نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۱۸۶-۱۱۷۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1172-1186

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی آب کلزا در دشت مغان

فرزین پرچمی عراقی[1*]، منصور معیری[2] و حسین زینل‌زاده تبریزی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲

چکیده

در پژوهش حاضر، از طریق انجام اندازه‌گیری‌های میدانی، میزان آب کاربردی فصلی و بهره‌وری فیزیکی آب کلزا (Brassica napus L.) در ۲۶ مزرعه تحت مدیریت زارعین (شامل ۱۸، پنج و سه مزرعه به‌ترتیب، با روش آبیاری شیاری، بارانی سنترپیوت و بارانی کلاسیک ثابت) در سطح دشت مغان (استان اردبیل) طی فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار فصلی کل آب مصرفی (آبیاری و بارندگی مؤثر) و عملکرد دانه کلزا به ترتیب، بین ۲۹۲۱ تا ۶۷۶۲ مترمکعب بر هکتار و ۱/۰۰ تا ۳/۷۰ تن بر هکتار متغیر بود (به ترتیب، با میانگین ۴۷۹۸ مترمکعب بر هکتار و ۲/۶۴ تن بر هکتار). نیاز آبی خالص کلزا در مزارع موردمطالعه طی فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و میانگین ۱۰ ساله آن به ترتیب، در دامنه ۲۸۵ تا ۳۹۹ و ۲۸۲ تا ۳۵۴ میلی‌متر قرار داشت (به ترتیب، با میانگین ۳۲۵ و ۳۰۴ میلی‌متر). میانگین آب کاربردی فصلی در مزارع با روش آبیاری شیاری (۴۳۲۸ مترمکعب بر هکتار) به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) بیشتر از مقدار نظیر آن برای مزارع تحت آبیاری بارانی سنترپیوت و کلاسیک ثابت (به ترتیب، ۲۱۵۴ و ۲۶۳۳ مترمکعب بر هکتار) بود. نمایه‌های بهره‌وری مجموع آب کاربردی و بارش مؤثر (WP_{I+Pe}) و بهره‌وری آب کاربردی (WP_I) در مزارع موردبررسی به ترتیب، بین ۰/۲۸ تا ۰/۹۵ و ۰/۴۱ تا ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود (به ترتیب، با میانگین ۰/۵۸ و ۰/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب). بر اساس نتایج تحلیل رگرسیونی خطی چندمتغیره، عواملی شامل شوری آب آبیاری، تاریخ کشت، تراکم کشت بذر، تاریخ اعمال اولین آبیاری، طول دوره رشد گیاه، وزش بادهای شدید در دوره‌های زمانی مقارن با زمان برداشت محصول، ارتفاع مزارع از سطح دریا، شدت‌جریان آب تحویلی، متوسط دور آبیاری و میزان رطوبت و ناخالصی محصول در زمان برداشت به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانه کلزا و نمایه‌های بهره‌وری آب در دشت مغان شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کشت، تراکم کشت بذر، زهاب، عملکرد، فائو پنمن-مانتیث

مقدمه

کلزا (Brassica napus L.)، با سطح زیر کشت تقریبی ۴۰/۶ میلیون هکتار، پس از سویا دومین گیاه دانه روغنی عمده جهان محسوب می‌شود (FAOSTAT, 2021). مزایای این گیاه از قبیل کیفیت بالای روغن خوراکی استحصالی (با محتوای روغن ۴۰ تا ۴۵ درصد) و مطرح‌شدن آن به‌عنوان دومین منبع تأمین پروتئین جهان در جیره دام (با محتوای ۲۵ تا ۳۵ درصدی پروتئین کنجاله) موجب گسترش کشت این گیاه در سطح کشور در قالب کشت‌های پاییزه و بهاره گردیده است (معیری، ۱۳۹۸). بر اساس آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹)، کلزا با سطح زیر کشت تقریبی ۲۱۴/۰۹ هزار هکتار (۲۰۵/۸۴ هزار هکتار آبی و ۸/۲۵ هزار دیم)، عمده‌ترین گیاه دانه روغنی کشور محسوب شده و از نقش مهمی در کاهش وابستگی به واردات روغن خوراکی برخوردار است. بر اساس آمار سازمان فائو در سال ۲۰۱۹ میلادی، کشور ایران به لحاظ سطح زیر کشت کلزا، در بین کشورهای تولیدکننده این محصول در رتبه ۲۴ قرار داشت (FAOSTAT, 2021). در این میان، استان اردبیل به لحاظ سطح زیر کشت کلزا (شش درصد سطح زیر کشت کلزا در کشور) و مقدار تولید (پنج درصد از ۴۰۰ هزار تن کل محصول

۱- استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
۲- استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.5.15.3

کلزای تولیدی در کشور) به ترتیب، در رتبه هفتم و ششم استان‌های عمده تولیدکننده کلزا در کشور قرار دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). بر اساس برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته و با تکمیل بهره‌برداری از شبکه‌های مدرن آبیاری جدیدالاحداث نظیر شبکه آبیاری خدا آفرین، سهم استان اردبیل در تولید این محصول افزایش خواهد یافت. بااین‌حال، با توجه به محدودیت روزافزون منابع آب قابل‌دسترس برای کشاورزی و لزوم حفظ و افزایش سطح تولید محصولات کشاورزی در استان اردبیل، می‌طلبد که خروجی شبکه‌های آبیاری (تولیدات کشاورزی) به ازای آب قابل‌دسترس کمتر از گذشته، افزایش یابد (Burt, 2013). این امر به معنای ضرورت بهبود بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی است. پیش‌نیاز نیل به این هدف، در دست داشتن برآوردهایی معتبر از آب کاربردی و بهره‌وری آب در کشت محصولات کشاورزی مختلف در نواحی اصلی تولید آن‌ها و در شرایط واقعی مدیریت آبیاری و بهره‌برداری اعمال‌شده در مزارع است. متوسط نیاز آبی کلزا در مناطق مختلف ایران بین ۳۵۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر و تعداد نوبت‌های آبیاری کلزا در روش آبیاری سطحی بسته به مقدار و پراکنش رویدادهای بارش بین سه تا هفت نوبت متغیر بوده و تعداد نوبت‌های آبیاری در روش آبیاری بارانی تا حدود دو برابر این مقادیر قابل‌افزایش است (معیری، ۱۳۹۸).

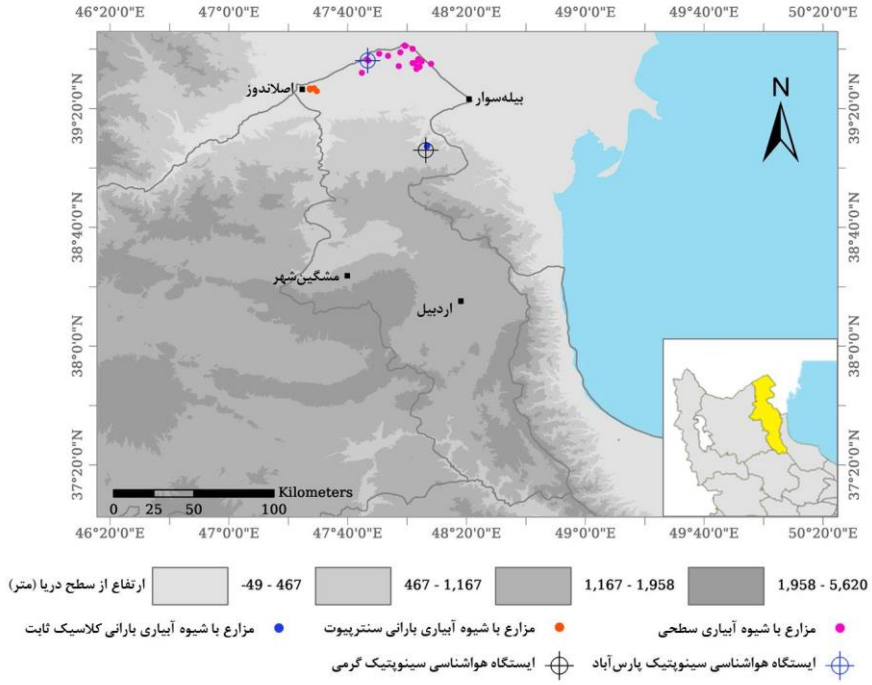
تاکنون، میزان آب کاربردی فصلی و بهره‌وری آب کشت کلزا در مطالعات متعددی موردبررسی قرار گرفته است. در این رابطه، جعفری و حامدی (۱۳۸۷) طی مطالعه‌ای در ایستگاه تحقیقاتی اسلام‌آباد غرب، استان کرمانشاه، میزان بهینه آب کاربردی و بهره‌وری آب کلزا در روش آبیاری قطره‌ای نواری را به ترتیب، در حدود ۳۲۸ میلی‌متر و ۱/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. طی مطالعه‌ای در ایستگاه تحقیقات سراب چنگایی، استان لرستان، سپه وند (۱۳۸۸) میزان آب مصرفی کلزا (رقم طلایه) را در حدود ۶۵۹ میلی‌متر (شامل ۲۷۷ میلی‌متر آب کاربردی و ۳۸۲ میلی‌متر بارش مؤثر) و میزان بهره‌وری آب مصرفی در کشت کلزا را در حدود ۰/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کرد. طی یک مطالعه دوساله در استان بوشهر، نوروزی و زلفی باوریانی (۱۳۹۰)، میزان آب کاربردی و بهره‌وری کل آب مصرفی (آبیاری و بارش مؤثر) کلزا (رقم ساری‌گل) در رژیم‌های مختلف آبیاری (۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) را به ترتیب، بین ۲۲۴ تا ۴۷۰ میلی‌متر و ۰/۱۴ تا ۰/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش دادند. در این مطالعه، بهره‌وری آب آبیاری و کل آب مصرفی برای گزینه مدیریت آبیاری توصیه‌شده به ترتیب، برابر با ۰/۳۲ و ۰/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. سلامتی و دلبری (۱۳۹۳) با بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای نواری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی) بر عملکرد کمی و کیفی کلزا (ارقام هایولا ۴۰۱ و آرجی‌اس-۰۰۳) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاوور، استان خوزستان، حجم آب مصرفی، عملکرد دانه و بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف را به ترتیب، بین ۱۹۶ تا ۴۹۰ میلی‌متر، ۲/۱۴ تا ۳/۲۵ تن بر هکتار و ۰/۶۳ تا ۱/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. در این مطالعه، بهره‌وری آب آبیاری برای گزینه مدیریت آبیاری توصیه‌شده در حدود ۰/۸۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. مظاهری و همکاران (۱۳۹۳) طی مطالعه‌ای در ایستگاه تحقیقاتی اکباتان، استان همدان، اثر کاربرد روش‌های آبیاری شیاری و قطره‌ای نواری و چهار رقم کلزا (اکاپی، اس- ال-ام ۴۶، اپرا و لیکورد) را بر میزان عملکرد محصول و بهره‌وری آب موردبررسی قرار دادند. میزان آب کاربردی در روش‌های آبیاری شیاری و قطره‌ای نواری به ترتیب، در حدود ۴۸۷ و ۲۶۲ میلی‌متر و بهره‌وری آب کاربردی به ترتیب، در حدود ۰/۷۴ و ۱/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. در یک مطالعه لایسیمتری در استان کرمانشاه، قمرنیا و همکاران (۱۳۹۵) نیاز آبی فصلی کلزا را حدود ۳۹۲ میلی‌متر برآورد کردند.

