Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 1, 2025, P. 77-90

Effect of drought stress, organic manure and potassium on grain yield and quality and water productivity of rapeseed

Hamdollah Eskandari [a], Kamyar Kazemi [*a]

[a] Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
[*]Corresponding Author: kamyar.kazemi@pnu.ac.ir

Received: 31 March 2024 Accepted: 16 May 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.450569.1413**

How to cite this article:
Eskandari, H. and Kazemi, K., 2025. Effect of drought stress, organic manure and potassium on grain yield and quality and water productivity of rapeseed. *Crop Science Research in Arid Regions*, *7*(1), 77-90. https://doi.org/10.22034/csrar.2024.450569.1413

Abstract

Introduction: Oil production is very important in the economy of any country, because oil consumption in the world has an increasing pattern. . However, in Iran, there is only about 10% self-sufficiency in oil production, and to meet the needs, it is necessary to import this important food item. For this reason, in recent years, more attention has been paid to the cultivation of oilseeds. Water deficit stress in the stage of reproductive growth severely reduces the yield of rapeseed because the number of seeds and the weight of seeds decrease. In some areas of Khuzestan province, rapeseed is mainly cultivated as a suitable plant for crop diversification and creating plant diversity. On the other hand, periodic conditions in Khuzestan province cause this plant to be cultivated outside the recommended planting date. This issue causes the growth period of rapeseed to coincide with the growth of some other crops. In this situation, some irrigation turns are necessarily allocated to other plants (including wheat which is in the pollination stage and okra which is in the germination stage), which causes rapeseed to face water shortage stress, even in the Flowering is possible. Based on this, it is necessary to apply appropriate management methods to reduce the effects of drought stress on rapeseed during the flowering stage.Thus, the current research was aimed to evaluate the response of rapeseed to organic fertilizer (cow manure) and potassium, and the possible effect of these food sources on reducing the effects of drought stress in the flowering stage on the quantitative and qualitative yield of rapeseed.

Materials and Methods: In this study, which was carried out during 2022-23 growing season at Payame Noor University of Shadegan, the effect of cow manure and potassium on the yield of rapeseed and oil under different irrigation conditions was evaluated. The experiment was split split plot with three replications, in which irrigation (full irrigation and interruption of irrigation during the flowering stage) was applied in the main plot, cow manure (0.0, 15 and 30 t ha-1) in the sub plot and potassium fertilizer (0.0 , 75 and 150 kg/ha) were placed in the sub-sub plot. To evaluate the effect of treatments on rapeseed, grain yield and grain yield components (including number of spikelet per plant and number of seeds per spikelet, 1000-grain weight), harvest index, biological yield and water productivity were measured. The quality of the grain was also determined by measuring the amount of protein and oil of the grain.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Results and Discussion: Drought stress during the flowering stage decreased the number of spikelet per plant, the number of grain per spikelet and consequently the grain yield by 27.3%, 19.2% and 19.6% respectively. By water shortage at flowering stage, the protein percentage of rapeseed increased from 24.2 to 27.6 percent. With the consumption of 30 t ha^{-1} cow manure, the number of silique per plant, the number of grain per silique, and the grain yield increased by 27.4, 57.4, and 14.1 percent, respectively. In terms of grain quality, the use of cow manure improved the oil percentage and yield (10.4% and 24.2%, respectively), but the protein percentage of rapeseed decreased with the use of cow manure. Rapeseed grain quality increased in terms of oil percentage and oil yield in response to potassium consumption (4.3% and 25.8% for oil percentage and yield, respectively). Water productivity in drought stress conditions was about 39% higher than in full irrigation conditions. In any case, the highest water productivity was obtained by applying drought stress and using 30 t ha^{-1} of cow manure. Under full irrigation conditions, rapeseed had the lowest water productivity and the use of cow manure could not significantly improve water productivity in rapeseed.

Conclusion: Drought stress reduced components of grain yield, grain yield and grain quality (based on oil percentage) of rapeseed. The consumption of potassium and cow manure led to the improvement of the studied traits. The use of cow manure (at the rate of 30 tons per hectare) in drought stress conditions resulted in achieving the highest water productivity. Therefore, it is recommended to use 30 t ha^{-1} of cow manure and 150 kg ha^{-1} of potassium fertilizer to achieve the highest yield and quality of rapeseed in conditions of interruption of irrigation during the flowering stage.

Keywords: Grain oil, Grain production, Grain protein, Irrigation interruption, Water consumption

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، ص ۹۰-۷۷

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی، کود آلی و پتاسیم بر عملکرد کمّی و کیفی دانه و بهره‌وری آب کلزا

حمداله اسکندری[۱]، کامیار کاظمی*[۱]

۱- گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: kamyar.kazemi@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷ DOI: 10.22034/CSRAR.2024.450569.1413

چکیده

به منظور بررسی اثر کود آلی و پتاسیم بر عملکرد کمی و کیفی دانه و بهره‌وری آب کلزا در شرایط متفاوت آبیاری، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در دانشگاه پیام نور شادگان به اجرا گذاشته شد. آزمایش به صورت کرت دوبار خرد شده با سه تکرار اجرا گردید که در آن آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی) در کرت اصلی، کود گاوی (صفر، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار) در کرت فرعی و کود پتاسیم (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت فرعی فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه (۱۹/۶ درصد) شد. قطع آبیاری در مرحله گلدهی، درصد پروتئین دانه کلزا را از ۲۴/۲ به ۲۷/۶ درصد افزایش داد. با مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، عملکرد دانه ۱۴/۱ درصد افزایش یافت. مصرف کود گاوی باعث بهبود درصد و عملکرد روغن (به ترتیب ۱۰/۴ و ۲۴/۲ درصد) شد ولی درصد پروتئین دانه کلزا با مصرف ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی به ترتیب ۵/۵ و ۱۰/۵ درصد کاهش یافت. با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم، عملکرد دانه ۲۰/۵ درصد بهبود یافت. درصد و عملکرد روغن در واکنش به پتاسیم افزایش یافت (به ترتیب ۴/۳ و ۲۵/۸ درصد). بیشترین بهره‌وری آب با تنش خشکی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی به دست آمد. در شرایط آبیاری کامل، کلزا کمترین میزان بهره‌وری آب را داشت. استفاده از کود گاوی نیز نتوانست بهره‌وری آب را بهبود ببخشد اما مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم، بهره‌وری آب را ۲۲/۳ درصد بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، تولید دانه، روغن دانه، قطع آبیاری، مصرف آب

