



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

۲۲۵-۲۵۰

مقاله پژوهشی

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در کلزا (*Brassica napus L.*) پاییزه در شرایط اقلیمی کرج

مدینه بیژنی^۱، سعید صوفی‌زاده^{۱*}، امیرحسین شیرانی‌راد^۲ و حمید جباری^۲

^۱ گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۵

بیژنی، م.، س. صوفی‌زاده، ا.ح. شیرانی‌راد و ح. جباری. ۱۴۰۲. شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در کلزا (*Brassica napus L.*) پاییزه در شرایط اقلیمی کرج. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۱): ۲۲۵-۲۵۰.

سابقه و هدف: آب قابل دسترس به منظور آبیاری کلزا در اواخر فصل رشد به دلیل کاهش بارندگی و همچنین استفاده از منابع آبی برای زراعت‌های پرسود بهاره افت شدیدی می‌یابد. لذا امکان مواجه شدن گیاه با تنش خشکی در مراحل پایانی رشد بسیار محتمل می‌باشد. بنابراین گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی برای موفقیت در تولید این محصول در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها: آزمایشی مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی (۱۳۹۶-۹۸) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد. تیمارهای تنش خشکی شامل آبیاری معمول، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تا پایان رشد و قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا پایان رشد در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا شامل Talayeh, Okapi, SLM046, Ahmadi, Zarfam, Licord, Neptun, Natali, GK Gabriella و Opera در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که تنش خشکی به خصوص در قطع آبیاری از گلدهی در تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی باعث کاهش وزن هزار دانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، درصد روغن، عملکرد دانه، عملکرد روغن، طول دوره رشد و کارایی مصرف آب نسبت به آبیاری معمول شد. در شرایط آبیاری معمول بیشترین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های Okapi, Neptun و Natali به ترتیب با ۵۵۵۸، ۵۶۹۸ و ۵۰۷۶ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های SLM046, Zarfam و Natali در قطع آبیاری از خورجین‌دهی با عملکرد دانه به ترتیب ۳۱۴۴، ۲۸۶۴، ۳۲۳۷ و ۲۹۵۱ کیلوگرم در هکتار و در قطع آبیاری از گلدهی به ترتیب با عملکرد دانه ۲۳۷۷، ۲۴۷۲، ۲۴۴۱ و ۲۵۳۹ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و تحمل تنش (STI) بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و غیرتنش داشتند و برای

* Corresponding Author: Email Address. s_soufizadeh@sbu.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1230>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.1.9.5>

گزینش ژنوتیپ‌های برتر مناسب‌تر بودند. بر همین اساس مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش Okapi, SLM046, Zarfam, Neptun, Natali و Opera بودند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج حاصله ژنوتیپ‌های Okapi, SLM046, Zarfam, Neptun, Natali و Opera در شرایط تنش آخر فصل به عنوان ژنوتیپ‌های برتر جهت کشت در شرایط آب و هوایی کرج توصیه می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی انتهای فصل، شاخص‌های تحمل به خشکی، گیاه دانه روغنی، کارایی مصرف آب.

مقدمه

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. یکی از محصولات دانه روغنی مهم جهان به شمار رفته و بر اساس آمار منتشره از سازمان خوار و بار جهانی پس از سویا و نخل روغنی سومین محصول زراعی دانه روغنی محبوب در جهان است (FAO, 2021). کلزا با توجه به خصوصیات زراعی مناسب خود از جمله بهره‌وری بالای مصرف آب و تحمل نسبی به تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک محصول جایگزین برای تناوب‌های زراعی مبتنی بر غلات مخصوصاً در مناطقی با اقلیم‌های خشک و نیمه خشک به‌کار برده شود (Hegewald et al., 2018). کشور ایران نیز با دریافت یک سوم میزان نزولات جهانی (۲۴۰ میلی-متر در سال) در زمره کشورهای گرم و خشک جهان قرار گرفته است و خشکی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده‌ی تولید مطرح می‌باشد (Sabzevar et al., 2021). علی‌رغم بارش‌های مناسب در طی فصول پاییز و زمستان که نیاز آبی کلزای پاییزه را در طی فصل رویشی تأمین می‌کند، در بسیاری از مناطق کشور در طی بحرانی-ترین مراحل رشد ممکن است هیچ گونه نزولات آسمانی وجود نداشته باشد (Darand et al., 2020). علاوه بر آن صرفه‌جویی در مصرف آب در پایان فصل رشد کلزا به ویژه مراحل گلدهی، تشکیل خورجین و پر شدن دانه برای کشاورزان مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت قابل توجهی دارد (Safavi Fard et al., 2018)، زیرا چالش بزرگی در بین کشاورزان برای آبیاری محصولاتی مانند گندم، ذرت، کلزا و سایر محصولات بهاره و تابستانه از فروردین ماه تا خرداد ماه وجود دارد (Eyni Nargeseh et al., 2020a).

اگرچه این بازه از مراحل حساس به تنش خشکی در گیاه کلزا محسوب می‌شود (Feizabadi et al., 2020; Farahani et al., 2021) اما پژوهش‌های صورت گرفته مبنی بر آن است که عکس‌العمل گیاه به تنش خشکی علاوه بر آنکه تابع مراحل رشدی است، می‌تواند تحت تأثیر رقم نیز قرار گیرد (Rahimi-Moghaddam et al., 2021). ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه واکنش‌های متفاوتی در پاسخ به محدودیت آبی از خود نشان می‌دهند (Chiango et al., 2021; Mohtashami et al., 2020; Safavi Fard et al., 2018; Zhu et al., 2021; Moradi Aghdam et al., 2019; Khan et al., 2019; Eyni Nargeseh et al., 2020a). در بررسی عملکرد دانه شش ژنوتیپ کلزا (Zafar, RGS003, Julinus, Jerry, Zabol10 و Hyola4815) به تنش خشکی از مرحله گلدهی تا رسیدگی محصول نشان دادند که کمبود آب اگرچه سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد، اما رقم زودرس RGS003 با توجه به تعداد خورجین و تعداد دانه بیشتر و وزن هزار دانه سنگین‌تر، به میزان بالاتری قادر به تولید عملکرد مناسب‌تر در شرایط تنش خشکی بود. بنابراین ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی علاوه بر آنکه به میزان کمتری تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند، عملکرد پایداری نیز تولید می‌نمایند. پذیرش ارقام مقاوم به خشکی می‌تواند یک راهکار مدیریتی حیاتی برای افزایش سطح زیر کشت کلزا در شرایط محدودیت آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک باشد (Hao et al., 2015).

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. یکی از محصولات دانه روغنی مهم جهان به شمار رفته و بر اساس آمار منتشره از سازمان خوار و بار جهانی پس از سویا و نخل روغنی سومین محصول زراعی دانه روغنی محبوب در جهان است (FAO, 2021). کلزا با توجه به خصوصیات زراعی مناسب خود از جمله بهره‌وری بالای مصرف آب و تحمل نسبی به تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک محصول جایگزین برای تناوب‌های زراعی مبتنی بر غلات مخصوصاً در مناطقی با اقلیم‌های خشک و نیمه خشک به‌کار برده شود (Hegewald et al., 2018). کشور ایران نیز با دریافت یک سوم میزان نزولات جهانی (۲۴۰ میلی-متر در سال) در زمره کشورهای گرم و خشک جهان قرار گرفته است و خشکی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده‌ی تولید مطرح می‌باشد (Sabzevar et al., 2021). علی‌رغم بارش‌های مناسب در طی فصول پاییز و زمستان که نیاز آبی کلزای پاییزه را در طی فصل رویشی تأمین می‌کند، در بسیاری از مناطق کشور در طی بحرانی-ترین مراحل رشد ممکن است هیچ گونه نزولات آسمانی وجود نداشته باشد (Darand et al., 2020). علاوه بر آن صرفه‌جویی در مصرف آب در پایان فصل رشد کلزا به ویژه مراحل گلدهی، تشکیل خورجین و پر شدن دانه برای کشاورزان مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت قابل توجهی دارد (Safavi Fard et al., 2018)، زیرا چالش بزرگی در بین کشاورزان برای آبیاری محصولاتی مانند گندم، ذرت، کلزا و سایر محصولات بهاره و تابستانه از فروردین ماه تا خرداد ماه وجود دارد (Eyni Nargeseh et al., 2020a).

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر تنش خشکی آخر فصل بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد روغن در ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا، ارزیابی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی و شناسایی برترین شاخص تحمل به خشکی، در منطقه کرج طراحی و اجرا شد.

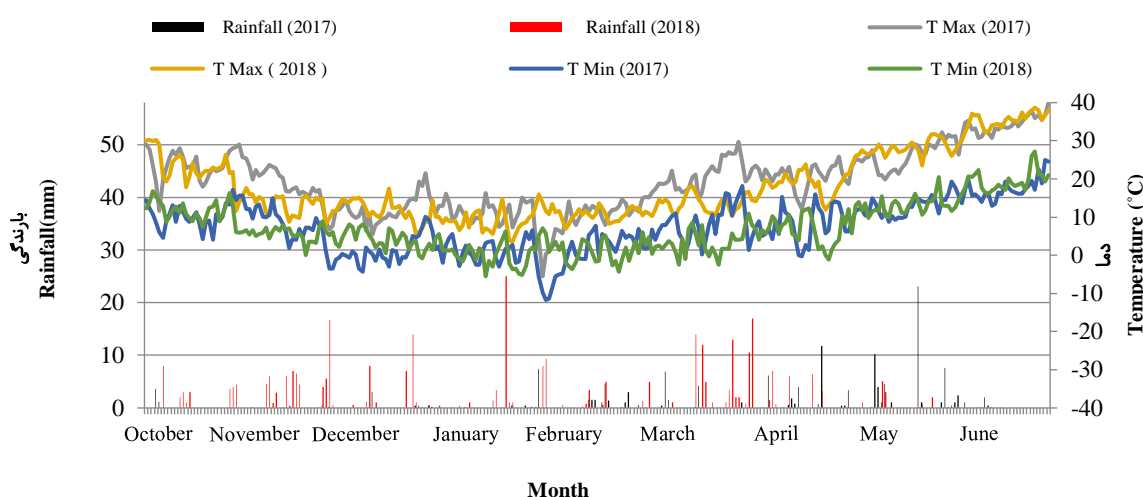
مواد و روش‌ها

مکان آزمایشی و شرایط آب و هوایی

پژوهش حاضر در مؤسسه تحقیقاتی اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا در دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) اجرا گردید. بر اساس اطلاعات به دست آمده از سازمان هواشناسی ایران و با توجه به منحنی آمبروترمیک، منطقه مورد نظر با داشتن ۱۵۰ تا ۲۰۰ روز خشک جزء مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. اطلاعات آب و هوایی فصل کشت کلزا در دو سال زراعی به صورت روزانه در شکل ۱ ارائه گردیده است. بر اساس میانگین داده‌های ۳۰ ساله هواشناسی کرج (۲۰۲۰-۱۹۹۰)، میانگین بارندگی سالانه ۲۴۳ میلی‌متر است و بارندگی‌ها عمدتاً در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار روی می‌دهد.

