Vol 25, No. 4, Winter 2023

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Evaluation of Spring Oilseed Rape Cultivars Response to Terminal Drought Stress in Karaj

Madineh Bijani[1] | Saeid Soufizadeh[2]✉ | Amir Hossein Shiranirad[3] | Hamid Jabbari[4]

1. Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: M_Bijani@sbu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: s_soufizadeh@sbu.ac.ir
3. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: shirani.rad@areeo.ac.ir
4. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: h.jabbari@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 21 August 2022
Received in revised form
16 December 2022
Accepted 19 December 2022
Published online: 13 December 2023

Keywords:
Drought tolerant cultivars
Oil plants
Seed yield
Water use efficiency
Withholding irrigation at phenological stages

ABSTRACT

Objective: 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, it is very important to select drought-tolerant genotypes in arid and semi-arid regions.

Methods: Therefore, to investigate oilseed rape cultivars under Late-season drought stress, a split-plot experiment was conducted in a complete randomized blocks design with four replications for two cultivation years (2017–2019) in Karaj agricultural research station. Treatments included three drought stress (full irrigation, withholding irrigation from the pod formation stage, and flowering stage) as main plots and five oilseed rape cultivars (Sarigol, RGS003, Hayola 401, Zafar, and Dalgan) as sub-plots.

Results: The results revealed that drought stress, especially from withholding irrigation from the flowering stage led to a significant decrease in 1000-seed weight, number of silique per plant, number of seeds per silique, seed yield, oil percentage, oil yield, length of the growing duration, water use efficiency. Under full irrigation, Delgan and Zafar cultivars, and under drought stress, RGS 003 and Delgan cultivars had the highest seed yield.

Conclusion: RGS 003 and Delgan cultivars can be recommended as suitable cultivars in late season drought stress conditions in Karaj.

Cite this article: Bijani, M., Soufizadeh, S., Shiranirad, A. H., & Jabbari, H. (2023). Evaluation of Spring Oilseed Rape Cultivars Response to Terminal Drought Stress in Karaj. *Journal of Crops Improvement*, 25 (4), 919-933.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.347418.2740

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.347418.2740

دوره بیست و پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

ارزیابی واکنش ارقام بهاره کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش خشکی انتهایی در کرج

مدینه بیژنی[۱] | سعید صوفی‌زاده[۲]✉ | امیرحسین شیرانی‌راد[۳] | حمید جباری[۴]

۱. گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: M_Bijani@sbu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: s_soufizadeh@sbu.ac.ir

۳. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: shirani.rad@areeo.ac.ir

۴. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: h.jabbari@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

کلیدواژه‌ها:

ارقام متحمل به خشکی

عملکرد دانه

قطع آبیاری در مراحل فنولوژیک

کارایی مصرف آب

گیاه دانه روغنی

چکیده

هدف: آب قابل‌دسترس به‌منظور آبیاری کلزا در اواخر فصل رشد به‌دلیل استفاده از منابع آبی برای زراعت های پرسود بهاره افت شدیدی می‌یابد. بنابراین گزینش ارقام مقاوم به خشکی برای موفقیت در تولید این محصول بسیار حائز اهمیت است.

روش پژوهش: به‌منظور بررسی واکنش ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش خشکی آخر فصل، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۶) در مزرعه تحقیقاتی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد. تیمارهای تنش خشکی شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تا پایان رشد و قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا پایان رشد در کرت‌های اصلی و ارقام بهاره کلزا شامل ساری‌گل، آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱، ظفر و دلگان در کرت‌های فرعی بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تنش خشکی به خصوص در قطع آبیاری از گلدهی در تمام ارقام موردمطالعه منجر به کاهش معنی‌دار طول دوره رشد، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، کارایی مصرف آب در تولید دانه و کارایی مصرف آب در تولید روغن گردید. در شرایط آبیاری کامل ارقام دلگان، ظفر و آر جی اس ۰۰۳ و در شرایط تنش خشکی ارقام آر جی اس ۰۰۳ و دلگان بیش‌ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: ارقام آر جی اس ۰۰۳ و دلگان به‌عنوان ارقام مناسب در کرج در شرایط تنش خشکی آخر فصل توصیه می‌گردند.

استناد: بیژنی، مدینه؛ صوفی‌زاده، سعید؛ شیرانی‌راد، امیرحسین و جباری، حمید (۱۴۰۲). ارزیابی واکنش ارقام بهاره کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش خشکی انتهایی در کرج. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۴)، ۹۳۳-۹۱۹. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.347418.2740

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

کلزا با نام علمی (*Brassica napus* L.) یکی از گیاهان دانه روغنی مهم جهان به‌شمار رفته و براساس آمار منتشره از سازمان خواروبار جهانی، با سطح زیر کشت ۷۹ میلیون تن سومین محصول زراعی دانه روغنی محبوب در جهان است (FAO, 2021). کلزا به‌طور عمده به‌دلیل محتوای زیاد روغن و هم‌چنین مطلوبیت آن از لحاظ بالابودن محتوای اسیدهای چرب اشباع‌نشده موردتوجه بسیاری از کشاورزان در سراسر جهان قرار گرفته است (بیوک و شهسوار، ۱۴۰۰؛ Safavi Fard *et al*., 2018; Zhu *et al*., 2021; Bukhari *et al*., 2021; Batool *et al*., 2022; Moghadam *et al*., 2022). این گیاه دانه روغنی با توجه به خصوصیات زراعی مناسب خود از جمله بهره‌وری بالای مصرف آب و تحمل نسبی به تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک محصول جایگزین برای تناوب‌های زراعی مبتنی بر غلات به‌ویژه در مناطقی با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به‌کار برده شود (Hegewald *et al*., 2018). اما کشت محصولات زراعی در این مناطق به‌دلیل کمبود منابع آب با محدودیت مواجه است و کشور ایران نیز با دریافت یک سوم میزان نزولات جهانی (۲۴۰ میلی‌متر در سال) در زمره کشورهای گرم و خشک جهان قرار گرفته است و کم‌آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید مطرح می‌باشد (Feiziasl *et al*., 2022). تنش خشکی با توجه به میزان حساسیت و مرحله رشدی گیاه به‌وسیله کاهش محتوای نسبی آب برگ (Akram *et al*., 2018)، تخریب کلروفیل از طریق افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Banks, 2018) و کاهش توسعه سطح برگ به‌وسیله افت فشار تورژسانس (Manvelian *et al*., 2021) می‌تواند سبب بازدارندگی رشد و در نتیجه کاهش عملکرد محصول گردد (Heshmat *et al*., 2021). به همین دلیل در سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای با تمرکز بر افزایش عملکرد در سطح کشور، جهت سازگاری بیش‌تر با شرایط تنش انجام پذیرفته است (Haghighi & Saharkhiz., 2022; Feiziasl *et al*., 2022; Hamedani *et al*., 2020).