مقدمه

تولید روغن در اقتصاد هر کشور دارای اهمیت زیادی است، چرا که مصرف روغن در جهان دارای یک الگوی افزایشی است (Dossa *et al.*, 2017). با این حال، در ایران تنها حدود ۱۰ درصد خودکفایی در تولید روغن وجود دارد (Eskandari and Kazemi, 2024) و برای تامین نیازهای کشور، واردات این ماده غذایی مهم ضروری است. به همین دلیل در سال‌های اخیر، توجه بیشتری به کشت دانه‌های روغنی شده است. در این زمینه، کلزا بعد از سویا به عنوان دومین گیاه مهم برای تولید روغن معرفی شده است، چرا که دارای درصد مناسبی از روغن در دانه (بیش از ۴۰ درصد) است (Zali *et al.*,2020)، به برخی تنش‌های محیطی مقاوم است (Kaboosi *et al.*, 2019) و ترکیب مناسبی از اسیدهای چرب را داراست (Moradbeigi *et al.*, 2018). در این میان، استان خوزستان پتانسیل ویژه‌ای را برای افزایش تولید روغن در کشور ایجاد کرده است چرا که با تولید ۲۹۱ هزار تن کلزا، سهم ۳۸ درصدی از کل تولید کلزا در کشور (رتبه اول تولید) را به خود اختصاص داده است (Ashraf-Jahani, 2023).

تنش کمبود آب در مرحله رشد زایشی (گلدهی و تولید خورجین) به شدت عملکرد دانه کلزا را با افت مواجه می‌سازد چرا که در اثر کمبود آب، تعداد دانه و وزن دانه دچار کاهش می‌شود (Khani *et al.*, 2018). کمبود آب در مرحله گلدهی، درصد و عملکرد روغن کلزا را نیز با کاهش مواجه می‌سازد (Elferjani and Soolanayakanahally, 2018). در برخی مناطق استان خوزستان، کلزا عمدتاً به عنوان یک گیاه مناسب جهت تنوع زراعی و ایجاد تنوع گیاهی کشت می‌شود. از طرف دیگر، شرایط تناوبی در استان خوزستان باعث می‌شود که این گیاه معمولاً خارج از تاریخ کاشت توصیه شده کشت شود (Rahnama and Jafar Nezhadi, 2009). این موضوع سبب می‌شود دوره رشد کلزا با رشد برخی گیاهان زراعی دیگر مصادف باشد. در این شرایط، برخی نوبت‌های آبیاری الزاماً به گیاهان دیگر (از جمله گندم که در مرحله گرده‌افشانی و بامیه که در مرحله جوانه‌زنی است) اختصاص می‌یابد که باعث مواجه شدن کلزا با تنش کمبود آب، حتی در مرحله گلدهی، می‌شود.

بر این اســاس، اعمال روش‌های مدیریتی مناســب برای کاهش اثرات تنش خشکی بر کلزا در مرحله گلدهی ضروری است.

استفاده از سطوح مناسب پتاسیم می‌تواند باعث بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی در شــرایط تنش خشــکی شــود و در نهایت کارآیی مصرف آب را بهبود ببخشد. در این مورد در گیاه گندم مشــاهده شــد که هر چند کاربرد کود پتاســیم تاثیر معنی‌داری بر وزن دانه در شــرایط تنش خشــکی نداشــت ولی باعث افزایش تعداد پنجه بارور در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید شد که به واسطه‌ی آن، عملکرد دانه حدود ۲۹ درصد بهبود پیدا کرد (Noori and Talemin, 2022). در گیاه کینوا گزارش شــد که تنش خشــکی موجب افت میزان روغن دانه می‌شــود ولی کاربرد کود پتاســیم می‌تواند تا حدودی اثرات کمبود آب بر تولید روغن را کاهش دهد به طوری که درصــد روغن دانه در شــرایط اســتفاده از کود پتاســیم حدود ۴ درصد بهبود یافت (Mirtayebi *et al.*, 2022). در یک پژوهش دیگر در شهرستان ری، در گیاه سویا نتیجه گرفته شد که استفاده از کود پتاســیم می‌تواند باعث بهبود عملکرد دانه‌ی ســویا شــود (Irani *et al.*, 2018). در تحقیقی که در اقلیم سرد و خشک تبریز در گیاه دانه روغنی کلزا (ارقام اکاپی و لیکورد) انجام گرفت مشاهده شد که با افزایش فاصله آبیاری از ۸۰ به ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم توانست اثرات تنش خشکی بر تولید دانه را کاهش دهد به طوری که در این شــرایط، طول دوره پر شــدن دانه و تعداد خورجین در بوته ۲۸ و ۲۰ درصــد بهبود پیدا کردند (Yarnia and Pirouzkhah, 2014).

کودهای دامی از منابع مهم تغذیه‌ای در کشاورزی زیستی هستند چرا که علاوه بر تاثیرات مثبت بر خصوصیات فیزیکی و شــیمیایی خاک و همچنین عملکرد گیاهان زراعی، اثرات آن بر بوم‌نظام‌های زراعی حالت تخریبی ندارد. در منطقه کرج در یک مطالعه در سویا مشاهده شد که تنش خشکی ملایم و شدید (به ترتیب آبیاری پس از ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشــتک تبخیر) باعث کاهش عملکرد دانه به میزان ۲۲ و ۳۹ درصــد گردید. این در حالی بود که مصــرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی باعث شــد که کاهش عملکرد ناشــی از تنش خشــکی به طور میانگین به ۱۱ درصــد برسـد (Poormousavi *et al.*, 2009). در پژوهشی در گیاه نخود در منطقه شاهرود نیز اگر چه ملاحظه شــد که با قطع آبیاری در ۵۰ درصــد گلدهی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاهش پیدا می‌کند ولی کاربرد کود دامی (به عنوان اصلاح کننده‌ی خاک) باعث شد که اثرات تنش خشکی بر گیاه نخود کاهش پیدا کند (Norouzi, 2019). در یک مطالعه دیگر در اقلیم گرم و خشک (استان خوزستان) نیز گزارش شد که در مناطق با کمبود آب آبیاری و یا عدم بارندگی، می‌توان با مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی از اثرات تنش خشــکی در ابتدای مرحله گلدهی گندم، بر عملکرد دانه کاســت (Moshatati *et al.*, 2019). در یک اقلیم گرم و خشک (منطقه زابل) مشاهده گردید که مصــرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در شرایط تنش خشکی، باعث طولانی‌تر شدن طول دوره فتوسـنتز جاری بخصـوص در دوره پر شـدن دانه در گیاه کینوا می‌شــود (Yazdanpoor *et al.*, 2023). در کدو پوســت کاغذی در منطقه زابل نتیجه گرفته شــد که هر چند کاهش میزان مصــرف آب (تنش خشــکی) بر خصــوصــیات فیزیولوژیک گیاه تاثیر منفی دارد امامصرف کود دامی و پتاسیم تـا حـدودی از بروز اثرات تنش خشــکی جلوگیری می‌کنـد (Safavi *et al.*, 2017).