ارزیابی میزان تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها، به طور معمول با استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی انجام می‌شود (Niknesan *et al.* 2019; Khanzada *et al.*, 2020; Chaghakaboodi *et al.*, 2021). تاکنون برای شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی شاخص‌های متعددی از جمله شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) ارائه شده است (Sánchez-Reinoso *et al.*, 2020; Anwaar *et al.*, 2020).

Eyni Nargeseh *et al.* (2020b) با انجام تحقیقی روی ۱۷ ژنوتیپ کلزا در دو محیط بدون تنش خشکی و تنش در مرحله گلدهی، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را به عنوان بهترین شاخص تحمل خشکی جهت تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل کلزا معرفی کردند. به طور کلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند، به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر محیط (تنش و بدون تنش) هستند و می‌توان از آن‌ها برای تخمین پایداری عملکرد استفاده کرد (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006; Naeemi *et al.*, 2008).



شکل ۱- بیشینه و کمینه دما و بارش روزانه در ایستگاه هواشناسی شهرستان کرج در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۸

Fig. 1- The daily rainfall and maximum and minimum temperature of the experimental site during the canola growing season in 2017-2019

نمونه‌گیری از خاک در عمق (۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی‌متر) خاک به آزمایشگاه فرستاده شد. نتایج آزمون خاک محل قبل از کاشت انجام و جهت تجزیه شیمیایی و فیزیکی آزمایش در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1. Physical and chemical properties of soil

سال Year	عمق Depth	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی OC	نیترژن آلی ON	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	فسفر قابل جذب Av.P	پتاسیم قابل جذب Av. K
	cm			(%)			-	(ds/m)	(ppm)	
2017-2018	0-30	28	46	26	0.53	0.06	7.2	3.88	11.8	256
	30-60	25	45	30	0.57	0.07	7.5	1.32	8.8	188
2018-2019	0-30	26	47	27	0.61	0.09	7.1	3.71	12.5	234
	30-60	28	46	26	0.72	0.08	7.4	1.86	10.1	210

ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا در کرت‌های فرعی در ۱۰ سطح شامل (Ahmadi، SLM046، Okapi، Talayeh)، (GK Gabriella، Natali، Neptun، Licord، Zarfam و Opera) قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به حجم و تعداد دفعات آبیاری در جدول ۲، زمان قطع آبیاری در ژنوتیپ‌های مختلف در جدول ۳ و خصوصیات ژنوتیپ‌های مورد پژوهش در جدول ۴ ارائه گردیده است.

طرح آزمایشی

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد که در آن تنش خشکی در کرت‌های اصلی در سه سطح شامل آبیاری معمول (۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تا پایان رشد و قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا پایان رشد و

جدول ۲- حجم و تعداد دفعات آبیاری در سطوح مختلف تیمارهای خشکی
Table 2. Number and volume of irrigation in drought stress treatments

زمان انجام آبیاری Irrigation time	کل آب مصرفی در هکتار* Total water consumption (m ³ .ha ⁻¹)	تعداد دفعات آبیاری Number of irrigations	تیمار Treatment
پس از کشت (کد ۰)، باز شدن لپه‌ها (کد ۱)، سه تا چهار برگی (کد ۱/۴)، ساقه‌دهی (کد ۲/۳)، غنچه‌دهی (کد ۳/۶)، گلدهی (کد ۴/۳)، خورجین‌دهی (کد ۵/۳)، پر شدن دانه (کد ۶/۲)	5120	8	آبیاری معمول Common irrigation (control)
تمام مراحل آبیاری معمول به غیر از آبیاری در خورجین‌دهی (کد ۵/۳) و پر شدن دانه (کد ۶/۲)	3840	6	قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی Withholding irrigation from the silique setting stage
تمام مراحل آبیاری معمول به غیر از آبیاری در مرحله گلدهی (کد ۴/۳)، خورجین‌دهی (کد ۵/۳)، پر شدن دانه (کد ۶/۲)	3200	5	قطع آبیاری از مرحله گلدهی Withholding irrigation from the flowering stage

* کل آب مصرفی در هکتار با نظر گرفتن میزان تبخیر از تشتک تبخیر (۸۰ میلی‌متر) و ضریب تشتک تبخیر (۰/۸) معادل با ۶۴۰ مترمکعب در هکتار در هر نوبت آبیاری بوده است.

جدول ۳- زمان قطع آبیاری در ژنوتیپ‌های کلزا
Table 3. Withholding irrigation time in canola genotypes

قطع آبیاری از مرحله گلدهی Withholding irrigation from the flowering stage	قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی Withholding irrigation from the silique setting stage	تیمارها Treatments
۵ فروردین	۲۹ فروردین	Early maturity
۱۲ فروردین	۶ اردیبهشت	Mid- maturity
۱۵ فروردین	۱۲ اردیبهشت	Late- maturity

جدول ۴- ویژگی‌های ژنوتیپ‌های کلزا مورد استفاده در آزمایش
Table 4. Characteristics of canola genotypes in the experiment

طول دوره رسیدگی Growth period duration (day)	نوع رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity type	هیبرید Hybrid	ژنوتیپ Genotypes	منشا Origin	نام ژنوتیپ Genotype name	
255-265	Late- maturity	دیررس	*	Germany	آلمان	Talayeh
247-256	Mid- maturity	میان‌رس	*	France	فرانسه	Okapi
246-254	Mid- maturity	میان‌رس	*	Germany	آلمان	SLM046
250- 260	Late-maturity	دیررس	*	Iran	ایران	Ahmadi
236-245	Early maturity	زودرس	*	Iran	ایران	Zarfam
251-259	Late-maturity	دیررس	*	Germany	آلمان	Licord
242-251	Mid- maturity	میان‌رس	*	France	فرانسه	Neptun
242-249	Mid- maturity	میان‌رس	*	France	فرانسه	Natali
245-254	Mid- maturity	میان‌رس	*	France	فرانسه	GK Gabriella
237-245	Early maturity	زودرس	*	Sweden	سوئد	Opera

مدیریت زراعی

در طول دوره رشد نیز صورت پذیرفت. کنترل آفت شته مومی کلم نیز با استفاده از سم سیستمیک متاسیستوکس به مقدار ۱/۵ لیتر در هکتار در مرحله شروع ساقه‌دهی انجام شد. دور آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بود، که به طور معمول بسته به بافت خاک پس از ۴۰-۵۰ درصد تخلیه رطوبتی رخ می‌دهد (Shirani Rad *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر با توجه به بافت خاک مزرعه، ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A، حدوداً پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک بوده است. آبیاری به روش جوی و پشت‌های و کل آب مصرفی در هکتار با نظر گرفتن ضریب تشتک تبخیر (۰/۸) معادل با ۶۴۰ مترمکعب در هکتار بوده است. آبیاری تا قبل از اعمال تیمارها به صورت مرتب انجام گرفت.

اندازه‌گیری صفات گیاهی

صفت طول دوره رشد به صورت روز پس از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی برای هر ژنوتیپ ثبت گردید. رسیدگی فیزیولوژیکی نیز ارزیابی تغییر رنگ و سخت شدن دانه در خورجین‌ها در نظر گرفته شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی ۱۰ بوته از خطوط میانی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای به صورت تصادفی انتخاب شد و صفات تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین

زمین آزمایش در طی شهریورماه شخم و دیسک زده شد و سپس بر اساس نتایج آزمون خاک و دستورالعمل مؤسسه تحقیقات خاک و آب به میزان ۱۵۰ کیلوگرم درهکتار سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم به صورت پایه و همزمان با آماده‌سازی بستر و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت مساوی در دو مرحله سه برگی و ساقه‌دهی و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم در مرحله غنچه‌دهی مصرف گردید. کاشت پس از تصادفی کردن نقشه آزمایش در هر دو سال به صورت هیرم کاری در تاریخ ۱۴ مهرماه با عمق تقریبی ۱/۵ سانتی‌متر انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به طول پنج متر با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۵ سانتی‌متر بود و دو خط کناری به‌عنوان حاشیه منظور شد. کلیه عملیات مربوط به داشت مانند تنک کردن، وجین علف‌های هرز و مقابله با آفت شته مومی به صورت یکسان در تمام کرت‌های آزمایشی انجام شد. تنک کردن در مرحله ۲-۴ برگی تا رسیدن به تراکم مطلوب (۶۶ بوته در مترمربع) صورت گرفت. برای کنترل علف‌های هرز ضمن آنکه قبل از کاشت از علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار استفاده شد، کنترل آن به صورت وجین دستی

۱- شاخص تحمل

(Rosielle and Hamblin, 1981) Tolerance index:

$$TOL = Y_p - Y_s$$

۲- میانگین بهره‌وری

(Rosielle and Hamblin, 1981) Mean productivity:

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$$

۳- میانگین بهره‌وری هندسی

(Fernandez, 1992) Geometric mean productivity:

$$GMP = \sqrt{Y_p - Y_s}$$

۴- شاخص تحمل تنش

(Fernandez, 1992) Stress tolerance index:

$$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{\bar{Y}_p^2}$$

که در این روابط: (Yp) عملکرد گیاهان در شرایط بدون تنش، (Ys): عملکرد گیاهان در شرایط تنش، (\bar{Y}_p): میانگین عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش و (\bar{Y}_s): میانگین عملکرد ارقام در شرایط تنش

تجزیه‌های آماری

با انجام آزمون بارتلت (جدول ۵) و پس از مشخص شدن عدم معنی‌داری نتیجه آزمون، تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9/1 انجام شد. شایان ذکر است که درصد روغن دانه نیز جهت همگنی و یکنواختی نتایج با استفاده از تجزیه واریانس مرکب انجام شد. از برش-دهی برای مقایسه میانگین اثرات ساده در زمانی که اثر متقابل معنی‌دار شده است استفاده شد. جهت رسم نمودارها نیز از نرم افزار اکسل استفاده شد.