۲. پیشینه پژوهش

برخلاف بارش‌های مناسب در طی فصول پاییز و زمستان که نیاز آبی کلزا را در طی فصل رویشی تأمین می‌کند، در بسیاری از مناطق کشور در طی بحرانی‌ترین مراحل رشد ممکن است هیچ‌گونه نزولات آسمانی وجود نداشته باشد (Darand & Khandu, 2020). علاوه بر آن صرفه‌جویی در مصرف آب در پایان فصل رشد کلزا به‌ویژه مراحل گلدهی، تشکیل غلاف و پرشدن بذر برای کشاورزان مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت قابل‌توجهی 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 فروردین‌ماه تا خردادماه وجود دارد. اگرچه این بازه از مراحل حساس به تنش خشکی در گیاه کلزا محسوب می‌شود (Feizabadi *et al*., 2021; Farahani *et al*., 2020f)، اما پژوهش‌های صورت‌گرفته مبنی بر آن است که عکس العمل گیاه به تنش خشکی علاوه بر آنکه تابع مراحل رشدی است، می‌تواند تحت تأثیر رقم نیز قرار گیرد و ارقام 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; Aghdam *et al*., 2019; Eyni Nargeseh *et al*; 2020).

در بررسی عکس‌العمل ارقام کلزا (Zafar، RGS003، Hyola4815، Julinus، Zabol10 و Jerry) در قطع آبیاری از مرحله گلدهی و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی در کرج نیز مشخص گردید رقم آر جی اس ۰۰۳ عملکرد بالاتری را نسبت به ارقام هایولا و ظفر داشتند، این در حالی است که این دو رقم در شرایط آبیاری کامل بالاترین عملکرد دانه و درصد روغن را دارا بودند (Feizabadi *et al*., 2021). در پژوهش دیگری نیز در بررسی پنج رقم کلزا (sarigol، Hyolla401، Dalgan، Jerumeh و Jacomo) در کرج، رقم هایولا ۴۰۱ در شرایط تنش خشکی اواخر فصل توصیه گردید

(Safavi Fard *et al*., 2018). تأثیر رقم بر پاسخ گیاهان زراعی به تنش پیش از این توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده بود (Chiango *et al*., 2021; Abeed *et al*., 2021). به‌نظر می‌رسد شناسایی ارقام مقاوم به تنش خشکی یکی از ابزارهای مدیریت در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای دستیابی به عملکرد قابل‌قبول می‌باشد (Khodabin *et al*., 2021). این ارقام با پتانسل عملکرد بالا امکان استفاده بهتر از منابع آب و خاک و افزایش بازده تولید را میسر خواهند نمود. پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثر تنش خشکی آخر فصل بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب جهت تعیین رقم مناسب برای حصول عملکرد بالاتر در منطقه کرج طراحی و اجرا گردید.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳. ۱. منطقه موردمطالعه و طرح آزمایشی

پژوهش حاضر در دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) 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 اجرا گردید. براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از سازمان هواشناسی ایران و با توجه به منحنی آمبروترمیک، منطقه موردنظر با داشتن ۱۵۰ تا ۲۰۰ روز خشک جزو مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. اطلاعات آب‌وهوایی فصل کشت کلزا در دو سال زراعی به‌صورت ماهانه در جدول (۱) ارائه گردیده است. براساس آمار بلندمدت ۳۰ ساله سازمان هواشناسی کرج (۲۰۲۰-۱۹۹۰)، میانگین بارندگی سالانه ۲۴۳ میلی‌متر است و بارندگی‌ها به‌طور عمده دراواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهند.

جدول ۱. میانگین بارش و دما در طول فصل رشد (۹۸-۱۳۹۶)

ماه / سال	مهر ۱۳۹۶	آبان ۱۳۹۶	آذر ۱۳۹۶	دی ۱۳۹۶	بهمن ۱۳۹۶	اسفند ۱۳۹۶	فروردین ۱۳۹۷	اردیبهشت ۱۳۹۷	خرداد ۱۳۹۷
بارندگی (mm)	۰	۴/۸	۰/۶	۴/۷	۳۷	۲۱	۳۲	۳۳	۱۰
میانگین دما (°C)	۱۷	۱۴/۹	۵/۲	۶/۸	۳/۹	۱۰/۷	۱۴/۶	۱۷/۱	۲۳/۶
ماه / سال	**مهر ۱۳۹۷**	**آبان ۱۳۹۷**	**آذر ۱۳۹۷**	**دی ۱۳۹۷**	**بهمن ۱۳۹۷**	**اسفند ۱۳۹۷**	**فروردین ۱۳۹۸**	**اردیبهشت ۱۳۹۸**	**خرداد ۱۳۹۸**
بارندگی (mm)	۶/۷	۲۲/۶	۵۷/۵	۴۷/۱	۲۸	۱۹/۹	۱۰۴	۱۰/۱	۲/۱
میانگین دما (°C)	۱۸/۸	۱۰/۹	۸/۴	۴/۷	۵/۷	۷/۷	۱۴	۱۸/۳	۲۵/۱

خاک محل آزمایش دارای بافت رسی لومی با میانگین اسیدیته ۷/۳ بود. سایر نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک در عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

سال	عمق (سانتی‌متر)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن آلی (درصد)	اسیدیته –	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	فسفر قابل‌جذب (پی‌پی‌ام)	پتاسیم قابل‌جذب (پی‌پی‌ام)
۱۳۹۶-۱۳۹۷	۳۰-۰	۲۸	۴۶	۲۶	۰/۵۳	۰/۰۶	۷/۲	۳/۸۸	۱۱/۸	۲۵۶
	۶۰-۳۰	۲۵	۴۵	۳۰	۰/۵۷	۰/۰۷	۷/۵	۱/۳۲	۸/۸	۱۸۸
۱۳۹۷-۱۳۹۸	۳۰-۰	۲۶	۴۷	۲۷	۰/۶۱	۰/۰۹	۷/۱	۳/۷۱	۱۲/۵	۲۳۴
	۶۰-۳۰	۲۸	۴۶	۲۶	۰/۷۲	۰/۰۸	۷/۴	۱/۸۶	۱۰/۱	۲۱۰

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تا پایان رشد و قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا پایان رشد و رقم به‌عنوان عامل فرعی شامل پنج رقم کلزای بهاره (ساری‌گل، آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱، ظفر و دلگان) در نظر گرفته شدند. اطلاعات مرتبط با آبیاری در جدول (۳) و ویژگی ارقام موردمطالعه در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۳. حجم و تعداد دفعات آبیاری در سطوح مختلف تیمارهای خشکی

تیمار	تعداد دفعات آبیاری	کل آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	زمان انجام آبیاری
آبیاری کامل	۸	۵۲۳۰	– پس از کشت (کد ۰)، باز شدن لپه‌ها (کد ۱)، سه تا چهار برگی (کد ۱/۴)، ساقه‌دهی (کد ۲/۳)، غنچه‌دهی (کد ۳/۵)، گلدهی (کد ۴/۳)، خورجین‌دهی (کد ۵/۳)، پر شدن دانه (کد ۶/۲)
قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی	۶	۲۹۴۰	– تمام مراحل آبیاری کامل به غیر از آبیاری در خورجین‌دهی (کد ۵/۳) و پر شدن دانه (کد ۶/۲)
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	۵	۲۳۰۰	– تمام مراحل آبیاری کامل به غیر از آبیاری در مرحله گلدهی (کد ۴/۳)، خورجین‌دهی (کد ۵/۳)، پر شدن دانه (کد ۶/۲)