به دلیل وجود برخی شــرایط در اســتان خوزســتان (الگوی کاشــت در جهت افزایش تنوع زیســتی و همزمانی دوره رشــد گیاهان بـا هم) وقوع تنش خشــکی در دوره‌ی گلدهی کلزا محتمل است. در نتیجه، اعمال روش‌های مدیریتی مناسب برای کاهش اثرات تنش خشــکی بر کلزا در مرحله گلدهی ضــروری اسـت. بر این اسـاس، در پژوهش حاضـر کوشـش شـده اسـت تا ضـمن بررسـی پاسخ کلزا به کود آلی (کود گاوی) و پتاسـیم، اثر احتمـالی این منـابع غـذایی بر کـاهش اثرات تنش خشــکـی در مرحله‌ی گلدهی بر عملکرد کمّی و کیفی کلزا مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

یک آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشـگاه پیام نور شـهرسـتان شـادگان واقع در اسـتان خوزستان (عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیـایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شــرقی و ارتفاع ۱۰ متر از سـطح دریا) اجرا شـد. اقلیم منطقه از نوع گرم و خشـک بوده و متوســط دما و بارندگی ســالیانه آن به ترتیب ۲۸/۸ درجه

سانتی‌گراد و ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل و برخی خصوصیات اقلیمی منطقه محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه به ترتیب در جدول‌های ۱ و۲ درج شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of the experimental site

عمق	بافت	هدایت الکتریکی	pH	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن آلی
Depth (cm)	Texture	EC (ds m^{-1})		K (mg kg^{-1})	P_2O_5 (mg kg-1)	N (%)	Organic C (%)
0-60	Silt-loam	1.88	7.3	224	14.0	0.08	0.51

جدول ۲ - برخی خصوصیات اقلیمی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۴۰۲-۱۴۰۱

Table 2- Some climatic properties of the experimental site during 2022-23 growing season.

ماه	حداقل دمای ماهانه	حداکثر دمای ماهانه	رطوبت نسبی	میزان بارندگی
Month	Monthly minimum temperature (°C)	Monthly maximum temperature (°C)	Relative humidity (%)	Precipitation (mm)
مهرماه October	27	38	48	-
آبان November	23	31	23	6.2
آذر December	18	26.2	65	9
دی January	8.6	16.8	68.4	16.5
بهمن February	9.8	19.1	78.2	41
اسفند March	15.4	24.5	61.3	4
فرودین April	17.9	28.2	64.7	-
اردیبهشت April	22	37	53	-

آزمایش به صورت اسپلیت- اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل آبیاری در ۲ سطح (I_1: آبیاری معمول و I_2: قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی) در کرت اصلی، کود گاوی در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی پوسیده) در کرت فرعی و کود پتاسیم در ۳ سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان کرت فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. برخی خصوصیات کود گاوی استفاده شده در آزمایش در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- محتوای رطوبتی و عناصر غذایی در کود آلی (گاوی) مورد استفاده در آزمایش.

Table 3- Moisture content and nutrients of manure used in the experiment

رطوبت	مس	منگنز	آهن	روی	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	منیزیم
Moisture content	Cu	Mn	Fe	Zn	P_2O_5	K_2O	N	Mg
(%)	ppm				(%)			
21	21	320	7225	95	0.48	1.64	3.1	0.65

برای تهیه‌ی کرت‌ها، ابتدا زمین با استفاده از گاوآهن بشقابی شخم زده شد. در مرحله‌ی بعد، کود پایه اوره به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار اضافه و با استفاده از دیسک با خاک مخلوط شد. در مرحله بعد، در ادامه، اقدام به مشخص کردن

حدود کرت‌ها شد و سپس مقادیر کود آلی (کود گاوی) و کود پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) بر اساس تیمارهای آزمایشی به زمین اضافه گردید و به صورت دستی با خاک مخلوط شد. سپس، با استفاده از فاروئر، جوی و پشته‌ها تهیه شدند.

کشت در ۳۰ آبان انجام گرفت. هر کرت شامل شامل ۶ خط کاشت به طول ۴ متر بود. بذور کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۴ سانتی‌متر با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2014) به صورت ردیفی کشت شدند. همچنین فاصله بین کرت‌ها یک و نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و به صورت نشتی (نشت آب از جوی به سمت پشته) انجام شد. برای جلوگیری از خروج آب پس از آبیاری، انتهای کرت‌ها بسته شد. کاشت بذرها (بر اساس تاریخ مرتبط با تیمار) با تراکم بالا انجام گرفت تا از سبز شدن گیاهچه‌ها اطمینان حاصل شود. بعد از استقرار گیاهچه‌ها در مزرعه (مرحله‌ی چهار برگی)، کرت‌ها تا تراکم مطلوب (۸۰ بوته در هکتار) تنک شدند. در طول دوره‌ی رشد، علف‌های هرز به صورت وجین دستی کنترل شدند.

در هر مرحله آبیاری، حجم آب آبیاری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و برای محاسبه‌ی بهره‌وری آب، عملکرد (دانه و روغن) بر میزان آب مصرف شده (بر حسب متر مکعب در هکتار) تقسیم گردید (Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2019):

$$WP = [Y / Ig] \qquad (۱)$$

در این رابطه WP، بهره‌وری آب، Y عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و Ig مصرف آب (مترمکعب در هکتار) می‌باشد. ورود به مرحله گلدهی برای یک کرت، زمانی در نظر گرفته شد که حداقل ۶۰ درصد بوته‌های هر کرت وارد مرحله گلدهی شدند. در این مرحله، یک نوبت آبیاری قطع گردید. در مراحل بعدی رشد گیاه شامل دوره پر شدن دانه و رسیدگی، آبیاری به شکل معمول انجام گرفت.

در مرحله‌ی رسیدگی، بوته‌های هر کرت بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای برداشت شدند و عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن شامل تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن دانه و درصد پروتئین دانه محاسبه شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد روغن، ابتدا درصد روغن دانه از ۱۰۰ گرم دانه و با استفاده از روش استخراج از حلال و دستگاه سوکسله دستی (مدل SKU 3307) اندازه‌گیری شد (Joshi *et al.*, 1998) و سپس، از شاخص‌های درصد روغن و عملکرد دانه استفاده گردید. درصد پروتئین دانه نیز با استفاده از دستگاه کجلدال تعیین شد. بدین صورت که ابتدا میزان نیتروژن دانه تعیین گردید و برای محاسبه درصد پروتئین، درصد نیتروژن در عدد ۶/۲۵ ضرب گردید (Eskandari *et al.*, 2009).