ثبت گردید. جهت تعیین وزن هزار دانه نیز ۸ نمونه ۱۰۰۰ تایی از هر کرت انتخاب و میانگین آن به عنوان صفت مذکور ثبت شد. کرت‌های آزمایشی پس از حذف اثر حاشیه به مساحت ۴ مترمربع به طور جداگانه کفبر شدند و پس از خشک شدن در هوای آزاد، عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۲ درصد محاسبه شد. درصد روغن دانه‌های هر کرت با استفاده از دستگاه رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR) (مدل 20 mini spec-nq ساخت آلمان) بر اساس استاندارد بین‌المللی تعیین گردید. بدین منظور پس از کالیبراسیون روزانه دستگاه با یک نمونه مرجع و کالیبراسیون محصول با نمونه‌های استاندارد از پیش آماده شده، حداقل ۳ گرم کلزا توزین و به سلول مخصوص دستگاه منتقل شد. سلول حاوی نمونه در محل مخصوص قرار گرفت و مقدار روغن در مدت کمتر از ۱ دقیقه در مانیتور ثبت شد. از حاصل ضرب درصد روغن دانه در عملکرد دانه نیز عملکرد روغن محاسبه شد. کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف پژوهش نیز با محاسبه نسبت عملکرد دانه به میزان آب مصرفی با استفاده از معادله ۱ تعیین شد:

$$WUE = \frac{GY}{WU} \quad (1)$$

که در این معادله: WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)، GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، WU آب مصرفی (مترمکعب)

محاسبه شاخص‌های تحمل خشکی

جدول ۵- نتایج آزمون

Table 5. Bartlett test results

کارایی مصرف Water use efficiency for seed	عملکرد روغن Oil yield	درصد روغن دانه Oil percentages	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه 1000- seed weight	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per pod	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	طول دوره رشد Growth period duration	صفات Traits
0.63	0.01	6.17	0.04	0.30	0.45	0.35	0.003	Chi-Square
0.42	0.89	0.01	0.83	0.57	0.50	0.55	0.95	P value

نتایج و بحث

عملکرد دانه و کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۶). اثر متقابل تنش خشکی × ژنوتیپ نیز بر تمام صفات به غیر از طول دوره رشد معنی‌دار شد. همچنین نتایج حاکی از آن است برهمکنش سال × ژنوتیپ تنها بر صفات طول دوره رشد و درصد روغن معنی‌دار گردید (جدول ۶).

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد اثر اصلی سال، تنش خشکی و ژنوتیپ بر تمام صفات مورد مطالعه شامل طول دوره رشد، وزن هزار دانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، درصد روغن، عملکرد روغن،

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی
Table 6. Combined analysis of variance of traits in canola cultivars under drought stress conditions

وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per pod	طول دوره رشد Growth period duration	درجه آزادی DF	منبع Source
1.27 **	40897 **	209 **	802 **	1	سال Year
0.23 ns	300 ns	2.3 ns	48 **	3	تکرار Replication
0.03	134	1.2	5.5	3	تکرار در سال Rep (Year)
74.9 **	283259 **	1342 **	3467 **	2	تنش خشکی Drought
0.57 **	4481 **	17.6 **	15.9 ns	2	سال × تنش خشکی Year × Drought
0.10	455	2.9	22.0	12	خطای کرت اصلی error a
4.41 **	11015 **	68.5 **	946 **	9	ژنوتیپ Genotypes
0.03 ns	325 ns	1.9 ns	21.11 **	9	سال × ژنوتیپ Year × Genotypes
1.06 **	1438 **	10.1 **	2.68 ns	18	تنش خشکی × ژنوتیپ Drought × Genotypes
0.01 ns	127 ns	0.4 ns	7.36 ns	18	سال × تنش خشکی × ژنوتیپ Year × Drought × Genotypes
0.08	172.7	1.04	5.2	162	خطای کرت فرعی error b
9.45	7.6	4.8	0.9	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)
0.73 **	2707042 **	10885867 **	75.3 **	1	سال Year
0.01 ns	40213 ns	162086 ns	1.1 *	3	تکرار Replication
0.03	58453	351764	0.23	3	تکرار در سال Rep (Year)
2.70 **	44073311 **	187766150 **	346 **	2	تنش خشکی Drought
0.02 *	45320 ns	128373 ns	12.7 **	2	سال × تنش خشکی Year × Drought
0.01	31083	149522	1.01	12	خطای کرت اصلی error a
0.39 **	1378621 **	5884693 **	25.5 **	9	ژنوتیپ Genotypes
0.003 ns	13508 ns	63178 ns	0.83 *	9	سال × ژنوتیپ Year × Genotypes
0.05 **	183192 **	745662 **	3.6 **	18	تنش خشکی × ژنوتیپ Drought × Genotypes

ادامه جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی
Table 6. Cont. Combined analysis of variance of traits in canola cultivars under drought stress conditions

وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per pod	طول دوره رشد Growth period duration	درجه آزادی DF	منبع Source
0.004 ns	16524 ns	76551 ns	0.4 ns	18	سال × تنش خشکی × ژنوتیپ Year × Drought × Genotypes
0.005	17019	79108	0.34	162	خطای کرت فرعی error b
9.91	9.46	9.1	1.35	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)

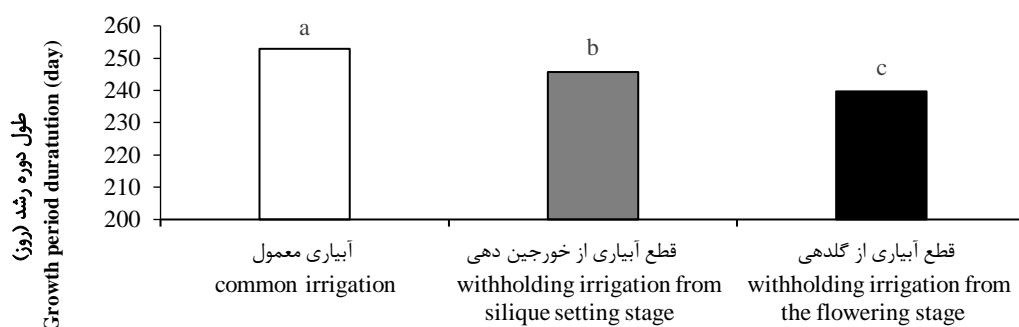
، و **: نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, *and **: non-significant, significant in 0.05 and 0.01 level, respectively

طول دوره رشد

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی حاکی از آن است که محدودیت آبی سبب کاهش طول دوره رشد گیاه کلزا نسبت به آبیاری معمول می‌گردد (شکل ۲). نتایج نشان می‌دهد طول دوره رشد در شرایط قطع آبیاری از خورجین-دهی و قطع آبیاری از گلدهی به ترتیب ۷ و ۱۳ روز نسبت به آبیاری معمول کاهش یافت (شکل ۲). Afiuni *et al.* (2015) در بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم به قطع آبیاری آخر فصل گزارش کردند که میانگین طول دوره رشد در شرایط بدون تنش ۲۱۴ روز بود، در حالی که با اعمال تنش خشکی از سنبله‌دهی تا پایان فصل رشد طول این دوره به

۲۰۵ روز کاهش یافت. در پژوهشی دیگر در کلزا گزارش شد که قطع آب از مرحله نمو خورجین تا پایان فصل رشد سبب گردید تا رسیدگی در تیمارهای تحت تنش ۸ روز تسریع یابد (Khademhamzeh *et al.*, 2018). آن‌ها ادعان داشتند که کاهش طول دوره رشد ناشی از تنش خشکی می‌تواند به دلیل ممانعت یا توقف برخی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی یا آنزیمی باشد. به نظر می‌رسد دلیل کاهش طول دوره رشد در اواخر فصل رشد، کم شدن طول دوره پر شدن دانه نیز باشد. در پژوهشی گزارش گردید که وقوع تنش در مرحله گلدهی و دانه‌بندی، دوره پر شدن دانه را بین ۱۰ تا ۱۲ روز کوتاه‌تر کرد (Simane *et al.*, 1993).



شکل ۲- اثر تنش خشکی بر طول دوره رشد کلزا

Fig. 2- Effect of drought stress on growth period duration

(جدول ۷). ژنوتیپ‌های Zarfam، Natali و Opera نیز به ترتیب با ۲۳۸، ۲۴۲ و ۲۳۹ روز در سال اول و ۲۳۴، ۲۴۰ و ۲۳۵ روز در سال دوم به عنوان زودرس‌ترین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند (جدول ۷). پژوهش‌ها ادعان داشته‌اند که مراحل فنولوژیک گیاه

در بررسی نتایج برهمکنش سال × ژنوتیپ بر طول دوره رشد مشخص گردید ژنوتیپ‌های Licord و Ahmadi، Talayeh و ۲۶۰، ۲۵۱ و ۲۵۴ روز در سال اول و ۲۵۳، ۲۴۹ و ۲۴۸ روز در سال دوم مدت زمان بیشتری را نسبت به سایرین جهت تکمیل چرخه زندگی خود نیاز داشتند

دوم گردید. این موضوع در تحقیق (Rahimi-2021) Moghaddam *et al.* نیز مورد تایید قرار گرفته است. ضمن آنکه اختلاف در طول دوره رشد در ژنوتیپها را می‌توان به اختلاف ژنتیکی آنها نیز نسبت داد (Yashavanthakumar *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد تفاوت‌های موجود می‌تواند با پاسخ متفاوت ژنوتیپها در حساسیت به دما و طول روز مرتبط باشد. اثر اختلافات ژنتیکی بر صفات فنولوژیکی در گیاه کلزا پیش از این توسط (Rezaei *et al.*, 2021) نیز گزارش گردیده بود.