صفوی فرد و همکاران (۱۳۹۷) طی یک مطالعه دوساله در یک مزرعه تحقیقاتی در استان البرز (کرج)، با مقایسه کشت پاییزه و زمستانه ارقام بهاره زودرس (دلگان و هایولا ۴۰۱)، میان‌رس (ساری‌گل) و دیررس (جاکومو و جرومه) کلزا، مقدار آب مصرفی در رژیم آبیاری معمول در تیمارهای کشت پاییزه و زمستانه را به ترتیب، در حدود ۵۱۲ و ۳۸۴ میلی‌متر و متوسط بهره‌وری آب آبیاری را به ترتیب، در حدود ۱/۰۴ و ۰/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. افشار و همکاران (۱۳۹۹)، طی یک مطالعه دوساله در منطقه جیرفت، بهره‌وری آب مصرفی در فرآیند تبخیر- تعرق کلزا در رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای نواری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) را در دامنه ۱/۲۹ تا ۱/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. بر اساس مطالعات صورت گرفته در دشت بزرگ، ایالات‌متحده امریکا، حداقل میزان آب فصلی موردنیاز کلزا برای زنده ماندن گیاه و بدون تولید محصول بین ۱۲۵ تا ۱۶۰ میلی‌متر متغیر بوده و با کاربرد آب به میزانی بیشتر از آستانه حداقلی فوق (تا حداکثر میزان آب فصلی ۶۰۰ میلی‌متر)، عملکرد کلزا با آهنگ ۶/۹ تا ۷/۷ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر افزایش می‌یابد (Johnston et al., Nielsen, 1997 ; 2002; Hergert et al., 2016; Assefa et al., 2018). نیاز آبی روزانه کلزا در مراحل ابتدایی (سبز شدن تا مرحله روزت) در حدود یک میلی‌متر بر روز است که از انتهای مرحله روزت تا مرحله غنچه دهی به‌طور تدریجی از دو به پنج میلی‌متر بر روز افزایش یافته و در مراحل حساس رشد گیاه (گلدهی و تشکیل کپسول‌ها) تا شش میلی‌متر بر روز می‌رسد (Diepenbrock, 2000). پس از تکمیل مرحله پر شدن دانه‌ها، نیاز آبی گیاه با آهنگی سریع شروع به کاهش می‌کند (Hergert et al., 2016). طی مطالعه‌ای در ایالت کالیفرنیا، جورج و همکاران حداکثر مقدار آب مصرفی کلزا را در حدود ۳۸۰ میلی‌متر گزارش کردند (George et al., 2015). متقابلاً، پاولیستا و همکاران طی پژوهشی در نبراسکا، ایالات‌متحده آمریکا، نشان دادند که رشد

رویشی مناسب کلزا نیازمند بیش از ۲۰۰ میلی‌متر آب و دستیابی به سطح بالایی از عملکرد محصول (بیش از ۳/۰ تن بر هکتار) نیازمند بیش از ۴۰۰ میلی‌متر آب قابل‌دسترس طی فصل رشد گیاه است (Pavlista et al., 2016). از سوی دیگر، کیانی (۱۳۹۸) برآوردهایی از مقدار فصلی نیاز آبیاری خالص کلزا به‌عنوان تابعی از میانگین فصلی دمای متوسط روزانه هوا و تبخیر- تعرق پتانسیل ارائه داد. بر این اساس، میزان فصلی نیاز آبیاری خالص کلزا به ترتیب، به ازای دمای متوسط روزانه کمتر از ۱۵، ۱۵ تا ۲۵ و بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تبخیر- تعرق پتانسیل سه تا چهار، پنج تا شش و شش تا هفت میلی‌متر بر روز در حدود ۲۰۰، ۲۳۵ و ۲۷۰ میلی‌متر برآورد شده است. همچنین، آسیفا و همکاران میزان عملکرد پتانسیل، متوسط عملکرد تحقق‌یافته در کرت‌های آزمایشی و متوسط عملکرد کلزا در شرایط واقعی مزارع امریکای شمالی را به ترتیب، در حدود ۷/۰، ۳/۶ و ۲/۳ تن بر هکتار گزارش کردند (Assefa et al., 2018). تا جایی که بر اساس آمار سازمان فائو، میزان متوسط عملکرد کلزا در کشورهای کانادا و چین به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکنندگان کلزا در جهان به ترتیب، در حدود ۲/۲۴ و ۲/۰۵ تن بر هکتار است (FAOSTAT, 2021). بنابراین، در شرایط واقعی مزارع، تنش‌های محیطی و محدودیت‌های تحمیلی به کشاورزان به لحاظ فراهم آوردن شرایط بهینه رشد گیاه در مزارع کلزا مانع از دستیابی به پتانسیل عملکرد محصول و سطوح ایده آل بهره‌وری آب می‌گردد. با توجه به تغییرات زمانی و مکانی این محدودیت‌ها، پایش و ارزیابی مدیریت آبیاری، کمی سازی آب مصرفی و بهره‌وری آب مصرفی گیاهان عمده زراعی و باغی هر منطقه در شرایط واقعی مزارع، پیش‌نیاز برنامه‌ریزی جهت تخصیص بهینه منابع آب و بهبود بهره‌وری آب کشاورزی است. این در حالی است که اکثر برآوردهای گزارش‌شده در این رابطه، بر اساس مطالعات صورت گرفته در کرت‌های آزمایشی و بدون توجه به اثر محدودیت‌های فوق بوده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، برآورد آب کاربردی فصلی و ارزیابی بهره‌وری مصرف آب در کشت کلزا از طریق اندازه‌گیری مستقیم و میدانی حجم آب آبیاری کاربردی در شرایط واقعی مدیریت بهره‌برداری مزارع در دشت مغان (استان اردبیل) بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه طی فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزارع کلزای منتخب دشت مغان به‌عنوان قطب اصلی کشت آبی کلزا در استان اردبیل متمرکز گردید. مزارع مطالعاتی از طریق مشاوره با مراکز خدمات و مدیریت جهاد کشاورزی به‌گونه‌ای انتخاب شد که حتی‌الامکان، دامنه تغییرات ویژگی‌های مزارع کلزا در سطح منطقه مطالعاتی به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک و آب آبیاری، وضعیت زهکشی داخلی خاک، تاریخ کشت، آرایش کشت، روش آبیاری و رقم کلزا و سطح مهارت بهره‌برداران (پیشرو/ معمولی) را پوشش دهند (شکل ۱). سطح تحصیلات بهره‌برداران مزارع منتخب بین ابتدایی تا دکتری متغیر بود و بخش عمده آن‌ها (۷۷ درصد) دارای سطح تحصیلات دیپلم و پایین‌تر از آن بودند. همچنین، ۳۱ درصد از کل مزارع مطالعاتی توسط کشاورزان پیشرو و مابقی توسط کشاورزان معمولی مدیریت می‌شد. روش آبیاری در مزارع انتخابی (در مجموع، ۲۶ مزرعه) شامل آبیاری شیاری، بارانی سنترپیوت و کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک (به ترتیب، در ۱۸، پنج و سه مزرعه) بود (شکل ۱). آب موردنیاز مزارع تحت آبیاری به روش‌های شیاری و بارانی سنترپیوت از رود ارس (به ترتیب، از طریق شبکه آبیاری مغان و خدا آفرین) و در مورد مزارع تحت آبیاری به روش بارانی کلاسیک ثابت از طریق پمپاژ از رودخانه گرمی‌چایی (اوجارود) تأمین می‌شد. مساحت مزارع منتخب با میانگین ۸/۲۷ هکتار بین ۱/۰ تا ۴۸/۰ هکتار متغیر بود. ارقام کلزای کشت‌شده در مزارع مطالعاتی شامل، هایولا-۵۰ (در ۱۶ مزرعه)، تراپر، نپتون (هریک در سه مزرعه)، آرجی‌اس-۰۰۳ و اکتانز (هریک در دو مزرعه) بود. در تمامی مزارع مطالعاتی، آرایش کشت کلزا به‌صورت دو ردیفه (با فواصل ردیف ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) بر روی دو طرف پشته‌هایی با فواصل ۶۰ سانتی‌متری و فاصله بوته روی ردیف پنج تا ۱۰ سانتیمتری بود. طی مطالعات مزرعه‌ای، ویژگی‌هایی از جمله مراحل مختلف رشد گیاه، بافت و شوری خاک، شوری آب آبیاری تحویلی، عمق آب کاربردی در هر نوبت آبیاری، میزان محصول تولیدی و عملکرد محصول در واحد سطح تعیین شد. در مزارع مطالعاتی با روش آبیاری شیاری دبی جریان تحویلی به مزرعه با استفاده از فلوم و مطابق با رهنمودهای اسلامی (۱۳۹۵) اندازه‌گیری شد. متعاقباً، مقادیر عمق آبیاری طی هریک از رویدادهای آبیاری با در دست داشتن سطح زیر کشت مزرعه، شدت‌جریان آب آبیاری و مدت‌زمان تحویل جریان آب به مزرعه برآورد گردید. مزارع مطالعاتی با روش آبیاری بارانی سنترپیوت مجهز به کنتور بوده و میزان آب کاربردی طی هر رویداد آبیاری با در دست داشتن سطح زیر کشت مزرعه و قرائت‌های کنتور برآورد گردید. میزان آب کاربردی مزارع مطالعاتی با روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با استفاده از سطح زیر کشت مزرعه و میزان متوسط دبی آبپاش‌ها (اندازه‌گیری شده به روش سطل و زمان‌سنج) برآورد شد. میزان نیاز آبی خالص کلزا (I_n، میلی‌متر بر روز) در هریک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان تابعی از تبخیر- تعرق گیاه و بارش مؤثر (P_e) با استفاده از داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک هم‌جوار مزارع مطالعاتی محاسبه گردید (شکل ۱).



