‌وری مؤثر واقع شود.

نتایج مقایسه میانگین صفت تعداد خورجینک در شاخه اصلی نشان داد ژنوتیپ‌های شماره ۳ و ۱۳ به‌ترتیب بیشترین و کمترین (۶۰/۸ و ۴۲) مقدار را دارا بودند. نتایج مقایسه میانگین صفت تعداد خورجینک در شاخه فرعی و تعداد کل خورجینک در بوته نشان داد ژنوتیپ شماره ۱۰ و ۶ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر برای این دو صفت بودند. بررسی میانگین صفت تعداد دانه در خورجینک نشان داد که میانگین این صفت در میان ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی، ۱۱/۹ بود که ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۲۲ بیشترین (۱۳/۶) و ژنوتیپ شماره ۹ کمترین (۹/۹) مقدار را دارا بودند. همچنین نتایج مقایسه میانگین برای صفت وزن هزاردانه نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۳ و ۱۰ با میانگین ۱/۲۲ و ۰/۸۹ گرم به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن هزاردانه بودند (جدول ۳). بررسی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کاملینا مورد مطالعه نیز نشان داد که میانگین عملکرد دانه از ۱۷۸۰ تا ۲۸۱۹ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۳، ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۱۹، ۲۵ و ۲۰ به ترتیب با میانگین ۲۸۱۹، ۲۷۴۰، ۲۶۲۷، ۲۵۸۶، ۲۵۶۹، ۲۵۳۹ و ۲۵۰۳ کیلوگرم در هکتار بود. از طرف دیگر هیبریدهای شماره ۱۳ و ۱ به ترتیب با میانگین عملکرد ۱۷۸۰ و ۱۹۱۷ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را تولید کردند. همچنین میانگین عملکرد دانه ارقام والدینی ۲۲۹۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳).

همبستگی بین صفات: نتایج همبستگی بین صفات مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. نتایج نشان داد عملکرد دانه با صفات تعداد کل خورجینک در بوته (۰/۶۶)، تعداد خورجینک در شاخه فرعی (۰/۶۳) و تعداد خورجینک در شاخه اصلی (۰/۵۳) همبستگی مثبت و قوی دارد. بنابراین افزایش تعداد خورجینک در شاخه اصلی و فرعی نقش مؤثری در افزایش عملکرد دارد. از طرفی همبستگی بین صفات مرتبط با خورجینک‌دهی و شاخه‌دهی نشان داد، نقش شاخه اصلی و فرعی در تولید خورجینک در عملکرد نهایی دانه مؤثر است. همچنین نتایج همبستگی نشان داد عملکرد دانه با صفت تعداد دانه در خورجینک (۰/۰۱-) همبستگی منفی دارد. بین صفات تعداد روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی همبستگی مثبت و قوی (۰/۶۴) وجود دارد. همبستگی منفی این دو صفت با سایر صفات زایشی (از جمله تعداد خورجینک در بوته) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های زود گل‌ده و زودرس سریع‌تر دوره رشد را سپری می‌کنند و از تنش انتهای فصل اجتناب می‌کنند؛ با این حال دارای عملکرد پایین‌تری هستند (شکل ۱).

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]



شکل ۱- همبستگی صفات مختلف مورد ارزیابی درژنوتیپ‌های کاملینا تحت شرایط دیم

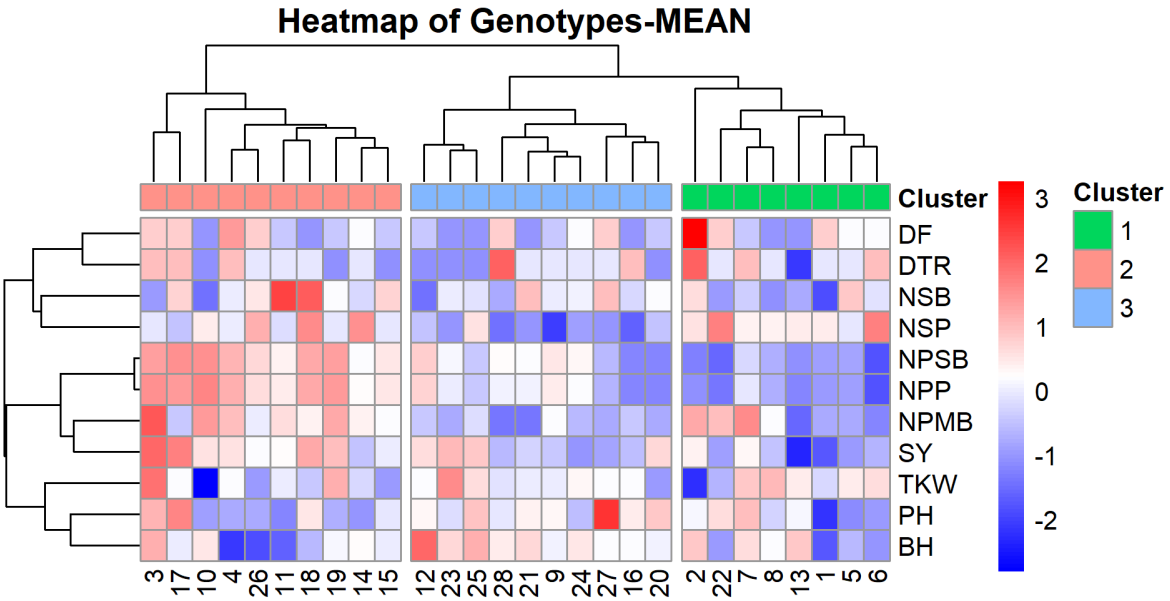
Figure 1– Correlation of different traits evaluated in camelina genotypes under dryland conditions