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC آنالیز شدند. برای مقایسه‌ی میانگین‌ها، از آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد استفاده گردید. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی آبیاری بر صفات عملکرد بیولوژیک، درصد روغن دانه و عملکرد روغن اثر معنی‌داری نداشت اما سایر صفات را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۴).

اثر اصلی کود گاوی تنها در مورد عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نشد. همچنین درصد پروتئین تنها صفاتی بود که از اثر اصلی پتاسیم تاثیر نپذیرفت (جدول ۴). برهمکنش آبیاری× کودگاوی بر صفات وزن هزار دانه و شاخص برداشت (در سطح احتمال پنج درصد) و بهره‌وری آب (در سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار شد ولی بر سایر صفات، اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). سایر برهمکنش‌های دوگانه و سه‌گانه، شامل آبیاری× پتاسیم، کود گاوی× پتاسیم و آبیاری× کود گاوی× پتاسیم، اثر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده کلزا نداشتند (جدول ۴).

قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و به تبع آن عملکرد دانه شد به طوری که این صفات به ترتیب ۲۷/۳، ۱۹/۲ و ۱۹/۶ درصد کاهش پیدا کردند (شکل ۱).

اثر قطع آبیاری بر درصد پروتئین دانه کلزا مثبت بود به طوری که در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی، درصد پروتئین دانه کلزا از ۲۴/۲ به ۲۷/۶ درصد افزایش یافت (شکل ۱).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده کلزا در واکنش به آبیاری، کود گاوی و پتاسیم

Table 4- Analysis of variance of measured traits of rapeseed in response to irrigation, manure and potassium

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square									
		خورجین در بوته Silique per plant	دانه در خورجین Grain per silique	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد پروتئین Protein percentage	بهره‌وری آب WP
تکرار Replication	2	1023^{ns}	26.2^{ns}	0.571*	196675 ^{ns}	1571734^{ns}	8.10^{ns}	2.79^{ns}	49972^{ns}	5.15^{ns}	0.02^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	1	27880*	253**	5.80**	2869494*	8394568^{ns}	172*	74.2^{ns}	728945^{ns}	152*	0.421*
خطا Error	2	183	1.72	0.022	184204	690520	9.19	7.19	39708	3.19	0.015
کود گاوی Manure (M)	2	8192**	668**	4.70**	1306820**	4675909^{ns}	48.7**	89.3**	411816**	21.5*	0.109**
I × M	2	76.2^{ns}	6.5^{ns}	0.582*	246456^{ns}	2239746^{ns}	6.45*	0.551^{ns}	26716^{ns}	1.02^{ns}	0.049**
خطا Error	8	110	11.1	0.101	101113	688223	0.855	2.74	21150	2.96	0.003
پتاسیم Potassium (K)	2	2441**	192**	1.36**	707962**	2469130*	27.9*	14.1**	178502**	9.02^{ns}	0.053^{ns}
I × K	2	37.2^{ns}	1.5^{ns}	0.042^{ns}	24776^{ns}	3373^{ns}	7.58^{ns}	0.100^{ns}	1793^{ns}	0.004^{ns}	0.008^{ns}
M × K	4	19.7^{ns}	0.167^{ns}	0.012^{ns}	53295^{ns}	21798^{ns}	5.33^{ns}	0.219^{ns}	12107^{ns}	0.167^{ns}	0.003^{ns}
I × M × K	4	27.7^{ns}	2.0 ^{ns}	0.012^{ns}	2405^{ns}	82193^{ns}	1.83^{ns}	0.273^{ns}	137^{ns}	0.192^{ns}	0.001^{ns}
خطا Error	24	332	22.2	0.291	112835	584444	6.43	2.35	24944	2.76	0.009
ضریب تغییرات C.V (%)		12.8	19.9	14.7	15.9	11.3	8.14	3.80	18.2	6.42	17.7

^{ns}، *و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهد

ns, * and ** indicate non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کود گاوی بر برخی صفات مورد مطالعه در کلزا

Table 5- Mean comparison of the effect of manure on some traits of rapeseed

تیمار کود گاوی Manure treatment (t ha^{-1})	خورجین در بوته Silique per plant	دانه در خورجین Grain per silique	عملکرد دانه Grain yield (Kg ha^{-1})	روغن دانه grain oil (%)	عملکرد روغن Oil yield (Kg ha^{-1})	پروتئین دانه Grain protein (%)
0.0	146c	19.7c	2209b	39.4c	885b	25.6a
15	163b	26.7b	2231ab	41.4b	963ab	24.2ab
30	186a	31.0a	2520a	43.5a	1099a	22.9b

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد

Different letters in each columns indicates significant difference according to Tukey's test

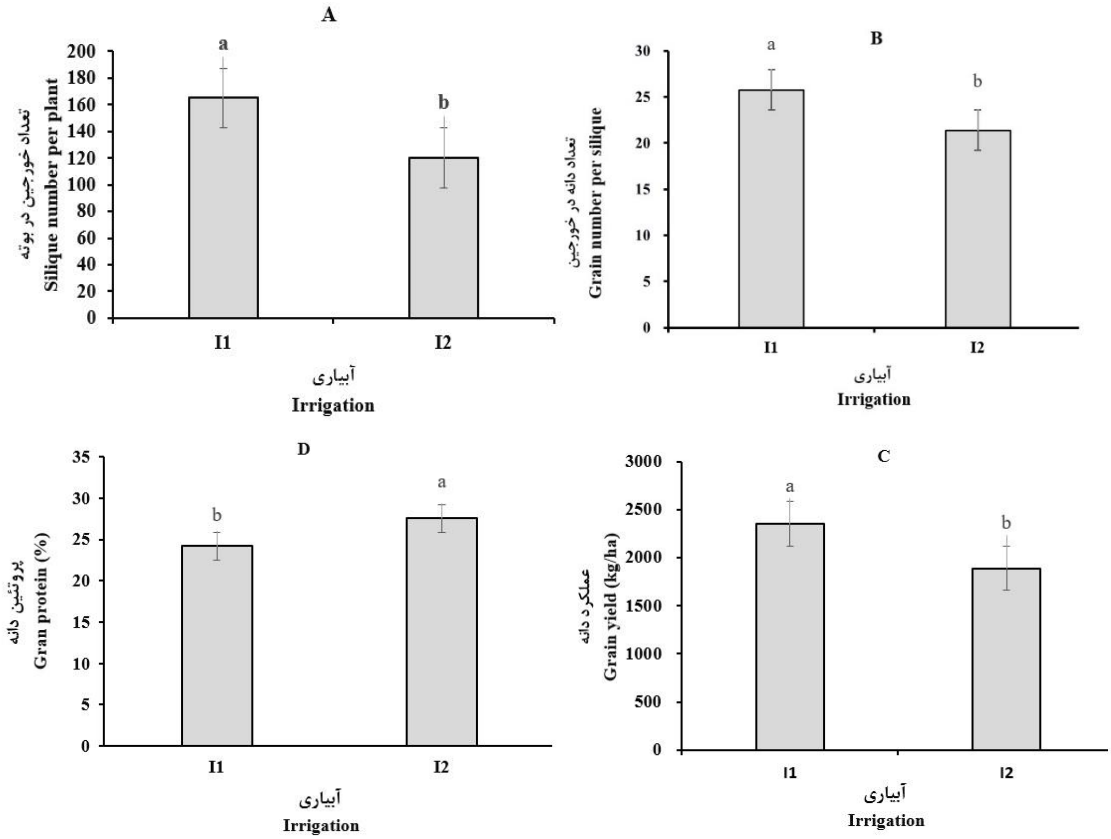
اثر کود گاوی بر عملکرد و برخی اجزای عملکرد دانه کلزا مثبت بود (جدول ۵). به طوری که با مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه به ترتیب ۲۷/۴، ۵۷/۴ و ۱۴/۱ درصد افزایش یافتند (جدول ۳). از نظر کیفیت دانه، مصرف کود گاوی باعث بهبود درصد و عملکرد روغن (به ترتیب ۱۰/۴ و ۲۴/۲ درصد) شد ولی درصد پروتئین دانه کلزا با مصرف کود گاوی کاهش یافت به طوری که با مصرف ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، درصد پروتئین دانه به ترتیب ۵/۵ و ۱۰/۵ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۵).