جدول ٤. ویژگی‌های ارقام کلزا مورد استفاده در پژوهش

نام ژنوتیپ	منشأ	تیپ	زودرس یا دیررس بودن	طول دوره رسیدگی (روز)
ساری‌گل	آلمان	رقم آزادگرده افشان	دیررس	۲۴۴ –۲۳۵
آر جی اس ۰۰۳	آلمان	رقم آزادگرده افشان	دیررس	۲۴۲ –۲۳۴
هایولا ۴۰۱	کانادا	هیبرید	میان‌رس	۲۳۸ –۲۳۲
ظفر	ایران	رقم آزادگرده افشان	دیررس	۲۴۳ –۲۳۵
دلگان	ایران	رقم آزادگرده افشان	زودرس	۲۳۴–۲۲۷

۳. ۲. اجرای طرح آزمایشی و مدیریت زراعی

زمین آزمایش در طی شهریورماه شخم و دیسک زده شد و سپس براساس نتایج آزمون خاک و دستورالعمل مؤسسه تحقیقات خاک و آب به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم به‌صورت پایه و هم‌زمان با آماده‌سازی بستر و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت مساوی در دو مرحله پایه و ساقه‌دهی و ۵۰ کیلوگرم در مرحله غنچه‌دهی مصرف گردید. کاشت پس از تصادفی‌کردن نقشه آزمایش در هر دو سال به‌صورت هیرم‌کاری 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 در نظر گرفته شد و دو خط کناری به‌عنوان حاشیه منظور شد. کلیه عملیات مربوط به داشت به‌جز آبیاری به‌صورت یکسان براساس عرف منطقه در کلیه کرت‌های آزمایشی انجام شد. آبیاری براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر تا قبل از اعمال تیمارهای تنش به‌صورت منظم انجام گرفت. آب مصرفی توسط کنتور تعیین و میزان آن در جدول (۳) آورده شده است.

۳. ۳. اندازه‌گیری صفات گیاهی

صفت طول دوره رشد به‌صورت تعداد روز پس از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی برای هر رقم ثبت گردید. زمان رسیدگی

فیزیولوژیک نیز از طریق ارزیابی تغییر رنگ و سخت‌شدن دانه در خورجین‌ها مشخص شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک ۱۰ بوته از خطوط میانی با درنظرگرفتن اثر حاشیه‌ای به‌صورت تصادفی انتخاب شد و صفات تعداد دانه در خورجین و خورجین در بوته ثبت گردید. جهت تعیین وزن هزاردانه نیز هشت نمونه ۱۰۰۰ تایی از هر کرت انتخاب و میانگین آن به‌عنوان صفت مذکور ثبت شد. کرت‌های آزمایشی پس از حذف اثر حاشیه به مساحت ۴ مترمربع به‌طور جداگانه کف‌بر شدند و پس از خشک‌شدن در هوای آزاد، در نهایت عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۲ درصد محاسبه شد.

درصد روغن دانه‌های هر کرت با استفاده از دستگاه رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (مدل mini spec-nq 20، ساخت آلمان) براساس استاندارد بین‌المللی تعیین گردید. بدین منظور پس از کالیبراسیون روزانه دستگاه با یک نمونه مرجع و کالیبراسیون محصول با نمونه‌های استاندارد از پیش‌آماده‌شده، 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 حاصل‌ضرب 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 رابطه (۱) تعیین شد.

رابطه ۱) $WUE=\frac{GY}{WU}$

که در این معادله، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و WU آب مصرفی (مترمکعب) می‌باشد.

۳. ۴. آنالیزهای آماری

با انجام آزمون بارتلت[1] (جدول ۵) و پس از مشخص‌شدن عدم معنی‌داری نتیجه آزمون، تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز براساس آزمون LSD[2] در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

جدول ۵. نتایج آزمون بارتلت

صفات	طول دوره رشد	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	میزان روغن دانه	عملکرد روغن	کارایی مصرف آب دانه	کارایی مصرف آب روغن
Chi-Square	۱/۵۶	۰/۰۵۴	۰/۰۴۸	۰/۲۶۵	۰/۱۶۵	۰/۰۰۷	۰/۰۴۷	۰/۱۹۸	۰/۱۰۸
P Value	۰/۲۱	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۶۰	۰/۶۸	۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۶۵	۰/۷۴

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در دو سال اجرای آزمایش نشان داد برهم‌کنش تنش خشکی× رقم بر تمام صفات موردمطالعه شامل طول دوره رشد، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته، درصد روغن، عملکرد روغن، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب در تولید دانه و کارایی مصرف آب در تولید روغن معنی‌دار بود (جدول ۶). اثر متقابل سال× رقم نیز تنها بر صفات طول دوره رشد، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در تولید دانه معنی‌دار گردید (جدول ۶).

1. Bartlett's test
2. Least Significant Difference

جدول ٦. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مودر بررسی در ارقام کلزا تحت شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		طول دوره رشد	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه
سال	۱	۱۴۶/۵ **	۲۷/۵ **	۱۹۴۵ **	۰/۷۱ **	۵۳۳۳۳۳ **
تکرار	۳	۲۰/۵ **	۱/۰ ns	۴۹ ns	۰/۰۹ ns	۱۰۴۰۷۱ ns
تکرار در سال	۳	۵/۰	۲/۹	۱۳۱	۰/۰۴	۳۶۵۲۶
تنش خشکی	۲	۹۶۶/۶ **	۱۶۰۸/۲ **	۱۲۸۱۰۸ **	۳۹/۸۳ **	۲۸۲۸۹۳۹۰ **
سال × تنش خشکی	۲	۰/۲ ns	۱/۱ ns	۳ ns	۰/۰۰۴ ns	۳۰۵۹۴ ns
خطای a	۱۲	۳/۰	۴/۸	۲۰۷	۰/۰۹	۵۷۱۹۲
رقم	۴	۱۹۹/۷ **	۱۴۶/۸ **	۱۰۱۳۷ **	۳/۲۱ **	۴۳۶۰۳۸۹ **
سال × رقم	۴	۱۷/۸ **	۴/۶ ns	۲۱۸ ns	۰/۱۳ ns	۱۴۷۴۵۸ *
تنش خشکی × رقم	۸	۶/۷ **	۶/۳ *	۶۵۴ **	۰/۱۸ *	۱۳۰۳۶۸ *
سال × قطع آبیاری × رقم	۸	۱/۴ ns	۲/۳ ns	۲۱۳ ns	۰/۰۹ ns	۳۹۴۱۰ ns
خطای b	۷۲	۲/۰	۳/۰	۲۰۱	۰/۰۸	۵۶۳۹۰
ضریب تغییرات (درصد)	–	۰/۶	۱۰/۹	۱۱/۶	۱۰/۳	۸/۷

ادامه جدول ٦. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مودر بررسی در ارقام کلزا تحت شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد روغن	عملکرد روغن	کارایی مصرف آب در تولید دانه	کارایی مصرف آب در تولید روغن
سال	۱	۴/۴۵ *	۱۲۲۲۲۲ **	۰/۰۳۱ **	۰/۰۰۸ **
تکرار	۳	۰/۴۴ ns	۲۲۳۰۶ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۱ ns
تکرار در سال	۳	۰/۹۸	۹۵۷۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۶
تنش خشکی	۲	۳۳۱/۱۲ **	۷۳۳۲۷۵۳ **	۰/۰۷۱ **	۰/۰۵ **
سال × تنش خشکی	۲	۰/۲۶ ns	۴۵۱۸ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۷ ns
خطای a	۱۲	۰/۶۷	۱۵۹۵۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۹
رقم	۴	۳۲/۷ **	۹۳۸۶۶۰ **	۰/۲۹۲ **	۰/۰۶ **
سال × رقم	۴	۰/۷۲ ns	۲۷۹۶۷ ns	۰/۰۰۹ *	۰/۰۰۱ ns
تنش خشکی × رقم	۸	۲/۴۵ **	۳۱۴۵۰ *	۰/۰۱۱ **	۰/۰۰۲ **
سال × قطع آبیاری × رقم	۸	۰/۶۵ ns	۱۰۱۹۹ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۵ ns
خطای b	۷۲	۰/۵۸	۱۴۹۶۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۸
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲/۲	۱۰/۸	۸/۳	۱۰/۴