DF: تعداد روز تا گلدهی، DTR: روز تا رسیدگی، PH: ارتفاع بوته، BH: ارتفاع شاخه‌بندی، NSB: تعداد شاخه جانبی، NPMB: تعداد خورجینک در شاخه اصلی، NPSB: تعداد خورجینک در شاخه فرعی، NPP: تعداد کل خورجینک در بوته، NSP: تعداد دانه در خورجینک، TKW: وزن هزار دانه، SY: عملکرد دانه.

DF: days to flowering, DTR: days to ripening, PH: plant height, BH: branching height, NSB: number of sub-branches, NPMB: number of pods on the main branch, NPSB: number of pods on the sub-branch, NP: number of pods per plant, NSP: number of seeds per pod, TKW: thousand-kernel weight, SY: seed yield.

تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی: نتایج تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی منجر به شناسایی سه خوشه اصلی شد (شکل ۲). خوشه اول شامل شامل ۱۰ ژنوتیپ (۳، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶) بود؛ که در اکثر صفات اندازه‌گیری شده دارای مقادیر بالایی بودند. چهار ژنوتیپ ۳، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ که دارای عملکرد بالا (به ترتیب ۲۸۱۹، ۲۷۴۰، ۲۶۲۷ و ۲۵۶۹ کیلوگرم در هکتار)، وزن هزار دانه مناسب (به ترتیب ۱/۲۲، ۱/۱۰، ۱/۰۷ و ۱/۰۷ گرم) و تعداد خورجینک بالا در بوته (به ترتیب ۴۳۸، ۴۳۳، ۴۲۳ و ۴۳۳) بودند در این خوشه قرار گرفتند. در خوشه دوم ژنوتیپ‌های ۹، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۷ و ۲۸ قرار داشتند. اکثر والدین این ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این خوشه قرار گرفتند. خوشه سوم شامل هشت ژنوتیپ (۱، ۲، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۳ و ۲۲) بود که اکثراً از لحاظ صفات اندازه‌گیری شده دارای مقادیر پایینی بودند. در سایر پژوهش‌های مرتبط نیز این روش برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب استفاده شده است (Alabdullahalhasno *et al.*, 2025).

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

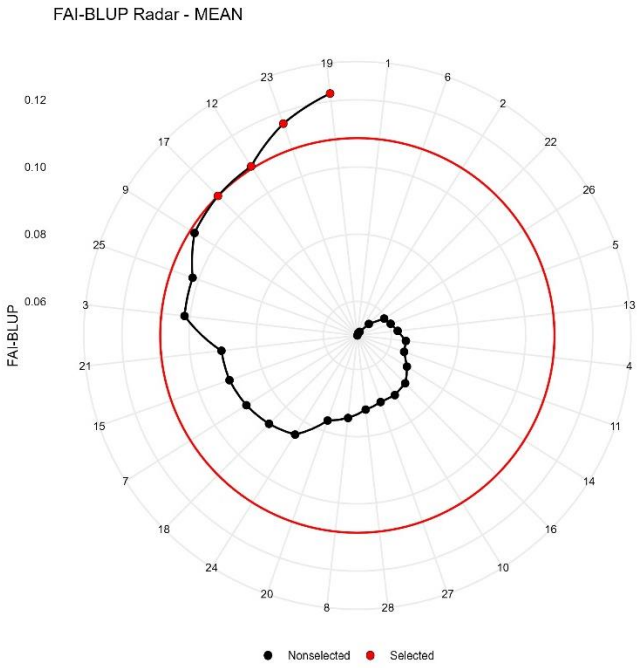


شکل ۲- دندروگرام و نقشه حرارتی ژنوتیپ‌های کاملینا براساس: تعداد روز تا گلدهی (DF)، روز تا رسیدگی (DTR)، ارتفاع بوته (PH)، ارتفاع شاخه‌بندی (BH)، تعداد شاخه جانبی (NSB)، تعداد خورجینک در شاخه اصلی (NPMB)، تعداد خورجینک در شاخه فرعی (NPSB)، تعداد کل خورجینک در بوته (NPP)، تعداد دانه در خورجینک (NSP)، وزن هزار دانه (TKW)، عملکرد دانه (SY)، مجذور فاصله اقلیدسی و روش خوشه‌بندی Ward.D2، در شرایط دیم.