عملکرد دلنه، درصد و عملکرد روغن و همچنین بهره‌وری آب کلزا با مصرف پتاسیم بهبود یافتند (جدول ۶). نتایج نشان داد که با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و

عملکرد دانه به ترتیب ۱۷/۷، ۳۲/۲، ۱۶/۳ و ۲۰/۵ درصد بهبود یافتند. در این مورد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نیز با مصرف کود پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب ۱۱/۵ و ۸/۰۳ درصد افزایش یافتند (جدول ۶). کیفیت دانه کلزا از نظر درصد روغن و همچنین عملکرد روغن در واکنش به مصرف پتاسیم افزایش یافت (برای درصد و عملکرد روغن به ترتیب ۴/۳ و ۲۵/۸ درصد). نتایج این مطالعه نشان داد که بهره‌وری آب کلزا با مصرف کود پتاسیم بهبود پیدا می‌کند به طوری که با عدم مصرف پتاسیم، کلزا به ازای هر متر مکعب آب مصرفی، ۴۸۵ گرم، دانه تولید کرد ولی مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم، بهره‌وری آب را ۲۲/۳ درصد بهبود بخشید و باعث شد کلزا با مصرف هر متر مکعب آب، ۵۹۸ گرم دانه تولید کند (جدول ۶).

بیشترین وزن هزار دانه کلزا با مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی به دست آمد. در این تیمار کود آلی، اگر چه تنش خشکی باعث کاهش وزن هزار دانه شد ولی کاهش معنی‌دار نبود (شکل ۲). کمترین وزن هزار دانه در شرایط قطع آبیاری و عدم کاربرد کود گاوی به دست آمد که به معنی کاهش ۳۴ درصدی وزن دانه بود. به طور کلی مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی باعث افزایش ۳۲ درصدی وزن دانه شد (شکل ۲).

با قطع آبیاری و عدم مصرف کود گاوی، شاخص برداشت روند کاهشی پیدا کرد به طوری که بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۳/۹ درصد) با مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی و آبیاری کامل به دست آمد، این در حالی است که اعمال تنش خشکی و عدم مصرف کود گاوی باعث شد که کمترین میزان شاخص برداشت (۲۷/۲ درصد) به دست آید که به معنی کاهش حدود ۲۰ درصدی شاخص برداشت بود (شکل ۳).



شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه کلزا در واکنش به قطع آبیاری در مرحله گلدهی

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

Figure 1- Mean comparison of silique number per plant, grain number per silique, grain yield and the percentage of grain protein of rapeseed in response to irrigation interruption during flowering

Different letters in each shape indicates significant difference according to Tukey's test

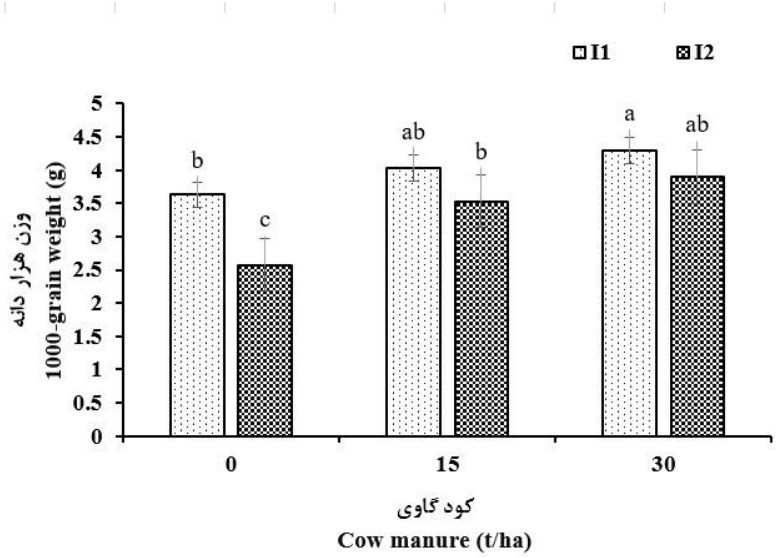
جدول ۶- مقایسه میانگین اثر کود پتاسیم بر برخی صفات مورد مطالعه در کلزا

Table 6- Mean comparison of the effect of potassium on some traits of rapeseed

تیمار پتاسیم Potassium treatment (kg ha^{-1})	خورجین در بوته Silique per plant	دانه در خورجین Grain per silique	وزن هزار دانه 1000-grain weigh(g)	عملکرد دانه Grain yield (Kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت harvest index (%)	روغن دانه grain oil (%)	عملکرد روغن Oil yield (Kg ha^{-1})	پروتئین دانه Grain protein (%)
0.0	130b	20.2b	3.38b	1932b	6415a	29.9b	39.5b	770b	480b
75	144ab	24.0ab	3.67ab	2099ab	6722ab	31.3ab	40.2ab	860ab	538ab
150	153a	26.6a	3.93a	2327a	7153a	32.3a	41.2a	969a	598a

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد

Different letters in each columns indicates significant difference according to Tukey's test



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش آبیاری و کود گاوی بر وزن هزار دانه (گرم) کلزا

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد

Figure 2- Mean comparison for the interaction of irrigation × manure on 1000-grain weight (g) of rapeseed