می‌تواند تحت تاثیر شرایط آب و هوایی قرار گیرد (Liu and Dai, 2020; Tariq *et al.*, 2018; Rezaei *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2021). با ارزیابی داده‌های آب و هوایی مشخص شد میانگین دمای هوا در سال دوم از قطع آبیاری در گلدهی تا پایان رشد ۰/۲۸ درجه سانتی‌گراد و از قطع آبیاری در خورجین‌دهی تا پایان رشد ۱/۳ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سال اول بود (شکل ۱)، گرم شدن هوا سبب کوتاه شدن طول دوره گلدهی و خورجین‌دهی و در نتیجه کاهش طول دوره رشد در سال

جدول ۷- اثر متقابل سال×ژنوتیپ بر برخی صفات مورد مطالعه کلزا

Table 7. Interaction of year× genotype on some measured traits of canola

محتوای روغن (%) Oil content (%)	طول دوره رشد (روز) Growth period duration (day)	صفات Traits		
1397-98	1396- 97	1397-98	1396- 97	
43.55 bc	42.02 cd	253.1 a	260.0 a	Talayeh
44.75 ab	43.40 abc	246.6 bc	249.0 cd	Okapi
44.77 ab	44.12 ab	245.6 bcd	247.5 cde	SLM046
42.65 c	41.34 d	248.6 ab	251.5 bc	Ahmadi
44.59 ab	43.83 ab	233.9 e	238.4 h	Zarfam
43.98 abc	42.44 bcd	248.1 ab	254.8 b	Licord
45.20 a	43.84 ab	241.7 cd	244.0 efg	Neptun
45.20 a	44.56 a	240.6 d	242.5 hfg	Natali
43.07 c	41.76 dc	243.6 bcd	246.4 def	GK Gabriella
45.04 a	44.27 a	235.1 e	239.5 hg	Opera

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test

و ۲۹ درصدی و در قطع آبیاری از گلدهی به ترتیب ۴۶، ۳۱ و ۴۵ درصد نسبت به تیمار آبیاری معمول کاهش یافت (جدول ۸). وقوع تنش از طریق کاهش دوره فعالیت منبع (برگ‌ها) و کاهش میزان فتوسنتز جاری، سبب کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی می‌گردد، این عامل به همراه ریزش گل‌ها، بارور نبودن دانه‌های گرده و سقط دانه‌ها سبب افت اجزای عملکرد می‌شود (Moravveji *et al.*, 2017; Mohtashami *et al.*, 2020). نتایج اثر سال بر عملکرد دانه نیز حاکی از برتری ۱۳ درصدی سال دوم بود (شکل ۳). به نظر می‌رسد که سال دوم علی‌رغم کوتاه‌تر بودن طول دوره

اجزای عملکرد و عملکرد دانه

نتایج برهمکنش سال×تنش خشکی نشان می‌دهد قطع آبیاری در دو سال آزمایش سبب کاهش اجزای عملکرد در کلزا گردید (جدول ۸). در سال اول تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه در قطع آبیاری از خورجین‌دهی به ترتیب ۴۱، ۲۴ و ۳۵ درصد و در قطع آبیاری از گلدهی به ترتیب ۵۱، ۳۲ و ۴۶ درصد نسبت به تیمار آبیاری معمول کاهش یافت (جدول ۸). در سال دوم نیز تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه در قطع آبیاری از خورجین‌دهی به ترتیب ۲۷، ۱۵

اجزای عملکرد و عملکرد دانه بهبود یافته است. شایان ذکر است که در سال اول در نیمه دوم بهمن ماه دمای هوا از افت شدیدی برخوردار گردید، به طوری که گیاهان دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد را نیز تجربه کردند (شکل ۱)، به نظر می‌رسد که سرمایزدگی در خسارت به برگ‌ها و در نتیجه کاهش میزان اجزای عملکرد و عملکرد دانه اندکی موثر واقع گردیده است. اثر شرایط اقلیمی بر عملکرد کلزا در سال‌های مختلف کشت پیش از این در آزمایشات (Tohidinia et al. (2020 و Moradi Aghdam et al. (2019 گزارش گردیده بود.

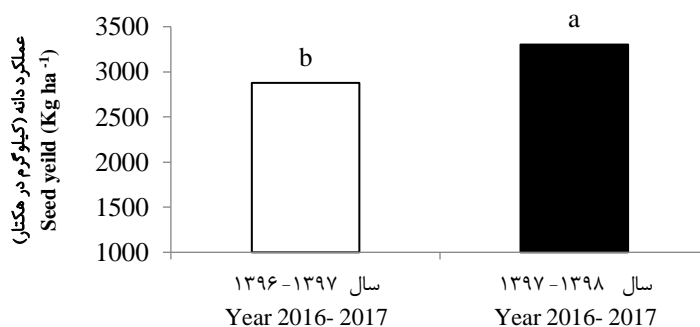
رشد از اجزای عملکرد و عملکرد دانه بالاتری برخوردار بوده است. میانگین دمای هوا از زمان قطع آبیاری در گلدهی تا پایان رشد در سال اول و دوم به ترتیب ۱۸/۷۰ و ۱۹/۰۰ درجه سانتی‌گراد و از قطع آبیاری در خورجین‌دهی تا پایان رشد در سال اول و دوم به ترتیب ۲۰/۸۱ و ۲۲/۱۹ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱). بنابراین به نظر می‌رسد در سال دوم کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد مانع از برخورد مرحله پر شدن دانه به گرمای بیشتر گردیده است و به طور کل مراحل بحرانی رشد با دمای مطلوب‌تر همراه بوده است، بنابراین

جدول ۸- اثر متقابل سال×تنش خشکی بر برخی صفات مورد مطالعه کلزا

Table 8. Interaction of year× drought stress on some measured traits of canola

کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg m ⁻³)	درصد روغن Oil content (%)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per pod	تعداد خورجین دربوته Number of pods per plant	رژیم آبیاری Irrigation regime	سال Year
0.90 a	45.8 a	4.18 a	25 a	231 a	آبیاری معمول Common irrigation	۱۳۹۶-۹۷ 2017-2018
0.59 b	42.6 b	2.71 b	19 b	136 b	قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی Withholding irrigation from the silique setting stage	
0.53 b	41.2 c	2.26 c	17 b	113 c	قطع آبیاری از مرحله گلدهی Withholding irrigation from the flowering stage	
0.97 a	46.0 a	4.30 a	26 a	246 a	آبیاری معمول Common irrigation	۱۳۹۷-۹۸ 2018-2019
0.73 b	44.4 b	3.04 b	22 b	179 b	قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی Withholding irrigation from the silique setting stage	
0.65 b	42.4 c	2.36 c	18 c	133 c	قطع آبیاری از مرحله گلدهی Withholding irrigation from the flowering stage	

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD به روش برش‌دهی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test



شکل ۳- اثر سال بر عملکرد دانه

Fig. 3- Effect of year on seed yield

تشکیل دانه را فراهم کرده و درصدی از مواد الزام برای پر شدن دانه را با پوسته سبز خود و انجام فتوسنتز فراهم می- آورد (Shirani Rad *et al.*, 2013). کاهش تعداد خورجین در بوته در شرایط تنش می تواند به علت عرضه کمتر مواد فتوسنتزی، ریزش گل ها و خورجین های در حال رشد باشد (Jabbari *et al.*, 2020; Mohtashami *et al.*, 2020). این در حالی است که تعداد دانه در خورجین دارای محدودیت بوده و پتانسیل تولید آن بیش از عوامل محیطی، تحت تاثیر عوامل ژنتیکی است (Mohtashami *et al.*, 2020). علاوه بر آن مطالعات نشان می دهد که تنش از طریق قطع فتوسنتز گیاه، مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای پر شدن دانه را کاهش داده و سبب چروکیدگی دانه ها و کاهش وزن هزار دانه می- شود (Manvelian *et al.*, 2021). اثر سوء تنش بر اجزای عملکرد و به تبع آن عملکرد دانه کلزا پیش از این توسط سایر محققین گزارش گردیده بود (Hergert *et al.*, 2016; Safavi Fard *et al.*, 2018; Moradi Aghdam *et al.*, 2019; Mohtashami *et al.*, 2020; Eyni Nargeseh *et al.*, 2020a, Eyni Nargeseh *et al.*, 2020b; Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021).

دامنه متفاوت ژنوتیپها در تولید اجزای عملکرد و عملکرد دانه می تواند از تفاوت ژنتیکی آن ها نیز ناشی شود، به طوری- که برخی پژوهشگران عملکرد بالا در ژنوتیپ های مختلف یک گیاه را با تعداد شاخه فرعی کم، گل دهی زود هنگام و بالاتر بودن اجزای عملکرد مرتبط می دانند (Karimzadeh *et al.*, 2019; Soureshjani *et al.*, 2015; Assefa *et al.*, 2019). برخی دیگر از پژوهشگران تفاوت بین ژنوتیپ های حساس و مقاوم به خشکی را با صفات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی متفاوت مانند اندازه و زاویه برگ، وجود یا نبود موم، جذب بیشتر آب از طریق توسعه ریشه ها، حفظ محتوای نسبی آب برگ، حفظ فشار تورگر و پتانسیل آبی برگ، جلوگیری از تخریب کلروفیل از طریق کاهش گونه های فعال اکسیژن و تداوم فتوسنتز در شرایط کم آبی مرتبط می دانند (Banks, 2018; Bahador and Tadayon, 2020; Zhu *et al.*, 2021);

از نتایج برهمکنش تنش خشکی × ژنوتیپ می توان چنین استنباط نمود که ثبات عملکرد دانه و اجزای عملکرد در کلزا وابستگی شدیدی به آبیاری در دوره های بحرانی رشد گیاه دارد (جدول ۹). نتایج نشان می دهد در آبیاری معمول ژنوتیپ Neptun با تولید ۲۸۰ عدد خورجین در بوته، ۲۹ عدد دانه در خورجین، ۵/۵۴ گرم وزن هزار دانه و ۵۶۹۸ کیلوگرم در هکتار دانه، بر سایر ارقام برتری داشت. ژنوتیپ های Okapi و Neptun نیز با تولید به ترتیب ۲۶۹ و ۲۵۴ عدد خورجین در بوته، ۲۸ و ۲۶ عدد دانه در خورجین، ۵/۲۲ و ۴/۶۵ گرم وزن هزار دانه و ۵۵۵۸ و ۵۰۷۶ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه، از این لحاظ در رده های بعدی قرار گرفتند (جدول ۹).

در قطع آبیاری از خورجین دهی ژنوتیپ Natali با تولید ۱۸۹ عدد خورجین در بوته، ۲۲ عدد دانه در خورجین، ۳/۴۲ گرم وزن هزار دانه و ۳۲۳۷ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه، امکان استفاده مناسب تر از منابع آب و خاک و افزایش بازده تولید را در شرایط محدودیت آبی میسر نمود (جدول ۹). ارقام SLM046، Zarfam و Opera نیز با تولید به ترتیب ۱۸۲، ۱۶۸ و ۱۷۵ عدد خورجین در بوته، ۲۱/۷، ۲۱ و ۲۱/۶ عدد دانه در خورجین، ۳/۲۲، ۳ و ۳/۱۹ گرم وزن هزار دانه و ۳۱۴۴، ۲۸۶۴ و ۲۹۵۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه، از این لحاظ در رده- های بعدی قرار گرفتند (جدول ۹).