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

۴. ۱. طول دوره رشد

در بررسی نتایج برهم‌کنش سال× رقم بر طول دوره رشد مشخص گردید ارقام ساری‌گل، آر جی اس ۰۰۳ و ظفر با میانگین ۲۳۸ روز در سال اول و ۲۳۵ روز در سال دوم مدت زمان بیش‌تری را نسبت به ارقام دلگان و هایولا ۴۰۱ جهت تکمیل چرخه زندگی خود نیاز داشتند (جدول ۷). ارقام دلگان و هایولا ۴۰۱ نیز در سال اول و دوم به‌ترتیب با میانگین ۲۳۳ و ۲۳۰ روز به‌عنوان زودرس‌ترین ارقام موردمطالعه شناخته شدند (جدول ۷).

نتایج برهم‌کنش تنش خشکی× رقم حاکی از آن است که محدودیت آبی سبب کاهش معنی‌دار طول دوره رشد ارقام موردمطالعه، نسبت به آبیاری کامل می‌گردد (جدول ۸). ارقام ساری‌گل، آر جی اس ۰۰۳ و ظفر در شرایط آبیاری کامل، قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی به‌ترتیب با میانگین ۲۴۲، ۲۳۶ و ۲۳۱ روز دیررس‌ترین ارقام موردمطالعه بودند. کم‌ترین طول دوره رشد نیز در ارقام دلگان و هایولا ۴۰۱ مشاهده شد که در شرایط آبیاری کامل، قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی به‌طور میانگین به‌ترتیب ۲۳۶، ۲۳۲ و ۲۲۸ روز چرخه زندگی خود را تکمیل کردند (جدول ۸).

جدول ۷. نتایج اثر متقابل سال× رقم بر طول دوره رشد، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در تولید دانه

ارقام	طول دوره رشد (روز)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		کارایی مصرف آب در تولید دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
ساری‌گل	۲۳۹/۸ a	۲۳۵/۳ a	۱۸۰۰ b	۲۱۶۲ b	۰/۴۲ c	۰/۵۱ c
آر جی اس ۰۰۳	۲۳۶/۵ b	۲۳۴/۱ a	۲۸۷۴ a	۳۰۵۵ a	۰/۷۰ a	۰/۷۵ a
هایولا۴۰۱	۲۳۴/۷ c	۲۳۱/۸ b	۲۸۴۹ a	۲۸۵۱ a	۰/۶۹ ab	۰/۷۰ ab
ظفر	۲۳۷/۳ b	۲۳۵/۹ a	۲۷۴۶ a	۲۷۱۸ ab	۰/۶۶ b	۰/۶۵ b
دلگان	۲۳۱/۷ d	۲۲۸/۹ c	۲۹۶۸ a	۳۱۱۷ a	۰/۷۳ a	۰/۷۶ a

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

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین تنش خشکی× رقم بر صفات مورد بررسی در کلزا

سطوح تنش	رقم	طول دوره رشد (روز)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
آبیاری کامل (شاهد)	ساری‌گل	۲۴۳/۵ a	۱۴۴/۷ c	۱۸/۹ b	۳/۳۰ c	۲۸۹۴ b
	آر جی اس ۰۰۳	۲۴۰/۳ b	۱۹۰/۶ ab	۲۳/۵ a	۴/۱۳ ab	۳۷۷۶ a
	هایولا۴۰۱	۲۳۷/۸ c	۱۸۰/۱ b	۲۲/۵ a	۳/۹۱ b	۳۶۵۰ a
	ظفر	۲۴۲/۴ a	۲۰۰/۳ ab	۲۴/۱ a	۴/۳۰ ab	۳۸۸۶ a
	دلگان	۲۳۴/۱ d	۲۰۸/۱ a	۲۴/۸ a	۴/۳۷ a	۳۹۵۹ a
قطع آبیاری از خورجین‌دهی	ساری‌گل	۲۳۷/۴ a	۶۹/۱ c	۹/۵۸ c	۱/۹۶ c	۱۸۴۵ c
	آر جی اس ۰۰۳	۲۳۵/۴ b	۱۲۱/۶ a	۱۶/۴ a	۲/۹۰ a	۲۸۴۱ a
	هایولا۴۰۱	۲۳۲/۸ c	۱۱۴/۵ a	۱۵/۶ a	۲/۷۷ a	۲۷۱۶ a
	ظفر	۲۳۶/۲ b	۹۸/۸ b	۱۴/۰ b	۲/۴۷ b	۲۴۲۳ b
	دلگان	۲۳۰/۲ d	۱۱۹/۸ a	۱۶/۳ a	۲/۸۷ a	۲۸۱۲ a
قطع آبیاری از گلدهی	ساری‌گل	۲۳۱/۶ a	۴۷/۵ d	۶/۴۸ d	۱/۵۴ c	۱۲۰۴ d
	آر جی اس ۰۰۳	۲۳۰/۴ a	۸۹/۶ ab	۱۲/۱۷ ab	۲/۳۱ a	۲۲۷۶ ab
	هایولا۴۰۱	۲۲۸/۹ b	۸۲/۲ b	۱۱/۳۰ b	۲/۲۰ a	۲۱۸۵ b
	ظفر	۲۳۱/۳ a	۶۶/۴ c	۹/۱۵ c	۱/۹۴ b	۱۸۸۸ c
	دلگان	۲۲۶/۸ c	۹۱/۵ a	۱۲/۱۷ a	۲/۳۷ a	۲۳۵۷ a

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین تنش خشکی× رقم بر صفات مورد بررسی در کلزا