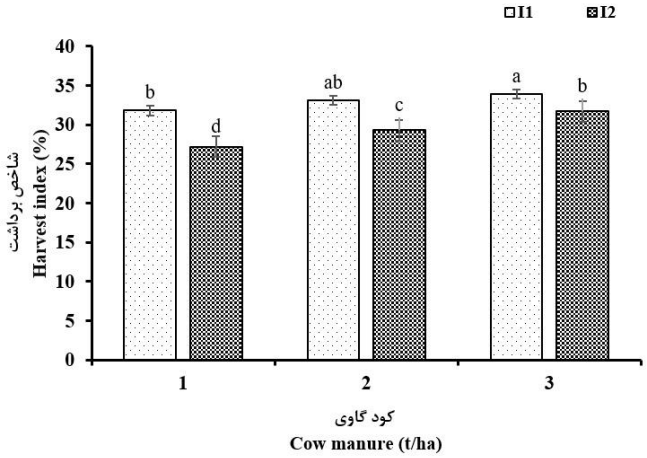
Different letters in each columns indicates significant difference according to Tukey's test

عمال تنش خشکی باعث شد که بهره‌وری آب در کلزا افزایش پیدا کند، به طوری که بهره‌وری آب (گرم دانه تولید شده به ازای مصرف هر متر مکعب آب) در شرایط تنش خشکی حدود ۳۹ درصد بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود (شکل ۳). در هر حال، بیشترین بهره‌وری آب با اعمال تنش خشکی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی به دست آمد. در شرایط آبیاری کامل، کلزا کمترین میزان بهره‌وری آب را داشت و استفاده از کود گاوی نیز نتوانست به طوری معنی‌داری میزان بهره‌وری آب در کلزا را بهبود ببخشد (شکل ۴).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کلزا، به تنش کمبود آب حساسیت دارد به طوری که قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه آن می‌شود (شکل ۱).

همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد دانه کلزا تحت تاثیر هر جزء عملکرد دانه یعنی تعداد دانه در بوته (تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته) و وزن دانه است چرا که قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی، هر دو جزء عملکرد دانه را کاهش داد (شکل ۱ و ۲). با این حال، یافته‌های این آزمایش نشان داد که با مصرف کود گاوی می‌توان اثرات منفی تنش کمبود آب بر وزن دانه‌ی کلزا را کاهش داد چرا که در مصرف مقادیر ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی از نظر وزن دانه وجود نداشت (شکل ۲). از طرف دیگر، این پژوهش نشان داد که تعداد دانه در بوته در مقایسه با وزن دانه به کمبود آب حساسیت بیشتری دارد چرا که با قطع آبیاری در مرحله‌ی

گلدهی تعداد دانه در بوته ۳۹/۶ درصد کاهش یافت ولی وزن دانه با کاهش ۲۹/۲ درصدی مواجه شد. در این مورد، نتایج مشابهی در گیاه دانه روغنی کنجد گزارش شد که در آن عملکرد دانه با اعمال تنش خشکی (از طریق قرار دادن ۵۰ درصد نیاز آبی در اختیار گیاه) تا ۵۸ درصد کاهش یافت و این کاهش به دلیل تاثیر کمبود آب هم بر تعداد و هم بر وزن دانه بود (Asadi *et al.*, 2021).

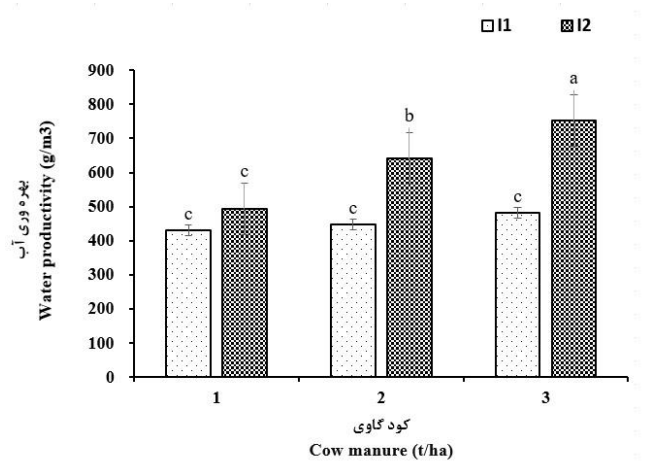


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهمکنش آبیاری و کود گاوی بر شاخص برداشت (درصد) کلزا

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد

Figure 3- Mean comparison for the interaction of irrigation × manure on harvest index (%) of rapeseed

Different letters in each columns indicates significant difference according to Tukey's test



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر برهمکنش آبیاری و کود گاوی بر بهره‌وری آب (گرم بر متر مکعب) کلزا

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد

Figure 4- Mean comparison for the interaction of irrigation × manure on water productivity (g m^{-3}) of rapeseed

Different letters in each columns indicates significant difference according to Tukey's test

در ارقام نپتون و اوکاپی کلزا نیز نتیجه گرفته شد که تنش خشکی در مرحله گلدهی با کاهش تعداد گل‌هایی که به خورجین تبدیل می‌شود عملکرد دانه را با افت مواجه می‌کند (Moradbeigi *et al.*, 2018) که با یافته‌های تحقیق حاضر هماهنگی دارد. این موضوع در کاهش شاخص برداشت تحت تاثیر قطع آبیاری نمود پیداکرد (جدول ۳ و شکل ۳) به طوری که با اعمال تنش خشکی بر کلزا، شاخص برداشت ۳/۵۳ درصد کاهش یافت. شاخص برداشت، صفتی است که تحت تاثیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک قرار دارد. به نظر می‌رسد در این تحقیق، شاخص برداشت کلزا بیشتر تحت تاثیر عملکرد دانه

قرار داشت. چرا که کلزا یک گیاه رشد نامحدود است و تولید شاخه‌های فرعی توسط آن در تمام طول دوره رشد می‌تواند ادامه داشته باشد (Jabbari *et al.*, 2020). به همین دلیل، عملکرد بیولوژیک کلزا از تنش خشکی متاثر نشد (جدول ۳) و کاهش شاخص برداشت را می‌توان به کاهش تولید دانه مرتبط دانست. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات دیگر مبنی بر اینکه اگر تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی بیشتر از عملکرد دانه باشد، در این صورت با وقوع تنش خشکی، شاخص برداشت افزایش پیدا می‌کند؛ اما اگر تنش خشکی بر عملکرد دانه تأثیر بیشتری داشته باشد، این حالت به کاهش شاخص برداشت منجر می‌شود (Eskandari and Kazemi, 2019) مطابقت دارد.