ژنوتیپ های SLM046، Zarfam، Natali و Opera در قطع آبیاری از گلدهی نیز با تولید به ترتیب ۱۳۹، ۱۴۳، ۱۴۵ و ۱۴۹ عدد خورجین در بوته، ۱۹، ۱۹/۲، ۱۹/۶ و ۱۹/۸ عدد دانه در خورجین، ۲/۵۹، ۲/۶۲، ۲/۷۶ و ۲/۸۰ گرم وزن هزار دانه و ۲۳۷۷، ۲۴۷۲، ۲۴۴۱ و ۲۵۳۹ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه با قرارگیری در گروه های آماری مشترک بالاترین میزان را از این لحاظ به خود اختصاص دادند (جدول ۹).

از نتایج می توان چنین استنباط نمود که تعداد خورجین در بوته با توجه به وراثت پذیری پایین، نسبت به سایر اجزای عملکرد به تنش خشکی حساس تر بود. تعداد خورجین در بوته از مهم ترین اجزای عملکرد به شمار می رود که ظرفیت

می‌شود که ژنوتیپ‌های زودرس با فرار از خشکی از طریق کاهش طول دوره رشد، عملکردهای مناسب‌تری را نسبت به سایرین به خود اختصاص دادند (جدول ۹). این اطلاعات، امکان شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های مناسب را به منظور استفاده در مناطقی که خشکی انتهای فصل، عملکرد و میزان محصول را تهدید میکند، فراهم می‌آورد (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021).

(Heshmat *et al.*, 2021) علاوه بر آن ژنوتیپ‌های متحمل با قرار گرفتن در معرض تنش، طول دوره رشد خود را سریع تر به اتمام می‌رسانند. با این حال چرخه زندگی گیاه نباید خیلی کوتاه باشد، زیرا جریمه آن به صورت کاهش اجزای عملکرد و به تبع آن افت عملکرد دانه ممکن است ظاهر شود (Zhang *et al.*, 2022, Xiao *et al.*, 2021). با مرور طول دوره رشد ژنوتیپ‌های مورد بررسی (جدول ۷) چنین استنباط

جدول ۹- اثر متقابل تنش خشکی × ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در کلزا

Table 9. Interaction of drought stress × genotype on some measured traits of canola

ژنوتیپ Genotype	تعداد دانه در خورجین Number of seed per pod	تعداد خورجین در بوته Number of pod per plant	وزن هزار دانه 1000-Seed weight (g)	درصد روغن Oil percentages	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد روغن Oil yield (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg m ⁻³)
Talayeh	24.8 d	230.7 de	3.94 cd	45.58 d	4661 cd	2125.7 cd	0.90 cd
Okapi	28.4 a	269.8 ab	5.22 a	46.52 b	5558 a	2586.8 a	1.08 a
SLM046	26 b	245 cd	4.38 bc	45.93 c	4948 bc	2274.1 bc	0.96 bc
Ahmadi	22.4 e	195.6 f	3.15 e	44.83 e	3978 e	1784.0 e	0.77 e
Zarfam	24.4 d	228.7 e	3.84 d	45.51 d	4630 d	2108.3 d	0.90 d
Licord	25.6 bd	239.9 cde	4.19 cd	46.04 c	4784 bcd	2203.5 bcd	0.93 bcd
Neptun	29.3 a	280.5 a	5.54 a	46.99 a	5698 a	2678.8 a	1.11 a
Narali	26.7 b	254.8 bc	4.65 b	46.39 b	5076 b	2356.5 b	0.99 b

آبیاری معمول
Common irrigation

ادامه جدول ۹- اثر متقابل تنش خشکی × ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در کلزا
Table 9. Cont. Interaction of drought stress × genotype on some measured traits of canola

ژنوتیپ Genotype	قطع آبیاری از خورجین‌دهی Withholding irrigation from the silique setting stage											
	GK Gabriella	Opera	Talayeh	Okapi	SLM046	Ahmadi	Zarfam	Licord	Neptun	Natali	GK Gabriella	Opera
تعداد دانه در خورجین Number of seed per pod	23.1 e	25.2 d	19 e	20.4 cd	21.7 ab	17.1 f	21 bc	19.6 de	21 cb	22.3 a	17.6 f	21.6 ab
تعداد خورجین در بوته Number of pod per plant	203.4 e	237.8 de	144.4 f	159.2 de	182.3 ab	117.7 g	168.7 cd	150.2 ef	165.5 cd	189.6 a	122.4 g	175.5 bc
وزن هزار دانه 1000- Seed weight (g)	3.36 e	4.09 cd	2.59 gf	2.88 de	3.22 b	2.25 h	3.00 cd	2.76 ef	3.07 bc	3.42 a	2.41 gh	3.19 b
درصد روغن Oil percentages	45.28 d	45.97 c	42.74 d	43.75 c	44.40 ab	41.45 e	44.04 bc	43.17 d	44.19 bc	44.85 a	41.87 e	44.48 ab
صمغکود دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	4087 e	4752 cd	2257 e	2648 d	3144 ab	1668 f	2864 cd	2322 e	2730 cd	3237 a	1721 f	2951 cb
صمغکود روغن Oil yield (kg ha ⁻¹)	1851.2 e	2185.6 cd	972.1 e	1161.3 d	1397.9 ab	695.9 f	1263.0 cd	1010.1 e	1209.7 cd	1453.6 a	725.4 f	1314.6 bc
کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg m ⁻³)	0.80 e	0.92 cd	0.58 e	0.69 d	0.81 ab	0.43 f	0.74 cd	0.60 e	0.71 cd	0.84 a	0.44 f	0.76 bc

ادامه جدول ۹- اثر متقابل تنش خشکی × ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در کلزا
Table 9. Cont. Interaction of drought stress × genotype on some measured traits of canola

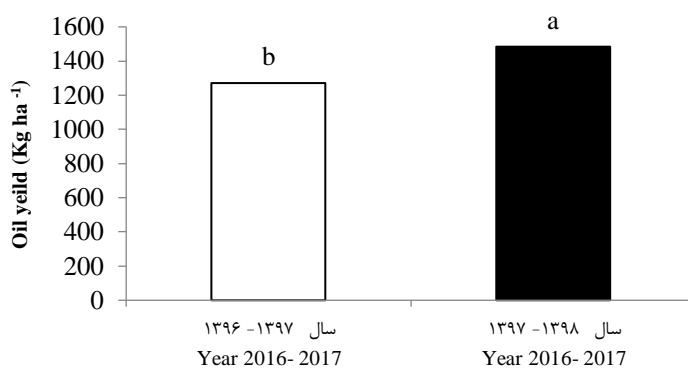
ژنوتیپ Genotype	تعداد دانه در خورجین Number of seed per pod	تعداد خورجین در بوته Number of pod per plant	وزن هزار دانه 1000- Seed weight (g)	درصد روغن Oil percentages	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد روغن Oil yield (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg m ⁻³)	قطع آبیاری از گلدهی Withholding irrigation from the flowering stage																					
								Talayeh	Okapi	SLM046	Ahmadi	Zarfam	Licord	Neptun	Narali	GK Gabriella	Opera												
	15.5 d	99 d	1.76 ef	40.03 d	1291 c	516.1 c	0.40 c	17.6 c	123 c	139.5 ab	96 d	2.34 d	41.96 c	1992 b	836.8 b	0.62 b	19.2 a	143.5 a	96 d	2.62 abc	1.91 f	39.71 d	43.09 ab	40.43 d	42.38 bc	2.50 cd	2.76 ab	2.04 ef	2.80 a
	19 ab	123 c	2.59 bc	42.98 ab	2377 a	1020.6 a	0.74 a	16 d	102.9 d	127.9 bc	145.1 a	2.00 e	43.41 a	2048 b	2441 a	1257 c	2539 a	18.1 bc	149.3 a	2.76 ab	2.04 ef	43.41 a	43.41 a	40.10 d	43.52 a	2.04 ef	2.04 ef	2.04 ef	
	15.1 d	96 d	1.91 f	39.71 d	1216 c	483.5 c	0.37 c	19.2 a	143.5 a	96 d	2.34 d	41.96 c	1992 b	836.8 b	1020.6 a	483.5 c	1065.7 a	538.5 c	869.2 b	1058.7 a	1058.7 a	1058.7 a	1058.7 a	504.9 c	1105.2 a	504.9 c	504.9 c	504.9 c	
	19.2 a	143.5 a	2.62 abc	43.09 ab	2472 a	1065.7 a	0.77 a	16 d	102.9 d	127.9 bc	145.1 a	2.00 e	43.41 a	2048 b	2441 a	1257 c	2539 a	18.1 bc	149.3 a	2.76 ab	2.04 ef	43.41 a	43.41 a	40.10 d	43.52 a	2.04 ef	2.04 ef	2.04 ef	
	19.6 a	145.1 a	2.76 ab	43.41 a	2441 a	1058.7 a	0.76 a	16 d	102.9 d	127.9 bc	145.1 a	2.00 e	43.41 a	2048 b	2441 a	1257 c	2539 a	18.1 bc	149.3 a	2.76 ab	2.04 ef	43.41 a	43.41 a	40.10 d	43.52 a	2.04 ef	2.04 ef	2.04 ef	
	15.6 d	99.9 d	2.04 ef	40.10 d	1257 c	504.9 c	0.39 c	19.2 a	143.5 a	96 d	2.34 d	41.96 c	1992 b	836.8 b	1020.6 a	483.5 c	1065.7 a	538.5 c	869.2 b	1058.7 a	1058.7 a	1058.7 a	1058.7 a	504.9 c	1105.2 a	504.9 c	504.9 c	504.9 c	
	19.8 a	149.3 a	2.80 a	43.52 a	2539 a	1105.2 a	0.79 a	19.2 a	143.5 a	96 d	2.34 d	41.96 c	1992 b	836.8 b	1020.6 a	483.5 c	1065.7 a	538.5 c	869.2 b	1058.7 a	1058.7 a	1058.7 a	1058.7 a	504.9 c	1105.2 a	504.9 c	504.9 c	504.9 c	

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
Means in each column followed by a similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test

بهبود عملکرد دانه در این سال دانست. در مطالعه‌ای در کرج بر ارقام کلزا (هایولا ۴۰۱ و دلگان) با بهبود شرایط آب و هوایی و افزایش بارندگی‌ها در اوایل گلدهی، عملکرد روغن افزایش یافت (Mohtashami *et al.*, 2020).