شکل ۱- پراکنش جغرافیایی مزارع مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مجاور مزارع مطالعاتی

صحت مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهای هواشناسی در هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی با استفاده از معیارهای پیشنهادی توسط آلن و همکاران (Allen et al., 1998) موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور برآورد داده‌های هواشناسی گم‌شده از یک الگوریتم مبتنی بر جستجو- بهینه‌سازی (پرچمی عراقی و همکاران، ۱۳۹۵) استفاده شد. به دلیل غیر مرجع بودن ایستگاه‌های هواشناسی مطالعاتی، مقادیر داده‌های دمای نقطه شبنم با استفاده از یک روش مبتنی بر نمایه خشکی (Todorovic et al., 2013) تصحیح گردید.

مقدار تبخیر- تعرق روزانه کلزا (ET_c، میلی‌متر بر روز) در هریک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان تابعی از مرحله رشد گیاه مشاهده‌شده در هر مزرعه و با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد (با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب، ۱۸' ۴۸° و ۲۴' ۳۹° و ارتفاع ۷۲/۶ متر از سطح دریا) و گِرمی (با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب، ۰۴' ۴۸° و ۰۳' ۳۹° و ارتفاع ۷۴۹/۰ متر از سطح دریا) طی دوره‌های زمانی درازمدت، ۱۰ سال اخیر و فصل زراعی مطالعاتی (۹۹-۱۳۹۸) از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_c = K_c\, ET_o \qquad (۱)$$

که در آن: K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) و ET_o تبخیر تعرق روزانه چمن مرجع (میلی‌متر بر روز) می‌باشد.

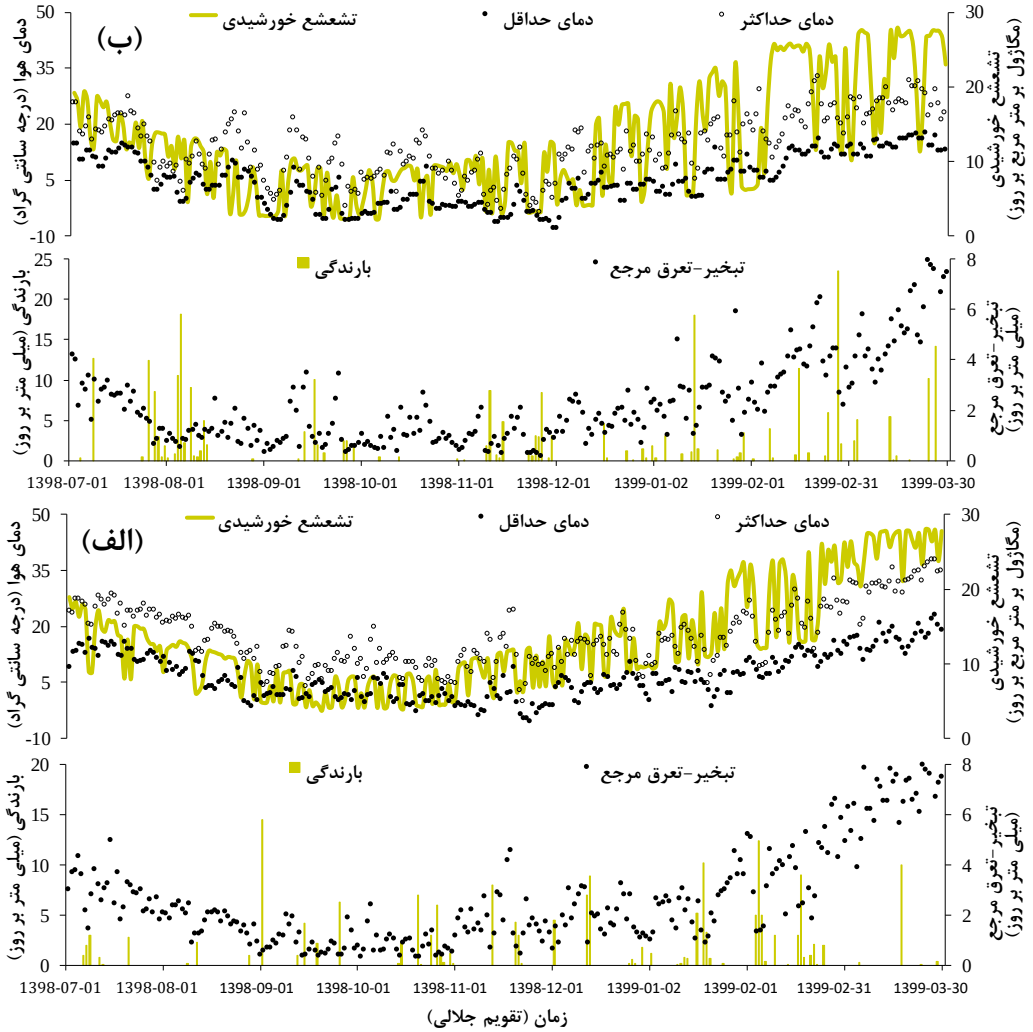
تبخیر- تعرق روزانه چمن مرجع با استفاده از مدل فائو پنمن- مانتیث (Allen et al., 1998) محاسبه شد. میزان تبخیر- تعرق کلزا با استفاده از تبخیر- تعرق چمن مرجع محاسباتی و ضرایب گیاهی منفرد برای گیاه کلزا (به ترتیب، ۰/۴۰، ۱/۱۵ و ۰/۳۵ برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد گیاه) برآورد گردید (Allen et al., 1998). مقدار بارندگی مؤثر در هر رویداد بارندگی از طریق روش USDA-SCS (Bos et al., 2008) برآورد شد. متعاقباً، مقادیر فصلی بارندگی، بارندگی مؤثر، تبخیر- تعرق چمن مرجع، نیاز آبی و نیاز آبی خالص کلزا محاسبه‌شده بر اساس مراحل رشد گیاه مشاهداتی در هریک از مزارع موردمطالعه برای ۱) فصل زراعی مطالعاتی، ۲) میانگین ۱۰ سال اخیر و ۳) سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد برای خشکی اقلیمی (با استفاده از داده‌های هواشناسی درازمدت) برآورد گردید. بدین ترتیب، هریک از مزارع مطالعاتی دارای مقادیری منحصربه‌فرد از برآوردهای فوق بود. برآوردهای مربوط به سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد برای خشکی اقلیمی بر اساس تحلیل فراوانی تجربی برای برآوردهای درازمدت P_e، ET_c و I_n اشتقاق یافت (USDA-NRCS, 1993). الگوی تغییرات روزانه مقادیر متغیرهای هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد و گرمی در طول دوره مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است. طی این دوره، میانگین دمای هوا در مناطق پارس‌آباد و گرمی به ترتیب، برابر با ۱۲/۳ و ۹/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین تبخیر تعرق مرجع به ترتیب، برابر با ۲/۶ و ۲/۲ میلی‌متر بر روز بود. همچنین، میزان کل بارندگی محقق شده طی دوره مطالعاتی در مناطق پارس‌آباد و گرمی

به ترتیب، برابر با ۱۷۸/۶ و ۲۷۹/۸ میلی‌متر بود. نسبت نیاز آبی خالص محاسباتی به کل آب کاربردی فصلی در هریک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان برآوردی از نمایه راندمان کاربرد آب (AE) تعیین گردید. همچنین، نمایه‌های بهره‌وری آب آبیاری (WP_I، کیلوگرم بر مترمکعب) و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر (WP_{I+Pe}، کیلوگرم بر مترمکعب) به‌شرط زیر محاسبه شد (Molden et al., 2001):

$$WP_I = kY/I \quad (۲)$$

$$WP_{I+P_e} = kY/(I+P_e) \quad (۳)$$

که در آن: Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، I آب آبیاری کاربردی فصلی (میلی‌متر)، P_e بارش مؤثر فصلی (میلی‌متر) و k = ۰/۱ ضریب تبدیل واحد است.



شکل ۲- الگوی تغییرات روزانه متغیرهای هواشناسی در طول دوره مطالعاتی بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک پارس‌آباد (الف) و گرمی (ب)

نتایج و بحث

مقادیر آماره‌های توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی مزارع مطالعاتی در جدول ۱ ارائه گردیده است. میزان سطح زیر کشت کلزا در مزارع مطالعاتی با میانگین ۸/۰۴ هکتار بین ۰/۹۲ تا ۴۸/۰۰ هکتار متغیر و مساحت بخش عمده‌ای از مزارع مطالعاتی (۸۰ درصد) کمتر از ۹/۰۰ هکتار بود (جدول ۱). میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک سطحی در مزارع مطالعاتی با میانگین ۱/۵۵ دسی زیمنس بر متر بین ۰/۶۵ تا ۲/۷۳ دسی زیمنس بر متر متغیر بود (جدول ۱). با مقایسه مقادیر شوری عصاره اشباع خاک سطحی با معیارهای توصیه‌شده در این رابطه (USSLS, 1954)، می‌توان گفت که خاک سطحی مزارع مطالعاتی در کلاس‌های «بدون مشکل شوری» تا «اندکی شور» قرار می‌گیرند. شوری آب آبیاری تحویلی به مزارع