سطوح تنش	رقم	درصد روغن	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	کارایی مصرف آب در تولید دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)	کارایی مصرف آب در تولید روغن (کیلوگرم بر مترمکعب)
آبیاری کامل (شاهد)	ساری‌گل	۴۲/۷۹ b	۱۲۳۹/۴ b	۰/۵۶ b	۰/۲۴ b
	آر جی اس ۰۰۳	۴۴/۱۴ a	۱۶۶۸/۸ a	۰/۷۳ a	۰/۳۲ a
	هایولا۴۰۱	۴۳/۹۵ a	۱۶۰۷/۶ a	۰/۷۱ a	۰/۳۱ a
	ظفر	۴۴/۴۲ a	۱۷۲۸/۰ a	۰/۷۵ a	۰/۳۳ a
	دلگان	۴۴/۶۷ a	۱۷۶۹/۱ a	۰/۷۷ a	۰/۳۴ a
قطع آبیاری از خورجین‌دهی	ساری‌گل	۳۷/۹۰ c	۷۰۳/۴ c	۰/۴۸ c	۰/۱۸ c
	آر جی اس ۰۰۳	۴۱/۳۰ a	۱۱۷۵/۶ a	۰/۷۴ a	۰/۳۰ a
	هایولا۴۰۱	۴۱/۰۰ a	۱۱۱۴/۹ a	۰/۷۰ a	۰/۲۹ a
	ظفر	۴۰/۰۰ b	۹۷۲/۰ b	۰/۶۳ b	۰/۲۵ b
	دلگان	۴۱/۲۵ a	۱۱۶۱/۵ a	۰/۷۳ a	۰/۳۰ a
قطع آبیاری از گلدهی	ساری‌گل	۳۶/۰۷ c	۴۳۵/۵ d	۰/۳۷ d	۰/۱۳ d
	آر جی اس ۰۰۳	۳۹/۳۷ a	۸۹۷/۴ ab	۰/۷۱ ab	۰/۲۸ ab
	هایولا۴۰۱	۳۸/۹۱ a	۸۵۱/۲ b	۰/۶۸ b	۰/۲۶ b
	ظفر	۳۷/۶۸ b	۷۱۱/۸ c	۰/۵۹ c	۰/۲۲ c
	دلگان	۳۹/۵۷ a	۹۳۵/۱ a	۰/۷۳ a	۰/۲۹ a

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

۴. ۲. اجزای عملکرد و عملکرد دانه

نتایج اثر سال× رقم حاکی از آن بود که در دو سال آزمایش کم‌ترین عملکرد دانه در رقم ساری‌گل مشاهده شد (جدول ۷). سایر ارقام شامل دلگان، آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱ و ظفر در سال اول به‌ترتیب با ۲۹۶۸، ۲۸۷۴، ۲۸۴۹ و ۲۷۴۶ کیلوگرم دانه در هکتار و در سال دوم به‌ترتیب با ۳۱۱۷، ۳۰۵۵، ۲۸۵۱ و ۲۷۱۸ کیلوگر دانه در هکتار از نظر صفت عملکرد دانه در گروه‌های آماری یکسانی قرار گرفتند (جدول ۷). اجزای عملکرد و عملکرد دانه می‌تواند تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی نیز قرار گیرد، به‌طوری‌که اختلاف در پراکنش بارندگی‌ها به‌ویژه در اوایل بهار در دو سال آزمایش مشهود بود و سال دوم از پراکنش بهتری نسبت به سال اول برخوردار بود (جدول ۱). بنابراین شرایط آب‌وهوایی در سال دوم سبب بهبود ۶، ۶ و ۵ درصدی تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و وزن هزاردانه نسبت به سال اول گردید (جدول ۹).

جدول ۹. نتایج اثر سال بر اجزای عملکرد، درصد روغن، عملکرد روغن و کارایی مصرف آب در تولید روغن

صفات اندازه‌گیری‌شده	سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶	سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷
تعداد دانه در خورجین	۱۵/۳۷ b	۱۶/۳۳ a
تعداد خورجین در بوته	۱۱۷/۶۶ b	۱۲۵/۷۱ a
وزن هزاردانه (g)	۲/۸۱ b	۲/۹۶ a
درصد روغن	۴۰/۶۷ b	۴۱/۰۶ a
عملکرد روغن ($kg.ha^{-1}$)	۱۰۹۹/۵ b	۱۱۶۳/۳۷ a
کارایی مصرف آب در تولید روغن ($kg.m^{-3}$)	۰/۲۶ b	۰/۲۸ a

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

از نتایج برهم‌کنش تنش خشکی× رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا می‌توان چنین استنباط نمود که در شرایط آبیاری کامل، تمام ارقام به‌غیر از رقم ساری‌گل جهت حصول بالاترین عملکرد دانه برای منطقه موردمطالعه مناسب هستند. ارقام دلگان، ظفر، آر جی اس ۰۰۳ و هایولا ۴۰۱ به‌ترتیب با ۲۰۸، ۲۰۰، ۱۹۰ و ۱۸۰ عدد خورجین در بوته، ۲۵، ۲۴، ۲۳ و ۲۲ عدد دانه در خورجین، ۴/۳۷، ۴/۳۰، ۴/۱۳ و ۳/۹۱ گرم وزن هزاردانه، موفق به حصول عملکرد دانه به‌ترتیب با ۳۹۵۹، ۳۸۸۶، ۳۷۷۶ و ۳۶۵۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری کامل شدند (جدول ۸).

علاوه بر آن نتایج نشان می‌دهد که ثبات عملکرد در کلزا وابستگی شدیدی به آبیاری در دوره‌های بحرانی رشد گیاه دارد، به‌طوری‌که قطع آبیاری از خورجین‌دهی و گلدهی سبب کاهش معنی‌دار اجزای عملکرد و عملکرد دانه در تمام ارقام کلزا گردید (جدول ۸). تأثیر سوء قطع آب بر رقم ساری‌گل بیش‌تر از سایر ارقام مورد پژوهش بود. این رقم در شرایط آبیاری کامل نیز از پتانسیل ژنتیکی کم‌تری در تولید اجزای عملکرد و عملکرد دانه برخوردار بود. رقم ساری‌گل در قطع آبیاری از خورجین‌دهی در صفات وزن هزاردانه، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین به‌ترتیب از کاهش ۴۱، ۵۲ و ۴۹ درصدی و در قطع آبیاری از گلدهی به‌ترتیب از کاهش ۵۳، ۶۷ و ۶۴ درصدی نسبت به تیمار متناظر خود در آبیاری کامل برخوردار بود (جدول ۸). عملکرد دانه در رقم ساری‌گل نیز در شرایط آبیاری کامل، قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی به‌ترتیب ۲۸۹۴، ۱۸۴۵ و ۱۲۰۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۸).

ارقام آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱ و دلگان با عکس‌العمل مناسب‌تر نسبت به سایر ارقام از ثبات بیش‌تری در تولید اجزای عملکرد و عملکرد دانه در شرایط تنش برخوردار بودند (جدول ۸). رقم‌های آر جی اس ۰۰۳، دلگان و هایولا ۴۰۱ به‌ترتیب با تولید ۲۸۴۱، ۲۸۱۲ و ۲۷۱۶ کیلوگرم دانه در هکتار در قطع آبیاری از خورجین‌دهی بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در قطع آبیاری از گلدهی نیز ارقام دلگان، آر جی اس و هایولا ۴۰۱ به‌ترتیب با تولید ۲۳۵۷، ۲۲۷۶

و ۲۱۸۵ کیلوگرم دانه در هکتار به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام در شرایط تنش شناخته شدند (جدول ۸). شایان ذکر است ارقام آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱ و دلگان در قطع آبیاری از خورجین‌دهی در تعداد خورجین در بوته به‌ترتیب از کاهش ۳۶، ۳۷ و ۴۳ درصدی، در تعداد دانه در خورجین به‌ترتیب از کاهش ۳۰، ۳۱ و ۳۴ درصدی، در وزن هزاردانه به‌ترتیب از کاهش ۳۰، ۲۹ و ۳۴ درصدی نسبت به تیمار متناظر خود در آبیاری کامل برخوردار بودند (جدول ۸). قطع آبیاری از گلدهی نیز در ارقام آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱ و دلگان به‌ترتیب سبب کاهش ۵۳، ۵۴ و ۵۶ درصدی تعداد خورجین در بوته، ۴۸، ۵۰ و ۵۱ درصدی تعداد دانه در خورجین و ۴۴، ۴۴ و ۴۶ درصدی وزن هزاردانه گردید (جدول ۸). شایان ذکر است با توجه به کاهش ۳۷ و ۵۱ درصدی عملکرد دانه در رقم ظفر به‌ترتیب در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی نسبت به تیمار متناظر خود در آبیاری کامل، این رقم نیز از حساسیت بالایی به شرایط تنش برخوردار بود.