محتوا و عملکرد روغن

اثر اصلی سال بر عملکرد روغن حاکی از برتری ۱۴ درصدی سال دوم در مقایسه با سال اول بود (شکل ۴). با توجه به تاثیرپذیری مستقیم عملکرد روغن از عملکرد دانه، برتری سال دوم را می‌توان حاصل



شکل ۴- اثر سال بر عملکرد روغن
Fig. 4- Effect of year on oil yield

روغن در دو سال آزمایش با قطع آبیاری کاهش یافت (جدول ۸). به طوری که درصد روغن در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و گلدهی در سال اول به ترتیب ۷ و ۱۰ درصد و در سال دوم به ترتیب ۳ و ۸ درصد نسبت به آبیاری معمول کاهش یافت (جدول ۸). افت درصد روغن تحت تیمار قطع آبیاری را می‌توان به همزمانی اعمال تنش با زمان تشکیل نخستین قطره‌های روغن و ذخیره شدن آن نسبت داد (Eyni Nargeseh *et al.*, 2020). در بیان تاثیر شرایط آب و هوایی و تنش خشکی بر گیاه کلزا در مطالعه‌ای گزارش شد محتوای روغن با آبیاری در طول سال‌های خشک به دلیل تامین رطوبت کافی افزایش می‌یابد (Hergert *et al.*, 2016) که با نتیجه به دست آمده همخوانی دارد.

نتایج برهمکنش تنش خشکی×ژنوتیپ نشان داد قطع آبیاری سبب کاهش محتوا و عملکرد روغن در تمام ژنوتیپ‌های کلزا شد (جدول ۹). در آبیاری معمول ژنوتیپ‌های Okapi و Neptun به ترتیب با ۴۶/۵۲ و ۴۶/۹۹ درصد در محتوای روغن و ۲۵۸۶ و ۲۶۷۸ کیلوگرم در هکتار در عملکرد روغن، بیشترین میزان را از این لحاظ

نتایج ارائه شده از برهمکنش سال×ژنوتیپ بر محتوای روغن مبنی بر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در دو سال آزمایش بود (جدول ۷). ژنوتیپ‌های Okapi، SLM046، Zarfam، Neptun، Natali و Opera در سال اول به ترتیب با تولید ۴۳/۴۰، ۴۴/۱۲، ۴۳/۸۳، ۴۳/۸۴، ۴۳/۵۶ و ۴۴/۲۷ درصد و در سال دوم به ترتیب با تولید ۴۴/۷۵، ۴۴/۷۷، ۴۴/۵۹، ۴۵/۲۰، ۴۵/۲۰ و ۴۵/۰۴ درصد بالاترین محتوای روغن را به خود اختصاص دادند (جدول ۷). با توجه به تاثیرپذیری مستقیم عملکرد روغن از عملکرد دانه، برتری سال دوم را می‌توان حاصل بهبود عملکرد دانه در این سال دانست. در مطالعه‌ای در کرج بر ارقام کلزا (هایولا ۴۰۱ و دلگان) با بهبود شرایط آب و هوایی و افزایش بارندگی‌ها در اوایل گلدهی، عملکرد روغن افزایش یافت (Mohtashami *et al.*, 2020). اما یافته‌ها حاکی از آن است که درصد روغن با توجه به آنکه توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود به میزان کمتری نسبت به عملکرد روغن تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Safavi Fard *et al.*, 2018).

نتایج برهمکنش سال×تنش خشکی نشان می‌دهد درصد

آب در شرایط تنش را می‌توان به عوامل متابولیکی موثر بر انتشار دی اکسید کربن به داخل کلروپلاست و کاهش کربوکسیلاسیون در طول تنش نسبت داد، به نظر می‌رسد تحت این شرایط عوامل محدود کننده غیر روزنه‌ای ناشی از اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی نقش مهمی را در کاهش میزان فتوسنتز ایفا می‌کنند. مطالعات (Eskandari *et al.*, 2010) و (Khazaei *et al.*, 2018) نیز با نتیجه به دست آمده همخوانی دارد. نتایج برهمکنش تنش خشکی × ژنوتیپ نیز نشان داد که با قطع آبیاری، کارایی مصرف آب در تمام ژنوتیپ‌ها نسبت به آبیاری معمول کاهش می‌یابد (جدول ۹). نتایج حاکی از آن بود که در آبیاری معمول ژنوتیپ‌های Neptun, Okapi و Natali به ترتیب با ۱/۰۸، ۱/۱۱ و ۰/۹۹ کیلوگرم بر متر مکعب، در قطع آبیاری از خورجین‌دهی ژنوتیپ‌های SLM046، Natali و Opera به ترتیب با ۰/۸۱، ۰/۸۴ و ۰/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب و در قطع آبیاری از گلدهی ژنوتیپ‌های SLM046، Natali، Zarfam و Opera به ترتیب با ۰/۷۴، ۰/۷۷، ۰/۷۶ و ۰/۷۹ کیلوگرم بر متر مکعب بیشترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص دادند (جدول ۹). کمترین کارایی مصرف آب نیز در آبیاری معمول و تنش در ژنوتیپ Ahmadi مشاهده شد (جدول ۹).

شاخص‌های تحمل خشکی و همبستگی آن با

عملکرد دانه

نتایج نشان می‌دهد بالاترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) از ژنوتیپ‌های Okapi، Neptun و Natali حاصل شد (جدول ۱۰). ژنوتیپ‌های SLM046، Zarfam، Natali و Opera در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و گلدهی نیز بالاترین عملکرد دانه را در شرایط تنش (Ys) به خود اختصاص دادند (جدول ۱۰).

نتایج به دست آمده از ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل تنش با استفاده از شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و تحمل تنش (STI)

به خود اختصاص دادند (جدول ۹). در شرایط تنش نیز ژنوتیپ‌های SLM046، Zarfam، Natali و Opera با عکس‌العمل مناسب‌تر نسبت به سایرین، از ثبات بیشتری در بیوسنتز روغن برخوردار بودند (جدول ۹). محتوای روغن در ژنوتیپ‌های SLM046، Zarfam، Natali و Opera در قطع آبیاری از خورجین‌دهی به ترتیب ۴۴/۴۰، ۴۴/۰۴، ۴۴/۸۵ و ۴۴/۴۸ درصد و در قطع آبیاری از گلدهی به ترتیب ۴۲/۰۹، ۴۳/۴۱ و ۴۳/۵۲ درصد بود (جدول ۹). عملکرد روغن در ژنوتیپ‌های SLM046، Natali، Zarfam و Opera در شرایط قطع آبیاری از خورجین‌دهی نیز به ترتیب ۱۳۹۷، ۱۲۶۳، ۱۴۵۳ و ۱۳۱۴ کیلوگرم در هکتار و در قطع آبیاری از گلدهی به ترتیب ۱۰۲۰، ۱۰۶۵، ۱۰۵۸ و ۱۱۰۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۹). تنش خشکی در گلدهی نسبت به تنش در خورجین‌دهی در ژنوتیپ‌های کلزا اثر کاهنده‌تری بر عملکرد روغن داشت، زیرا تنش در این مرحله به دلیل ریزش گل‌ها و باور نبودن دانه‌های گرده اثر مخرب‌تری بر عملکرد دانه و به تبع آن عملکرد روغن دارد. بسیاری از پژوهشگران لزوم تامین رطوبت کافی را برای بیوسنتز روغن در محصولات روغنی پیش از این گزارش کرده‌اند (Hergert *et al.*, 2016; Kermani *et al.*, 2019; Ebrahimiyan *et al.*, 2019; Khodabin *et al.*, 2021).

کارایی مصرف آب

نتایج برهمکنش سال × تنش خشکی نشان می‌دهد کارایی مصرف آب با قطع آبیاری کاهش می‌یابد (جدول ۸). به طوری که کارایی مصرف آب در سال اول در آبیاری معمول از ۰/۹۰ کیلوگرم در متر مکعب به ۰/۵۹ و ۰/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب به ترتیب در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی کاهش یافت (جدول ۸). در سال دوم نیز کارایی مصرف آب از ۰/۹۷ کیلوگرم بر متر مکعب در آبیاری معمول به ۰/۷۳ و ۰/۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب به ترتیب در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی کاهش یافت (جدول ۸). کاهش کارایی مصرف

که مقادیر بالای آن نشان دهنده تحمل بالای ژنوتیپ نسبت به تنش می‌باشد، حاکی از آن است، ژنوتیپ‌های Opera، Natali، Zarfam، SLM046، Neptun و Okapi در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها به تنش مقاوم‌تر بودند (جدول ۱۰).
 ۱۰). شاخص تحمل (TOL) نیز که اختلاف عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش را نشان می‌دهد، مبنی بر آن است که ژنوتیپ‌های Natali، Zarfam، SLM046 و Opera کمترین میزان را از این لحاظ دارا بودند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و شاخص‌های تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا

Table 10. Mean of grain yield (kg ha⁻¹) and drought tolerance of canola genotypes

ژنوتیپ Genotype		شاخص Indices	Talayeh	Okapi	SLM046	Ahmadi	Zarfam	Licord	Neptun	Natali	GK Gabriella	Opera
شرایط بدون تنش و تنش از مرحله خورجین‌دهی non-stress and drought stress from the silique setting stage												
Yp	4661 cd	5558 a	4948 bc	3978 e	4630 d	4784 bcd	5698 a	5076 b	4087 e	4752 cd		
Ys	2257 e	2648 d	3144 ab	1668 f	2864 cd	2322 e	2730 cd	3237 a	1721 f	2951 bc		
TOL	2404 b	2910 a	1803 c	2309 b	1766 c	2461 b	2967 a	1839 c	2365 b	1801 c		
MP	3459 e	4103 a	4046 ab	2823 f	3747 cd	3553 de	4214 a	4156 a	2904 f	3852 bc		
GMP	3227 d	3831 abc	3940 ab	2571 e	3634 c	3316 d	3939 ab	4050 a	2647 e	3737 bc		
STI	0.45 d	0.63 bc	0.67 ab	0.28 e	0.57 c	0.47 d	0.66 ab	0.71 a	0.30 e	0.60 bc		

ادامه جدول ۱۰ - میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و شاخص‌های تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا
Table 10. Cont. Mean of grain yield (kg ha⁻¹) and drought tolerance of canola genotypes

