Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Effect of supplemental Irrigation on Yield, Yield Components and Water Use Efficiency of Two Canola Cultivars (*Brassica napus* L.)

Raham Mohtashami[1]✉, Nosratolla Hidarpour[2]

1. Corresponding Author, Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Kohgiluyeh and Boyerahmad, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yasooj, Iran. Email: rahammohtashami01@gmail.com
2. Dryland Agricultural Research Institute, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Kohgiluyeh and Boyerahmad, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran.Email: nh1349@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 16, 2021

Revised: Sep. 13, 2022

Accepted: Sep. 14, 2022

Published online: Oct. 23, 2022

Keywords:
Dryland,
Flowering,
Grain Filling,
Oil Yield.

ABSTRACT

Supplemental irrigation is considered as a beneficial economic mechanism in the situation of water constraint and increase water use efficiency of canola. The aim of this study was to evaluate the effect of supplemental irrigation on yield, yield components and water use efficiency. This research was carried out at split plots in a randomized complete block design with three replications at Gachsaran Agricultural Research Station in 2017-18 and 2018-19. Irrigation regimes applied in four levels (without irrigation (I1), supplemental irrigation at flowering stage (I2), supplemental irrigation at grain filling stage (I3), supplemental irrigation at flowering stage + grain filling (I4)) in main plot, Hyola and Shirali cultivars were sown in the subplot. The studied traits including number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000 seed weight, biological yield, grain yield, harvest index and water use efficiency. Results of ANOVA showed that the number of pods per plant increased from 88 in rainfed conditions to 120 with two supplemental irrigations, which increased by 36%. The supplemental irrigation increased the harvest index from 24.1 to 27.9 percent, which was an increase of 12.4 percent. Increasing the frequency of supplemental irrigation increased the grain yield and biological yield, so that the two supplemental irrigations increased the average grain yield from 782 in rainfed conditions to 2378 and increased biological yield from 3228 to 8350 kg ha^{-1}. The highest water use efficiency (0.73 kg m^3) was obtained from treatment I4 and the lowest (0.39 kg m^3) was obtained from treatment I1. Overall, the results showed that supplemental irrigation increased grain yield, oil yield, harvest index and water use efficiency 83, 12, 7, and 23 percent, respectively. In case of canola cultivation in rainfed conditions, high yield can be achieved by supplemental irrigation in two stages of flowering and grain filling.

Cite this article: Mohtashami, R., & Haidarpour, N. (2022). Effect of supplemental Irrigation on Yield, Yield Components and Water Use Efficiency of Two Canola Cultivars (Brassica napus L.). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1773-1784.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.344590.669296

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۸ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب دو رقم کلزا

رهام محتشمی[1]✉، نصرت‌الله حیدرپور[2]
۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران. ایمیل: rahammohtashami01@gmail.com
۲. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران، ایمیل: nh1349@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۸/۱

واژه‌های کلیدی:
پرشدن دانه،
دیم،
گلدهی،
عملکرد روغن.

چکیده

آبیاری تکمیلی به‌عنوان یک ساز وکار سودمند اقتصادی در وضعیت محدودیت آب و افزایش کارایی مصرف آب، مطرح است. این پژوهش با هدف تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکـــرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کلزا، به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران در دو سال ۹۶- ۱۳۹۵ و ۹۷- ۱۳۹۶ اجراء شد. رژیم‌های آبیاری در چهار سطح (بدون آبیاری (I1)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I2)، آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه (I3)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی + پرشدن دانه (I4)،) در کرت اصلی، ارقام هایولا و شیرالی در کرت‌های فرعی اعمال شد. صفات مورد بررسی شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت عملکرد روغن و کارایی مصرف آب بودند. نتایج تجزیه آماری (ANOVA) نشان داد با آبیاری تکمیلی تعداد غلاف در بوته از ۸۸ در شرایط دیم به ۱۲۰ با دو بار آبیاری تکمیلی رسید که معادل۳۶ درصد افزایش داشت. آبیاری تکمیلی شاخص برداشت را از ۲۴/۱ به ۲۷/۹درصد افزایش داد که معادل ۱۲/۴ درصد افزایش بود. با آبیاری تکمیلی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش یافت به‌طوری که میانگین عملکرد دانه از ۷۸۲ در شرایط دیم به ۲۳۷۸ با دو بار آبیاری تکمیلی و عملکرد بیولوژیک از ۳۲۲۸ به ۸۳۵۰ کیلوگرم در هکتار رسید. بالاترین کارایی مصرف آب (۰/۷۳ کیلوگرم در متر مکعب) از تیمار I4 و کم‌ترین آن (۰/۳۹ کیلوگرم در متر مکعب) از تیمار I1، به‌دست آمد. در مجموع نتایج نشان داد آبیاری تکمیلی عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد روغن و کارایی مصرف آب را به‌ترتیب ۸۳، ۱۲، ۷ و ۲۳ درصد افزایش داد. در صورت کشت کلزا در شرایط دیم با انجام آبیاری تکمیلی در دو مرحله گلدهی و پرشدن دانه می‌توان به عملکرد بالایی دست یافت.

استناد: محتشمی، رهام؛ حیدرپور، نصرت‌الله. (۱۴۰۱). تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب دو رقم کلزا. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۸)، ۱۷۸۴- ۱۷۷۳.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.344590.669296
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

در بین دانه‌های روغنی، کلزا (*Brassica napus* L.) دومین منبع مهم تولید روغن خوراکی بعد از سویا است. سطح زیر کشت کلزا در دنیا ۳۷۱۶۷۴۰۶ هکتار، عملکرد آن ۲/۱۰۳ تن در هکتار و کل تولید آن ۷۸۱۶۳۰۵۵ میلیون تن بود. در سال ۱۳۹۸ سطح زیر کشت کلزا در ایران، ۷۷ هزار هکتار و کل تولید آن به ۱۳۹ هزار تن رسید (FAO, 2021). کلزا نسبت به سایر دانه‌های روغنی در دامنه وسیع‌تری از شرایط اقلیمی قابلیت کشت و تولید محصول دارد. با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد روغن خوارکی کشور وارداتی است و هزینه هنگفتی را می‌طلبد. بنابراین کشت و توسعه دانه‌های روغنی به ویژه کلزا به‌منظور تامین قسمتی از روغن خواراکی ضرورت می‌یابد. از طرفی تغییر شرایط آب و هوایی در چند دهه اخیر منجر به کاهش میزان بارندگی و تغییر در توزیع آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است. بنابراین با توجه به تغییر الگوهای بروز خشکی، تغییر در راهکارهای مناسب برای کاهش اختلاف عملکرد واقعی و پتانسیل گیاهان زراعی در این مناطق ضروری است. آبیاری تکمیلی یکی از روش‌های مؤثر در جبران کمبود رطوبت خاک و بالا بردن کارایی مصرف آب و جلوگیری از نوسان عملکرد و دستیابی به تولید پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. نظر به اینکه کلزا در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌صورت پائیزه کشت می‌شود و قسمت عمده‌ای از دوره رشد آن مصادف با بارش‌ها است، لذا با اعمال آبیاری تکمیل می‌توان به عملکرد مناسب و نزدیک به شرایط آبی دست یافت.

تنش خشکی یا کم‌آبی خطری بزرگ برای تولید موفقیت آمیز محصولات زراعی در سرتاسر جهان است. خشکی مهم‌ترین عامل غیر زنده محدود کننده رشد و نمو گیاهان است و تخمین زده می‌شود که ۷۰ درصد کاهش تولید محصولات کشاورزی در دنیا را سبب شود (Wu *et al.*, 2017). میزان خسارت ناشی از تنش آبی به‌شدت، مدت تنش، گونه و تیپ رشد، مرحله رشد گیاه و زمان مواجهه گیاه با تنش آبی بستگی دارد (Fahad *et al.*, 2017).

کاهش بارندگی و تغییر الگوی بارش منجر به خشک سالی‌های مکرر در جهان گردیده است (Lobell *et al.*, 2011). و از طریق تأثیر منفی بر رشد گیاه، کاهش عملکرد گیاهان زراعی را به همراه داشته است (Barnabas *et al.*, 2008) در چنین شرایطی می‌بایست به راه‌کارهای مدیریت کارآمد بهره‌برداری از آب روی آورد که از جمله آن‌ها آبیاری تکمیلی است. منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها و افزایش و ثبات عملکرد دانه تأمین شود (Oweis & Hachum, 2006).

کارایی مصرف آب (مقدار ماده خشک تولید شده به ازای هر واحد آب مصرف شده) یکی از خصوصیات مهم در تولید گیاهان در شرایط کم آبی می‌باشد (Katerji *et al.*, 2008). در همین رابطه Oweis & Hachum (2006) در بررسی اثر آبیاری تکمیلی در مناطق دیم، گزارش دادند آبیاری تکمیلی منجر به افزایش رشد و نمو و عملکرد گیاه شده و کارایی مصرف آب را افزایش داد. اما نتایج تحقیقات در بعضی گیاهان نشان می‌دهد که با کاهش آب مصرفی، میزان کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Hao *et al.*, 2014).

در پژوهش‌های متعددی تأثیر مثبت آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گیاهان زراعی گزارش شده است. اعمال آبیاری تکمیلی، در مراحل گلدهی و پرشدن دانه کلزا، وزن هزار دانه، بیوماس، عملکرد دانه، شاخص برداشت (Mohtashami *et al.*, 2020; Dogan *et al.*, 2011; Gu *et al.*, 2017). کارایی مصرف آب، ماده خشک و محتوی روغن دانه را افزایش داد (Gu *et al.*, 2017). در کلزا، کم‌آبی سبب کاهش اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه می‌شود. در این ارتباط، کلزا حساسیت زیادی به کم‌آبی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه دارد (Dogan *et al.*, 2011). Pavlista *et al.*, (2016) گزارش کردند که کلزای رقم هایولا ۳۵۷ برای حداکثر عملکرد زیستی به ۱۸۰ میلی‌متر مصرف آب (از طریق بارندگی یا آبیاری) نیاز دارد، و بیشترین عملکرد دانه با مصرف ۴۳۰ میلی‌متر آب بدست آمد که ۲۷۳ میلی‌متر آن از طرق بارش تأمین گردید. کاهش مقدار آب در مرحله گلدهی کلزا موجب کاهش تعداد غلاف در بوته شد، در گیاه کلزا تأمین آب در مراحل گلدهی و رشد و توسعه غلاف‌ها سبب افزایش تعداد دانه در غلاف و در نتیجه افزایش عملکرد دانه شد (Mendham & Salisbury, 1995).

اثر آبیاری تکمیلی روی عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا تحت شرایط نیمه‌خشک در ترکیه نشان داد با انجام آبیاری تکمیلی کلزا، عملکرد دانه تقریبا ۴ تن در هکتار و بیوماس روی زمین ۱۸ تن در هکتار بود. حتی در ارقام کلزای معرفی شده برای شرایط دیم، آبیاری در طی مراحل رشد سریع اثر معنی‌داری روی عملکرد و اجزاء عملکرد داشت. این اثر در سال‌های کم بارش مهم‌تر بود. (Dogan *et al.*, 2011).

در همین راستا، Pavlista *et al.*, (2016) نتیجه گرفتند که از بین تیمارهای تنش، بدون آبیاری، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر آبیاری، در تیمار ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر آبیاری درصد روغن دانه به‌ترتیب ۴ و ۸ درصد افزایش یافت. در مجموع محتوی روغن دانه در تیمار آبیاری

کامل در مقایسه با سه سطح رطوبتی دیگر به‌طور قابل توجهی بیش‌تر بود. نتایج Hergert *et al.*, (2016) نشان داد، با آبیاری کلزا در طی سال‌های گرم و خشک محتوی روغن خیلی پایین بود، ولی هنگامی که میزان بارش بیش از متوسط شد و درجه حرارت سردتر شد، محتوی روغن افزایش یافت. بسته به سال و سطوح آبیاری درصد روغن در دامنه ۳۰ تا ۵۰ درصد متغیر بود. Safavi Fard *et al.*, (2018) گزارش دادند، رقم دلگان در تیمار آبیاری معمولی و رقم هایولا در تیمارهای قطع آبیاری بعد از تشکیل غلاف و قطع آبیاری بعد از گلدهی بیش‌ترین عملکرد روغن دانه را نشان دادند. در بررسی دیگری، گزارش شد که با افزایش مقدار رطوبت بعد از مرحله گرده‌افشانی، عملکرد دانه و روغن کلزا افزایش یافت (Sinaki *et al.*, 2011).

Katuwal *et al.*, (2020) در بررسی مدیریت کارایی مصرف آب در مراحل مختلف رشد کلزا تحت روش کم‌آبیاری، گزارش دادند که در تیمار عدم آبیاری در مرحله سبز شدن بیش‌ترین کارایی مصرف آب به‌دست آمد، تیمار عدم آبیاری در مرحله رشد زایشی و تیمار دیم کامل نیز کارایی مصرف آب مشابهی داشتند و متوسط کارایی مصرف آب آن‌ها تقریبا نصف کارایی مصرف آب تیمار آبیاری در تمام فصل رشد بود. بنابراین محدودیت آبیاری در طی فصل رشد یا حتی در طی مرحله رشد زایشی به‌طور قابل توجهی می‌تواند توانایی کلزا را جهت تولید دانه و عملکرد روغن در واحد آب مصرفی کاهش دهد. Zhang *et al.*, (2019) نیز در بررسی روش کاهش آبیاری در 'گندم گزارش دادند، آبیاری تکمیلی در طی دوره گلدهی و فصل رشد کارایی تولید دانه به ازای واحد آب مصرفی را افزایش داد.

Dogan, (2019) در آزمایش اثر آبیاری تکمیلی بر اجزای عملکرد عدس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در رشد سبزینه‌ای و خصوصیات زایشی وجود داشت و تیمارهای آبیاری تکمیلی صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۲۵ درصد آبیاری کامل در طی فصل رشد، تعداد غلاف و وزن هزار دانه را افزایش داد. در آزمایش رژیم‌های آبیاری تکمیلی، با بهبود تجمع، توزیع و انتقال مواد فتوسنتزی تعداد سنبله، تعداد دانه، وزن دانه و به تبع آن عملکرد دانه گندم افزایش یافت (Zhang *et al.*, (2019). در مناطق نیمه‌خشک کشور چین، سطوح آبیاری تکمیلی به‌همراه بارندگی در طی فصل رشد نسبت به شرایط دیم، باعث بهبود رشد گیاه و افزایش محصول گندم شد. افزایش عملکرد دانه به میزان ۶۰ درصد از تیمار، ۱۵۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی به همراه ۲۰۰ میلی‌متر بارندگی به‌دست آمد (Ali *et al.*, 2019).

یافته‌های Gajić *et al.*, (2018) نشان داد که رژیم‌های آبیاری به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه سویا را نسبت به تیمار بارندگی افزایش داد. با آبیاری تکمیلی در دو مرحله ساقه رفتن و گلدهی گندم، مقدار ماده خشک و میزان توزیع آن در دانه نسبت به یک نوبت آبیاری، در هر کدام از مراحل ساقه‌رفتن و یا گلدهی افزایش یافت (Zhang *et al.*, 2019).

در مطالعه‌ی پاسخ سویا به آبیاری تکمیلی و تنش آبی، نتایج نشان داد گیاهانی که در مراحل رشد سبزینه‌ای و گلدهی با تنش آبی مواجهه شدند به‌طور معنی‌داری مقدار کل ماده خشک و عملکرد دانه کم‌تری داشتند. آبیاری تکمیلی ۴۵ و ۸۶ روز بعد از کاشت به‌طور معنی‌داری عملکرد زیستی را افزایش داد. بیش‌ترین انتقال مجدد ریشه‌ها، ساقه و برگ‌ها و کل ماده خشک از تیمار آبیاری تکمیلی حاصل شد. در حالی‌که کم‌ترین تجمع ماده خشک از تیمار بارندگی به‌دست آمد (Jha *et al.*, 2018).

Dogan, (2019) اثر آبیاری تکمیلی بر گیاه ماش را مورد بررسی قرار داده و نشان داد، با آبیاری تکمیلی و آبیاری کامل نسبت به شرایط دیم بیوماس گیاه افزایش یافت.

با انجام آبیاری تکمیلی، مواد فتوسنتزی بیش‌تری به ریشه‌ها، ساقه و برگ‌های سویا انتقال یافت، در نتیجه با تجمع ماده خشک بیش‌تر، شاخص برداشت افزایش یافت. کم‌ترین تجمع ماده خشک سویا از تیمار دیم به‌دست آمد، که منجر به کم‌ترین شاخص برداشت شد (Jha *et al.*, 2018). در حالی‌که Gajić *et al.*, (2018) گزارش دادند که در مطالعه اثر رژیم‌های آبیاری روی سویا، شاخص برداشت در تیمارهای دیم بیش‌تر از رژیم‌های آبیاری بود.

یکی از اهداف آبیاری در کشاورزی، تولید بیش‌تر با مصرف آب کمتر، دستیابی به سود بیش‌تر از هر واحد آب و بنابراین افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد. و در نهایت اینکه اولین هدف افزایش کارایی مصرف آب در کشاورزی است. انتخاب منبع مناسب آب، دقت در الگوی کشت، برنامه‌ریزی آبیاری و روش‌های آبیاری بطور مستقیم روی کارایی مصرف آب در کشاورزی تأثیر دارند. دومین هدف جهت بهبود کارایی مصرف آب این است که چه موقع مصرف شود. آبیاری تکمیلی به ویژه در مراحل بحرانی رشد کلزا، هنگامی که بارندگی کم باشد برای رشد نرمال گیاه رطوبت کافی را فراهم می‌کند و عملکرد محصول را بهبود می‌بخشد. گزارشات اندکی از اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کلزا در شرایط کم‌آبی وجود دارد. با اعمال آبیاری تکمیلی می‌توان به‌طور چشمگیری عملکرد دانه کلزا در اراضی دیم افزایش می‌یابد. در مجموع با توجه به ضرورت استفاده بهینه از آب، اهمیت زراعی، اقتصادی و تغذیه‌ای کلزا، این تحقیق با هدف تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب دو رقم کلزا در شرایط دیم گچساران انجام شد.

مواد و روش‌ها

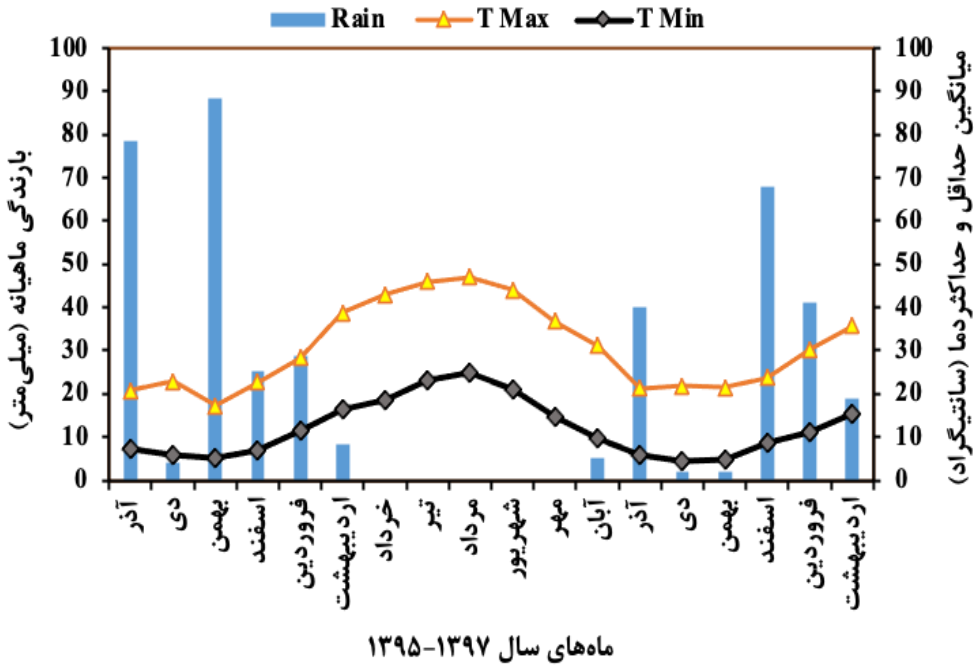
مشخصات محل و نوع طرح آزمایشی

این آزمایش به‌صورت‌اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی گیاه کلزا طی دو سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ و۹۷- ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران اجراء شد. این ایستگاه در طول جغرافیـائی ۵۰ درجه و۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع از سطح دریا۷۱۰ متر و متوسط بارندگی سی ساله و درجه حرارت به‌ترتیب ۳۷۵ میلی‌متر و ۲۳/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم‌های آبیاری در چهار سطح (بدون آبیاری (I_1)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_2)، آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه (I_3)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی + پرشدن دانه (I_4)) در کرت اصلی، ارقام هایولا و شیرالی در کرت‌های فرعی اعمال شد.