مطالعاتی با میانگین ۰/۷۹ دسی زیمنس بر متر، بین ۰/۵۷ تا ۱/۴۷ دسی زیمنس بر متر متغیر بود (جدول ۱). بر اساس نمو گرام ویلکاکس (Wilcox, 1955)، آب تحویلی به ۵۶ درصد از مزارع مطالعاتی در کلاس C3 (شوری بالا) و مابقی در کلاس C2 (شوری متوسط) قرار می‌گرفتند. میزان تراکم کشت بذر کلزا با میانگین ۶/۳۹ کیلوگرم بر هکتار، بین ۵/۲۵ تا ۸/۵۹ کیلوگرم بر هکتار متغیر بوده (جدول ۱) و مقدار آن در بخش عمده‌ای از مزارع مطالعاتی (۶۲ درصد) بیشتر از ۶/۰۰ کیلوگرم بر هکتار بود. تاریخ کشت کلزا، با میانگین ۱۳۹۸/۰۷/۱۶ بین اوایل مهرماه تا اوایل آبان ماه و تاریخ برداشت در مزارع مطالعاتی با میانگین ۱۳۹۹/۰۳/۱۲ بین اوایل تا اواخر خردادماه متغیر بود (جدول ۱). بر این اساس، طول دوره رشد ارقام مختلف کلزای کشت‌شده در مزارع مطالعاتی با میانگین ۲۳۸ روز در دامنه ۲۲۲ تا ۲۶۰ روز قرار داشته (جدول ۱) و مقدار آن در ۸۴ درصد از مزارع مطالعاتی کمتر از ۲۴۴ روز بود. اولین آبیاری به فاصله یک تا ۱۲ روز پس از کشت بذرها صورت گرفته و زمان آخرین آبیاری با میانگین ۴۱ روز قبل از برداشت محصول، بین ۲۰ تا ۱۰۶ روز قبل از زمان برداشت متغیر بود (جدول ۱). در اغلب مزارع مطالعاتی (۸۵ درصد)، آخرین رویداد آبیاری به فاصله کمتر از ۴۳ روز از زمان برداشت محصول اعمال شد. تعداد رویدادهای آبیاری اعمال‌شده در مزارع مطالعاتی با میانگین چهار نوبت بین دو تا شش نوبت متغیر بوده و ۶۲ درصد از مزارع مطالعاتی دارای حداکثر چهار نوبت آبیاری بودند. میانگین دور آبیاری اعمال‌شده در مزارع مطالعاتی با میانگین ۷۱ روز بین ۳۴ تا ۱۹۳ روز متغیر بوده (جدول ۱) و مقدار آن در ۷۳ درصد از مزارع مطالعاتی کمتر از ۷۳ روز بود. در سه مزرعه مطالعاتی با روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت واقع در منطقه گرمی (شکل ۱)، وضعیت نسبتاً مطلوب بارش‌های بهاره (شکل ۲–ب) و عدم دسترسی کشاورز به آب آبیاری در فصل بهار، موجب پایان یافتن زودهنگام (در اسفندماه) فصل آبیاری گردید. ازاین‌رو، مدیریت آبیاری اعمال‌شده در این سه مزرعه سبب افزایش تغییرپذیری برخی ویژگی‌های مدیریتی مرتبط با آبیاری در مزارع مطالعاتی (شامل تاریخ آخرین آبیاری، میانگین دور آبیاری و فاصله آخرین آبیاری تا برداشت) شده است (جدول ۱).

جدول ۱- آماره‌های توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی در مزارع مطالعاتی

ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۲۵	۴۹۷	۱۳۲	۱۱۳
سطح زیر کشت واقعی مزرعه (هکتار)	۰/۹۲	۴۸/۰۰	۸/۰۴	۱۴۲
دبی منبع آب (لیتر بر ثانیه)	۱۱/۶۱	۶۴/۶۲	۴۲/۲۲	۳۸
شوری خاک سطحی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۶۵	۲/۷۳	۱/۵۵	۳۲
شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر)	۰/۵۷	۱/۴۷	۰/۷۹	۲۷
تراکم کشت بذر (کیلوگرم بر هکتار)	۵/۲۵	۸/۵۹	۶/۳۹	۱۷
تاریخ کاشت	۱۳۹۸/۰۷/۰۵	۱۳۹۸/۰۸/۰۴	۱۳۹۸/۰۷/۱۶	۲۱
تاریخ برداشت	۱۳۹۹/۰۳/۰۳	۱۳۹۹/۰۳/۲۴	۱۳۹۹/۰۳/۱۲	۲۲
طول دوره رشد (روز)	۲۲۲	۲۶۰	۲۳۸	۴
تاریخ اولین آبیاری	۱۳۹۸/۰۷/۰۵	۱۳۹۸/۰۸/۰۴	۱۳۹۸/۰۷/۱۸	۲۱
تاریخ آخرین آبیاری	۱۳۹۹/۱۲/۱۰	۱۳۹۹/۰۲/۲۱	۱۳۹۹/۰۲/۰۲	۱۳۶
فاصله تاریخ کاشت تا آبیاری اول (روز)	۱	۱۲	۳	۱۱۱
فاصله اولین و آخرین آبیاری (روز)	۱۳۸	۲۲۶	۱۹۶	۱۱
تعداد نوبت‌های آبیاری اعمال‌شده	۲	۶	۴	۲۴
میانگین دور آبیاری (روز)	۳۴	۱۹۳	۷۱	۴۷
فاصله آخرین آبیاری تا برداشت (روز)	۲۰	۱۰۶	۴۱	۵۷
تعداد دفعات کود دهی	۱	۶	۳	۴۸
حداکثر سرعت باد طی دوره ۱۰ روز قبل از برداشت (متر بر ثانیه)	۶/۲	۹/۰	۷/۵	۱۲
میانگین سرعت باد طی دوره ۱۰ روز قبل از برداشت (متر بر ثانیه)	۳/۴	۴/۷	۴/۱	۹
حداکثر سرعت باد طی دوره پنج روز قبل از برداشت (متر بر ثانیه)	۳/۹	۷/۶	۶/۵	۱۳
میانگین سرعت باد طی دوره پنج روز قبل از برداشت (متر بر ثانیه)	۲/۹	۵/۲	۴/۱	۱۶
رطوبت محصول در زمان برداشت (درصد)	۱۰	۱۸	۱۲	۱۶
ناخالصی محصول در زمان برداشت (درصد)	۱	۸	۴	۴۳

یکی از چالش‌های تولید کلزا در دشت مغان تلفات ریزش دانه کلزا قبل از برداشت محصول به دلیل مصادف شدن وزش بادهای گرم شدید با دوره انتهایی رشد گیاه است. بر اساس جدول ۱، حداکثر سرعت باد طی دوره پنج و ۱۰ روزه قبل از برداشت محصول در مزارع مطالعاتی به ترتیب، با میانگین ۷/۵ و ۶/۵ متر بر ثانیه، بین ۶/۲ تا ۹/۰ و ۳/۹ تا ۷/۶ متر بر ثانیه متغیر بوده است. همین‌طور، میانگین سرعت باد طی دوره پنج و ۱۰ روزه قبل از برداشت محصول در مزارع مطالعاتی با میانگین مشابه ۴/۱ متر بر روز، به ترتیب، در دامنه ۳/۴ تا ۴/۷ و ۲/۹ تا ۵/۲ متر بر ثانیه قرار داشت (جدول ۱). بر اساس رهنمودهای آلن و همکاران (Allen et al., 1998)، مقادیر سرعت باد اندازه‌گیری شده طی دو دوره زمانی فوق در دسته سرعت باد متوسط (سرعت باد دو تا پنج متر بر ثانیه) تا شدید (سرعت باد پنج تا هشت متر بر ثانیه) قرار می‌گیرد. میزان رطوبت و ناخالصی محصول در زمان برداشت به ترتیب، با میانگین ۱۲ و چهار درصد، بین ۱۰ تا ۱۸ و یک تا هشت درصد متغیر بود. آماره‌های توصیفی برآوردهای مختلف مقادیر فصلی بارندگی، بارندگی مؤثر، تبخیر- تعرق چمن مرجع، نیاز آبی و نیاز آبی خالص کلزا محاسبه‌شده بر اساس مراحل رشد گیاه مشاهداتی در هریک از مزارع موردمطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. مطابق با این جدول و بر اساس مقادیر آماره ضریب تغییرات، تمامی برآوردهای فوق در بین مزارع مطالعاتی از تغییرپذیری اندکی برخوردار بوده‌اند (تغییرپذیری شش تا ۱۱ درصد). این تغییرپذیری ناشی از متفاوت بودن تقویم مراحل مختلف رشد کلزا در بین مزارع مطالعاتی است. میانگین برآوردهای بارش مؤثر و نیاز آبی خالص اشتقاقی بر اساس تحلیل فراوانی تجربی داده‌های درازمدت هواشناسی به ازای سطح احتمال وقوع خشکی اقلیمی ۷۵ درصد به ترتیب، کمتر (۷۱ تا ۹۵ درصد) و بیشتر (۱۴ تا ۲۰ درصد) از مقادیر نظیر محاسباتی بر اساس میانگین ۱۰ سال اخیر و نیز برآوردهای مربوط به فصل زراعی مطالعاتی (۹۹-۱۳۹۸) بوده است (جدول ۲). همین‌طور، میانگین بارش مؤثر و نیاز آبی خالص محقق شده طی فصل زراعی مطالعاتی به ترتیب، به میزان ۱۲ درصد کمتر و هفت درصد بیشتر از مقادیر نظیر میانگین ۱۰ سال اخیر بوده است. بارش مؤثر محقق شده طی دوره رشد گیاه موجب کاهش ۲۲ تا ۳۱ درصدی میانگین برآوردهای فصلی نیاز آبی خالص در مقایسه با برآوردهای نظیر نیاز آبی گردید.