Figure 2- Dendrogram and heat map of camelina genotypes based on: days to flowering (DF), days to ripening (DTR), plant height (PH), branching height (BH); number of sub-branches (NSB), number of pods on the main branch (NPMB), number of pods on the sub-branch (NPSB), number of pods per plant (NP), number of seeds per pod (NSP), thousand-kernel weight (TKW), seed yield (SY), squared Euclidean distance and Ward.D2 clustering method, under dryland conditions.

شاخص FAI-BLUP: ژنوتیپ‌های منتخب براساس شاخص FAI-BLUP با رنگ قرمز خارج از دایره مرکزی قرمز در شکل ۳ مشخص شده‌اند. دایره قرمز مرکزی نقطه برش را با توجه به فشار انتخاب نشان می‌دهد. براساس این شاخص، چهار ژنوتیپ ۱۹، ۲۳، ۱۲ و ۱۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند. همچنین ژنوتیپ‌های ۹، ۲۵، ۳ و ۲۱ نیز در رتبه بعدی قرار گرفتند (شکل ۳). لازم به ذکر است که این دو دسته از ژنوتیپ‌های برتر در خوشه اول و دوم تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی قرار داشتند (شکل ۲). از مهمترین مزیت شاخص FAI-BLUP این تحقیق، استفاده از تمام صفات اندازه‌گیری شده است. لذا این شاخص ابزاری مؤثر برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب فراهم می‌کند و می‌تواند یک معیار تصمیم‌گیری در انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای شرایط دیم باشد. در سایر پژوهش‌های نیز از این شاخص به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب استفاده شده است (Pour-Aboughadareh *et al*., 2023; Jafari Zare *et al*., 2025).

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]



شکل ۳- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های کاملینا مورد مطالعه براساس شاخص FAI-BLUP در شرایط دیم. ژنوتیپ‌های منتخب براساس این شاخص با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. دایره قرمز مرکزی نقطه برش را با توجه به شدت انتخاب نشان می‌دهد.

Figure 3– Ranking of the studied camelina genotypes based on index FAI-BLUP under dryland conditions. The genotypes selected according to this index are highlighted in red. The central red circle indicates the cut-off point according to the selection intensity.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این پژوهش، اختلاف معنی‌داری میان ژنوتیپ‌های کاملینا در صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد مشاهده شد و اثر متقابل ژنوتیپ × سال نشان داد که شرایط محیطی نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری عملکرد دارد. به طور کلی مقایسه میانگین صفات نشان داد ژنوتیپ‌های دیررس نسبت به ژنوتیپ‌های زودرس عملکرد بالاتری داشتند. روابط همبستگی صفات نشان داد که صفاتی مانند تعداد خورجینک در شاخه اصلی، تعداد خورجینک در شاخه فرعی و وزن هزار دانه می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد در شرایط دیم مورد استفاده قرار گیرند. نتایج تحلیل خوشه‌ای مبتنی بر نقشه حرارتی نشان داد چهار ژنوتیپ ۳، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ که دارای عملکرد، وزن هزار دانه مناسب و تعداد خورجینک بالا در بوته بودند جزء ژنوتیپ‌های برتر بودند. براساس شاخص FAI-BLUP چهار ژنوتیپ ۱۹، ۲۳، ۱۲ و ۱۷ کمترین فاصله از ژنوتیپ ایدئوتایپ (ایده‌آل) داشتند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند. این نتایج بیانگر آن است که استفاده از روش‌های همبستگی، خوشه‌بندی و شاخص چند صفتی می‌تواند ابزاری کارآمد برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با عملکرد مطلوب و سازگار با شرایط دیم باشند. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به عنوان منابع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های به‌نژادی کاملینا در دیمزارهای مناطق خشک و نیمه خشک مورد استفاده قرار گیرند.

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

سپاسگزاری

این مقاله از اجرای دو پروژه تحقیقاتی با شماره مصوب ۰۲۰۹۴۱-۰۳۳-۱۵-۱۵-۰ و ۰۱۱۰۳۸-۰۲۲-۱۵-۱۵-۰ استخراج شده است. بدین‌وسیله از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان به خاطر تأمین مواد ژنتیکی، تأمین هزینه و فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این پروژه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Ahmadi-Ochtapeh, H., Rostami Ahmadvandi, H., Haghighi, A.A., Kheirgoo, M. 2025. Genotype-trait interaction analysis in camelina doubled haploid lines using the GGE biplot method. Agrotechniques in Industrial Crops, 5(4): 251-258.

Alabdullahalhasno, B., Soltanloo, H., Ramezanpour, S.S., Darzi Ramandi, H. 2025. Evaluation of salinity-stress tolerance indices in bread wheat based on grain yield, root dry weight, and biomass traits for the selection of tolerant genotypes. Crop Production Journal, 18 (1): 177-216. (In Persian).

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

Bakhshi, B., Rostami Ahmaddvandi, H., Kahrizi, D., Naroui Rad, M.R. 2020. Camelina oilseed crop botany and agronomy in warm and dried refgions. Camelina technical bulletin Dryland Agricultural Research Institute (DARI). 1-27. (In Persian).

Berti, M., Gesch, R., Johnson, B., Ji, Y., Seames, W., Aponte, A. 2015. Double-and relay-cropping of energy crops in the northern great plains, USA. Industrial Crops and Products, 75: 26–34.

Chen, C., Bekkerman, A., Afshar, R.K., and Neill, K. 2015. Intensification of dryland cropping systems for bio-feedstock production: Evaluation of agronomic and economic benefits of *camelina sativa*. Industrial Crops and Products, 71: 114-121.

Dobre, P., and Jurcone, S. 2011. *Camelina sativa*- an oilseed crop with unique agronomic characteristics. Agronomy, 54: 425-430.

Francki, M., Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N., and Francis, C. 2010. Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as an alternative oilseed molecular and ecogeographic analyses. Genome, 53(7): 558-567.

Ghamarnia, H., Kahrizi, D., Rostami Ahmadvandi. H. 2020. Camelina: a low input and adaptable plant. Razi University Press. 118 Pp. (In Persian).

Hunter J., Roth G., 2010. Camelina Production and Potential in Pennsylvania, Agronomy Facts 72. College of Agricultural Sciences, Crop and Soil Sciences, Pennsylvania State University.

Jafari Zare, M., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., Pour-Aboughadareh, A. 2025. Comparison of Multiple-Trait Selection Indices for Promising Barley Genotypes. Journal of Crop Breeding, 17(3): 1-15. (In Persian).

Kahrizi, D., Kazemitabar, S.K., Ghazi, S., Karimi, N., Feizi, M., Rostami Ahmadvandi, H., Soorni, J., Falah, F., Raziei, Z., Bakhsham, M., Rahimi, T. 2017. A review on biotechnological research on Camelina sativa oilseed crop. 2nd International and 10th National Biotechnology Congress of Islamic Republic of Iran, 1-6. (In Persian).

Kurt, O., Seyis, F. 2008. An alternative oilseed crop: Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz). Journal of Agricultural Sciences (Turkey), 23(2):116-120.

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]

Larsson, M. 2013. Cultivation and processing of *Linum usitatissimum* and *camelina sativa* in southern Scandinavia during the Roman Iron Age. Vegetation History and Archaeobotany, 22(6): 509–520.

Noormohammadi, F. 2019. Evaluation of genetic indices of yield, yield components, and fatty acids in camelina (*Camelina sativa* L.). M.Sc. thesis in Plant Genetics and Breeding. Ilam University. 63 Pp.

Pour-Aboughadareh, A., Zali, H., Gholipour, A., Koohkan, S., Barati, A., Jabari, M., Kheirgo, M., Marzoghiyan, A. 2023. Selection of barley superior promising lines using selection indexes of multi-trait. Agricultural Science and Sustainable Production, 23(3): 1-16. (In Persian).

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

Rostami Ahmadvandi, H., Kahrizi, D., Ghobadi, R., Akbarabadi, A. 2020. Camelina, a unique oilseed crop with tolerance to drought and cold. Extension Journal of Oilseed Plants, 2(2): 63–73. (In Persian).

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.

Zali, H., Pour-Aboughadareh, A. 2023. Identification of superior genotypes of barley for cultivation the south regions of Fars province using MGIDI and FAI-BLUP indices. Plant Productions, 46(3): 335-351. (In Persian)

Zanetti, F., Alberghini, A., Marjanović Jeromela, A., Grahovac, N., Rajković, D., Kiprovski, B., Monti, A. 2021. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. a review. Agronomy for Sustainable Development, 41(2): 1-18.

Zubr, J. 1997. Oil-seed crop: *Camelina sativa*. Industrial Crops and Products, 6:113-119.

[DOI: 10.22034/arpe.9.17.1]