۴. ۳. درصد و عملکرد روغن

نتایج اثر سال بر درصد و عملکرد روغن نشان می‌دهد که سال دوم با تولید دانه بیش‌تر، با بهبود ۶ درصدی عملکرد روغن همراه بوده است (جدول ۹). اما اختلاف درصد روغن در دو سال پژوهش با توجه به تأثیرپذیری کم آن از عوامل محیطی تنها ۱ درصد بود (جدول ۹). نتایج تنش خشکی× رقم مبنی بر آن است که قطع آبیاری در مراحل بحرانی رشد گیاه می‌تواند منجر به کاهش جدی بیوسنتز روغن در ارقام کلزا گردد (جدول ۸). در شرایط آبیاری کامل بیش‌ترین درصد روغن در ارقام دلگان، ظفر، آر جی اس ۰۰۳ و هایولا ۴۰۱ به‌ترتیب با ۴۴/۶۷، ۴۴/۴۲، ۴۴/۱۴ و ۴۳/۹۵ درصد روغن مشاهده شد (جدول ۸). ارقام دلگان، ظفر، آر جی اس ۰۰۳ و هایولا ۴۰۱ به‌ترتیب با ۱۷۶۹، ۱۷۲۸، ۱۶۶۸ و ۱۶۰۷ کیلوگرم روغن در هکتار بالاترین میزان را از این لحاظ در شرایط آبیاری کامل به خود اختصاص دادند (جدول ۸).

نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد که رقم ساری‌گل علاوه بر آن‌که در تیمار شاهد کم‌ترین میزان روغن را تولید نمود؛ در شرایط تنش نیز از پتانسیل پایینی در تولید روغن برخوردار بود (جدول ۸). درصد و عملکرد روغن در رقم ساری‌گل در قطع آبیاری از خورجین‌دهی به‌ترتیب از کاهش ۱۱ و ۴۳ درصدی و در قطع آبیاری از گلدهی از کاهش ۱۶ و ۶۵ درصدی نسبت به تیمار متناظر خود در شرایط آبیاری کامل برخوردار بود (جدول ۸). آر جی اس ۰۰۳، دلگان و هایولا ۴۰۱ در قطع آبیاری از خورجین‌دهی به‌ترتیب با ۴۱/۳۰، ۴۱/۲۵ و ۴۱ درصد در محتوای روغن و با تولید به‌ترتیب ۱۱۷۵، ۱۱۶۱ و ۱۱۱۴ کیلوگرم در هکتار بالاترین بیوسنتز روغن را به خود اختصاص دادند (جدول ۸). ارقام دلگان، آر جی اس ۰۰۳ و هایولا ۴۰۱ در قطع آبیاری از گلدهی نیز به‌ترتیب با ۳۹/۵۷، ۳۹/۳۷ و ۳۸/۹۱ درصد روغن و ۹۳۵، ۸۹۷ و ۸۵۱ کیلوگرم روغن در هکتار از ارقام برتر از این لحاظ بودند (جدول ۸). افت ۴۴ و ۵۶ درصدی عملکرد روغن در رقم ظفر در قطع آبیاری از خورجین‌دهی و قطع آبیاری از گلدهی نسبت به تیمار متناظر خود در آبیاری کامل، مبنی بر حساسیت بالای رقم مذکور به محدودیت آبی است (جدول ۸).

۴. ۴. کارایی مصرف آب در تولید دانه و تولید روغن

نتایج اثر متقابل سال× رقم بر کارایی مصرف آب دانه نشان داد ارقام آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱ و دلگان در سال اول و دوم به‌ترتیب با میانگین ۰/۷۱ و ۰/۷۳ کیلوگرم بر متر مکعب بالاترین تولید دانه به‌ازای آب مصرفی را به خود اختصاص دادند (جدول ۷). نتایج اثر سال بر کارایی مصرف آب در تولید روغن نیز حاکی از برتری ۷ درصدی سال دوم در مقایسه با سال اول بود (جدول ۹).

نتایج اثر متقابل تنش خشکی× رقم بر کارایی مصرف آب دانه و روغن نشان داد که با اعمال تنش خشکی کارایی مصرف

آب در تمام رقم‌ها کاهش می‌یابد. اما در شرایط آبیاری کامل ارقام آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱، ظفر و دلگان با میانگین ۰/۷۴ و ۰/۳۲ کیلوگرم در مترمکعب از راندمان بهتری در تولید دانه و روغن به ازای آب مصرفی برخوردار بودند (جدول ۸). در شرایط تنش نیز ارقام آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱ و دلگان کارایی مصرف آب بالاتری داشتند. کارایی مصرف آب در تولید دانه و تولید روغن در ارقام دلگان، آر جی اس ۰۰۳ و هایولا ۴۰۱ در شرایط قطع آبیاری از خورجین‌دهی به‌ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب و در شرایط قطع آبیاری از گلدهی ۰/۷۰ و ۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود (جدول ۸). کم‌ترین کارایی مصرف آب در تولید دانه و تولید روغن به‌ترتیب با کاهش ۱۵ و ۲۵ درصدی در تنش خورجین‌دهی و ۲۶ و ۳۹ درصدی در تنش گلدهی در ارقام ساری‌گل و ظفر نسبت به تیمارهای متناظر خود در آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۸). بنابراین گزینش ارقام متحمل در شرایط تنش خشکی می‌تواند مبنی بر دستیابی به تولید مناسب حتی در مناطق کم‌آب باشد.

۵. بحث

به‌نظر می‌رسد تفاوت‌های موجود در فنولوژی گیاه می‌تواند با اختلاف ژنتیکی و در نتیجه پاسخ متفاوت ارقام در حساسیت به دما و طول روز مرتبط باشد. اثر تفاوت‌های ژنتیکی بر صفات فنولوژیکی در گیاه کلزا پیش از این توسط Rezaei *et al.* (2021) نیز گزارش گردیده بود. علاوه بر آن در ارزیابی داده‌های آب‌وهوایی مشخص گردید از دلایل کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد در سال دوم می‌تواند با گرم‌ترشدن هوا به‌ویژه در اردیبهشت‌ماه و خردادماه مرتبط باشد (جدول ۱). Rahimi-Moghaddam *et al.* (2021) نیز تأثیر شرایط آب‌وهوایی را بر فنولوژی ارقام کلزا مورد تأیید قرار داده‌اند.

ارقام مختلف یک گیاه با قرارگیری در معرض تنش با توجه به تفاوت‌های ژنتیکی خود جهت فرار از شرایط به‌وجودآمده طول دوره رشد را کاهش می‌دهند. این پدیده زودرسی بر اثر محدودیت آب نامیده می‌شود و یکی از مکانیزم‌های سازگاری شناخته‌شده جهت جلوگیری از اثرهای منفی تنش بر رشد، تولید بذر و تدوام نسل گیاه است (درویژه و همکاران، ۱۳۹۸). این عامل می‌تواند به این دلیل باشد که تنش با تغییر در ساختمان ماکرومولکول‌ها و ترشح هورمون محصول را مجبور می‌کند که سریع‌تر وارد فاز زایشی شده و چرخه زندگی خود را به اتمام رساند (Yashavanthakumar *et al.*, 2021). این پدیده در مورد گیاهان زراعی متفاوتی، پیش از این توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش گردیده بود (Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2019).