آماره‌های توصیفی مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده حجم آب کاربردی فصلی و عملکرد محصول طی فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به همراه نمایه‌های راندمان کاربرد آب آبیاری، WP_I و WP_{I+Pe} در هریک از مزارع مطالعاتی در جدول ۳ ارائه گردیده است. بر اساس این جدول، میزان فصلی آب کاربردی و مجموع آب کاربردی و بارش مؤثر در مزارع مطالعاتی به ترتیب، با میانگین ۳۷۱۴ و ۴۷۹۸ مترمکعب بر هکتار، بین ۱۸۹۲ تا ۵۷۲۱ و ۲۹۲۱ تا ۶۷۶۲ مترمکعب بر هکتار متغیر بوده است. مقادیر مجموع آب کاربردی و بارش مؤثر محقق شده در مزارع مطالعاتی در دامنه برآوردهای جورج و همکاران (George et al., 2015) و پاولیستا و همکاران (Pavlista et al., 2016) برای آب موردنیاز کلزا قرار دارد. بااین‌حال، مقدار میانگین به‌دست‌آمده برای حجم آب کاربردی فصلی در مزارع مطالعاتی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) کمتر از برآورد فرحزا و همکاران (۱۳۹۹) برای میانگین حجم آب کاربردی فصلی کشت کلزا در دشت مغان (۶۹۱۲ مترمکعب بر هکتار) می‌باشد. میزان میانگین آب کاربردی فصلی در مزارع با روش آبیاری شیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار نظیر آن برای مزارع تحت آبیاری بارانی سنترپیوت و کلاسیک ثابت (به ترتیب، به میزان ۱۰۱ و ۶۶ درصد) بوده است (جدول ۳). این امر از شکل ۳ که در آن مقادیر آب کاربردی با برآوردهای مختلف نیاز آبی خالص کلزا برای هریک از مزارع مطالعاتی نشان داده شده است نیز قابل استنباط می‌باشد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، میزان آب کاربردی در تمامی مزارع با روش آبیاری شیاری (به‌جز مزرعه A18) همواره بیشتر از مزارع تحت آبیاری بارانی بوده است. بر اساس شکل ۳ مزارع مطالعاتی با روش آبیاری بارانی بیشترین تعداد نوبت‌های آبیاری را تجربه کرده‌اند.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی برآوردهای مختلف (میلی‌متر) بارندگی و نیاز آبی کلزا محاسبه‌شده بر اساس مراحل رشد گیاه مشاهداتی در هریک از مزارع موردبررسی (*)

آماره	سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد (با استفاده از داده‌های هواشناسی درازمدت)					میانگین ۱۰ سال اخیر					فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸				
	P	P_e	ET_o	ET_c	I_n	P	P_e	ET_o	ET_c	I_n	P	P_e	ET_o	ET_c	I_n
حداقل	۶۲	۵۵	۴۵۸	۴۱۱	۳۵۲	۱۸۳	۱۱۳	۴۴۲	۳۹۸	۲۸۲	۱۵۶	۱۰۲	۴۵۷	۴۰۳	۲۸۵
حداکثر	۹۱	۸۰	۵۹۸	۵۰۹	۴۴۰	۲۴۱	۱۴۱	۵۸۰	۴۹۵	۳۵۴	۲۴۲	۱۳۱	۶۲۱	۵۱۲	۳۹۹
میانگین	۷۵	۶۳	۴۹۹	۴۴۴	۳۸۰	۲۱۰	۱۲۳	۴۸۰	۴۲۸	۳۰۴	۱۶۹	۱۰۸	۴۹۶	۴۳۳	۳۲۵
ضریب تغییرات (درصد)	۱۰	۱۲	۹	۶	۶	۷	۶	۸	۶	۶	۱۴	۸	۹	۶	۸

(*) در این جدول، P بارندگی، P_e بارندگی مؤثر، ET_o تبخیر- تعرق چمن مرجع، ET_c نیاز آبی کلزا و I_n نیاز آبی خالص کلزا است.

جدول ۳- آماره‌های توصیفی مقادیر اندازه‌گیری شده حجم آب آبیاری، عملکرد محصول و نمایه‌های راندمان کاربرد آب آبیاری، WP_I و WP_{I+Pe} طی فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در هریک از مزارع مطالعاتی (*)

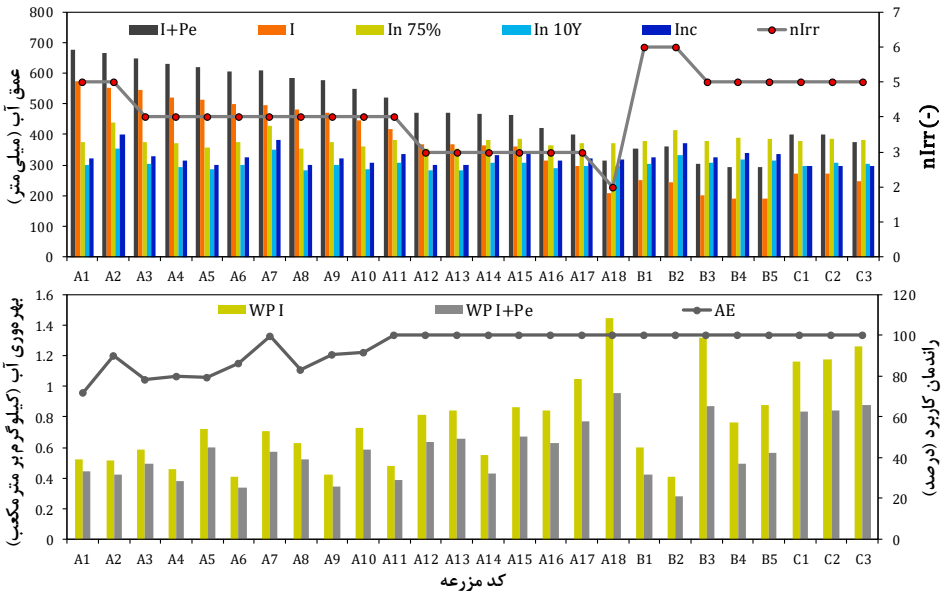
شرح	روش آبیاری	حجم نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)
آب کاربردی در فصل زراعی (مترمکعب بر هکتار)	سطحی	۱۸	۲۰۷۵	۵۷۲۱	۴۳۲۸ [a]	۲۳
	بارانی سنترپیوت	۵	۱۸۹۲	۲۵۰۷	۲۱۵۴ [b]	۱۴
	بارانی کلاسیک ثابت	۳	۲۴۷۷	۲۷۱۸	۲۶۳۳ [b]	۵
	کل مجموعه داده	۲۶	۱۸۹۲	۵۷۲۱	۳۷۱۴	۳۴
مجموع آب کاربردی و بارش مؤثر در فصل زراعی (مترمکعب بر هکتار)	سطحی	۱۸	۳۱۵۳	۶۷۶۲	۵۳۸۹ [a]	۱۹
	بارانی سنترپیوت	۵	۲۹۲۱	۳۶۰۰	۳۲۰۵ [b]	۱۰
	بارانی کلاسیک ثابت	۳	۳۷۵۰	۳۹۹۹	۳۹۱۱ [b]	۴
	کل مجموعه داده	۲۶	۲۹۲۱	۶۷۶۲	۴۷۹۸	۲۶
عملکرد دانه کلزا (تن بر هکتار)	سطحی	۱۸	۲/۰۰	۳/۷۰	۲/۸۳ [a]	۱۹
	بارانی سنترپیوت	۵	۱/۰۰	۲/۶۶	۱/۶۵ [b]	۳۷
	بارانی کلاسیک ثابت	۳	۳/۱۲	۳/۱۸	۳/۱۵ [a]	۱
	کل مجموعه داده	۲۶	۱/۰۰	۳/۷۰	۲/۶۴	۲۷
راندمان کاربرد آب آبیاری (درصد)	سطحی	۱۸	۷۲	۱۰۰	۹۲ [a]	۱۰
	بارانی سنترپیوت	۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰ [a]	۰
	بارانی کلاسیک ثابت	۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰ [a]	۰
	کل مجموعه داده	۲۶	۷۲	۱۰۰	۹۴	۹
WP_I (کیلوگرم بر مترمکعب)	سطحی	۱۸	۰/۴۱	۱/۴۵	۰/۷۰ [b]	۳۷
	بارانی سنترپیوت	۵	۰/۴۱	۱/۳۲	۰/۷۹ [b]	۴۳
	بارانی کلاسیک ثابت	۳	۱/۱۶	۱/۲۶	۱/۲۰ [a]	۴
	کل مجموعه داده	۲۶	۰/۴۱	۱/۴۵	۰/۷۷	۳۹
WP_{I+Pe} (کیلوگرم بر مترمکعب)	سطحی	۱۸	۰/۳۳	۰/۹۵	۰/۵۵ [b]	۳۰
	بارانی سنترپیوت	۵	۰/۲۸	۰/۸۷	۰/۵۳ [b]	۴۲
	بارانی کلاسیک ثابت	۳	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۸۵ [a]	۳
	کل مجموعه داده	۲۶	۰/۲۸	۰/۹۵	۰/۵۸	۳۳

(*) در این جدول، میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (بر اساس آزمون LSD در سطح $P < 0.05$) فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

یکی از دلایل این امر انجام یک نوبت آبیاری با عمق کاربرد نسبتاً اندک به فاصله کوتاهی پس از آبیاری نخست و با هدف کاهش مقاومت مکانیکی خاک سطحی و فراهم آمدن شرایط مناسب برای جوانه‌زنی بذرها می‌باشد. میزان عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی با میانگین ۲/۶۴ تن بر هکتار، بین ۱/۰۰ تا ۳/۷۰ تن بر هکتار متغیر بوده است (جدول ۳). مقدار میانگین به‌دست‌آمده برای عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) کمتر از برآوردهای فرحزا و همکاران (۱۳۹۹) برای میانگین عملکرد دانه کلزا (۳/۵۰ تن بر هکتار و با دامنه تغییرات ۲/۲۰ تا ۵/۵۰ تن بر هکتار) در دشت مغان می‌باشد. بر اساس مرور منابع صورت گرفته توسط آسیفا و همکاران، میزان عملکرد دانه کلزا در مناطقی با شرایط مطلوب برای رشد گیاه، بیش از ۲/۵۰ تن بر هکتار گزارش شده است (Assefa et al., 2018). مقایسه میانگین عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی با مقدار آستانه‌ای فوق به معنای شرایط مطلوب برای رشد کلزا در دشت مغان می‌باشد. بااین‌حال، میانگین عملکرد دانه کلزا در مزارع تحت آبیاری بارانی سنترپیوت به‌طور معنی‌داری کمتر از مزارع تحت آبیاری شیاری و بارانی کلاسیک ثابت بوده است (به ترتیب، به میزان ۷۱ و ۹۱ درصد) (جدول ۳). بررسی‌های میدانی نشان داد که دلیل اصلی این امر، ضعف بهره‌برداران مزارع تحت آبیاری بارانی سنترپیوت به لحاظ آشنایی ناکافی آن‌ها با بهترین شیوه‌های مدیریتی در کشت کلزا و بعضاً، نارسایی در مدیریت یکپارچه اراضی تحت آبیاری هر سامانه سنترپیوت به دلیل خرده مالکی بودن اراضی می‌باشد. تا جایی که بسته به شدت و ضعف این نارسایی‌ها در مزارع تحت آبیاری سامانه‌های سنترپیوت، میزان عملکرد دانه کلزا در بین این مزارع دستخوش تغییرات قابل‌توجه گردیده است. به‌گونه‌ای که در مقایسه با مزارع تحت آبیاری بهروش سطحی و بارانی کلاسیک ثابت، میزان

عملکرد دانه کلزا در مزارع تحت آبیاری سنترپیوت از تغییرپذیری به‌مراتب بالاتری برخوردار بوده است (جدول ۳).