ژنوتیپ Genotype											
شاخص Indices	شاخص Indices	شاخص Indices	شاخص Indices	شاخص Indices	شاخص Indices	شاخص Indices	شاخص Indices	شاخص Indices	شاخص Indices		
شرایط بدون تنش و تنش از گلدهی non-stress and drought stress from the flowering stage											
Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	4661 cd	1291 c	3370 a	2976 d	2423 bc	0.26 bc
4948 bc	2377 a	2571 bcd	3662 bc	3415 a	0.50 a	5558 a	1992 b	3566 a	3775 ab	3320 a	0.47 a
3978 e	1216 c	2762 b	2597 e	2178 c	0.20 c	4630 d	2472 a	2158 d	3551 c	3377 a	0.49 a
4784 bcd	1334 c	3449 a	3059 d	2496 b	0.27 b	5698 a	2048 b	3650 a	3873 a	3409 a	0.50 a
5076 b	2441 a	2635 bc	3759 ab	3506 a	0.53 a	4087 e	1257 c	2829 b	2672 e	2247 bc	0.22 bc
4752 cd	2538 a	2213 cd	3646 bc	3467 a	0.52 a						

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند. (Yp) عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، (Ys) عملکرد دانه در شرایط تنش، (TOL) شاخص تحمل، (MP) میانگین بهره‌وری، (GMP) میانگین هندسی بهره‌وری و (STI) شاخص تحمل تنش
*Means followed by the same letter(s) in each column are not significantly different (P < 0.01). Yp: Yield under non-stress condition, Ys: Yield under stress condition, TOL: Tolerance Index, GMP: Geometric Mean Productivity, MP: Mean Productivity, STI: Stress Tolerance Index

GMP ($r=0.68^{**}$) و STI ($r=0.87^{**}$) بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند (جدول ۱۱). ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی در شرایط بدون تنش و تنش از مرحله گلدهی نشان داد، عملکرد دانه کلزا در شرایط بدون تنش بیشترین همبستگی مثبت را با شاخص‌های MP

ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی در شرایط بدون تنش و تنش از مرحله خورجین - دهی نشان داد، عملکرد دانه کلزا در شرایط بدون تنش بیشترین همبستگی مثبت را با شاخص‌های MP ($r=0.89^{**}$)، GMP ($r=0.82^{**}$) و STI ($r=0.79^{**}$) داشت. در شرایط تنش نیز شاخص‌های MP ($r=0.90^{**}$),

بر اساس شاخص‌های مذکور ژنوتیپ‌های Okapi، Natali، Zarfam، SLM046 و Opera در شرایط تنش خشکی آخر فصل در کرج جهت کشت توصیه می‌گردند. (Monajem *et al.* (2011) در ارزیابی تحمل خشکی در ارقام زراعی کلزا با استفاده از شاخص-های ارزیابی تنش گزارش کردند که شاخص‌های متوسط بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و تحمل تنش به واسطه دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در هر دو محیط تنش و بدون تنش، بهترین شاخص-ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل کلزا به تنش آخر فصل می‌باشند.

($r=0/84^{**}$) و STI ($r=0/62^{**}$) داشت. در شرایط تنش نیز شاخص‌های MP ($r=0/86^{**}$)، GMP ($r=0/85^{**}$) و STI ($r=0/59^{**}$) بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند (جدول ۱۱).
بر اساس پژوهش Fernandez (1992) شاخص‌هایی که در محیط تنش و بدون تنش دارای همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه باشند، قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند. بنابراین در مطالعه حاضر شاخص‌های MP، GMP و STI می‌توانند به عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ارقام متحمل به خشکی معرفی گردند (جدول ۱۰).

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه کلزا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل خشکی

Table 11. Correlation coefficients between grain yield of canola under non-stress and drought stress conditions and drought tolerance indices

STI	GMP	MP	TOL	Ys	
شرایط بدون تنش و تنش از مرحله خورجین‌دهی					
Non-stress and drought stress from the silique setting stage					
0.79**	0.82**	0.89**	0.35**	0.63**	Yp
0.87**	0.68**	0.90**	-0.37**	1.0	Ys
شرایط بدون تنش و تنش از مرحله گلدهی					
Non-stress and drought stress from the flowering stage					
0.62**	0.45**	0.84**	0.50**	0.45**	Yp
0.59**	0.85**	0.86**	-0.54**	1.0	Ys

ns, * و **: نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد. (Yp) عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، (Ys) عملکرد دانه در شرایط تنش، (TOL) شاخص تحمل، (MP) میانگین بهره‌وری، (GMP) میانگین هندسی بهره‌وری و (STI) شاخص تحمل تنش
ns,*and **: non-significant, significant in 0.05 and 0.01 level, respectively. Yp: Yield under non-stress condition, Ys: Yield under stress condition, TOL: Tolerance Index, GMP: Geometric Mean Productivity, MP: Mean Productivity, STI: Stress Tolerance Index

ژنوتیپ‌ها داشتند. در آبیاری معمول نیز ژنوتیپ‌های Okapi، Natali و Neptun از پتانسیل بالایی نسبت به سایر ژنوتیپ-ها جهت تولید عملکرد مطلوب برخوردار بودند و بنابراین برای مزارع با عدم محدودیت آب قابل توصیه هستند. نتایج همچنین نشان داد که شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP) و تحمل تنش (STI) بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و غیرتنش داشتند و برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر مناسب‌تر بودند. بر همین اساس ژنوتیپ‌های Okapi، Natali، Zarfam، SLM046 و Opera مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش شناخته شدند. لیکن با توجه به

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن و طول دوره رشد در تمام ژنوتیپ‌های کلزا می‌گردد. با این حال ژنوتیپ‌های Okapi، Natali، Zarfam، SLM046 در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی با بهبود اجزای عملکرد از کاهش کمتری در عملکرد دانه و عملکرد روغن برخوردار بودند. ژنوتیپ‌های Natali، Zarfam، SLM046 و Opera کارایی مصرف آب بالاتری نیز در آبیاری معمول و قطع آبیاری از خورجین‌دهی و گلدهی نسبت به سایر

ژنوتیپ‌های مناسب در سطح مزرعه و با دقت بیشتر فراهم خواهد ساخت و لزوم انجام تحقیقات مرتبط می‌تواند راهگشای افزایش تولید کلزا در مناطق مختلف کشور باشد.

Afiuni, D., Allahdadi, I., Akbari, Gh. Akbari, A. and Najafian, G., 2015. Response of some agronomic traits of some wheat genotypes to cut of terminal irrigation with zinc foliar application. *Crop Production*. 8, 179-203. (In Persian with English abstract).

Anwaar, H. A., Perveen, R., Mansha, M. Z., Abid, M., Sarwar, Z. M., Aatif, H. M., Umar, U., Sajid, M., Aslam, H. M., U., Alam, M.M., Rizwan, M., Ikram, R.M., Alghanem, S.M.S., Rashid, A., Khan, K.A. and Khan, K.A., 2020. Assessment of grain yield indices in response to drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences*. 27, 1818-1823.

Assefa, T., Wu, J., Beebe, S.E., Rao, I.M., Marcomin, D. and Claude, R.J., 2015. Improving adaptation to drought stress in small red common bean: phenotypic differences and predicted genotypic effects on grain yield, yield components and harvest index. *Euphytica*. 203, 477-489.

Bahador, M. and Tadayon, M.R., 2020. Investigating of zeolite role in modifying the effect of drought stress in hemp: Antioxidant enzymes and oil content. *Industrial Crops and Products*. 144, 112042

Banks, J.M., 2018. Chlorophyll fluorescence as a tool to identify drought stress in Acer genotypes. *Environmental and Experimental Botany*. 155, 118-127.

Chaghakaboodi, Z., Kakaie, M. and Zebarjadi, A., 2021. Study of relationship between some agro-physiological traits with drought tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*. 1, 1-9.

رفتار متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف آبیاری، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، افق مناسب‌تری در پیش روی پژوهشگران و کشاورزان برای غربال‌گری

منابع

Chiango, H., Figueiredo, A., Sousa, L., Sinclair, T. and da Silva, J. M., 2021. Assessing drought tolerance of traditional maize genotypes of Mozambique using chlorophyll fluorescence parameters. *South African Journal of Botany*. 138, 311-317.

Darand, M. and Khandu, K., 2020. Statistical evaluation of gridded precipitation datasets using rain gauge observations over Iran. *Journal of Arid Environments*. 178, 104172.

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

Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S. and Ghasemi-Golezani, K., 2010. Evaluation of water use efficiency and grain yield of Sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 20, 39-51. (In Persian with English abstract).

Eyni Nargeseh, H., AghaAlikhani, M., Shirani Rad, A.H., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Modarres Sanavy, S.A.M., 2020a. Late season deficit irrigation for water-saving: selection of rapeseed (*Brassica napus* L) genotypes based on quantitative and qualitative features. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 66, 126-137.

Eyni Nargeseh, H., AghaAlikhani, M., Shirani Rad, A.H., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Modarres-Sanevi, A. M., 2020b. Comparison of 17 rapeseed cultivars under terminal water deficit conditions using drought tolerance indices. *Agricultural*