کمبود آب، تنشی است که عملکرد گیاهان زراعی را به دو طریق دچار کاهش می‌کند، اول تغییر در روابط آبی و کاهش پتانسیل آبی سلول‌های گیاه و دوم کاهش دسترسی گیاه به سایر منابع محیطی به ویژه عناصر غذایی (Eskandari and Kazemi, 2019). به عبارت دیگر، وقتی گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود، دسترسی آن به مواد غذایی نیز محدود می‌شود که اثر آن بر تولید دانه مشخص است. استفاده از کود گاوی که عناصر غذایی را در یک محدوده‌ی زمانی طولانی مدت در اختیار گیاه قرار می‌دهد باعث می‌شود اثر کمبود آب بر گیاه تا حدودی جبران شود (Varavipour, 2007). پتاسیم نیز عنصری است که از طریق تنظیم فشار اسمزی و باز و بسته شدن روزنه‌ها، نقش مهمی در تعادل آبی گیاه ایفا می‌کند. این عنصر غذایی علاوه بر اینکه باعث بهبود رشد و کیفیت محصول گیاهان زراعی می‌شود، در افزایش تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی- از جمله تنش خشکی- نقش مهمی دارد (Haidari and Asgharipour, 2012). این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد چرا که مصرف پتاسیم باعث بهبود عملکرد دانه و روغن کلزا گردید (جدول ۶). گزارش شده است که مصرف همزمان کود دامی و پتاسیم باعث توانمندی بیشتر گیاه برای جذب آب و عناصر غذایی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه می‌شود چرا که در این شرایط طول دوره پر شدن دانه بیشتر شده و گیاه فرصت بیشتری برای پر کردن دانه در اختیار دارد (Yazdanpoor *et al.*, 2023). همچنین اشاره شده است که پتاسیم تداوم و بقای برگ روی پایه مادری در طول دوره زایشی را افزایش می‌دهد در نتیجه مواد فتوسنتزی در اختیار تعداد بیشتری دانه قرار می‌گیرد که به افزایش عملکرد دانه منجر می‌شود (Feli *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد چنین شرایطی در مطالعه حاضر نیز وجود داشته است چرا که مصرف کود دامی پتاسیم عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش خشکی را بهبود بخشید.

وقتی به ازای هر واحد آب مصرفی، تولید بیشتری به دست آید، بهره‌وری آب نیز بیشتر خواهد بود. در واقع، بهره‌وری آب نشان می‌دهد که گیاه در تولید محصول و مصرف آب چگونه عمل کرده است (Hatfield and Dold, 2019). برخی محققین نشان دادند که کاهش مصرف آب برای تولید محصول، با افزایش بهره‌وری آب همراه است. برای مثال، در ذرت دانه‌ای گزارش شد که کاهش مصرف آب به میزان ۳۳ درصد، باعث افزایش بهره‌وری آب به میزان ۶۲ درصد می‌شود (Abbasi *et al.*, 2022) که با نتایج تحقیق حاضر هماهنگی دارد؛ چرا که در تحقیق حاضر اگر چه در شرایط قطع آبیاری عملکرد دانه از ۲۳۵۰ به ۱۸۸۹ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا کرد ولی مصرف آب نیز از ۵۱۸۷ به ۳۰۰۳ متر مکعب در هکتار رسید که به افزایش بهره‌وری آب منجر گردید. همچنین در این پژوهش، مصرف کود گاوی باعث افزایش بهره‌وری آب گردید به طوری که در صورت عدم مصرف کود گاوی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری از نظر بهره‌وری آب وجود نداشت (شکل ۴) در حالی که مصرف ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی باعث بهبود معنی‌دار بهره‌وری آب شد (شکل ۴). پتاسیم، یک عنصر غذایی است که نقش مهمی در کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها بر عهده دارد و از این طریق، عملکرد دانه و بهره‌وری آب را متاثر می‌سازد (Kuchak Dezfuli *et al.*, 2019). به عبارتی، می‌توان نتیجه گرفت که کود گاوی از طریق تاثیر بر عملکرد دانه و عنصر پتاسیم از طریق تاثیر بر عملکرد دانه و باز و بسته شدن روزنه‌ها (و در نتیجه کاهش تلفات آب) بر بهبود بهره‌وری آب کلزا تاثیر داشتند. در نهایت می‌توان عنوان کرد که مدیریت آب از طریق تغییر در کمیت آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه سبب به حداقل رسیدن تلفات آب و افزایش بهره‌وری آب می‌شود (Balazadeh *et al.*, 2022) به طوری که در شرایط تنش کم‌آبی، کلزا با بستن روزنه‌ها (به طور عمده از طریق تاثیر عنصر پتاسیم) باعث کاهش تعرق و تلفات آب شده که به

افزایش کارآیی مصرف آب منجر می‌شود. در سورگوم علوفه‌ای نیز بهبود بهره‌وری آب در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Darvishi Aghajani *et al.*, 2021) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی، اجزای عملکرد دانه، عملکرد دانه و کیفیت دانه (بر اساس درصد روغن) کلزا را کاهش داد. مصرف پتاسیم و کود گاوی منجر به بهبود صفات مورد بررسی شد. مصرف کود گاوی (به میزان ۳۰ تن در هکتار) در شرایط تنش خشکی، باعث دستیابی به بالاترین بهره‌وری آب گردید. لذا کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود گاوی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیمی برای دست یابی به بالاترین عملکرد و کیفیت دانه کلزا در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی قابل توصیه است.

References

Abbasi, N., Rafiee, A. and Hajinia, S., 2023. Investigation of growth, yield and water use efficiency of different grain corn cultivars under furrow and drip irrigation methods (type). *Crop Physiology Journal*, *14*(56), pp.101-116. [In Persian].

Asadi, H., Baradaran, R., Seghatoleslami, M.J. and Mousavi, S.G., 2021. Evaluation of drought tolerance in some sesame genotypes based on stress tolerance indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*(18), pp.413-433. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.88165

Ashraf-Jahani, M.S., 2023. *Agricultural statistics of crops*. Ministry of Agriculture Jahad. [In Persian].

Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F. and Mohammadi Torkashvand, A., 2023. Effect of different irrigation regimes on the production of forage, protein, energy, and water use efficiency in the Berseem clover cultivars. *Crop Physiology Journal*, *14*(56), pp.5-23. [In Persian].

Darvishi Aghajani, S., Noor Mohammadi, G., Alavi Fazel, M., Ardakani, M.R. and Sarajughi, M., 2021. Investigation of the Role of Biochar and Change of Cultivation Pattern in Alternate Irrigation Conditions on Morphological Traits, Dry Forage Yield and Water Use Efficiency of Forage Sorghum. *Crop Physiology Journal*, *13*(51), pp.135-157. [In Persian].