دامنه متفاوت ارقام مختلف یک گیاه در تولید عملکرد دانه می‌تواند از تفاوت ژنتیکی ناشی شود، برخی پژوهش‌گران عملکرد بالا در ارقام مختلف را با تعداد شاخه فرعی کم، گل‌دهی زودهنگام و بالاتربودن اجزای عملکرد مرتبط می‌دانند (Assefa *et al.*, 2015; Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2019). علاوه بر آن تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد مورد تأیید سایر پژوهش‌گران قرار داده‌اند (Moradi Aghdam *et al.*, 2019, Mohtashami *et al.*, 2020). نتایج هم‌چنین نشان داد که تعداد خورجین در بوته با توجه به وراثت‌پذیری پایین، نسبت به سایر اجزای عملکرد به تنش خشکی حساس‌تر بود. کاهش تعداد خورجین در بوته در شرایط تنش می‌تواند به‌علت عرضه کم‌تر مواد فتوسنتزی، ریزش گل‌ها و خورجین‌های در حال رشد باشد (Mohtashamia *et al.*, 2020؛ جباری و همکاران، ۱۳۹۹). هم‌چنین براساس خسارت وارده به‌نظر می‌رسد تنش در مرحله گلدهی بر اجزای عملکرد آسیب بیش‌تری وارد می‌نماید. وقوع تنش در گلدهی از طریق کاهش دوره فعالیت منبع (برگ‌ها) و کاهش میزان فتوسنتز جاری، سبب کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی می‌گردد، این عامل به‌همراه ریزش گل‌ها، بارور نبودن دانه‌های گرده و سقط دانه‌ها سبب افت اجزای عملکرد می‌گردد (Mohtashamia *et al.*, 2020). مطالعه Feizabadi *et al.* (2021) نیز نشان می‌دهد قطع آبیاری از مرحله گلدهی در دانه‌های روغنی منجر به کاهش ۵۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد می‌گردد. تنش خشکی

به‌ویژه در مرحله زایشی با افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش محتوای نسبی آب برگ و فتوسنتز سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد (Moradi Aghdam *et al*. 2019; Khodabin *et al*., 2021). شایان ذکر است رقم ظفر از افت و عدم ثبات عملکرد بالایی نسبت به سایر ارقام برخوردار بود، این عامل احتمالاً ارتباط زیادی با تنظیم نامتوازن روابط آبی و عدم پایداری در حفظ غشای سلولی دارد. کاهش عملکرد دانه با تأثیر سوء تنش بر اجزای عملکرد نیز در ارتباط است (Zhao *et al*., 2018; Abdel-Motagall *et al*., 2021).

افت درصد و عملکرد روغن در ارقام مختلف در شرایط قطع آبیاری را می‌توان به هم‌زمانی اعمال تنش با زمان تشکیل نخستین قطره‌های روغن و ذخیره‌شدن آن نسبت داد (Eyni Nargeseh *et al*., 2020). Hamedani *et al*. (2022) و Mohtashami *et al*. (2020) نیز لزوم تأمین رطوبت کافی را برای بیوسنتز روغن در محصولات روغنی گزارش نموده‌اند. سایر پژوهش‌ها نیز تأثیر منفی تنش آخر فصل را بر محتوای روغن دانه گزارش کرده‌اند (Gharechaei *et al*. 2019; Khodabin *et al*., 2021). علاوه بر آن براساس پژوهش‌های صورت‌گرفته عملکرد روغن به‌طور مستقیم تحت تأثیر عملکرد دانه قرار دارد (Seyyedi *et al*., 2016)، اما درصد روغن با توجه به آن‌که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود، کم‌تر از عملکرد روغن تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی و ژنتیکی قرار گرفته است (Safavi Fard *et al*., 2018).

افت کارایی مصرف آب را می‌توان به عوامل متابولیکی مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن به داخل کلروپلاست و کاهش کربوکسیلاسیون در طول تنش نسبت داد که به‌نظر می‌رسد تحت این شرایط عوامل محدودکننده غیر روزنه‌ای ناشی از اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی نقش مهمی را در کاهش میزان فتوسنتز ایفا می‌کنند. مطالعات خزاعی و همکاران (۱۳۹۵) نیز با نتیجه به‌دست‌آمده همخوانی دارد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج پژوهش حاضر مبنی بر اثرات نامطلوب قطع آبیاری به‌ویژه در مرحله گلدهی بر طول دوره رشد، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، کارایی مصرف آب در تولید دانه و کارایی مصرف آب در تولید روغن در تمام ارقام بود. اما در بین ارقام موردبررسی تنوع مناسبی از نظر عملکرد دانه مشاهده شد، این امر امکان گزینش ارقام مطلوب در جمعیت موردبررسی را فراهم کرد. در شرایط تنش خشکی ارقام آر جی اس ۰۰۳، هایولا ۴۰۱ و دلگان دوره رشد خود را نسبت به سایر ارقام زودتر به اتمام رسانیده و بنابراین با ممانعت از برخورد بیش‌تر گیاه با اثر منفی و هم‌زمان تنش خشکی و گرمای آخر فصل، سبب بهبود اجزای عملکرد و افزایش عملکرد دانه گردیده‌اند. ارقام مذکور در ازای آب مصرفی، دانه و روغن بالاتری را نیز نسبت به سایر ارقام تولید کردند و بنابراین معرفی این ارقام می‌تواند راه‌گشای افزایش تولید در شرایط محدودیت آبی آخر فصل در کرج باشد. در شرایط آبیاری کامل کشت ارقام دلگان، هایولا ۴۰۱، ظفر و آر جی اس ۰۰۳ با توجه به پتانسیل عملکرد مطلوب، برای مزارعی با عدم محدودیت آب برای کشاورزان قابل‌توصیه هستند. شایان ذکر است رقم ساری‌گل با پتانسیل ژنتیکی نامطلوب در شرایط آبیاری کامل، در شرایط تنش نیز کم‌ترین میزان عملکرد دانه و عملکرد روغن را به خود اختصاص داد. پژوهش‌گران از ارقام برتر موردبررسی می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی برای بهبود تحمل به تنش خشکی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده نمایند

۷. تشکر و قدردانی

از حمایت‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و هم‌چنین پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

بیوک، زهرا و شهسواری، ناصر (۱۴۰۰). تغییرات کیفی و ترکیب اسیدهای چرب کلزا تحت تأثیر کاشت تاخیری و تنش خشکی آخر فصل. *مجله تحقیقات کشاورزی ایران*. ۴۰ (۱)، ۶۱-۷۰.

درویژه، حکیمه؛ زاهدی، مرتضی؛ عباس‌زاده، بهلول؛ و رزمجو، جمشید (۱۳۹۸). اثرهای محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و اسپرمین بر مراحل فنولوژیک و عملکرد ترکیب‌های اسید کافئیکی گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش خشکی. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*. ۳۵ (۵)، ۷۰۵-۷۲۰.