- Science and Technology. 22, 489-503.
- Eyni Nargeseh, H., Aghalikhani, M., Shirani Rad, A. H., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Modares Sanavy, S.A.M., 2019. Physiological and agronomic response of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to late-season drought stress under Karaj climatic condition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 29, 79-95. (In Persian with English abstract).
- FAO, 2021. FAOSTAT. Rome, Italy. Available online at: www.fao.org/faostat/en/#data/QL.pdf.
- Farahani, S., Shahsavari, N. and Mohammadi Arasteh, M., 2020. Effect of potassium sulfate on the physiological characteristics of canola cultivars in late season drought stress conditions. Journal of Plant Nutrition. 43, 1217-1228.
- Feizabadi, A., Noormohammadi, G. and Fatehi, F., 2021. Changes in growth, physiology, and fatty acid profile of rapeseed cultivars treated with vermicompost under drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 21, 200-208.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress Tolerance. Asian Vegetable Research and Development Centre, Taiwan. pp, 257-270.
- Hao, B., Xue, Q., Marek, T.H., Jessup, K.E., Hou, X., Xu, W., Bynum, E.D. and Bean, B.W., 2015. Soil water extraction, water use, and grain yield by drought-tolerant maize on the Texas High Plains. Agricultural Water Management. 155, 11-21.
- Hegewald, H., Wensch-Dorendorf, M., Sieling, K. and Christen, O., 2018. Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. European journal of agronomy. 101, 63-77.
- Hergert, G.W., Margheim, J.F., Pavlista, A.D., Martin, D.L., Supalla, R.J. and Isbell, T.A., 2016. Yield, irrigation response, and water productivity of deficit to fully irrigated spring canola. Agricultural Water Management. 168, 96-103.
- Heshmat, K., Asgari Lajayer, B., Shakiba, M.R. and Astatkie, T., 2021. Assessment of physiological traits of common bean cultivars in response to water stress and molybdenum levels. Journal of Plant Nutrition. 44, 366-372.
- Jabbari, H., Khosh Sima, N., Akbari, G.A. and Shirani Rad, A.H., 2022. Evaluation of the Dry Matter Remobilization to Seeds in Winter Rapeseed Cultivars under Drought Stress Conditions. Journal of Crop Production and Processing. 10, 143-156. (In Persian with English abstract).
- Karimzadeh Soureshjani, H.K., Nezami, A., Kafi, M. and Tadayon, M., 2019. Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. Agricultural Water Management. 213, 270-279.
- Kermani, S.G., Saeidi, G., Sabzalian, M.R. and Gianinetti, A., 2019. Drought stress influenced sesamin and sesamol content and polyphenolic components in sesame (*Sesamum indicum* L.) populations with contrasting seed coat colors. Food chemistry. 289, 360-368.
- Khademhamzeh, H., yadavi, A., Movahhadi Dehnavi, M. and Shirani Rad, A., 2018. Effect of Delayed Planting on Seed Yield and Its Components of Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars Under Optimum Irrigation and Terminal Drought Stress Conditions. Seed and Plant Production Journal, 34, 207-232. (In Persian with English abstract).
- Khan, M.N., Zhang, J., Luo, T., Liu, J., Ni, F., Rizwan, M., Fahad, S. and Hu, L., 2019. Morpho-

- physiological and biochemical responses of tolerant and sensitive rapeseed cultivars to drought stress during early seedling growth stage. *Acta Physiologiae Plantarum*. 41, 1-13.
- Khanzada, H., Wassan, G. M., He, H., Mason, A.S., Keerio, A.A., Khanzada, S. and Rasheed, A., 2020. Differentially evolved drought stress indices determine the genetic variation of *Brassica napus* at seedling traits by genome-wide association mapping. *Journal of advanced research*. 24, 447-461.
- Li, N., Li, Y., Biswas, A., Wang, J., Dong, H., Chen, J., Liu, C. and Fan, X., 2021. Impact of climate change and crop management on cotton phenology based on statistical analysis in the main-cotton-planting areas of China. *Journal of Cleaner Production*. 298, 126750.
- Li, Y., Wang, J., Fang, Q., Hu, Q., Zhang, J., Pan, Z. and Pan, X., 2022. Optimal planting dates for diverse crops in Inner Mongolia. *Field Crops Research*. 275, 108365.
- Manvelian, J., Weisany, W., Tahir, N.A.R., Jabbari, H. and Diyanat, M., 2021. Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 172, 114069.
- Mohtashami, R., Dehnavi, M.M., Balouchi, H. and Faraji, H., 2020. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. *Agricultural Water Management*. 232, 106046
- Monajem, S., Mohammadi, V. and Ahmadi, A., 2011. Evaluation of drought tolerance in some rapeseed cultivars based on stress evaluation indices. *Crop Production*. 4, 151-169. (In Persian with English abstract).
- Moradi Aghdam, A.M., Sayfzadeh, S., Rad, A.S., Valadabadi, S.A. and Zakerin, H.R., 2019. The assessment of water stress and delay cropping on quantitative and qualitative traits of rapeseed genotypes. *Industrial Crops and Products*. 131, 160-165.
- Naeemi, M., Akbari, Gh.A., Shirani Rad, A.H., Modares Sanavi, S.A.M., Sadat Nuri, S.A. and Jabari, H., 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *Crop Production*. 1, 83-98. (In Persian with English abstract).
- Nikneshan, P., Tadayyon, A. and Javanmard, M., 2019. Evaluating drought tolerance of castor ecotypes in the center of Iran. *Heliyon*. 5, 1-13.
- Rahimi-Moghaddam, S., Eyni-Nargeseh, H., Ahmadi, S.A.K. and Azizi, K., 2021. Towards withholding irrigation regimes and drought-resistant genotypes as strategies to increase canola production in drought-prone environments: A modeling approach. *Agricultural Water Management*. 243, 106487.
- Rezaei, E.E., Siebert, S. and Ewert, F., 2017. Climate and management interaction cause diverse crop phenology trends. *Agricultural and Forest Meteorology*. 233, 55-70.
- Rosielle, A.A. and Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop science*. 21, 943-946
- Sabzevar, M.S., Rezaei, A. and Khaleghi, B., 2021. Incremental adaptation strategies for agricultural water management under water scarcity condition in Northeast Iran. *Regional Sustainability*. 2, 224-238.
- Safavi Fard, N.S., Abad, H.H.S., Rad, A.S., Heravan, E.M. and Daneshian, J., 2018. Effect of

- drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. *Industrial Crops and Products*. 114, 87-92.
- common bean bush (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Integrative Agriculture*. 19, 99-107.
- Shirani Rad, A.H., Abbasian, A. and Aminpanah, H., 2013. Evaluation of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars for resistance against water deficit stress. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 19, 266-273.
- Shirani Rad, A.H., Nasiri, M.B. and Rezaizad, A., 2018. Evaluation of winter rapeseed cultivars response to humidity regimes. Internal research project. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.
- Simane, B.J., Peacock, M. and Struik, P.C., 1993. Differences in developmental plasticity and growth rate among drought resistant and susceptible cultivars of durum wheat. *Plant Soil*. 157, 155-166.
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*. 98, 222-229.
- Tariq, M., Ahmad, S., Fahad, S., Abbas, G., Hussain, S., Fatima, Z., Nasim, W., Mubeen, M., Rehman, M.H., Khan, A. M., Adnan, M., Wilkerson, C. J. and Hoogenboom, G., 2018. The impact of climate warming and crop management on phenology of sunflower-based cropping systems in Punjab, Pakistan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 256, 270-282.
- Tohidinia M.A., Aghaalikhani M., Shirani Rad A.H., Mokhtassi Bidgoli A. and Madani H., 2022. Seed Yield Response of Rapeseed Genotypes to Delayed Sowing under Karaj Environmental
- Sánchez-Reinoso, A.D., Ligarreto-Moreno, G.A. and Restrepo-Díaz, H., 2020. Evaluation of drought indices to identify tolerant genotypes in Conditions. *Seed and plant*. 36, 137-160.
- Xiao, D., Li Liu, D., Feng, P., Wang, B., Waters, C., Shen, Y., Qi., Y., Bai, Y. and Tang, J., 2021. Future climate change impacts on grain yield and groundwater use under different cropping systems in the North China Plain. *Agricultural Water Management*. 246, 106685.
- Yashavanthakumar, K.J., Baviskar, V.S., Navathe, S., Patil, R.M., Bagwan, J.H., Bankar, D.N. and Singh, G.P., 2021. Impact of heat and drought stress on phenological development and yield in bread wheat. *Plant Physiology Reports*. 26, 357-367.
- Zhang, G., Dai, R., Ma, W., Fan, H., Meng, W., Han, J. and Liao, Y., 2022. Optimizing the ridge-furrow ratio and nitrogen application rate can increase the grain yield and water use efficiency of rain-fed spring maize in the Loess Plateau region of China. *Agricultural Water Management*. 262, 107430.
- Zhu, J., Cai, D., Wang, J., Cao, J., Wen, Y., He, J., Zhao, L., Wang, D. and Zhang, S., 2021. Physiological and anatomical changes in two rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress conditions. *Oil Crop Science*. 6, 97-104.





Environmental Sciences Vol.21 / No.1 / Spring 2023

225-250

Original Article

Identifying drought-tolerant cultivars of canola (*Brassica napus L.*) under Karaj climatic conditions

Madineh Bijani,¹ Saeid Soufizadeh,^{1*} Amir Hossein Shirani-rad² and Hamid Jabbari²

¹Department of Ecological Agriculture, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Seed and Plant Breeding Research Institute, Organization Agricultural Research, Karaj, Iran

Received: 2022.09.07 Accepted: 2022.10.27

Bijani, M., Soufizadeh, S., Shirani-rad, A.H. and Jabbari, H., 2023. Identifying drought-tolerant cultivars of canola (*Brassica napus L.*) under Karaj climatic conditions. *Environmental Sciences*. 21(1): 225-250.

Introduction: Available water for irrigation of canola decreases towards the end of the season, due to reduced rainfall and the simultaneous late-season irrigation for other spring crops. Therefore, the possibility of the plant facing drought stress in the final stages of growth is very likely. So, the selection of drought-tolerant genotypes is very important in arid and semi-arid regions.

Material and methods: The field experiment (2016- 2017 and 2017- 2018) was conducted as a split-plot arrangement in a randomized complete blocks design with four replications in Karaj agricultural research station. Treatments included drought stress regimes (common irrigation, withholding irrigation from the silique setting stage, and flowering stage) in main plots and canola genotypes (Talayeh, Okapi·SLM046, Ahmadi, Zarfam ·Licord, Neptun, NataliGK Gabriella, and Opera) in sub-plots.

Results and discussion: The results showed that drought stress significantly reduced the number of pods per plant, the number of seeds per pod, 1000-seed weight, seed yield, growth period duration, oil content, oil yield, and water use efficiency (WUE). Under common irrigation, the highest seed yield was obtained from okapi · Neptun, and Natali genotypes with 5558, 5698, and 5076 kg ha⁻¹, respectively. Under drought stress, SLM046 · Zarfam ·Natali and Opera had the highest seed yield with 3144, 2864, 3237, and 2951 kg ha⁻¹ in withholding irrigation from the silique setting stage and 2377, 2472, 2441, and 2539 kg ha⁻¹ in withholding irrigation from the flowering stage, respectively. GMP, MP and STI indices were highly correlated with seed yield under both stress and non-stress conditions. Therefore, they were introduced as suitable indices to identify superior

* Corresponding Author: *Email Address.* s_soufizadeh@sbu.ac.ir

genotypes for both environmental conditions. Accordingly, the most resistant genotypes were Okapi, SLM046, Zarfam, Neptun, Natali and Opera.

Conclusion: Based on the results, Okapi, SLM046, Zarfam, Neptun, Natali and Opera are recommended as suitable genotypes for cultivation in Karaj climatic conditions.

Keywords: Drought tolerance indices, Oilseed crop, Terminal drought stress, Water use efficiency.