Dossa, K., Li, D., Wang, L., Zheng, X., Liu, A., Yu, J., Wei, X., Zhou, R., Fonceka, D., Diouf, D., Liao, B., Cissé, N. and Zhang, X., 2017. Transcriptomic, biochemical and physio-anatomical investigations shed more light on responses to drought stress in two contrasting sesame genotypes. *Scientific Reports*, *7*, 8755. https://doi.org/10.1038/s41598-017-09397-6

Elferjani, R. and Soolanayakanahally, R., 2018. Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. *Frontier in Plant Science*, *9*, pp.12-24. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01224

Eskandari, H. and Alizadeh-Amraie, A., 2019. Effect of planting pattern and alternate furrow irrigation on productivity of water and land under wheat and Persian clover intercropping. *Journal of Water Research in Agriculture*, *2*(32), pp.179-186. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/jwra.2018.116952

Eskandari, H. and Kazemi, K., 2019. Evaluation of irrigation levels and soil fertility management on seed and oil yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(1), pp.111-122. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1254.1256

Eskandari, H. and Kazemi, K., 2024. Evaluation of rapeseed production and water use efficiency in irrigation regimes and vermicompost levels in different planting dates. *Iranian Journal of Field Crops Research, 22*(1), pp.103-120. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/JCESC.2023.83981.1263

Eskandari, H., Zehtab-Salmasi, S., Ghasemi-Golezani, K. and Gharineh, M.H., 2009. Effects of water limitation on grain and oil yields of sesame cultivars. *Journal of Food, Agriculture & Environment, 7*(2), pp.339-342.

Feli, A., Maleki Farahani, S. and Besharati, H., 2018. The impact of chemical urea fertilizer and different organic and biofertilizers on both quantitative and qualitative yield and some soil properties in cultivation of saffron. *Crop Improvement, 20*, pp.345-356. [In Persian].

Haidari, M. and Asgharipour, M.R., 2012. Effect of different levels of potassium sulfate and drought stress on yield and yield attributes of grain sorghum (*Sorghum bicolor*). *Iranian Journal of Field Crops Research, 10*(2), pp.374-381. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/GSC.V10I2.16244

Hatfield, J.L. and Dold, C., 2019. Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. *Frontiers in Plant Science, 10*, pp.1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103

Irani, A., Sadeghi pour, A. and Rashidi Asl A., 2018. Evaluation of the effect of potassium fertilizer on yield and yield components on soybean under drought stress. *Journal of Applied Researches in Technical and Engineering, 12*(2), pp.275-286. [In Persian].

Jabbari, H., Khosh Kholgh Sima, N.A., Akbari, G.A. and 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*(1), pp.143-156. [In Persian]. https://doi.org/10.47176/jcpp.10.1.33261

Joshi, N.L., Mali, P.C. and Sexena, A., 1998. Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.). Oil. *Journal of Agronomy & Crop Science, 180*, pp.59-63. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00370.x

Kaboosi, K., Nodehi, A. and Shamiati, M., 2019. The effects of salinity stress and organic fertilizer on yield, oil and water use efficiency of different cultivars of canola. *Water Resources Engineering*, *11*(39), pp.87-100. [In Persian].

Kalantar Ahmadi, S.A., Ebadi, A., Siadat, S.A. and Tavakoli Hasanaklou, H., 2014. Effect of heat stress due to sowing date on grain yield of rapeseed cultivars in north Khuzestan conditions in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences, 16*(1), pp.62-76. [In Persian].

Khani, R., Sadeghi Bakhtvari, A.R., Pasban Eslam, B. and Sarabi, V., 2018. Effects of drought stress on canola (*Brassica napus* L.) genotypes yield and yield Components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(4), pp.914-924. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/GSC.V15I4.58356

Kuchak Dezfuli, M., Shokuhfar, A., Lack, S., Alavifazel, M. and Mojaddam, M., 2019. The effect of potassium and zinc spraying time on grain yield, morpho-physiological characteristics and the amount of elements in corn leaf under deficit irrigation conditions. *Crop Physiology Journal, 11*(44), pp.91–111. [In Persian].

Mirtayebi, M., Bostani, A., Diyanat, M. and Azadi, A., 2022. Effect of drought stress, bio fertilizer and potassium nano fertilizer on leaf area index, 1000-seed weight, harvest index and quality of quinua (*Chenopodium quinoa*

Willd) seed. *Journal of Crop Production and Processing*, *12*(1), pp.133-150. [In Persian]. https://doi.org/10.47176/jcpp.12.1.36821

Moradbeigi, L., Gholami, A., Shirani Rad, A.H., Abbasdokht, H. and Asghari, H.R., 2018. Effect of drought stress and delay cultivation on grain yield, oil yield and fatty acids composition in canola. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *2*, pp.135–151. [In Persian].

Moshatati, A., Khodaie Joghan, A., Siadat, S.A., Mousavi, S.H. and Rezaie, M., 2020. The effect of cattle manure and zeolite on bread wheat yield under drought stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(4), pp.1179-1188. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2019.2124.1527

Noori, S.M. and Taliman, N.A., 2022. Effect of drought stress and chemical fertilizers on wheat productivity and grain quality. *Plant Production and Genetics*, *3*(1), pp.43-56. [In Persian]. https://doi.org/10.34785/J020.2022.800

Norouzi, A., 2019. *Effect of zeolite and manure on chickpea yield under deficit irrigation* (MSc thesis). Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology. [In Persian].

Poormousavi, S.M., Galavi, M., Daneshian, J., Ghanbari, A., Basirani, N. and Jonoobi, P., 2009. Effect of animal manure application on quantitative and qualitative yield of soybean in drought stress condition. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *40*(1), pp.160–173. [In Persian].

Rahnama, A.A. and Jafar Nezhadi, A.R., 2009. Determination of optimum nitrogen levels in different planting dates of canola in Khuzestan. *Plant Production*, *1*(1), pp.53-63. [In Persian].

Safavi, F., Galavi, M., Ramroodi, M. and Asghari poorchaman, M.R., 2017. The effect of superabsorbent polymer, animal manure and potassium on some physiological and morphological characteristics of paper skin pumpkin under drought stress conditions. *Shabak*, *9*, pp.1-8. [In Persian].

Varavipour, M., 2011. *Generals of Soil Science*. Payame Noor University. [In Persian].

Yarnia, M. and Pirouzkhah, S., 2014. Effect of potassium levels on drought tolerance in rapeseed. *Crop Improvement Sciences*, *2*(3), pp.31-34. [In Persian].

Yazdanpoor, A., Soluki, M., Dahmardeh, M. and Khammari, I., 2023. Investigating the combined effect of organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(4), pp.1052–1072. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2021.4231.1991

Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O. and Asghari, A., 2020. Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *3*(13), pp.735-747. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2205.1552