میزان نمایه راندمان کاربرد آب آبیاری در مزارع مطالعاتی با میانگین ۹۴ درصد، بین ۷۲ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود (جدول ۳). مقادیر این نمایه حاکی از آن است که آب کاربردی فصلی در بخش قابل‌توجهی (۶۲ درصد) از مزارع مطالعاتی کمتر از نیاز آبیاری خالص برآورد شده برای هریک از مزارع مطالعاتی بوده است (شکل ۳)؛ بنابراین، می‌توان گفت که ۶۲ درصد از مزارع مطالعاتی درجات مختلفی از کم‌آبیاری را تجربه کرده‌اند. بااین‌حال، اختلاف معنی‌داری بین میانگین نمایه راندمان کاربرد آب آبیاری به ازای روش‌های مختلف آبیاری وجود نداشت (جدول ۳) که علت این امر ناشی از محدود کردن مقادیر محاسباتی راندمان کاربرد آبیاری به مقدار حداکثری ۱۰۰ درصد است. میزان نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} در مزارع مطالعاتی به ترتیب، با میانگین ۰/۷۷ و ۰/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب، بین ۰/۴۱ تا ۱/۴۵ و ۰/۲۸ تا ۰/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است (جدول ۳). مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده در این پژوهش برای نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} با دامنه تغییرات مقادیر نظیر گزارش‌شده برای آن‌ها در مناطق مختلف کشور (به ترتیب، ۰/۳۲ تا ۱/۸۱ و ۰/۲۲ تا ۰/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب که در بخش مقدمه این مقاله موردبررسی قرار گرفت)، حاکی از سطح قابل‌قبول نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} در مزارع مطالعاتی است. میزان میانگین دو نمایه WP_I و WP_{I+Pe} در مزارع با روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار نظیر آن برای مزارع تحت آبیاری شیاری (به ترتیب، به میزان ۷۲ و ۵۵ درصد) و بارانی سنترپیوت (به ترتیب، به میزان ۵۱ و ۶۱ درصد) بوده است (جدول ۳). از سوی دیگر، میانگین دو نمایه فوق برای مزارع با روش آبیاری شیاری کمتر از مزارع تحت آبیاری بارانی بوده است. بااین‌وجود، همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۳ مشاهده می‌شود، بالاترین میزان نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} مربوط به مزرعه‌ای با روش آبیاری شیاری (مزرعه A18) بوده است. به‌گونه‌ای که در این مزرعه با اعمال بهترین شیوه‌های مدیریتی کشت کلزا در مزرعه، تدوین برنامه‌ریزی آبیاری در انطباق با مرحله رشد گیاه و بیلان آب خاک در ناحیه توسعه ریشه و اعمال تنها دو نوبت آبیاری (یکی در زمان کاشت و دیگری به فاصله ۴۲ روز قبل زمان برداشت) (شکل ۳) عملکرد دانه کلزا به میزان ۳/۰۰ تن بر هکتار حاصل شده است. با توجه به مقادیر میانگین فصلی دمای هوا و تبخیر- تعرق پتانسیل در منطقه مطالعاتی و سطح قابل‌قبول عملکرد کلزا در مزرعه A18، می‌توان نتیجه گرفت که برآوردهای ارائه‌شده توسط کیانی (۱۳۹۸) برای نیاز آبی خالص کلزا واقع‌بینانه به نظر می‌رسد.



توضیحات: در این شکل، I و P_e به‌ترتیب، مقادیر فصلی آب کاربردی و بارش موثر، $I_{n75\%}$، I_{n10Y} و I_{nc} به‌ترتیب، برآوردهای نیاز آبی خالص به‌ازای سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد، میانگین ۱۰ سال اخیر و فصل زراعی مطالعاتی، **nIrr** و **AE** به‌ترتیب تعداد نوبت‌های آبیاری اعمال شده و راندمان کاربرد است. کدهای مزارع با حروف **A**، **B** و **C** به‌ترتیب، بیانگر مزارع با روش آبیاری شیاری، بارانی سنترپیوت و بارانی کلاسیک ثابت است.

شکل ۳- مقایسه مقادیر فصلی آب کاربردی، بارش مؤثر و برآوردهای مختلف نیاز آبی و نمایه‌های راندمان کاربرد و بهره‌وری آب در مزارع مطالعاتی

مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانه کلزا و نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} در مزارع مطالعاتی از طریق تحلیل رگرسیونی چندمتغیره خطی گام به گام با سطوح معنی‌داری پنج و ۱۰ درصد و محاسبه ضرایب رگرسیونی استانداردشده موردبررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی در جدول ۴ ارائه گردیده است. بر اساس این جدول، متغیرهای مرتبط با سرعت وزش باد در دوره‌های مقارن با زمان برداشت محصول، شوری آب آبیاری و تاریخ کشت و تاریخ اعمال اولین آبیاری دارای رابطه کاهشی معنی‌دار با عملکرد دانه کلزا و نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} بوده‌اند. به‌بیان‌دیگر، افزایش مقدار متغیرهای فوق سبب کاهش عملکرد دانه کلزا و نمایه‌های بهره‌وری آب در مزارع مطالعاتی گردیده است. سرعت بالای وزش باد در دوره‌های مصادف با زمان برداشت یکی از عوامل افزایش تلفات ریزش دانه کلزا قبل از برداشت محصول در منطقه مطالعاتی محسوب می‌شود. از سوی دیگر، رابطه کاهشی شوری آب آبیاری و عملکرد محصول نیز به لحاظ فیزیکی توجیه‌پذیر است.

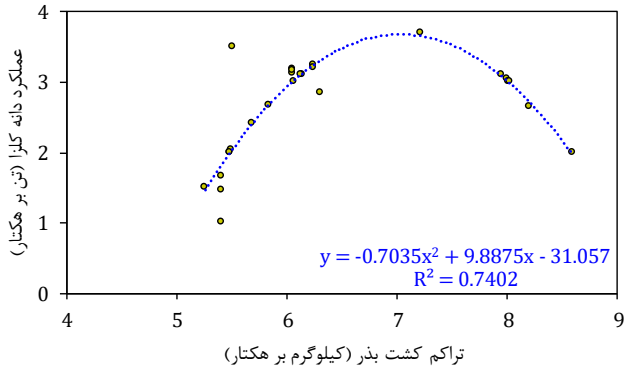
دلیل اصلی وجود این رابطه که تنها در مورد مزارع مطالعاتی با روش آبیاری شیاری مصداق داشته است (جدول ۴)، بازچرخانی زهاب خروجی از مزارع بالادستی در شبکه آبیاری مغان و استفاده مجدد از آن در آبیاری مزارع پایین‌دستی است. این در حالی است که آب آبیاری در مزارع مطالعاتی با روش آبیاری بارانی با این محدودیت مواجه نبوده‌اند. از سوی دیگر، در تمامی مزارع مطالعاتی، آغاز فرآیند جوانه‌زنی بذر کشت‌شده موکول به افزایش رطوبت خاک از طریق آبیاری است؛ بنابراین، به تعویق افتادن نخستین نوبت آبیاری به معنای تأخیر در آغاز جوانه‌زنی بذرها و فرآیند رشد گیاه بوده و موجب کاهش عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی گردیده است. بر اساس جدول ۴، تراکم کشت بذر در مزارع با روش آبیاری بارانی دارای یک رابطه خطی افزایشی معنی‌دار با عملکرد دانه کلزا و نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} بوده است. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص بررسی رابطه تراکم کشت بذر با عملکرد دانه کلزا متناقض بوده و دامنه‌ای از رابطه افزایشی (Hanson et al., 2008)، کاهشی (Wynne et al., 2020) و فاقد رابطه معنی‌دار (Kondra, 1977) را در بر می‌گیرند. در این رابطه، آسیفا و همکاران با مرور پژوهش‌های مرتبط پیشین نشان دادند که رابطه بین تراکم کشت بذر و عملکرد دانه کلزا به درجه مطلوبیت شرایط محیطی برای رشد گیاه کلزا وابسته است (Assefa et al., 2018). در پژوهش فوق، در مناطقی با شرایط مطلوب برای رشد گیاه (مناطقی با عملکرد بیشتر از ۲/۵ تن دانه کلزا بر هکتار)، وجود یک رابطه افزایشی بین تراکم کشت بذر و عملکرد دانه کلزا گزارش شد. از سوی دیگر، افزایش تراکم کشت بذر در کشت‌های پاییزه و زمستانه کلزا به‌منظور افزایش نرخ زنده‌مانی زمستانه بوته‌ها توصیه شده است (Moore and Guy, 1997). بنابراین، با توجه به کشت پاییزه کلزا در تمامی مزارع مطالعاتی (جدول ۱) و شرایط مطلوب رشد گیاه کلزا در دشت مغان (بر اساس میانگین عملکرد ۲/۶۴ تن دانه کلزا بر هکتار در مزارع مطالعاتی، جدول ۳)، رابطه افزایشی تراکم کشت بذر با عملکرد دانه کلزا و نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} به لحاظ فیزیکی توجیه‌پذیر است. از سوی دیگر، رابطه تراکم کشت بذر با عملکرد دانه کلزا در شکل ۴ موردبررسی بیشتری قرار گرفته است. بر اساس این شکل می‌توان گفت که با افزایش تراکم کشت بذر ارقام مطالعاتی به بیش از حدود ۷/۰۳ کیلوگرم بر هکتار در مزارع مطالعاتی، عملکرد دانه کلزا کاهش خواهد یافت. رابطه کاهشی شدت جریان سیستم آبیاری با نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} (جدول ۴) ناشی از اثر ترکیبی پایین بودن مقدار این نمایه در مزارع تحت آبیاری بارانی سنترپیوت که دارای مساحت (و لذا، شدت جریان تحویلی) قابل‌توجه بوده و عدم توجه به قطع به‌موقع جریان ورودی به فاروها در برخی از مزارع مطالعاتی با آبیاری شیاری و جریان تحویلی بالا و شدت یافتن تلفات رواناب بود. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، متغیرهای متوسط دور آبیاری اعمال‌شده در مزرعه و میزان آب کاربردی فصلی دارای رابطه کاهشی و متوسط دور آبیاری اعمال‌شده در مزرعه دارای رابطه افزایشی با نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} بوده‌اند. این روابط می‌تواند مبین قانون بازده نزولی در تولید محصولات کشاورزی (Perry, 2011) باشد. بر اساس این قانون، افزایش فزاینده مصرف یکی از نهاده‌های یک فرآیند تولید در شرایط ثابت ماندن سایر نهاده‌ها موجب کاهش تدریجی آهنگ افزایش تولید و نهایتاً، کاهش تولید خواهد شد. به‌عبارت‌دیگر، می‌توان گفت که عامل محدودکننده عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی، میزان آب قابل‌دسترس نبوده و افزایش مصرف آب در مزارع مطالعاتی بدون بازنگری در مدیریت دیگر نهاده‌های تولید موجب کاهش نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} خواهد شد. چراکه در این شرایط، میزان افزایش عملکرد ناشی از میزان افزایش‌یافته آب کاربردی (در صورت تحقق) در حدی نیست که بتواند سبب افزایش نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} شود. بنابراین، علاوه بر توجه به بهبود مدیریت آبیاری، بهبود بهره‌وری آب در کشت کلزا در منطقه مطالعاتی نیازمند توجه به دیگر عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی نیز می‌باشد. رابطه کاهشی میزان ناخالصی محصول در زمان برداشت محصول با نمایه WP_I به لحاظ فیزیکی توجیه‌پذیر است. چراکه افزایش میزان ناخالصی محصول در زمان برداشت بیانگر ضعف در عملیات داشت و شدت یافتن رشد علف‌های هرز در مزرعه است که یکی از عوامل مؤثر در کاهش نمایه WP_I محسوب می‌شود. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، طول دوره رشد گیاه و زمان برداشت محصول نیز دارای رابطه کاهشی با نمایه‌های WP_I و/یا WP_{I+Pe} بوده است. دلیل اصلی این امر ناشی از افزایش تلفات ریزش در اثر وزش بادهای شدید با تعویق افتادن زمان برداشت