جباری، حمید؛ خوش خلق، سیما نیراعظم؛ اکبری، عباس؛ شیرانی‌راد، امیرحسین (۱۳۹۹). ارزیابی میزان انتقال مجدد ماده خشک به دانه ارقام پاییزه کلزا در واکنش به تنش خشکی. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*. ۱۰ (۱)، ۱۴۳-۱۵۶.

خزاعی، مسعود؛ گلوی، محمد؛ دهمرده، مهدی؛ موسوی نیک، سید محسن؛ زمانی، غلامرضا و مهدی‌نژاد، نفیسه (۱۳۹۵). بررسی تأثیر تنش خشکی بر تجمع اسمولیت‌ها، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و رشد چند رقم و لاین ارزن دم روباهی (*Setaria italica* L.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۹ (۲)، ۱۴۹-۱۶۲.

References

Abdel-Motagally, F. M. F., & El-Zohri, M. (2018). Improvement of wheat yield grown under drought stress by boron foliar application at different growth stages. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *17*, 178-185.

Abeed, A. H., Eissa, M. A., & Abdel-Wahab, D. A. (2021). Effect of exogenously applied jasmonic acid and kinetin on drought tolerance of wheat cultivars based on morpho-physiological evaluation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*, 131-144.

Aghdam, A. M., Sayfzadeh, S., Rad, A. S., Valadabadi, S. A., & 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.

Akram, N. A., Iqbal, M., Muhammad, A., Ashraf, M., Al-Qurainy, F., & Shafiq, S. (2018). Aminolevulinic acid and nitric oxide regulate oxidative defense and secondary metabolisms in canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Protoplasma*, *255*, 163-174.

Assefa, T., Wu, J., Beebe, S. E., Rao, I. M., Marcomin, D., & 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.

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

Batool, M., El-Badri, A. M., Hassan, M. U., Haiyun, Y., Chunyun, W., Zhenkun, Y., & Zhou, G. (2022). Drought stress in *Brassica napus*: Effects, tolerance mechanisms, and management strategies. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*, 21-45.

Biyouk, Z., & Shahsavari, N. (2021). Canola quality and fatty acids composition as influenced by delayed cropping and late season drought stress. *Iran Agricultural Research*, *40*, 61-70. (In Persian).

Bukhari, M. A., Sharif, M. S., Ahmad, Z., Barutçular, C., Afzal, M., Hossain, A., & Sabagh, A. E. (2021). Silicon mitigates the adverse effect of drought in canola (*Brassica napus* L.) through promoting the physiological and antioxidants activity, *Silicon*, *13*, 3817-3826.

Chiango, H., Figueiredo, A., Sousa, L., Sinclair, T., & 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.

Darvizheh, H., Zahedi, M., Abaszadeh, B., & Razmjoo, J. (2019). Effects of foliar application of salicylic acid and spermine on the phenological stages and caffeic acid derivatives yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *35*, 705-720. (In Persian).

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

Eyni Nargeseh, H., Aghaalikhani, M., Shirani Rad, A. H., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Modarres-Sanevi, A. M. (2020). Comparison of 17 rapeseed cultivars under terminal water deficit conditions using drought tolerance indices. *Journal of Agricultural Science and Technology, 22*, 489-503.

FAO. (2021). FAOSTAT Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. www.fao.orgfaostaten%23dataQI.pdf.

Farahani, S., Shahsavari, N., & 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., & 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.

Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Sadeghzadeh, B., & Shalmani, M. M. (2022). Water deficit index to evaluate water stress status and drought tolerance of rainfed barley genotypes in cold semi-arid area of Iran. *Agricultural Water Management, 262*, 107395.

Gharechaei, N., Paknejad, F., Rad, A. H. S., Tohidloo, G., & Jabbari, H. (2019). Change in oil fatty acids composition of winter oilseed rape genotypes under drought stress and different temperature regimes. *Plant, Soil and Environment, 65*, 503-507.

Haghighi, T. M., & Saharkhiz, M. J. (2022). Mycorrhizal colonization and silicon nutrition mitigates drought stress in Licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) with morphophysiological and biochemical perspectives. *Industrial Crops and Products, 178*, 114650.

Hamedani, N. G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F., & Amiri, B. (2022). Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. *Agricultural Water Management, 266*, 107569.

Hegewald, H., Wensch-Dorendorf, M., Sieling, K., & Christen, O. (2018). Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. *European journal of agronomy, 101*, 63-77.

Heshmat, K., Asgari Lajayer, B., Shakiba, M. R., & 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 kholgh Sima, N., Akbari, G. A., & Shirani Rad, A. H. (2020). 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).

Karimzadeh Soureshjani, H. K., Nezami, A., Kafi, M., & Tadayon, M. (2019). Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. *Agricultural Water Management, 213*, 270-279.

Khazaei, M., Galavi, M., Dahmardeh, M., Moosavi Nik, S. M., Zamani, Gh., & Mahdinejad, N. (2018). Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Its Components in Several Genotypes and Cultivars of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.). *Iranian journal of field crops research, 16*, 113- 124. (In Persian).

Khodabin, G., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Rad, A. H. S., Modarres-Sanavy, S. A. M., Hashemi, S. M., & Bakhshandeh, E. (2021). Effect of Late-Season Drought Stress and Foliar Application of ZnSO 4 and MnSO 4 on the Yield and Some Oil Characteristics of Rapeseed Cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21*, 1904-1916.

Manvelian, J., Weisany, W., Tahir, N. A. R., Jabbari, H., & 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.

Moghadam, M. S. K., Rad, A. H. S., Khodabin, G., Jalilian, A., & Bakhshandeh, E. (2022). Application of silicon for improving some physiological characteristics, seed yield, and oil quality of rapeseed genotypes under late-season Drought Stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22*, 2872-2890.

Mohtashami, R., Dehnavi, M. M., Balouchi, H., & Faraji, H. (2020). Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. *Agricultural Water Management, 232*, 106046.

Rahimi-Moghaddam, S., Eyni-Nargeseh, H., Ahmadi, S. A. K., & 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., & Ewert, F. (2017). Climate and management interaction cause diverse crop phenology trends. *Agricultural and Forest Meteorology, 233*, 55-70.

Safavi Fard, N. S., Abad, H. H. S., Shirani Rad, A. S., Heravan, E. M., & Daneshian, J. (2018). Effect of drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. *Industrial Crops and Products, 114*, 87-92.

Seyyedi, S. M., Moghaddam, P. R., & Mahallati, M. N. (2016). Weed competition periods affect grain yield and nutrient uptake of black seed (*Nigella sativa* L.). *Horticultural Plant Journal, 2*, 172-180.

Xiao, D., Li Liu, D., Feng, P., Wang, B., Waters, C., Shen, Y., Qi., Y., Bai, Y., & 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., & 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., & 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.

Zhao, J., Xue, Q., Jessup, K. E., Hao, B., Hou, X., Marek, T. H., Xu, W., Ewert, R. S., O'Shaughnessyd, S. A., & Brauer, D. K. (2018). Yield and water use of drought-tolerant maize hybrids in a semiarid environment. *Field Crops Research, 216*, 1-9.

Zhu, J., Cai, D., Wang, J., Cao, J., Wen, Y., He, J., Zho, L., Wang, D., & Zhang, S. (2021). Physiological and anatomical changes in two rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress conditions. *Oil Crop Science, 6*, 97-104.