آماده‌سازی زمین و نحوه کشت

به‌منظور آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین با گاوآهن قلمی شخم خورد، و سپس جهت خرد کردن کلوخ‌ها دو دیسک عمود بر هم و لولر جهت تسطیح انجام شد. دو رقم هایولا و شیرالی در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ به‌ترتیب در ۱۲ و ۱۵ آذرماه کشت شدند. هر کرت آزمایشی شامل ۸ خط کشت ۵ متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۴ سانتی‌متر بود. میزان بذر برای هر خط کشت براساس وزن هزار دانه و ۷ کیلوگرم در هکتار محاسبه و توسط دستگاه ردیفکار در عمق ۳-۲ سانتی‌متری خاک کاشته شد. عمل تنک کردن در دو مرحله ۲ تا ۴ و ۴ تا ۶ برگی انجام و تراکم بوته در حدود ۸۰ بوته در مترمربع تنظیم گردید. علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شد. کارایی مصرف آب با استفاده از مجموع آبیاری تکمیلی و بارندگی محاسبه گردید.

شرایط آب و هوایی فصل کاشت تا برداشت کلزا در گچساران، از آذر ۹۵ تا اردیبهشت ۹۷، در شکل ۱ نشان داده شده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. براساس نتایج تجزیه خاک، کود نیتروژنه به میزان ۵۰ و فسفره ۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب از منابع کودی اوره و سوپر فسفات تریپل تهیه و به صورت یکسان در کلیه پلات‌ها مصرف گردید. تمامی کود فسفره و یک سوم از کود نیتروژنه به‌صورت پایه و قبل از کشت مصرف شد و مابقی کود نیتروژنه بصورت سرک در دو مرحله آغاز به ساقه رفتن و شروع گلدهی مصرف گردید. کیفیت شیمیایی آب آبیاری محل آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱- بارندگی ماهیانه و حداقل و حداکثر دمای محل آزمایش طی فصل رشد کلزا از آذر ۱۳۹۵ تا اردیبهشت ۱۳۹۷

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

سال	عمق خاک	بافت خاک	واکنش خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	مواد آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
							میلی‌گرم در کیلوگرم	
۹۶-۱۳۹۵	۳۰-۰	سیلتی- لومی- رسی	۷/۵	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۱۱	۱۵/۲	۲۲۷
۹۷-۱۳۹۶	۳۰-۰	سیلتی- لومی- رسی	۷/۶	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۰۸	۱۳/۷	۲۰۵

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری محل آزمایش

واکنش آب	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	سدیم	کلر	سولفات	بیکربنات	کربنات	کلسیم	منیزیم
		میلی‌گرم در لیتر						
۸/۲	۳/۶	۳۹/۰	۶۱/۰	۲/۷	۳/۴	۰/۰۷	۲۲/۹	۱۶/۵

اندازه‌گیری صفات

صفات مورد اندازه‌گیری شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، عملکرد روغن و کارایی مصرف آب بودند. جهت تعیین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی از هرکرت تعداد ۱۰بوته بطور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر محاسبه شد.

تعداد غلاف در بوته: از هر کرت ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و شمارش گردید و سپس میانگین تعداد غلاف در بوته برای هر کرت در نظر گرفته شد.

تعداد دانه در غلاف: از هر کرت ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و شمارش گردید و سپس میانگین تعداد دانه در غلاف برای هر کرت در نظر گرفته شد.

وزن هزار دانه: ۴ نمونه ۲۵۰ تایی از بذرهای هر کرت آزمایشی شمارش و با ترازوی دیجیتال توزین و وزن هزار دانه در هر کرت به‌دست آمد.

دو روز بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی ردیف‌های ۱ و ۸ به عنوان حاشیه حذف شد و بقیه ردیف‌ها پس از برداشت و خشک شدن در مزرعه کوبیده شده و با رطوبت معادل ۸ درصد، عملکرد دانه تعیین گردید. از هر کرت نمونه‌ای شامل ساقه، برگ و غلاف به‌وسیله آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شد. سپس به‌وسیله ترازوی دقیق توزین شد و در نهایت عملکرد زیستی بر حسب کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. شاخص برداشت از تقسیم جزء اقتصادی (عملکرد دانه) به عملکرد زیستی (مجموعه وزن خشک کلیه اندام‌های هوایی گیاه) ضرب در ۱۰۰ محاسبه شد.

جهت استخراج و اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش Soxhlet, (2003) و از رابطه زیر استفاده شد:

رابطه ۱) $Oil\%= PSW-SWED/PSW\times100$

در این رابطه:

Oil%: درصد روغن دانه

PSW: وزن اولیه نمونه بذر

SWED: وزن نمونه بذر پس از استخراج روغن و خشک شدن

از حاصل‌ضرب درصد روغن دانه (Oil%) در عملکرد دانه (GY)، عملکرد روغن محاسبه شد. $Oil\ yield=GY\times Oil\%$

مراحل آبیاری تکمیلی براساس روش توصیفی مراحل رشد کلزا، انجمن کلزای کانادا، (Canola Council of Canada, 2016) در مراحل فنولوژی ۶۰ روز بعد از جوانه‌زنی (شروع گلدهی) و۷۰ روز بعد از جوانه‌زنی (هنگام پرشدن دانه) انجام شد.

اندازه‌گیری کارایی مصرف آب

مقدار آب مصرفی بر حسب متر مکعب از طریق رابطه (۲) به شرح زیر محاسبه شد (Katerji *et al.*, 2019):

رابطه ۲) $Ig = (\theta fc - \theta) \times \rho \times D\times A \times 100)/IE$

در این رابطه، Ig میزان آب آبیاری (متر مکعب)، θfc میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی، θ میزان رطوبت خاک هنگام نمونه‌گیری (درصد وزنی)، ρ وزن مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر متر مکعب)، D عمق توسعه ریشه (متر)، A مساحت کرت (متر مربع)، و IE راندمان آبیاری می‌باشد که برای روش آبیاری نشتی به‌طور متوسط ۶۵ درصد در نظر گرفته شد (Tafteh & Sepaskhah, 2012).

کارایی مصرف آب از نسبت عملکرد اقتصادی (دانه) به مقدار آب مصرفی (آب آبیاری و بارندگی) نیز براساس رابطه (۲) به شرح زیر محاسبه گردید (Katerji *et al.*, 2019):

$$WUE= D/(Wp+W_i)$$ رابطه ۳)

که در این رابطه:

WUE: کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)

D: عملکرد اقتصادی (دانه) (کیلوگرم)

Wp: مقدار آب بارندگی (مترمکعب)

W_i: مقدار آب آبیاری (متر مکعب)

میزان آب وارده به خاک محل آزمایش از طریق بارندگی با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی گچساران محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌های دو سال با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد و قبل از تجزیه آماری و مقایسه میانگین‌ها آزمون بارتلت و آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD و برهمکنش‌های معنی‌دار به رویه L.S.Means انجام شد. رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که اثر آبیاری تکمیلی و همچنین رقم، بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج تجزیه دو ساله نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام هایولا و شیرالی از نظر تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب وجود داشت (جداول ۳ و ۴). با افزایش دفعات آبیاری تکمیلی میانگین تعداد غلاف در بوته افزایش یافت به طوری که میانگین تعداد غلاف در بوته از ۸۸ در شرایط دیم به ۱۲۰ با دو بار آبیاری تکمیلی رسید که معادل۳۶ درصد افزایش داشت. در این بررسی تحت شرایط دیم، با کوتاه شدن طول دوره گلدهی، عدم باروری تعدادی از گل‌ها و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به غلاف‌های تازه تشکیل شده و در حال رشد منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته کلزا شد. پیش از این Sinaki *et al.*, (2016) اظهار داشتند کمبود رطوبت در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی به‌علت ریزش شدید گل و غلاف منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته کلزا گردید.

به‌نظر می‌رسد تنش خشکی در مرحله زایشی اجزاء عملکرد گیاه را بیش‌تر از سایر مراحل تحت تأثیر شدید خود قرار می‌دهد. تعداد غلاف در بوته را می‌توان یکی از مهمترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد به حساب آورد، زیرا غلاف‌ها حاوی دانه‌ها بوده و در مراحل اولیه پرشدن دانه از طریق انجام فتوسنتز در رشد و تکامل دانه‌ها مشارکت می‌کنند (Sinaki *et al.*, 2011). در این تحقیق کاهش تعداد غلاف در گیاه در شرایط I_1 را شاید بتوان به افت فتوسنتز به‌دلیل کمبود رطوبت و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به غلاف‌های تشکیل شده و در حال رشد گیاه و به تبع آن ریزش غلاف‌ها و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر تعداد غلاف در گیاه نسبت داد.

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر رقم، بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در تمام رژیم‌های آبیاری تکمیلی تعداد دانه در غلاف رقم هایولا بیش‌تر از رقم شیرالی بود. در رژیم‌های I_1، I_2، I_3 و I_4، تعداد دانه در غلاف رقم هایولا به‌ترتیب ۲۵، ۱۱، ۱۸/۲، و ۱۸/۳ درصد بیش‌تر از رقم شیرالی بود (جدول ۵). در رژیم‌های آبیاری تکمیلی I_4 و I_2 تعداد دانه در غلاف،

بیش‌تر از I_1 و I_3 بود (جداول ۴ و ۵). در شرایط بدون آبیاری و آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی میانگین تعداد دانه در غلاف، به ترتیب از ۲۱/۳ تا ۲۳/۱ متغیر بود. به‌طوری که میانگین تعداد دانه در غلاف، رقم هایولا نسبت به رقم شیرالی ۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نتایج آزمایشات بیانگر آن است که تنش آبی باعث کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. با تنش آبی میزان، تنفس غلاف‌ها به سرعت افزایش می‌یابد که سبب اتلاف بیش از حد مواد فتوسنتزی می‌شود بنابراین، مواد غذایی کافی به دانه‌ها نرسیده و درصد دانه در غلاف کاهش می‌یابد. محققان گزارش کردند که هر عاملی که تعداد دانه را افزایش دهد سبب بالا رفتن عملکرد دانه نیز می‌شود (Diepenbrock *et al.*, 2011). البته، افزایش تعداد دانه در غلاف دارای محدودیت است، زیرا که ظرفیت تولید این جزء از عملکرد بیش‌تر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است (Rao & Mendham 1995). با توجه به نتایج این بررسی آبیاری تکمیلی کلزا با طولانی کردن دوره گلدهی و عرضه بیش‌تر مواد فتوسنتزی تعداد غلاف‌ها و در نتیجه تعداد دانه در غلاف‌ها را افزایش داد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم، بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد وزن هزار دانه، در شرایط بدون آبیاری و آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه به ترتیب از ۲/۳ به ۳/۵ گرم و به میزان ۲۵ درصد افزایش یافت. رقم هایولا با میانگین ۲/۸ گرم بیشترین و رقم شیرالی با میانگین ۲/۶گرم کمترین وزن هزار دانه را داشتند (جدول ۴). افزایش وزن هزار دانه با اعمال یک بار آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه و دو بار آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه ناشی از فراهم بودن رطوبت برای جذب مواد معدنی از خاک و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به به محل سنتز و ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه می‌باشد.

نتایج این تحقیق با یافته‌های Hang & Gilliland (1991)، که بیان کردند کمبود رطوبت در مرحله رشد زایشی باعث کاهش جذب املاح از خاک و در نهایت کاهش فتوسنتز و شیره پرورد می‌شود و منجر به صدمه به تشکیل دانه در غلاف و کاهش وزن هزار دانه می‌گردد، مطابقت داشت، و با یافته‌های Dogan, (2019)، که گزارش داد، افزایش مقادیر آب در آبیاری تکمیلی تأثیری بر وزن هزار دانه ندارد، مغایرت داشت. دلیل مغایر بودن با نتایج بدست آمده را می‌توان به متفاوت بودن مرحله آبیاری تکمیلی و گونه گیاهی نسبت داد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب و میانگین مربعات برای صفات مورد مطالعه در دو رقم کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه(g)	عملکرد دانه(kg)	عملکرد بیولوژیک(kg)	شاخص برداشت(%)	کارایی مصرف آب (kgm^{-3})
سال	۱	۱/۶۶ ns	۲/۰۳ ns	۰/۹۱ ns	۱/۱۲ ns	۲/۰۷ ns	۰/۸۸ ns	۰/۰۵ ns
تکرار درون سال	۴	۳۲/۲۱	۰/۸۳	۲۱/۰۶	۱۴/۵۵	۳۳/۷۴	۱/۶۱	۰/۰۱
آبیاری تکمیلی	۳	۳۲۲**	۱/۰۶ ns	۳۷/۹**	۴۱/۲**	۹۳/۱**	۹/۰۲*	۶/۷*
آبیاری× سال	۳	۳/۱۷ns	۱/۷۹ns	۳/۲۶ns	۲/۵۱ns	۳/۱ns	۱/۴۲ns	۰/۸۴ns
خطای (a)	۱۲	۵۱/۴	۴/۰۹	۱۹/۴۶	۱۶/۶۰	۴۲/۲	۰/۵۷	۰/۰۱۴
رقم	۱	۱۶/۱ **	۸/۳۳ *	۱۸/۲**	۴۹/۶ **	۳۸/۸ **	۷/۲۲*	۵/۹۱*
رقم× آبیاری تکمیلی	۳	۱/۹۵ns	۰/۶۳ns	۶/۸۲*	۴۱/۵**	۱۳/۰۲*	۷/۱۱*	۰/۱۱ ns
رقم× سال	۱	۲/۴۵ns	۰/۷۳ns	۲/۳۶ns	۱/۷۸ns	۲/۹۱ns	۰/۸۳ns	۰/۰۳ns
رقم× آبیاری× سال	۳	۳/۱۳ns	۰/۸۲ns	۱/۶۹ns	۲/۰۱ns	۱/۸۸ns	۰/۷۵ns	۰/۰۰۱ns
خطای (b)	۱۶	۱۴/۶	۱/۳۳	۴/۷۱	۲/۶۹	۹/۵۳	۰/۲۱	۰/۰۰۹
CV(%) ضریب تغییر		۸/۶۳	۱۱/۷۴	۹/۸۱	۱۱/۳۳	۱۴/۰۷	۱۲/۱۶	۱۴/۰۹

ns ، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در شرایط دیم و یک بار آبیاری تکمیلی رقم هایولا بر رقم شیرالی برتری داشت (جدول ۴). اگرچه در شرایط دیم عملکرد دانه هر دو رقم کاهش یافت اما میزان کاهش عملکرد در رقم شیرالی بیش‌تر از رقم هایولا بود که علت را می‌توان به توانایی سازگاری ژنتیکی و فیزیولوژیکی رقم هایولا ارتباط داد. در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی عملکرد هر دو رقم افزایش یافت. در این پژوهش با هر بار آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه افزایش یافت. میانگین عملکرد دانه از ۷۸۲ در شرایط دیم به ۲۳۷۸ کیلوگرم در هکتار با دو بار آبیاری تکمیلی رسید

(جداول ۴ و ۵). نتایج این بررسی با یافته‌های George *et al.*, (2018) در کلزا و Gajić *et al.*, (2018) در سویا مطابقت داشت. آن‌ها گزارش دادند رژیم‌های آبیاری به‌طور قابل توجهی روی عملکرد دانه تأثیر گذاشت. بعلاوه Mohtashami *et al.*, (2020) گزارش دادند که افزایش عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط دیم می‌تواند ناشی از سطوح آبیاری تکمیلی و اثرش روی اجزای رویشی و زایشی عملکرد توصیف شود. همچنین Gültaş *et al.*, (2020) نیز گزارش کردند، اگرچه بیش‌ترین عملکرد دانه کلزا از آبیاری کامل بدست آمد، بیش‌ترین میزان عملکرد اقتصادی و موثر از آبیاری در مرحله گلدهی حاصل شد.

در این آزمایش افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی با اجزای عملکرد ارتباط داشت. با توجه به تفاوت معنی‌دار اجزای عملکرد دانه در رژیم‌های یک بار و دو بار آبیاری تکمیلی، اعمال یک بار آبیاری تکمیلی در مرحله خاصی از رشد کلزا، قادر به ذخیره حداکثر مواد فتوسنتزی در دانه نگردید. لذا افزایش عملکرد دانه کلزا از طریق افزایش اجزای عملکرد با اعمال دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پرشدن دانه امکان‌پذیر شد. علت عملکرد بیش‌تر دانه در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی وجود آب کافی در دسترس گیاه می‌باشد که باعث افزایش اجزای عملکرد شده و در نتیجه عملکرد دانه افزایش یافته است. عملکرد دانه کلزا تابعی از اجزای عملکرد است، پس هر عاملی که باعث افزایش این صفات شود به‌طور غیرمستقیم عملکرد دانه را نیز افزایش خواهد داد (Diepenbrock *et al.*, 2011).

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم بر عملکرد زیستی معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری تکمیلی و رقم نشان داد، عملکرد زیستی ارقام تحت رژیم‌های مختلف آبیاری تکمیلی متفاوت بود. به‌طوری که در I_3 رقم شیرالی برتر بود، ولی در تیمارهای دیگر رقم هایولا عملکرد زیستی بیش‌تری داشت. نتایج (جدول ۵) نشان داد که در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی زیستی رقم هایولا بالاتر از رقم شیرالی بود که ضمن تأیید پاسخ‌های متفاوت ارقام مورد بررسی به آبیاری تکمیلی، حاکی از پاسخ کم‌تر رقم شیرالی به شرایط دیم و آبیاری تکمیلی است. پاسخ‌های متفاوت ارقام کلزا به آبیاری تکمیلی از نظر عملکرد دانه و زیستی در مطالعات سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Gu *et al.*, 2017; Dogan *et al.*, 2011; Oweis & Hachum, 2006).

با افزایش دفعات آبیاری تکمیلی میانگین عملکرد بیولوژیک افزایش یافت. به‌طور که عملکرد بیولوژیکی ارقام هایولا و شیرالی با اعمال آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی نسبت به بدون آبیاری به ترتیب۷۴ و ۹۳ درصد و در مرحله پرشدن دانه به ترتیب۸۱ و ۱۰۳ درصد افزایش داشتند. صفت عملکرد بیولوژیک با دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پرشدن دانه در ارقام هایولا و شیرالی نسبت به یک بار آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی، به ترتیب ۱۴/۸ و ۵/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). بسته به رژیم‌های آبیاری تکمیلی عملکرد زیستی در مقایسه با شرایط دیم ۱/۶ تا ۲/۴ برابر افزایش یافت. به‌طور کلی آبیاری تکمیلی در همه مراحل عملکرد زیستی بیش‌تری نسبت به شرایط دیم کامل داشت (جداول ۴ و ۵)؛ که این امر به‌دلیل افزایش تعداد شاخه جانبی و به تبع آن افزایش تعداد غلاف در گیاه بود. در این بررسی افزایش سطح اجزای رویشی و به دنبال آن افزایش قدرت منبع (برگ و سطوح فتوسنتز کننده) از جمله دلایل افزایش عملکرد زیستی در رژیم آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم کامل بود. تعدادی از محققین اثر آبیاری تکمیلی بر بهبود عملکرد بیوماس سویا Jha *et al.*, (2018) و کلزا Dogan *et al.*, (2011) را گزارش کردند. همچنین Dogan, (2019) اظهار داشت با افزایش مقادیر آب در آبیاری تکمیلی بیوماس اندام هوایی ماش افزایش یافت.

جدول ٤ - مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در دو رقم کلزا

تیمارها	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه(g)	عملکرد دانه(kg)	عملکرد بیولوژیک(kg)	شاخص برداشت(%)	کارایی مصرف آب(kgm^{-3})
آبیاری							
بدون آبیاری تکمیلی (I_1)	۸۸^{d}	۲۱/۳^{c}	۲/۳^{c}	۷۸۲^{d}	۳۲۲۸^{d}	۲۴/۱^{d}	۰/۴۱^{d}
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_2)	۱۱۸^{a}	۲۳/۱^{a}	۲/۳^{c}	۱۷۱۰^{b}	۶۳۷۴^{b}	۲۶/۶^{b}	۰/۵۶^{b}
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I_3)	۱۱۱^{b}	۲۱/۸^{bc}	۳/۵^{a}	۱۶۱۷^{b}	۶۲۴۱^{b}	۲۵/۳^{c}	۰/۵۳^{c}
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه(I_4)	۱۲۰^{a}	۲۲/۷b	۲/۷^{b}	۲۳۷۸^{a}	۸۳۵۰^{a}	۲۷/۹^{a}	۰/۷۲^{a}
رقم							
هایولا	۱۱۳^{b}	۲۳/۳^{a}	۲/۸^{b}	۱۶۹۶^{b}	۶۱۵۴^{b}	۲۶/۹^{b}	۰/۵۷^{b}
شیرالی	۱۰۶^{c}	۲۱/۲^{c}	۲/۵^{c}	۱۵۴۵^{c}	۵۹۴۳^{c}	۲۴/۸^{d}	۰/۵۴^{c}

در هر صفت و هر فاکتور آزمایشی میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

جدول ۵- برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و ارقام بر صفات مورد مطالعه در دو رقم کلزا

تیمارها	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه(g)	عملکرد دانه(kg)	عملکرد بیولوژیک(kg)	شاخص برداشت(%)	کارایی مصرف آب(kgm^{-3})
هایولا							
بدون آبیاری تکمیلی (I_1)	۹۱^{c}	۲۲/۷^{ab}	۲/۶^{bc}	۸۸۱^{d}	۳۴۹۶^{d}	۲۷/۲^{c}	۰/۴۲^{d}
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_2)	۱۲۳^{a}	۲۳/۵^{a}	۲/۲^{c}	۱۷۸۵^{b}	۶۴۴۴^{b}	۲۷/۷^{ab}	۰/۵۷^{b}
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I_3)	۱۱۵^{b}	۲۲/۹^{ab}	۳/۶^{a}	۱۶۶۳^{b}	۶۰۹۵^{c}	۲۶/۳^{bc}	۰/۵۴^{c}
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه(I_4)	۱۲۴^{a}	۲۴/۰^{a}	۲/۹^{b}	۲۴۵۵^{a}	۸۵۸۳^{a}	۲۸/۶^{a}	۰/۷۳^{a}
شیرالی							
بدون آبیاری تکمیلی (I_1)	۸۵^{d}	۱۹/۹^{c}	۲/۰^{c}	۶۷۵^{d}	۲۹۶۰^{e}	۲۲/۸^{d}	۰/۳۹^{d}
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_2)	۱۱۴^{b}	۲۲/۶^{ab}	۲/۴^{bc}	۱۶۳۴^{b}	۶۳۰۵^{b}	۲۵/۶^{bc}	۰/۵۵^{b}
آبیاری تکمیلی مرحله پرشدن دانه (I_3)	۱۰۸^{c}	۲۰/۷^{bc}	۳/۳^{a}	۱۵۷۲^{c}	۶۳۸۷^{b}	۲۴/۳^{c}	۰/۵۲^{c}
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه(I_4)	۱۱۶^{b}	۲۱/۵^{bc}	۲/۶^{bc}	۲۳۰۱^{a}	۸۱۱۸^{a}	۲۷/۲^{b}	۰/۷۱^{a}

در هر صفت و هر فاکتور آزمایشی میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رژیم آبیاری تکمیلی و رقم بر شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۳). شاخص برداشت از ۲۲/۸ درصد در رقم شیرالی در شرایط بدون آبیاری تا ۲۸/۶ درصد در رقم هایولا در شرایط آبیاری در مراحل گلدهی و پرشدن دانه متفاوت بود. با انجام آبیاری تکمیلی شاخص برداشت از ۲۴/۱ به ۲۷/۹درصد رسید که معادل ۱۲/۴ درصد افزایش بود. رقم هایولا با ۲۶/۹ بیش‌ترین و رقم شیرالی با ۲۴/۹درصد کم‌ترین شاخص برداشت را داشتند (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های Dogan *et al.*, (2011)، که اظهار داشتند با افزایش مقادیر آب در آبیاری تکمیلی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه کلزا افزایش یافت مطابقت داشت. آبیاری تکمیلی، باعث افزایش آغازش جوانه‌های تشکیل دهنده شاخه فرعی شده که افزایش تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف را بدنبال دارد، مجموعه این عوامل باعث افزایش شاخص برداشت گردید.

در مطالعه‌ای Dogan *et al.*, (2011) نتیجه گرفتند که در همه تیمارهای آبیاری تکمیلی شاخص برداشت کلزا افزایش یافت. در طی دو سال آزمایش به‌طور متوسط دامنه شاخص برداشت از ۰/۱۷ تا ۰/۲۳ متغیر بود. به‌نظر می‌رسد فراهمی رطوبت در مرحله گلدهی و پرشدن دانه سبب افزایش شاخص برداشت شده است، زیرا فراهمی رطوبت تأثیر مثبتی بر فتوسنتز جاری دارد. در گیاه سویا افزایش شاخص برداشت Jha *et al.*, (2018) و کاهش آن توسط Gajić *et al.*, (2018) گزارش گردید.

عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم بر عملکرد روغن معنی‌دار شد (جدول ۳). رژیم‌های آبیاری تکمیلی عملکرد روغن ارقام را نسبت به بدون آبیاری تکمیلی افزایش دادند. به‌نظر می‌رسد افزایش عملکرد روغن می‌تواند به‌دلیل تأثیر آبیاری تکمیلی در افزایش ظرفیت دانه‌ها برای تجمع روغن و افزایش درصد روغن دانه‌ها، همین‌طور افزایش عملکرد دانه باشد. در همین رابطه Safavi Fard *et al.*, (2018) بیان کردند کاهش عملکرد روغن در تنش گلدهی به‌علت تأثیر سوء تنش آبی بر وزن دانه و عملکرد دانه بود. همچنین نتایج Gültaş *et al.*, (2020) نیز نشان داد در مقایسه با شرایط دیم محتوی روغن با آبیاری تکمیلی افزایش یافت و بیش‌ترین آن با تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد.Mendham & Salisbury, (1995) بیان داشتند به‌نظر نمی‌آید تنش آب تأثیر عمده‌ای روی کیفیت دانه داشته باشد ولی تنش در مرحله‌ی گلدهی، مقدار روغن دانه را کاهش می‌دهد. در واقع دو صفت عملکرد دانه و عملکرد روغن تغییرات مشابهی را تحت تأثیر تیمارها از خود نشان دادند به‌دلیل اینکه عملکرد روغن از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن حاصل شد و در این تحقیق عملکرد روغن تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی قرار گرفت.

کارایی مصرف آب

در همه سطوح آبیاری تکمیلی باعث افزایش کارایی مصرف آب نسبت به بدون آبیاری شد. با اعمال آبیاری تکمیلی کارایی مصرف آب از ۰/۴۱ در شرایط دیم به ۰/۷۲کیلوگرم بر متر مکعب در مرحله مرحله گلدهی و پرشدن دانه رسید (جدول ۴). هر چند کارایی مصرف آب با آبیاری تکمیلی در دو مرحله مرحله گلدهی و پرشدن دانه بیشتر از دیگر سطوح آبیاری بود. کارایی مصرف آب رقم هایولا ۰/۰۳ کیلوگرم

بر متر مکعب بیشتر از رقم شیرالی بود (جدول ۴). کارایی مصرف آب رقم شیرالی از ۰/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط بدون آبیاری به ۰/۷۳ کیلوگرم بر متر مکعب در رقم هایولا در شرایط آبیاری در مراحل گلدهی و پرشدن دانه رسید.

همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است پاسخ هر دو رقم با افزایش دفعات آبیاری تکمیلی دارای روند افزایشی بود. با افزایش آبیاری تکمیلی عملکرد و اجزای عملکرد دانه بطور خطی افزایش یافت. رقم هایولا هم تحت شرایط بدون آبیاری و هم تحت شرایط آبیاری تکمیلی دارای عملکرد، اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت بالاتری نسبت به رقم شیرالی بود (جدول ۵)، که حاکی از تحمل به تنش خشکی و همچنین پتانسیل عملکرد بالاتر این رقم در شرایط آبیاری تکمیلی می‌باشد. در این بررسی، با اعمال آبیاری تکمیلی کارایی مصرف آب نسبت به شرایط دیم افزایش داشت، به‌طوری که بالاترین کارایی مصرف آب (۰/۷۲ کیلوگرم در متر مکعب) از تیمار I_4، و کم‌ترین آن (۰/۳۹ کیلوگرم در متر مکعب) از تیمار I_1، به‌دست آمد، که با نتایج Jha *et al.*, (2018) مطابقت و با یافته‌های Hao *et al.*, (2015) مغایرت دارد. کارایی مصرف آب در I_4، بیش از رژیم‌های I_2 و I_3 و دیم کامل بود (جداول ۴ و ۵). این نتایج با یافته‌های Zhang *et al.*, (2019) که بیان کردند آبیاری تکمیلی در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی کامل کارایی مصرف آب را افزایش داد، مطابقت دارد. همچنین نتایج Gültaş *et al.*, (2020) نشان داد که آبیاری تکمیلی عملکرد کلزا را در مقایسه با شرایط دیم افزایش داد. اگرچه در شرایط آبیاری کامل بیش‌ترین تبخیر و تعرق فصلی و عملکرد کلزا به‌دست آمد اما بالاترین کارایی مصرف آب و عملکرد اقتصادی کلزا از آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی حاصل شد.

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه نشان داد که واکنش هر دو رقم هایولا و شیرالی به آبیاری تکمیلی دارای روند افزایشی بود. آبیاری تکمیلی در همه مراحل کارایی مصرف آب بیش‌تری نسبت به شرایط دیم کامل داشت. رقم هایولا تحت شرایط بدون آبیاری و شرایط آبیاری تکمیلی دارای عملکرد، اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت بالاتری نسبت به رقم شیرالی بود که حاکی از تحمل به تنش آبی و پتانسیل عملکرد بالاتر این رقم در شرایط آبیاری تکمیلی می‌باشد.پیشنهاد می‌شود گزینش براساس عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت بالا می‌تواند شاخص مناسبی برای مطالعات تأثیر آبیاری تکمیلی تحت شرایط دیم در کلزا باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، در منطقه گرم و خشک گچساران و مناطق مشابه در ایران، تنش رطوبتی در انتهای فصل رشد به‌ویژه طی دوره گلدهی و پرشدن دانه، باعث کاهش عملکرد کلزا می‌شود. در چنین شرایطی می‌توان پیشنهاد نمود در صورت کاهش بارش در دو مرحله گلدهی و پرشدن دانه نسبت به تامین آب مورد نیاز کلزا از طریق آبیاری تکمیلی اقدام شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Ali, S., Ma, X., Jia, Q., Ahmad, I., Ahmad, S., Sha, Z. and Jia, Z. (2019). Supplemental irrigation strategy for improving grain filling, economic return, and production in winter wheat under the ridge and furrow rainwater harvesting system. *Agricultural Water Management*, 226, 105842.

Barnabás, B., Jäger, K., and Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Environment*, 31(1), 11-38.

Canola Council of Canada. (2016). Growth stages of the canola plant. Available in: http://www.canola council.org/crop production/canola grower's.

Diepenbrock, W., (2011). Yield analysis of winter oilseed rape (Brassica napus L.): a review. *Field Crops Research*, 67(1), 35-49.

Dogan, E., Copur, O., Kahraman, A., Kirnak, H., and Guldur, M. E. (2011). Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 98(9), 1403-1408.

Dogan, E. (2019). Effect of supplemental irrigation on vetch yield components. *Agricultural Water Management*, 213, 978-982.

Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., and Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science*, 1147.

Faostat, F. A. O. (2021). Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://faostat.fao.org/.

Gajić, B., Kresović, B., Tapanarova, A., Životić, L., and Todorović, M. (2018). Effect of irrigation regime on

yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. *Agricultural water management*, 210, 224-231.

George, N., Thompson, S. E., Hollingsworth, J., Orloff, S., and Kaffka, S. (2018). Measurement and simulation of water-use by canola and camelina under cool-season conditions in California. *Agricultural Water Management*, 196, 15-23.

Gültaş, H. T., & Ahi, Y. (2020). Supplemental irrigation impact on yield and yield quality parameters of rapeseed. *Agronomy Journal*, 112(5), 4207-4218.

Gu, X. B., Li, Y. N., Du, Y. D., and Yin, M. H. (2017). Ridge-furrow rainwater harvesting with supplemental irrigation to improve seed yield and water use efficiency of winter oilseed rape (Brassica napus L.). *Journal of integrative agriculture*, 16(5), 1162-1172.

Hang, A. N., and Gilliard, G. C. (1991). Water requirement for winter rapeseed in central Washington. In McGregor, DI proceedings of the eighth international rapeseed congress, saskatoon, Canada. Organizing committee, Saskatoon (pp. 1235-1240).

Hao, B., Xue, Q., Marek, T. H., Jessup, K. E., Hou, X., Xu, W., 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.

Hergert, G. W., Margheim, J. F., Pavlista, A. D., Martin, D. L., Isbell, T. A., and Supalla, R. J. (2016). Irrigation response and water productivity of deficit to fully irrigated spring camelina. *Agricultural Water Management*, 177, 46-53.

Jha, P. K., Kumar, S. N., and Ines, A. V. (2018). Responses of soybean to water stress and supplemental irrigation in upper Indo-Gangetic plain: Field experiment and modeling approach. *Field crops research*, 219, 76-86.

Katerji, N., Mastrorilli, M., and Rana, G. (2008). Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*, *28*(4), 493-507.

Katuwal, K. B., Cho, Y., Singh, S., Angadi, S. V., Begna, S., and Stamm, M. (2020). Soil water extraction pattern and water use efficiency of spring canola under growth-stage-based irrigation management. *Agricultural Water Management*, 239, 106232.

Lobell, D. B., Schlenker, W., and Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.

Mendham, N. J. and Salisbury, P. A. (1995). Physiology, crop development, growth and yield. In: Kimber, D.S.and D.I. McGregor. (Ed.). Brassica Oilseeds: Production and utilization. CAB International. London. pp: 11-64.

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.

Oweis, T., and Hachum, A. (2006). Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. *Agricultural Water Management*, *80*(1-3), 57-73.

Pavlista, A. D., Hergert, G. W., Margheim, J. M., and Isbell, T. A. (2016). Growth of spring canola (Brassica napus L.) under deficit irrigation in Western Nebraska. *Industrial Crops and Products*, *83*, 635-640.

Rao, M. S. S., and Mendham, N. J. (1991). Soil–plant–water relations of oilseed rape (Brassica napus and B. campestris). *The Journal of Agricultural Science*, *117*(2), 197-205.

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

Sinaki, J.M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noormohamadi, G. and Zarei, G. (2007). The effects of water deficit during growth stages of canola (Brassica napus L.). American Eurasian. American-Eurasian *Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2(4), 417-422.

Tafteh, A., and Sepaskhah, A. R. (2012). Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. *Agricultural Water Management*, 113: 19-29.

Wu, S., Ning, F., Zhang, Q., Wu, X., and Wang, W. (2017). Enhancing omics research of crop responses to drought under field conditions. *Frontiers in plant science*, *8*, 174.

Soxhlet, F. (2003). Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. Polytechnisches Journal, 1879: 232-261.

Zhang, H., Han, K., Gu, S., and Wang, D. (2019). Effects of supplemental irrigation on the accumulation, distribution and transportation of 13C-photosynthate, yield and water use efficiency of winter wheat. *Agricultural Water Management*, *214*, 1-8.