مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۴/ ۱۴۰۲. ص۳۵۳-۳۶۷
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.362348.989

ارزیابی عملکرد ارقام کلزا در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

رهام محتشمی*

استادیار، 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. **r.mohtashami@areeo.ir**

دریافت: خرداد ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک، محدودیت آب یکی از دلیل‌های اصلی کاهش رشد و عملکرد گیاهان در شرایط دیم و آبی به شمار می‌رود. هدف از انجام این پژوهش مقایسه پاسخ‌های مرفوفیزیولوژیک رقم‌های کلزا به شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بود. به این منظور، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران اجرا شد. تیمارهای آبیاری در چهار سطح (عدم آبیاری (I_0)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_1)، آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه (I_2)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I_3) ، در پلات اصلی و ارقام هایولا ۴۰۱، آر. جی. اس، و شیرالی در پلات‌های فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن را در مقایسه با شرایط دیم افزایش داد. با آبیاری تکمیلی، وزن هزار دانه در مقایسه با شرایط دیم ۳۱٪ افزایش یافت. میانگین عملکرد دانه از ۷۵۵ در شرایط دیم به ۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار با دو بار آبیاری تکمیلی رسید. با دو بار آبیاری تکمیلی درصد روغن در مقایسه با شرایط دیم ۱۱/۸٪ افزایش یافت. در همه تیمارهای آبیاری، عملکرد دانه و درصد روغن رقم هایولا ۴۰۱، بالاتر از ارقام آر. جی. اس و شیرالی بود. به‌طورکلی آبیاری تکمیلی باعث افزایش بهره‌وری آب (۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و بهبود صفات مرفوفیزیولوژیک، عملکرد و درصد روغن دانه شد. در زراعت کلزای دیم با دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه، بهره‌وری آب از ۰/۲۱ به ۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب، عملکرد دانه از ۷۵۵ به ۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار، و مقدار روغن از ۳۵/۴٪ به ۳۶/۹٪ افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، درصد روغن، عملکرد دانه کلزا

---

* – آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **r.mohtashami@areeo.ir**

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات روغنی دنیا برای تولید دانه‌های روغنی و روغن خوراکی 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 (فائو، ۲۰۲۱) کلزا گیاهی علفی با دوره رشد یک‌ساله و روز بلند است. این گیاه با ویژگی‌های از جمله دامنه گسترده سازگاری به انواع اقلیم‌ها و شرایط آب و هوایی و دارا بودن دو تیپ پاییزه و بهاره می‌تواند در برنامه تناوب زراعی در مناطق مختلف جای گرفته و امکان استفاده بیش‌تر از منابع آب و خاک را فراهم کند (مندهام و سالیسبوری، ۱۹۹۵). با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران به‌صورت واردات تأمین می‌شود، بنابراین تولید دانه‌های روغنی و به‌ویژه کلزا در سال‌های اخیر در اولویت جدی قرار گرفته است. از آنجایی که کلزا عموماً در فصل پاییز کشت می‌شود و بسته به بارندگی سالانه درصدی از نیاز آبی آن از طریق بارندگی تأمین می‌شود برای افزایش عملکرد آن آبیاری تکمیلی گزینهٔ مناسبی است، منظور از آبیاری تکمیلی، تأمین نیاز آبی گیاه در مواقعی است که بارش قطع شده 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 (وو و همکاران، ۲۰۱۷). کاهش بارندگی از طریق تأثیر منفی بر فیزیولوژی گیاه، رشد و تولید آن، کاهش عملکرد گیاهان زراعی را به همراه داشته است (برناباس، ۲۰۰۸). در چنین شرایطی می‌توان به راه‌کارهای مدیریت کارآمد بهره‌برداری از آب روی آورد که یکی از آن‌ها آبیاری تکمیلی است. اعمال مدیریت آبیاری تکمیلی توانسته است عملکرد محصولات دیم را به نحو چشمگیری افزایش دهد. در واقع، آبیاری تکمیلی یک مداخله موقت است و به نحوی باید طراحی شود که بتوان در زمانی که آب فراهم است، تعرق طبیعی گیاه را افزایش داد (اویس و هاچوم، ۲۰۰۶). در تحقیقات متعددی نقش آبیاری تکمیلی بر بهبود صفات مرفولویکی و فیزیولوژیکی گیاهان زراعی بیان شده است. آبیاری تکمیلی، در مراحل گلدهی و پرشدن دانه کلزا، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، (محتشمی و همکاران، ۲۰۲۰) و میزان روغن دانه (گو و همکاران، ۲۰۱۷) را افزایش داد.

معماری یا فرم ظاهری کلزا بوسیله ارتفاع گیاه، تعداد و توزیع شاخه‌ها و طول گل‌آذین اصلی مشخص می‌شود. این صفات به‌طور غیرمستقیم با تأثیر بر اجزاء اصلی عملکرد، روی عملکرد ارقام کلزا اثر می‌گذارند (لی و همکاران، ۲۰۱۶). زارعی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که تنش کم‌آبی به‌صورت دور آبیاری ۱۴ روز در مقایسه با دور آبیاری هفت روز تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته ارقام کلزا نداشت.

در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که رشد گیاه کلزا در نقطه پژمردگی دائم خاک در مرحله رشد رویشی سبب کاهش معنی‌دار برخی صفات مرفولوژیک نظیر ارتفاع بوته و قطر ساقه گردید (سنگتراش و همکاران، ۲۰۰۹). گزارش کردند در شرایط کم‌آبی ارتفاع بوته و طول ساقه کلزا کاهش یافت. به‌طوری که هر دوره آبیاری ارتفاع بوته کلزا را ۷/۵ سانتی‌متر افزایش داد.

عملکرد دانه در گیاهان زراعی نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیکی پیچیده‌ای بوده و تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرند. اثر تنش آبی بر عملکرد دانه بستگی به شدت تنش و مرحله رشدی گیاه دارد (فهاد و همکاران، ۲۰۱۷). عملکرد کلزا تابع تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه‌ها بوده و مرحله گلدهی و تشکیل غلاف‌ها حساس‌ترین مراحل به تنش کم‌آبی محسوب می‌شوند (سینکی و همکاران، ۲۰۰۷).

اثر آبیاری تکمیلی روی عملکرد و اجزای عملکرد کلزا تحت شرایط نیمه‌خشک در ترکیه نشان داد

با انجام آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه به حدود چهار تن در هکتار رسید. حتی در ارقام کلزای توصیه شده برای شرایط دیم، آبیاری تکمیلی در طی مراحل رشد اثر معنی‌داری روی عملکرد و اجزای عملکرد داشت (دوگان و همکاران، ۲۰۱۱).

پاولیستا و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند که از بین تیمارهای تنش، بدون آبیاری، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی، در تیمار ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی درصد روغن دانه کلزا به‌ترتیب چهار و هشت درصد افزایش یافت. یافته‌های هرگرت و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد، در طی سال‌های گرم و خشک درصد روغن دانه کلزا خیلی پایین بود؛ اما زمانی که میزان بارش بیش از متوسط شد و دمای هوا خنک‌تر شد، درصد روغن دانه افزایش یافت. بسته به سال و سطوح آبیاری تکمیلی درصد روغن در دامنه ۳۰ تا ۵۰ درصد متغیر بود. کتوال و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی مراحل مختلف رشد کلزا تحت روش کم‌آبیاری، گزارش دادند که محدودیت آبیاری در طی مرحله رشد زایشی به‌طور قابل توجهی می‌تواند توانایی کلزا را جهت تولید دانه و عملکرد روغن در واحد آب مصرفی کاهش دهد. توکلی و عبدالرحمانی (۲۰۱۵) در بررسی تک آبیاری برعملکرد و صفات زراعی کلزا در شرایط دیم، گزارش دادند که تک آبیاری به‌میزان ۶۰ میلی‌متر در مرحله گلدهی با کنترل تنش رطوبتی، سبب افزایش میزان رشد رویشی، ایجاد شاخ و برگ و در نهایت افزایش تولید دانه به میزان ۸۳ درصد نسبت به شاهد دیم شد.

دوگان (۲۰۱۹) در آزمایش اثر آبیاری تکمیلی بر اجزای عملکرد عدس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در رشد سبزینه‌ای و خصوصیات زایشی وجود داشت و آبیاری تکمیلی در طی فصل رشد، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف و وزن هزار دانه را افزایش داد. آبیاری تکمیلی، با بهبود تجمع، توزیع و انتقال مواد فتوسنتزی تعداد سنبله، تعداد دانه، وزن دانه و عملکرد دانه گندم را افزایش داد (دوگان و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیقی روی گلرنگ، آبیاری کامل نسبت به کم‌آبیاری موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، عملکرد دانه و درصد روغن گردید (محتشمی و همکاران، ۲۰۱۸).

در مناطق نیمه‌خشک کشور چین، سطوح آبیاری تکمیلی به‌همراه بارندگی نسبت به شرایط دیم، باعث بهبود رشد گیاه و افزایش محصول گندم شد. کم‌ترین عملکرد دانه از تیمار بدون آبیاری تکمیلی و ۱۲۵ میلی‌متر بارندگی حاصل شد. افزایش عملکرد دانه به میزان ۶۰ درصد از تیمار، ۱۵۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی به همراه ۲۰۰ میلی‌متر بارندگی به‌دست آمد (علی و همکاران، ۲۰۱۹).

در مطالعه‌ی پاسخ سویا به آبیاری تکمیلی و تنش آبی، نتایج نشان داد گیاهانی که در مراحل رشد سبزینه‌ای و گلدهی با تنش آبی مواجه شدند به‌طور معنی‌داری مقدار کل ماده خشک و عملکرد دانه کم‌تری داشتند. بیش‌ترین انتقال مجدد مواد از ریشه‌ها، ساقه و برگ‌ها و کل ماده خشک از تیمار آبیاری تکمیلی حاصل شد (ژها و همکاران، ۲۰۱۸). یافته‌های و گاجیک و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که تیمارهای 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 بیش‌تر بود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به اهمیت زراعی، اقتصادی و تغذیه‌ای کلزا، پایین بودن عملکرد دانه و مقدار روغن کلزا در اراضی دیم و پراکنش نامناسب بارندگی در مناطقی از کشور از جمله شهرستان گچساران، این تحقیق با هدف مقایسه پاسخ‌های مرفوفیزیولوژیک ارقام کلزا به شرایط دیم و آبیاری تکمیلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران (سایت موسسه تحقیقات دیم کشور) با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجراء شد. ارتفاع از سطح دریا ۷۱۰ متر و متوسط بارندگی سی ساله و درجه حرارت به‌ترتیب ۳۷۴ میلی‌متر و ۲۳/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای کمینه در دیماه ۲۳/۸ و دمای بیشینه در مردادماه ۴۷ درجه سانتی‌گراد بود. میزان بارندگی در دوره رشد کلزا، سال اول اجرای آزمایش ۳۳۶ و سال دوم ۳۷۱ میلی‌متر بود. مشخصات هواشناسی فصل کاشت تا برداشت کلزا در گچساران، از آذر ۹۶ تا اردیبهشت ۹۸، در شکل ۱ آمده است (داده‌های ایستگاه هواشناسی گچساران). براساس داده‌های اقلیمی مذکور این اطلاعات برای کشت دیم کلزا در شرایط گچساران لازم ولی کافی نیست و در صورت عدم بارندگی آخر فصل رشد، نیاز به یک الی دو مرتبه آبیاری تکمیلی می‌باشد.

عملیات کاشت و تیمارهای آزمایشی

آزمایش به‌صورت‌اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آبیاری در چهار سطح (بدون آبیاری (I_0)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_1)، آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه (I_2)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی + پرشدن دانه (I_3) در پلات اصلی، ارقام هایولا ۴۰۱، آر. جی. اس و شیرالی در پلات‌های فرعی اعمال شد. هر کرت اصلی در ابعاد ۶×۵ متر به میزان ۳۰ متر مربع و هر کرت فرعی در ابعاد ۲×۵ متر به میزان ۱۰ متر مربع بود. 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. ارقام هایولا ۴۰۱، آر. جی. اس و شیرالی در ۱۲ آذرماه سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ کشت شدند. هر پلات آزمایشی شامل هشت خط کشت پنج متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت چهار سانتی‌متر بود. میزان بذر برای هر خط کشت براساس وزن هزار دانه هفت کیلوگرم در هکتار محاسبه و توسط دستگاه ردیفکار گندم با اعمال تنظیمات مناسب برای بذر کلزا در عمق ۳-۲ سانتی‌متری خاک کاشته شد. این نحوه عملیات کاشت برای کشت کلزا در شرایط دیم لازم و در صورت عدم بارندگی آخر فصل رشد، اعمال یک الی دو مرتبه آبیاری تکمیلی مناسب می‌باشد. (محتشمی و همکاران، ۲۰۲۰).

عملیات داشت و مراحل آبیاری تکمیلی

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 نصف کود نیتروژنه به‌صورت پایه و قبل از کشت مصرف شد و مابقی کود نیتروژنه بصورت سرک در مرحله آغاز به ساقه رفتن مصرف گردید. جرم مخصوص ظاهری با استفاده از سیلندرهای استوانه‌ای، هدایت هیدرولیکی خاک به روش بار افتان (کلوت و همکاران، ۱۹۸۶)، ضرایب رطوبتی خاک در نقاط ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP)، با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (یدر، ۱۹۶۳) و بافت خاک به روش هیدرومتری (گئی و بودر، ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. کیفیت شیمیایی آب آبیاری محل آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. عمل تنک کردن در دو مرحله دو تا چهار و پنج تا هفت برگی انجام و تراکم بوته در حدود ۷۰ بوته در مترمربع تنظیم گردید. علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شد.

برای تأمین آب مورد نیاز در شرایط آبیاری تکمیلی یک روز قبل از آبیاری نمونه‌های خاک از عمق توسعه ریشه (با حفر پروفیل خاک در محل ریشه گیاه در مرحله گلدهی و پرشدن دانه به‌ترتیب ۶۱ و ۸۳ سانتی‌متر

بود) کرت‌های آزمایشی تهیه شده و پس از وزن کردن و خشک کردن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، توزین شد. به این نحو که برای تعیین آب مورد نیاز در هر کدام از مراحل گلدهی و پرشدن دانه یک متر مربع زمین در محل اجرای طرح (بین تکرارها) انتخاب و دور آن مرزبندی شده و با حدود ۸۰ لیتر آب اشباع شده و بعد از ۲۴ ساعت که به ظرفیت زراعی می‌رسید با اوگر از عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر دو نمونه تر (۵۰ گرمی) برداشت می‌شد و بلافاصله در محل طرح وزن می‌گردیدند. همچنین دو نمونه خاک معمولی (۵۰ گرمی) برداشت و در محل طرح وزن شدند. تمامی نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از آون بیرون آورده شده و و پس از سرد شدن به مدت پنج تا شش ساعت وزن خشک آنها اندازه‌گیری و ثبت شد. از تفاضل وزن تر و وزن خشک و تقسیم بر وزن تر اولیه، درصد رطوبت وزنی برآورد شده و در صورت رابطه (۱) قرار داده شد. سپس میزان آب خاک محاسبه شده و رطوبت کرت‌های آزمایشی از طریق آبیاری تکمیلی و با استفاده از لوله‌های سیفونی (با قطر پنج سانتی‌متر) به حد ظرفیت مزرعه رسانده شده و میزان آب مصرفی با کنتور نصب شده در مزرعه اندازه‌گیری و ثبت شد.

مقدار آب مصرفی بر حسب متر مکعب از طریق رابطه (۱) به شرح زیر محاسبه شد (کترجی و همکاران، ۲۰۱۹):

$$Ig = (\theta fc - \theta) \times \rho_b \times D \times A \times 100)/I_E \qquad (۱)$$

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_b 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 (تافته و سپاسخواه، ۲۰۱۲) که در این بررسی θfc میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (۲۴/۷ تا ۲۵/۱)، θ میزان رطوبت خاک هنگام نمونه‌گیری (درصد وزنی)، ρ_b وزن مخصوص ظاهری خاک معادل ۱/۴۵ کیلوگرم بر متر مکعب، D عمق توسعه ریشه در مرحله گلدهی و پرشدن دانه به‌ترتیب ۶۱ و ۸۳ سانتی‌متر، A مساحت کرت ۶۰ متر مربع و I_E راندمان آبیاری با توجه به روش آبیاری نشتی و گیاه کلزا ۶۵ درصد بود (جدول ۱).

بهره‌وری آب از نسبت عملکرد اقتصادی (دانه) به مقدار آب مصرفی (آب آبیاری و بارندگی) نیز براساس رابطه (۲) به شرح زیر محاسبه گردید (کترجی و همکاران، ۲۰۱۹):

$$WP = D/(W_{per}+W_i) \qquad (۲)$$

که در این رابطه:

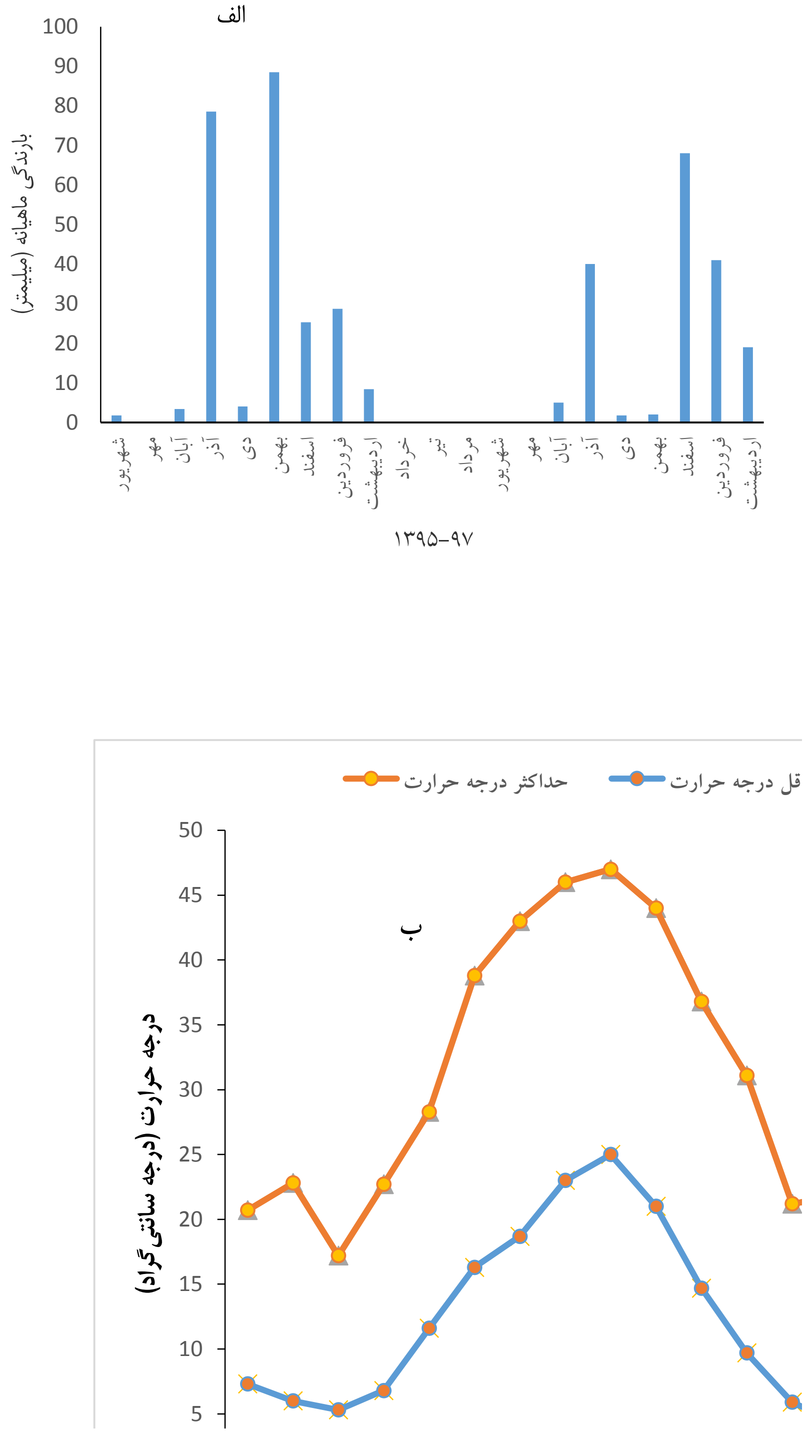
WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)

D: عملکرد اقتصادی (دانه) (کیلوگرم)

W_{per}: 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. مراحل آبیاری تکمیلی براساس روش توصیفی مراحل رشد کلزا، انجمن کلزای کانادا، در شروع گلدهی و هنگام پرشدن دانه انجام شد (انجمن کلزای کانادا، ۲۰۱۶).



شکل ۱- بارندگی ماهیانه (الف) و درجه حرارت (ب) محل آزمایش طی فصل رشد کلزا از آذر ۱۳۹۵ تا اردیبهشت ۱۳۹۷

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

سال	واکنش خاک	هدایت الکتریکی $(dS.m^{-1})$	مواد آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	نقطه پژمردگی (درصد وزنی)	آب قابل استفاده	جرم مخصوص ظاهری(کیلوگرم بر متر مکعب)،	نسبت‌های بافت خاک(درصد)		
					میلی‌گرم در کیلوگرم			درصد			سیلت	رس	شن
۹۶-۱۳۹۵	۷/۴	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۱۲	۱۵/۵	۲۳۱	۲۴/۷	۱۰/۳	۱۱/۵	۱/۴۵	۴۳	۴۱	۱۶
۹۷-۱۳۹۶	۷/۵	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۰۹	۱۴/۱	۲۱۲	۲۵/۱	۹/۸	۱۳/۲	۱/۴۵	۴۳	۴۱	۱۷

بافت خاک محل آزمایش، لومی- رسی

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری محل اجرای آزمایش آب خاک ایران

واکنش آب	هدایت الکتریکی $(dS\ m^{-1})$	سدیم	کلر	سولفات	بیکربنات	کربنات	کلسیم	منیزیم
		میلی‌گرم در لیتر						
۸/۳	۱/۷	۳۸/۰	۵۹/۰	۲/۸	۵/۳	۰/۰۸	۲۳/۱	۱۶/۴

عملیات برداشت و اندازه‌گیری صفات

صفات مورد اندازه‌گیری شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن بودند. برای تعیین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی از هرکرت تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر محاسبه شد. وزن هزار دانه به وسیله ترازوی دیجیتال توزین گردید. دو روز بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی ردیف‌های یک و هشت به‌عنوان حاشیه حذف شد و بقیه ردیف‌ها پس از برداشت و خشک شدن در مزرعه کوبیده شده و با رطوبت معادل هشت درصد، عملکرد دانه تعیین گردید. جهت استخراج و اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش سوکسله و از رابطه زیر استفاده شد:

$$۱۰۰ \times \frac{\text{وزن نمونه پس از استخراج روغن و خشک شدن} - \text{وزن نمونه اولیه بذر}}{\text{وزن نمونه اولیه بذر}} = \text{درصد روغن دانه}$$

(۱)

تجزیه آماری داده‌های با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، آزمون بارتلت و آزمون نرمال بودن داده‌ها جهت بررسی یکنواختی واریانس خطاها، برای تمام صفات مورد ارزیابی انجام شد. چون کای اسکور برای تمامی صفات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود، بنابراین برای تمامی صفات تجزیه مرکب روی داده‌های حاصل از دو سال آزمایش انجام شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD و برهمکنش‌های معنی‌دار به رویه L.S.Means انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی بر تعداد شاخه فرعی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، نشان داد آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و مرحله گلدهی و پرشدن دانه باعث افزایش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی نسبت به شرایط دیم گردید. تعداد شاخه فرعی در I_3، ۵۶ درصد بیش‌تر از I_0 بود. همچنین بین تیمارهای I_1 و I_2 از نظر تعداد شاخه فرعی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. به‌طوری‌که تعداد شاخه فرعی در I_1، در مقایسه با I_2، ۱۹ درصد افزایش داشت. افزایش تعداد شاخه فرعی با آبیاری تکمیلی شاید به‌علت افزایش تعداد جوانه‌های زایشی در گیاه کلزا باشد. کلزا گیاهی رشد نامحدود است، به همین دلیل تولید و رشد شاخه‌های فرعی می‌تواند در تمام طول دوره رشد آن تداوم داشته باشد. با توجه به هم زمانی

رشد ساقه کلزا با رشد شاخه‌های جانبی و توسعه غلاف‌ها بـروز تنش آبی در شرایط بدون آبیاری تکمیلی (I_0)، نه تنها مواد ذخیره‌ای ساقه را کاهش داد بلکه از توسعه اندام‌های ذخیره‌ای و شاخه‌های جانبی که تولید کننده غلاف‌ها می‌باشند جلوگیری به عمل آورده و به‌طـور غیرمستقیم از طریق کاهش مواد فتوسنتزی و کاهش شاخه‌های فرعی منجر به کاهش عملکرد گیاه گردید.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثرات سال، رقم و آبیاری تکمیلی برای برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد غلاف در بوته	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم)	روغن دانه (درصد)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
سال	۱	۱/۰۹ ^{ns}	۲/۰۷ ^{ns}	۱/۵۵ ^{ns}	۱/۸۸ ^{ns}	۱/۲۱ ^{ns}	۲/۴۹ ^{ns}	۲/۱۶ ^{ns}	۰/۰۳^{ns}
(تکرار × سال)	۳	۷/۶۳	۲۹/۰۴	۱۷/۰۸	۰/۹۲	۱۸/۵۷	۱۳/۳۸	۲۷/۸۱	۰/۰۷
آبیاری تکمیلی	۳	۵۱/۸*	۶۹/۳*	۲۰۹**	۲/۰۲ ^{ns}	۵۶/۵**	۶۸/۱**	۱۰۲/۷**	۹/۱*
آبیاری× سال	۳	۲/۰۸^{ns}	۳/۱۷^{ns}	۲/۳۳^{ns}	۱/۷۹^{ns}	۳/۲۶^{ns}	۲/۵۱^{ns}	۳/۱^{ns}	۱/۱^{ns}
رقم	۲	۱۹/۱*	۱۸/۳ *	۲۴/۲ *	۱۱/۴ *	۴۱/۹**	۷۷/۵ **	۶۶/۴ **	۸/۴*
رقم× سال	۲	۲/۰۹^{ns}	۳/۰۷^{ns}	۱/۱۶^{ns}	۰/۹۴^{ns}	۱/۷۹^{ns}	۱/۴۳^{ns}	۲/۰۶^{ns}	۰/۰۶^{ns}
رقم× آبیاری تکمیلی	۶	۱/۰۸^{ns}	۲/۱۳^{ns}	۱۶/۹*	۰/۸۶^{ns}	۷/۴۲*	۵۳/۶**	۳۹/۴*	۰/۰۰۲^{ns}
رقم× آبیاری× سال	۸	۱/۸۴^{ns}	۲/۶۶^{ns}	۱/۰۸^{ns}	۰/۷۸^{ns}	۲/۱۵^{ns}	۲/۴۷^{ns}	۱/۹۷^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
خطا	۱۲	۱۰/۰۳	۳۳/۷	۱۱/۸۱	۶/۱۴	۲۳/۳۵	۱۴/۸۳	۳۶/۵	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات		۱۹/۳	۱۱/۴	۱۷/۷	۱۵/۵	۱۳/۶	۱۴/۸	۱۶/۲	۱۷/۱

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

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 ۴۰۱، آر. جی. اس و شیرالی از نظر تعداد غلاف در بوته وجود داشت (جداول ۳ و ۴). با افزایش دفعات آبیاری تکمیلی میانگین تعداد غلاف در بوته افزایش یافت به‌طوری که میانگین تعداد غلاف در بوته از ۸۵ در شرایط دیم به ۱۱۶ با دو بار آبیاری تکمیلی رسید که معادل ۳۶ 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 تعداد غلاف در بوته کلزا کاهش یافت. پیش از این سینکی و همکاران (۲۰۰۷) 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 دهنـده عملکـرد بـه حسـاب آورد، زیـرا غلاف‌ها حاوی دانه‌ها بوده و در مراحل اولیه پرشدن دانه از طریق انجـام فتوسـنتز در رشـد و تکامـل دانـه‌هـا مشارکت می‌کنند (سینکی و همکاران، ۲۰۰۷). در این تحقیق کاهش تعداد غلاف در گیاه در شرایط I_0 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.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری و رقم بر صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد دانه، درصد روغن کلزا

تیمارها	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد غلاف در بوته	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم)	روغن دانه (درصد)	آب مصرفی (متر مکعب)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
آبیاری									
بدون آبیاری تکمیلی (I$_0$)	۳/۹^{e}	۸۵^{d}	۷۹/۲^{d}	۱۹/۷^{c}	۲/۵^{c}	۷۵۵^{d}	۳۵/۴^{d}	۳۵۹۵	۰/۲۱^{d}
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I$_1$)	۵/۴^{b}	۱۱۴^{a}	۹۹/۱^{b}	۲۲/۳^{a}	۲/۶^{c}	۱۶۹۰^{c}	۳۷/۳^{b}	۴۰۲۳	۰/۴۲^{b}
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I$_2$)	۴/۱^{e}	۱۰۸^{d}	۸۲/۷^{d}	۲۰/۷^{bc}	۳/۳^{a}	۱۵۹۵^{c}	۳۶/۸^{c}	۳۹۸۷	۰/۴۰^{c}
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه (I$_3$)	۶/۱^{a}	۱۱۶^{a}	۱۰۴/۵^{a}	۲۱/۵^{b}	۲/۹^{b}	۲۳۵۰^{a}	۳۹/۶^{a}	۴۴۳۴	۰/۵۳^{a*}
رقم									
هایولا ۴۰۱	۴/۹^{b}	۱۰۳^{b}	۹۲/۷^{c}	۲۲/۵^{a}	۳/۱^{a}	۱۸۸۵^{b}	۳۹/۴^{a}	۴۳۸۴	۰/۴۳^{b}
آر. جی. اس	۴/۷^{b}	۹۸^{c}	۹۳/۱^{c}	۲۰/۷^{bc}	۲/۷^{c}	۱۷۴۰^{b}	۳۸/۲^{b}	۴۴۶۱	۰/۳۹^{b}
شیرالی	۴/۶^{c}	۹۳^{c}	۹۰/۵^{d}	۲۱/۲^{b}	۲/۸^{c}	۱۶۸۸^{c}	۳۷/۸^{c}	۴۴۴۲	۰/۳۸^{c}
LSD (1%)	۹/۶۷	۳/۸۱	۱۳/۶	۰/۳۹	۱۱/۲	۲۷/۸	۱۷/۶۶		۱۰/۹۳

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

*- اگرچه بهره وری آب کم می‌باشد؛ ولی نسبت به تیمار دیم (بدون آبیاری تکمیلی) و یک مرحله آبیاری تکمیلی، بالاتر بود

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم بر ارتفاع بوته کلزا معنی‌دار شد (جدول ۳). در این آزمایش تیمارهای آبیاری تکمیلی، ارتفاع بوته ارقام کلزا را نسبت به شرایط دیم افزایش داد. به‌نظر می‌رسد افزایش تولید مواد فتوسنتزی ناشی از تأثیر آبیاری تکمیلی در طی مرحله گلدهی و پرشدن دانه و انتقال به بخش‌های هوایی و در حال رشد گیاه منجر به افزایش ارتفاع بوته گردیده است. از طرفی آبیاری تکمیلی باعث توسعه ریشه، جذب و انتقال آب و عناصر غذایی و گسترش سطح برگ به تبع آن افزایش جذب نور و فرآیند فتوسنتز، ارتفاع بوته افزایش یافت. پاولیستا و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند آبیاری تکمیلی طول میانگره و در نتیجه ارتفاع گیاه را افزایش داد.

در این تحقیق تفاوت معنی‌داری بین ارتفاع بوته، در سطوح آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم مشاهده شد (جداول ۴ و ۵) که می‌تواند به‌دلیل رشد رویشی نامحدود کلزا و روند افزایش ارتفاع گیاه از مرحله طویل شدن ساقه تا پایان مرحله پرشدن دانه و فراهمی رطوبت باشد؛ به عبارت دیگر چون کلزا گیاهی رشد نامحدود است، تنش آبی در مرحله I$_0$ و I$_2$ باعث توقف رشد رویشی و تسریع در رشد زایشی شده و در نتیجه ارتفاع کلزا متوقف شده است، در حالی‌که در شرایط آبیاری تکمیلی I$_3$ و I$_1$ در کنار رشد زایشی، رشد رویشی نیز ادامه یافته و ارتفاع گیاه افزایش یافته که این می‌تواند دلیل فیزیولوژیکی کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه در شرایط دیم باشد. ارتفاع بیش‌تر بیانگر تعداد برگ بیش‌تر و سطح فتوسنتز کننده بالاتر است که این عوامل باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی و رشد گیاه می‌شود (قدرتی و همکاران، ۲۰۱۲). کاهش ارتفاع گیاه کلزا به موازات افزایش شدت تنش آبی توسط سنگتراش و همکاران (۲۰۰۹) و سینکی و همکاران (۲۰۰۷)، گزارش شده است.

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر آبیاری تکمیلی و رقم، بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در تمام تیمارهای آبیاری تکمیلی تعداد دانه در غلاف رقم هایولا ۴۰۱ بیش‌تر از رقم شیرالی بود. در تیمارهای I_0، I_1، I_2 و I_3، تعداد دانه در غلاف رقم هایولا ۴۰۱ به‌ترتیب ۲۵، ۱۱، ۱۸/۲ و ۱۸/۳ درصد بیش‌تر از رقم شیرالی بود (جدول ۴). در تیمارهای آبیاری تکمیلی I_3 و I_1 تعداد دانه در غلاف، بیش‌تر از I_0 و I_2 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 ۴۰۱ نسبت به رقم شیرالی هشت درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

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 (دیپن براک و همکاران، ۲۰۱۱). البته، افزایش تعداد دانه در غلاف دارای محدودیت است، زیرا که ظرفیت تولید این جزء از عملکرد بیش‌تر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است (رائو و مندهام، ۱۹۹۱). 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 (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد وزن هزار دانه، در شرایط بدون آبیاری و آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه به ترتیب از ۲/۵ به ۳/۳ گرم و به میزان ۳۲ درصد افزایش یافت. رقم هایولا ۴۰۱ با میانگین ۳/۱ گرم بیش‌ترین و رقم آر. جی. اس با میانگین ۲/۷ گرم 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 هانگ و گیلیلند (۱۹۹۱) 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 دوگان (۲۰۱۹) 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 ۵- اثر متقابل آبیاری تکمیلی و ارقام بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد دانه و درصد روغن کلزا

تیمارها	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد غلاف در بوته	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم)	روغن دانه (درصد)
هایولا ۴۰۱							
بدون آبیاری تکمیلی (I_0)	۳/۸^{c}	۹۱^{c}	۸۱/۶^{ed}	۲۲/۳^{ab}	۲/۴^{bc}	۸۷۳^{d}	۳۶/۵^{c}
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_1)	۵/۵^{a}	۱۲۲^{a}	۹۱/۷^{b}	۲۳/۶^{a}	۲/۳^{c}	۱۷۶۵^{b}	۳۹/۲^{b}
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I_2)	۴/۱^{b}	۱۱۴^{b}	۸۳/۵^{d}	۲۲/۸^{ab}	۳/۵^{a}	۱۶۷۰^{b}	۳۸/۴^{b}
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه (I_3)	۶/۲^{a}	۱۲۳^{a}	۱۰۲/۱^{a}	۲۴/۰^{a}	۳/۰^{b}	۲۴۴۵^{a}	۴۱/۱^{a}
آر. جی. اس							
بدون آبیاری تکمیلی (I_0)	۳/۹^{c}	۸۹^{c}	۸۰/۹^{ed}	۲۱/۹^{ab}	۱/۸^{bc}	۸۵۹^{d}	۳۵/۱^{c}
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_1)	۵/۳^{a}	۱۲۰^{a}	۹۲/۱^{b}	۲۳/۶^{a}	۲/۱^{c}	۱۷۱۰^{b}	۳۸/۷^{b}
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I_2)	۴/۰^{b}	۱۰۹^{b}	۸۳/۲^{d}	۲۲/۸^{ab}	۳/۳^{a}	۱۶۵۵^{b}	۳۷/۸^{b}
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه (I_3)	۵/۹^{a}	۱۲۱^{a}	۱۰۵/۳^{a}	۲۳/۹^{a}	۲/۹^{b}	۲۳۲۰^{a}	۳۹/۶^{a}
شیرالی							
بدون آبیاری تکمیلی (I_0)	۳/۷^{c}	۸۳^{d}	۷۶/۸^{ed}	۱۸/۸^{c}	۱/۹^{c}	۶۶۸^{d}	۳۴/۳^{c}
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_1)	۵/۱^{a}	۱۱۱^{b}	۹۴/۵^{c}	۲۲/۵^{ab}	۲/۵^{bc}	۱۶۴۵^{b}	۳۸/۵^{b}
آبیاری تکمیلی مرحله پرشدن دانه (I_2)	۴/۲^{b}	۱۰۷^{c}	۸۱/۶^{d}	۲۰/۶^{bc}	۳/۲^{a}	۱۵۵۰^{c}	۳۷/۹^{b}
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه (I_3)	۵/۷^{a}	۱۱۴^{b}	۹۹/۷^{b}	۲۱/۷^{bc}	۲/۸^{bc}	۲۲۵۵^{a}	۳۸/۹^{a}

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

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد عملکرد دانه رقم هایولا ۴۰۱ بیش از ارقام شیرالی و آر. جی. اس بود (جدول ۴). اگرچه در شرایط دیم عملکرد دانه همه ارقام مورد بررسی کاهش یافت (جدول ۵)، اما میزان کاهش عملکرد دانه در ارقام شیرالی و آر. جی. اس بیش‌تر از رقم هایولا ۴۰۱ بود که علت را می‌توان به توانایی سازگاری ژنتیکی و فیزیولوژیکی رقم هایولا ۴۰۱ ارتباط داد. در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی عملکرد همه ارقام مورد بررسی افزایش یافت. در این پژوهش با هر بار آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه افزایش یافت. میانگین عملکرد دانه از ۷۵۵ در شرایط دیم به ۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار با دو بار آبیاری تکمیلی رسید (جدول ۴). نتایج این بررسی با یافته‌های جورج و همکاران (۲۰۱۸) در کلزا و گاجیک و همکاران (۲۰۱۸) در سویا مطابقت داشت. آن‌ها گزارش دادند تیمارهای آبیاری به‌طور قابل توجهی روی عملکرد دانه تأثیر گذاشت. بعلاوه محتشمی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که افزایش عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط دیم می‌تواند ناشی از سطوح آبیاری تکمیلی و اثرات آن روی اجزای رویشی و زایشی عملکرد توصیف شود. همچنین بیان داشتند، هرچه کلزا گیاهی مقاوم به خشکی تلقی می‌شود، اما نتایج نشان داد، آبیاری در مراحل سریع رشد گیاه تاثیر معنی داری بر اجزای عملکرد و عملکرد داشت. همچنین گولتاز و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند، اگرچه بیش‌ترین عملکرد دانه کلزا از آبیاری کامل به‌دست آمد؛ اما 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 تیمارهای 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 (دیپن براک و همکاران، ۲۰۱۱).

درصد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رقم و آبیاری تکمیلی بر درصد روغن دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بالاترین درصد روغن دانه برای رقم هایولا ۴۰۱ و از تیمار دو بار آبیاری تکمیلی به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج برهم‌کنش رقم و آبیاری تکمیلی نشان داد برای همه ارقام کلزا، درصد روغن دانه با یک بار آبیاری تکمیلی در هر یک از مراحل گلدهی و یا پرشدن دانه بیش‌تر از تیمار دیم بود (جدول ۵). آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه احتمالاً با افزایش ظرفیت دانه در جذب مواد پرورده و تبدیل آن‌ها به روغن، تأثیر مثبتی بر محتوی روغن دانه گذاشت. در این بررسی اگرچه در تیمارهای تنش با کاهش دفعات آبیاری تکمیلی روند کاهشی در درصد روغن رخ داد، ولی درصد روغن دانه با یک بار آبیاری تکمیلی در هر یک از مراحل گلدهی و یا پرشدن دانه، بیش‌تر از تیمار دیم بود. این نتایج با یافته‌های پاولیستا و همکاران (۲۰۱۶) که اظهار داشتند بیش‌ترین مقدار روغن دانه از آبیاری کامل با ۴۳۰ میلی‌متر آب به‌دست آمد و مقدار روغن در آبیاری متوسط بیش‌تر از بدون آبیاری (بارندگی) بود، مطابقت داشت. نتایج بررسی رائو و مندهام (۱۹۹۱) نیز نشان داد که آبیاری تکمیلی در طی فصل رشد کلزا، موجب افزایش مقدار روغن از ۴۷/۴ درصد به ۵۱ درصد گردید.

بهره‌وری آب

با اعمال آبیاری تکمیلی به‌میزان ۱۰۵ میلی‌متر (مازاد بر میزان بارندگی سالیانه) بهره‌وری آب از ۰/۲۱ در شرایط دیم به ۰/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب در مرحله مرحله گلدهی و پرشدن دانه رسید (جدول ۴). هر چند بهره‌وری آب با آبیاری تکمیلی در دو مرحله مرحله گلدهی و پرشدن دانه بیش‌تر از دیگر سطوح آبیاری بود. بهره‌وری آب رقم هایولا بیش‌تر از ارقام آر. جی. اس و شیرالی بود (جدول ۴). با افزایش آبیاری تکمیلی عملکرد و صفات مرفوفیزیولوژیک به‌طور خطی افزایش یافت. رقم هایولا هم تحت شرایط بدون آبیاری و هم تحت شرایط آبیاری تکمیلی عملکرد و اجزای عملکرد دانه بالاتری نسبت به دو رقم دیگر داشت (جدول ۴)، 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 بهره‌وری آب نسبت به شرایط دیم افزایش داشت، به‌طوری که بالاترین بهره‌وری آب (۰/۵۳ کیلوگرم در متر مکعب) از تیمار I_3 و کم‌ترین آن (۰/۲۱ کیلوگرم در متر مکعب) از تیمار I_0، به‌دست آمد که با نتایج ژها و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت و با یافته‌های هائو و همکاران (۲۰۱۵) مغایرت دارد. بهره‌وری آب در I_3، بیش از رژیم‌های I_1 و I_2 و دیم کامل بود (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های ژانگو همکاران (۲۰۱۹) که بیان کردند آبیاری تکمیلی در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی کامل بهره‌وری آب را افزایش داد، مطابقت دارد.

در این بررسی طی دو سال فصل رشد کلزا، شرایط آب و هوایی اختلاف کمی وجود داشت؛ که باعث اختلاف بین برخی صفات مورد بررسی در دو سال آزمایش شد. در سال اول پراکنش باران در اوایل فصل و در سال دوم در اواخر فصل رشد کلزا بهتر بود. در سال اول آزمایش، متوسط حداقل درجه حرارت ماهیانه بیش از سال دوم بود، ولی متوسط حداکثر دمای ماهیانه کم‌تر از سال دوم آزمایش بود. در سال دوم آزمایش از ماه آذر تا

اردیبهشت، میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهیانه بیش‌تر از سال اول بود (شکل ۱).

در این آزمایش در هر یک از سال‌های آزمایش ۴۴۱ میلی‌متر آب (مجموع بارندگی و آبیاری تکمیلی) مصرف گردید؛ که در سال اول میزان ۳۳۶ میلی‌متر از طریق بارندگی و ۱۰۵ میلی‌متر از طریق آبیاری تکمیلی و در سال دوم مقدار ۳۷۱ میلی‌متر از طریق بارندگی و ۷۰ میلی‌متر از طریق آبیاری تکمیلی تأمین شد. میزان بارندگی در هریک از سال‌های آزمایش کم‌تر از میانگین بلند مدت بارندگی بود (جدول ۶).

جدول ۶- میزان بارندگی مقدار و مرحله آبیاری تکمیلی تیمارهای مختلف در طول دوره رشد کلزا (۹۷-۱۳۹۶)

تیمار / نوبت آبیاری	میزان بارندگی و آبیاری تکمیلی سال اول (میلی‌متر)	میزان بارندگی و آبیاری تکمیلی سال دوم (میلی‌متر)
بدون آبیاری تکمیلی (I_0)	۰+ ۳۳۶ بارندگی	۳۷۱+۰ بارندگی
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی(I_1)	۵۵	۳۷
آبیاری تکمیلی مرحله پرشدن دانه (I_2)	۵۰	۳۳
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه (I_3)	۱۰۵	۷۰
جمع تیمارها	۴۴۱	۴۴۱

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام هایولا ۴۰۱، آر. جی. اس و شیرالی از نظر تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و وجود دارد. واکنش هر دو رقم به آبیاری تکمیلی دارای روند افزایشی بود. به‌طور کلی با افزایش آبیاری تکمیلی عملکرد و اجزای عملکرد دانه در همه مراحل نسبت به شرایط دیم افزایش یافت. رقم هایولا ۴۰۱ تحت شرایط بدون آبیاری و شرایط آبیاری تکمیلی دارای عملکرد، اجزای عملکرد دانه و درصد روغن بالاتری نسبت به ارقام آر. جی. اس و شیرالی که حاکی از تحمل به تنش آبی و پتانسیل عملکرد بالاتر این رقم در شرایط آبیاری تکمیلی می‌باشد. گزینش براساس صفات مرفوفیزیولوژیک 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 گردید. در چنین شرایطی می‌توان پیشنهاد نمود در صورت کاهش بارش در دو مرحله گلدهی و پرشدن دانه نسبت به تشامین آب مورد نیاز کلزا از طریق آبیاری تکمیلی اقدام شود. بر اساس نقشه پهنه‌بندی اقلیم استان با زمستان خنک و تابستان خیلی گرم به روش یونسکو (ACZ) دوره فنولوژی چهارگانه فائو در ارقام کلزای مورد بررسی شامل، کاشت از ۲۰ آبان تا ۱۵ آذر، سبزینگی ۱۰ آبان تا ۲۲ آذر، گلدهی ۲۵ اسفند تا ۲۵ فروردین، رسیدگی ۱۵ تا ۲۵ اردیبهشت و برداشت از ۲۵ تا ۳۰ اردیبهشت می‌باشد.

فهرست منابع

1. 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: 842-852.
2. Barnabás, B., Jäger, K., and Fehér, A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant, Cell and Environment. 31(1): 11-38.
3. Canola Council of Canada. 2016. Growth stages of the canola plant. Available in: http://www.canola council.org/crop production/canola grower's.

4. Diepenbrock, W., 2011. Yield analysis of winter oilseed rape (Brassica napus L.): a review. Field Crops Research. 67(1): 35-49.
5. 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.
6. Dogan, E., 2019. Effect of supplemental irrigation on vetch yield components. Agricultural Water Management. 213: 978-982.
7. 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. 8: 1-16.
8. Faostat, F. A., O. 2021. Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://faostat.fao.org/.
9. 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.
10. Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle Size Analysis.p. 383-411. in: Klute A. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1 .2nd ed. Agron.Monogr, 9.ASA, SSSA, Madison, WI.
11. 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.
12. Ghodrati, G. R., 2012. Response of grain yield and yield components of promising genotypes of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) under non-stress and moisture-stressed conditions. Crop Breeding Journal. 2: 49-56.
13. Gültaş, H. T., and Ahi, Y., 2020. Supplemental irrigation impact on yield and yield quality parameters of rapeseed. Agronomy Journal. 112(5): 4207-4218.
14. 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.
15. 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).
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods in: Klute A. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph 9 ASA/SSSA Madison. WI. pp. 635-662.
22. Li, F., Chen, B., Xu, K., Gao, G., Yan, G., Qiao, J., and Wu, X., 2016. A genome-wide association study of plant height and primary branch number in rapeseed (*Brassica napus* L.). Plant Science. 242: 169-177.

23. 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.
24. Mohtashami, F., Tadayon, M. R., and Roshandel, P. 2018. Evaluation of the effect of deficit irrigation regimes on grain yield and yield components of safflower genotypes. Journal of Agricultural Crops Production. 20(2): 547-561.
25. Mohtashami, R., Movhedi Dehnavi, 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.
26. 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): 57-73.
27. 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.
28. 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.
29. Sangtarash, M.H., Qaderi, C.C., Chinnappa, and Reid, D.M., 2009. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus* L.) seedlings to ultraviolet- B radiation, water stress and abscisic acid. Environmental and Experimental Botany. 66: 212-219
30. 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.
31. 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.
32. Tavakoli, A., and Abdolrahmani, B., 2015. Effect single irrigation on y and agronomic characters of spring rapeseed at rainfed condition. Agronomy Journal. 104: 64-72.
33. 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.
34. Yoder, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. Journal American Society of Agronomy. 28: 337-351.
35. Zaree, S., Rezaeizad A., and Niazifard, A., 2015. Effect of terminal drought stress on yield and yield components of some oilseed rape genotypes. 30(3): 297-311.
36. 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.

Evaluation of Some Yield Responses of Canola Cultivars under Supplementary Irrigation and Dry Land Conditions

R. Mohtashami [*]
Assistants Prof., 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. **r.mohtashami@areeo.ir**

Received: May 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

In most arid and semi-arid areas, water limitations are one of the main reasons for the reduced plant growth and yield under irrigation and dry land (rainfed) conditions. The aim of this study was to compare the morphophysiological responses of rapeseed cultivars to supplementary irrigation and dryland conditions. For this purpose, an experiment was carried out as a split plot in the form of a randomized complete block design with three replications during 2017-2018 in the Gachsaran Agricultural Research Station. Irrigation treatments were at four levels (no irrigation=I_0, supplementary irrigation at flowering stage=I_1, supplementary irrigation at grain filling stage=I_2, and supplementary irrigation at flowering stage+ grain filling=I_3) in the main plot, and cultivars Hayola 401, R. J. S, and Shirali as factorial in the sub-plots. The results showed that supplementary irrigation increased plant height, number of sub-branches per plant, 1000- grain weight, grain yield, and oil percentage compared to rainfed conditions. With supplementary irrigation, the weight of 1000 grains increased by 32% compared to rainfed. Grain yield increased from 755 in rainfed conditions to 2350 kg.ha^{-1} with two supplementary irrigations. With two supplementary irrigations, the oil content increased by 11.8% compared to the rainfed conditions. In all irrigation treatments, grain yield and oil content of Hayola 401 were higher than R. J. S and Shirali cultivars. In general, supplementary irrigation improved morphophysiological traits, yield, and percentage of grain oil. In rainfed rapeseed cultivation, with supplemental irrigations at flowering and grain filling, water productivity increased from 0.21 to 0.53 kg m^{-3} grain yield from 755 to 2350 kg ha^{-1} and oil percentage from 35.4 to 36.9.

Keywords: Water productivity; Grain yield; Oil percentage; rapeseed

---

[*] - Corresponding author's email: r.mohtashami@areeo.ir