محصول است. دلیل دیگر، کشت ارقام دیررس در برخی مزارع و متعاقباً، افزایش طول دوره رشد گیاه از یک‌سو و عدم توجیه اقتصادی انتظار بیشتر برای رسیدگی کامل محصول کلزا به دلیل از دست دادن بازه زمانی بهینه انجام کشت دوم در مزرعه از سوی دیگر است. به‌گونه‌ای که در این شرایط، کشاورز با تقبل آگاهانه زیان اقتصادی ناشی از برداشت زودهنگام محصول، از زیان اقتصادی بیشتر به دلیل از دست دادن زمان بهینه کشت دوم اجتناب می‌کند. همان‌طور که در جدول ۴ نیز مشاهده می‌شود، متغیر رطوبت محصول در زمان برداشت دارای رابطه کاهشی معنی‌دار با نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} بوده است. همین‌طور، متغیر ارتفاع مزارع از سطح دریا دارای رابطه افزایشی با نمایه WP_{I+Pe} بوده است. دلیل این امر را می‌توان به افزایش میزان بارندگی فصلی تحقق‌یافته با افزایش ارتفاع مزارع از سطح دریا و توزیع زمانی مناسب رویدادهای بارندگی بهاره طی فصل زراعی مطالعاتی (شکل ۲) و در انطباق با نیاز آبی گیاه نسبت داد.

جدول ٤- ضرایب رگرسیونی استانداردشده اشتقاقی از تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره

متغیر وابسته	مزارع با روش آبیاری شیاری		مزارع با روش آبیاری بارانی		کل مجموعه داده	
	متغیر مستقل	ضریب رگرسیونی استانداردشده	متغیر مستقل	ضریب رگرسیونی استانداردشده	متغیر مستقل	ضریب رگرسیونی استانداردشده
عملکرد محصول (تن بر هکتار)	U_{10d}	-۰/۵۴۶	SD	۰/۸۰۱	T_{I1}	-۰/۶۴۶
	EC_{iw}	-۰/۵۰۰	$U_{10d,max}$	-۰/۴۶۸	EC_{iw}	-۰/۴۷۳
			U_{5d}	-۰/۲۴۵		
			T_{sowing}	-۰/۰۸۹		
ضریب تبیین تعدیل‌شده		۰/۵۶۹		۰/۹۹۸		۰/۴۴۱
WP_I (کیلوگرم بر مترمکعب)	T_I	۰/۸۲۶	SD	۱/۳۴۱	I	-۱/۰۶۰
	EC_{iw}	-۰/۳۰۱	GP	-۰/۹۱۸	ε_Y	-۰/۶۴۵
			U_{5d}	-۰/۳۷۰	$U_{5d,max}$	-۰/۶۲۶
					Q	-۰/۳۴۶
					$T_{harvest}$	-۰/۳۷۷
ضریب تبیین تعدیل‌شده		۰/۸۲۴		۰/۹۷۶		۰/۷۸۹
WP_{I+Pe} (کیلوگرم بر مترمکعب)	T_I	۰/۷۱۴	SD	۱/۳۲۸	Q	-۰/۳۶۹
	EC_{iw}	-۰/۳۸۲	$T_{harvest}$	-۰/۶۶۹	T_I	۰/۶۹۱
	θ_Y	-۰/۱۵۸	U_{5d}	-۰/۱۹۲	Alt	۰/۵۷۴
ضریب تبیین تعدیل‌شده		۰/۷۴۸		۰/۹۰۳		۰/۵۹۳

(*) در این جدول، Alt ارتفاع مزرعه از سطح دریا، EC_{iw} شوری آب آبیاری، θ_Y رطوبت محصول در زمان برداشت، ε_Y ناخالصی محصول در زمان برداشت، I آب کاربردی فصلی، T_I متوسط دور آبیاری اعمال‌شده در مزرعه، Q شدت جریان سیستم آبیاری، SD تراکم کشت بذر، GP طول دوره رشد گیاه، $T_{harvest}$ تاریخ برداشت محصول، T_{I1} تاریخ اعمال اولین رویداد آبیاری، T_{sowing} تاریخ کشت بذر، U_{10d} میانگین سرعت باد طی دوره ۱۰ روز قبل از برداشت، $U_{10d,max}$ حداکثر سرعت باد روزانه طی دوره ۱۰ روز قبل از برداشت، U_{5d} میانگین سرعت باد طی دوره پنج روز قبل از برداشت، $U_{5d,max}$ حداکثر سرعت باد روزانه طی دوره پنج روز قبل از برداشت می‌باشد.



شکل ٤- بررسی رابطه تراکم کشت بذر کلزا با عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، میزان آب کاربردی و بهره‌وری آب کلزا طی فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در شرایط واقعی مدیریت بهره‌برداری در مزارع کلزای منتخب در سطح دشت مغان به‌عنوان قطب اصلی کشت آبی کلزا در استان اردبیل موردبررسی قرار گرفت. میزان فصلی کل آب مصرفی (آبیاری و بارندگی مؤثر) و عملکرد دانه کلزا به ترتیب، با میانگین ۴۷۹۸ مترمکعب بر هکتار و ۲/۶۴ تن بر هکتار بین ۲۹۲۱ تا ۶۷۶۲ مترمکعب بر هکتار و ۱/۰۰ تا ۳/۷۰ تن بر هکتار متغیر بود. میزان میانگین عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی (بیشتر از ۲/۵ تن بر هکتار) حاکی از شرایط مطلوب رشد گیاه کلزا در دشت مغان است. نتایج تحلیل رگرسیونی چندمتغیره نشان داد که زمان کاشت، تراکم کاشت، وزش بادهای شدید در نزدیکی زمان برداشت محصول، شوری آب آبیاری از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر میزان عملکرد دانه کلزا در مزارع مطالعاتی بودند. مقدار میانگین آب کاربردی فصلی در مزارع با روش آبیاری شیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار نظیر آن برای مزارع تحت آبیاری بارانی بود. بااین‌حال، بررسی‌ها نشان داد که از میان مزارع مطالعاتی، مزرعه‌ای با روش آبیاری شیاری با سطح قابل قبولی از عملکرد دانه کلزا (۳/۰ تن بر هکتار) و تنها با دو نوبت آبیاری، بالاترین میزان نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} را به خود اختصاص داد. این امر، بیانگر اهمیت برنامه‌ریزی آبیاری در انطباق با مرحله رشد گیاه و بیلان آب خاک در ناحیه توسعه ریشه و توجه به اعمال بهترین شیوه‌های مدیریتی کشت کلزا در مزرعه در بهبود بهره‌وری مصرف آب در روش آبیاری شیاری به‌عنوان روش غالب آبیاری در دشت مغان است. نتایج این پژوهش نشان داد که عامل محدودکننده عملکرد دانه کلزا در مزارع موردبررسی، میزان آب قابل‌دسترس نبوده و افزایش مصرف آب در مزارع بدون بازنگری در مدیریت دیگر نهاده‌های تولید موجب کاهش نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} خواهد شد. نتایج این بررسی نشان داد که در بخشی از اراضی دشت مغان با قابلیت انجام بیش از یک کشت در هر سال زراعی، کشت ارقام زودرس و میان‌رس کلزا (به‌جای ارقام دیرس) علاوه بر دستیابی به سطحی قابل‌قبول از عملکرد دانه کلزا موجب آزادسازی به‌موقع اراضی و از دست نرفتن بازه زمانی بهینه انجام کشت دوم در مزرعه خواهد شد. از سوی دیگر، کشت ارقام زودرس و میان‌رس حتی‌الامکان موجب تخفیف تلفات ریزش دانه در اثر وزش بادهای شدید در نزدیکی موعد برداشت محصول خواهد شد. این امر می‌توان به‌طور مؤثری افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و دیگر نهاده‌های کشاورزی را در پی داشته باشد. نتایج نشان داد آشنایی ناکافی بهره‌برداران مزارع تحت آبیاری بارانی سنترپیوت در شبکه آبیاری خدا آفرین با بهترین شیوه‌های مدیریتی در کشت کلزا و بعضاً، وجود نارسایی در مدیریت یکپارچه اراضی خرده مالکی تحت آبیاری سامانه‌های سنترپیوت منجر به آن گردیده است که میانگین عملکرد دانه کلزا در این مزارع به‌طور معنی‌داری کمتر از مزارع تحت آبیاری شیاری و بارانی کلاسیک ثابت باشد. با توجه به سرمایه‌گذاری قابل‌توجه صورت گرفته در طرح خدا آفرین و قابلیت بالای سامانه‌های آبیاری سنترپیوت مورداستفاده در آن، رفع این نارسایی‌ها گامی مهم در جهت ترسیم تجربه‌ای موفقیت‌آمیز از اجرای طرح فوق خواهد بود.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بر اساس داده‌های حاصل از اجرای پروژه مصوب به شماره ۹۸۰۵۹۸-۹۵۰۱۳-۰۳۸-۱۴-۷۱-۰۱۴ موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در استان اردبیل است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از بهره‌برداران مزارع مطالعاتی و کارشناسان محترم مدیریت جهاد کشاورزی در شهرستان‌های پارس‌آباد، اصلاندوز و گرمی که در اجرای این پروژه همکاری و مساعدت نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنند.

منابع

احمدی، ک.، عباد زاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، عبد شاه، ه. و کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال ۹۷-۱۳۹۶. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی، ۸۹ ص.

اسلامی، ا. ۱۳۹۵. ابزار اندازه‌گیری آب آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی، نشریه فنی شماره ۴۴. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۲۴ ص.

افشار، ع. حقیقت‌جو، پ.، کار اندیش، ف.، محمدرضا پور، ا. و کوهستانی، ش. ۱۳۹۹. تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب چند محصول عمده در جیرفت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱(۸): ۲۱۴۸-۲۱۳۷.

پرچمی عراقی، ف.، میر لطیفی، س.م.، قربانی دشتکی، ش.، وظیفه دوست، م. و صادقی لاری، ع. ۱۳۹۵. توسعه یک چارچوب ریزمقیاس سازی به‌منظور برآورد تبخیر- تعرق مرجع زیر روزانه: ۱- مقایسه عملکرد برخی مدل‌های ریزمقیاس سازی داده‌های هواشناسی روزانه، نشریه آب و خاک، ۳۰(۲): ۳۵۴-۳۳۴.

جعفری، ح. و حامدی، ف. ۱۳۸۷. تعیین طول و فاصله بهینه لترال‌ها و مدیریت آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای نواری در محصول کلزا، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز. ۵ ص.

سپه وند، م. ۱۳۸۸. مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آن در گندم و کلزا در غرب کشور در سال های پرباران. مجله پژوهش آب. ۳(۴): ۶۸-۶۳.

سلامتی، ن. و دلبری، م. ۱۳۹۳. اثر مقادیر آب در روش قطره‌ای نواری بر عملکرد کمی و کیفی دو رقم کلزا در بهبهان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸(۲): ۳۳۹-۳۲۹.

صفوی فرد، ن.، حیدری شریف‌آباد، ح. و شیرانی‌راد، ا.ج. ۱۳۹۷. بررسی امکان کشت زمستانه ارقام بهاره کلزا در منطقه معتدل سرد کرج در شرایط تنش کم‌آبی آخر فصل. مجله به زراعی نهال و بذر. ۳۴(۱): ۳۸-۲۳.

فرحزا، م.ن.، نظری، ب.، اکبری، م.ر.، نائینی، م.س. و لیاقت، ع. ۱۳۹۹. ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان و تحلیل رابطه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۱(۲): ۱۷۹-۱۶۶.

کیانی، ع. ۱۳۹۸. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا. نشریه ترویجی، شماره ۴۴۱. موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی. ۳۲ ص.

مظاهری، ح. قدمی فیروزآبادی، ع. و سیدان، س.م. ۱۳۹۳. مقایسه دو روش آبیاری نواری قطره‌ای و شیاری بر اجزاء عملکرد ارقام کلزا در همدان. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۱۰۲: ۴۷-۴۱.

معیری، م. ۱۳۹۸. تعیین نیاز آبی و مدیریت جامع آبیاری مزارع کلزا. نشریه فنی شماره ۵۵۸۸۲. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی. ۳۷ ص.

نوروزی، م. و زلفی باوریانی، م. ۱۳۹۰. تعیین دور و عمق مناسب آبیاری کلزا به روش تشت تبخیر در استان بوشهر، مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۲(۱): ۳۴-۲۷.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome, Italy, 301 pp.

Assefa, Y., Prasad, P.V.V., Foster, C., Wright, Y., Young, S., Bradley, P., Stamm, M. and Ciampitti, I.A. 2018. Major management factors determining spring and winter canola yield in North America. Crop Science. 58(1): 1-16.

Bos, M.G., Kselik, R.A.L., Allen, R.G. and Molden, D. 2008. Water requirements for irrigation and the environment. Springer Science & Business Media.

Burt, C.M. 2013. The irrigation sector shift from construction to modernization: What is required for success? Irrigation and drainage. 62(3): 247-254.

Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (Brassica napus L.): a review. Field crops research. 67(1): 35-49.

Food and Agriculture Organization Statistical Data (FAOSTAT). 2021. FAO Statistical Data. (Available at: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E)

George, N., Hollingsworth, J., Levers, L., Thompson, S. and Kaffka, S. 2015. Canola and camelina: winter annual oilseeds as alternative crops for California: Two year progress report for the ANR competitive grants program oilseed project. ANR Oilseed Project Progress Report, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, California, USA. 35 pp.

Hanson, B.K., Johnson, B.L., Henson, R.A. and Riveland, N.R. 2008. Seeding rate, seeding depth, and cultivar influence on spring canola performance in the Northern Great Plains. Agronomy Journal. 100(5): 1339-1346.

Hergert, G.W., Margheim, J.F., Pavlista, A.D., Martin, D.L., Supalla, R.J. and Isbell, T.A. 2016. Yield, irrigation response, and water productivity of deficit to fully irrigated spring canola. Agricultural Water Management. 168: 96-103.

Johnston, A.M., Tanaka, D.L., Miller, P.R., Brandt, S.A., Nielsen, D.C., Lafond, G.P. and Riveland, N.R. 2002. Oilseed crops for semiarid cropping systems in the northern Great Plains. Agronomy Journal. 94(2): 231-240.

Kondra, Z.P. 1977. Effects of planted seed size and seeding rate on rapeseed. Canadian Journal of Plant Science. 57(1): 277-280.

Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R. and Makin, I. 2001. A water-productivity framework for understanding and action, Workshop on Water productivity, Wadduwa, Sri Lanka. November 12 and 13, 2001, pp. 1-18.

Moore, M.K. and Guy, S.O. 1997. Agronomic response of winter rapeseed to rate and date of seeding. Agronomy Journal. 89(3): 521-526.

Engineering Handbook, United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, Washington, DC. (Available at: ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/waterMgt/irrigation/NEH15/ch2.pdf).

United States Salinity Laboratory Staff (USSLS). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agriculture Handbook No 60, Washington DC, USA, pp. 160.

Wilcox, L.V. 1955. Classification and use of the irrigation waters. US Department of Agriculture Circular No 969, Washington, DC, pp. 19.

Wynne, K., Neely, C.B., Adams, C., Kimura, E., DeLaune, P.B., Hathcoat, D. and Gerrish, B. 2020. Testing row spacing and planting rate for fall-planted spring canola in the southern United States. Agronomy Journal. 112(3): 1952-1962.

Nielsen, D.C. 1997. Water use and yield of canola under dryland. Journal of. Production. Agriculture. 10(2): 213.

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

Perry, C. 2011. Accounting for water use: Terminology and implications for saving water and increasing production. Agricultural Water Management. 98(12): 1840-1846.

Todorovic, M., Karic, B. and Pereira, L.S. 2013. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. Journal of Hydrology. 481: 166-176.

USDA-NRCS. 1993. Chapter 2: Irrigation water requirements, Part 623: Irrigation. National

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1172-1186

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۱۸۶-۱۱۷۲

Assessment of Rapeseed Water Use and Water Productivity across Moghan Plain, Ardabil Province, Iran

F. Parchami-Araghi[1*], M. Moayeri[2], H. Zeinalzadeh-Tabrizi[3]
Recived: May. 25, 2021 Accepted: Jul. 24, 2021

Abstract

In this work, the seasonal applied water and physical water productivity of rapeseed (Brassica napus L.) were evaluated through monitoring 26 farmer fields (including 18, five, and three farmer fields with furrow, center-pivot, solid-set irrigation systems, respectively) over Moghan Plain, Ardabil Province, Iran, during the growing season 2019-2020. The rapeseed seasonal water use (irrigation + effective precipitation) and the grain yield value ranged from 2921-6762 m^3 ha^{-1} and 1.00-3.70 ton ha^{-1}, respectively (with a mean of 4798 m^3 ha^{-1} and 2.64 ton ha^{-1}, respectively). The net rapeseed water requirement during the growing season 2019-2020 and its 10-year mean value ranged from 285-399 mm and 282-354 mm, respectively (with a mean of 325 and 304 mm, respectively). The mean seasonal applied water at farmer fields with furrow irrigation (4328 m^3 ha^{-1}) was significantly ($p < 0.01$) higher compared to the farmer fields with center pivot and solid set sprinkler irrigation (2154 and 2633 m^3 ha^{-1}, respectively). Total water productivity (WP_{I+Pe}) and irrigation water productivity (WP_I) ranged from 0.28 to 0.95 kg m^{-3} and 0.41 to 1.45 kg m^{-3}, respectively (with a mean of 0.58 and 0.77 kg m^{-3}, respectively). Based on the results of multivariate linear regression analysis, the factors, including irrigation water salinity, sowing date, seeding rate, date of the first irrigation, growth period length, strong winds near harvest time, the latitude of farmer fields, flowrate of delivered water, mean irrigation interval, and rapeseed grain moisture content and impurity rate were recognized as the most important factors affecting the grain yield and the physical water productivity indices.

Keywords: Drainage water, FAO Penman-Monteith, Planting date, Seeding rate, Yield

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran
2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Dezful, Iran
3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir)